C.

Caementiren.

Caementatio; Cémentation; *Cementation.* Eine chemische Operation, welche den Zweck hat, einen festen Körper, besonders ein Metall, durch Glühen mit einem andern festen Körper, wobei beide nicht in den tropfbar flüssigen Zustand übergehen, chemisch zu verändern. Der letztere Körper, welcher den ersteren in Pulvergestalt umgiebt und mit demselben geschichtet ist, heifst *Cäment* oder *Cämentpulver.* Beispiele sind das Ueberführen des Eisens durch Glühen mit Kohlenpulver in Stahl; das Umwandeln des Kupfers in Messing durch ein Gemenge aus Zinkoxyd und Kohlenstaub, und das oberflächliche Reinigen des Kupfer- und Silberhaltigen Goldes durch Glühen mit einem Gemenge von gebranntem Eisenvitriol, Kochsalz und Ziegelmehl. Bei den beiden ersten Beispielen ist merkwürdig, dafs das durch die Hitze erweichte Eisen und Kupfer allmälig bis in ihr Innerstes vom Kohlenstoff und Zink durchdrungen werden, ohne ihre Form zu ändern. *G.*

Calcium.

Calcium; Calcium; *Calcium.* Ein Metall, welches von H. Davy auf dieselbe Art wie das Baryum und ebenfalls nur in sehr kleiner Menge dargestellt worden ist. Es ist glänzender und weifser als Baryum, und bei der gewöhnlichen Temperatur fest. Seine wichtigern Verbindungen sind folgende.

Kalk, Kalkerde (20,5 Calcium auf 8 Sauerstoff). Das Calcium oxydirt sich schnell an der Luft, bei gewöhnlicher Temperatur ohne, bei höherer mit Feuerentwickelung; es zersetzt das Wasser unter Wasserstoffgasentwickelung, und ver-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wandelt sich hierbei immer in Kalk. Man erhält den reinen Kalk, als gebrannten Kalk, durch Glühen des natürlichen kohlensauren Kalkes. Der reine Kalk ist weifs, erdig, wirkt schwach alkalisch und schmilzt nur in der durch das Knallgasgebläse oder Elektricität hervorgebrachten Hitze. Er verbindet sich mit Wasser unter lebhafter Wärmeentwickelung, die bis zum Entzünden von Schiefspulver und Holz steigen kann, zu *Kalkhydrat*, einem weifsen Pulver, welches in schwacher Glühhitze sein Wasser verliert und sich in ungefähr 600 kaltem und 1200 kochendem Wasser zu *Kalkwasser* auflöst. Die aus der Verbindung des Kalkes mit Säuren entspringenden *Kalksalze* sind den Baryt- und Strontiansalzen ähnlich, doch specifisch leichter. Die auflöslichen werden auch bei grofser Verdünnung (wenn keine überschüssige Säure vorhanden ist) durch Kleesäure und durch kleesaures Kali, ferner, jedoch nur im concentrirten Zustande, durch Schwefelsäure, nicht durch Ammoniak gefällt. Die wichtigsten sind: *Kohlensaurer Kalk* in der Natur sehr häufig als Kalkspath, Marmor, Kalkstein, Kreide, u. s. w. nicht in reinem, aber ein wenig in Kohlensäure haltendem Wasser löslich. *Phosphorsaurer Kalk*; seltener im Mineralreiche als Apatit, häufiger in den Pflanzen und Thieren und daher in den meisten Pflanzenaschen in geringer, in den meisten Thieraschen (besonders in den verbrannten Knochen) in gröfserer Menge vorkommend, nicht im Wasser löslich. *Schwefelsaurer Kalk* im trockenen wasserhaltigen Zustande als Anhydrit und Gyps bekannt, in 460 Theilen Wasser löslich. *Salzsaurer* und *salpetersaurer Kalk*, zwei in Säulen krystallisirende, äufserst zerfliefsliche Salze. Die Verbindungen des Kalkes mit Arseniksäure, Scheelsäure und Kieselerde kommen im Mineralreiche vor, die mit Kleesäure, Weinsäure und vielen andern Pflanzensäuren im Pflanzen- und zum Theil auch im Thierreiche. Mit Chlor und Wasser bildet der Kalk theils ein feuchtes Pulver, Bleichpulver, theils bei mehr Wasser und Chlor eine Flüssigkeit, Bleichflüssigkeit, welche beide zum Bleichen häufig angewendet werden.

Das *Calciumhyperoxyd* ist noch wenig bekannt. Das *Fluorcalcium*, der *Flufsspath* der Mineralogen, findet sich in kleiner Menge auch in thierischen Substanzen, besonders in den Zähnen und Knochen. Das *Chlorcalcium* ist eine weifse

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

durchscheinende, in der Rothglühhitze schmelzende Masse. Das *Schwefelcalcium* ist der Hauptbestandtheil der durch Glühen von Kalk mit Schwefel erhaltenen Kalkschwefelleber, die mit wässrigen Säuren Hydrothionsäure entwickelt. Das *Phosphorcalcium* verhält sich wie das Phosphorbaryum und wird durch Hinzuleiten von Phosphordämpfen zu in einer Glasröhre glühendem Kalk erhalten. *G.*

Caliber.

Calibre; *Caliber*, *Caliper*; kommt hauptsächlich bei der Artillerie vor, und heifst die Dicke oder der Durchmesser eines runden Körpers, z. B. der Kugeln, oder speciell die Bohrung oder innere Weite der Artilleriestücke (*pièces d' Ordonnance*; *pieces of ordnance*) oder der hierzu gehörigen Kugeln und Bomben.

In der Naturlehre wird der Ausdruck in der Regel nur von hohlen Röhren gebraucht, welche hauptsächlich zu irgend einer Messung dienen sollen, und bezeichnet dann ihre Weite, wobei man den innern hohlen Raum derselben als vollkommen cylindrisch voraussetzt, indem sie sonst in den verschiedenen Theilen ihrer Länge ein verschiedenes Caliber haben müfsten. Es kommt bei den zum Messen anzuwendenden Röhren erstlich darauf an, die innere Weite derselben zu bestimmen, oder zweitens zu untersuchen, ob dieselbe überall gleich ist, welches Letztere gleichfalls Calibriren genannt wird.

1. Das Erstere, welches unter der Voraussetzung vollkommener Cylinderform mit der Bestimmung des inneren Durchmessers der Röhren zusammenfällt, geschieht bei weiteren vermittelst eines gemeinen Cirkels oder besser eines feinen Stangencirkels, bei engeren aber am besten dadurch, dafs man einen Cylinder von hartem Holze, welcher nur wenig verjüngt ist, oder von fest aufgerolltem Papiere genau in die innere Oeffnung pafst, und dann vermittelst eines Tastercirkels oder eines geeigneten Stangencirkels den Durchmesser desselben bestimmt. Für sehr enge Röhren, oder eigentliche sogenannte Haarröhrchen ist auch dieses Verfahren zu wenig genau, und mufs bei diesen der innere Halbmesser durch das Gewicht einer Quecksilbersäule von gegebener Länge bestimmt werden, wie schon

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dütour[1] vorgeschlagen, Gay-Lüssac aber bei seinen Versuchen zur Prüfung der La Placeschen Theorie der Capillarität mit grofser Genauigkeit ausgeführt hat[2]. Man wiegt zu diesem Ende die Röhre, deren innerer Raum mit unmerklicher Abweichung als genau cylindrisch vorausgesetzt wird, zuerst leer, füllt dann einen Cylinder von Quecksilber von bestimmbarer Länge hinein, und wiegt die Röhre abermals, wodurch das Gewicht des Quecksilbers $= p$ gefunden wird. Die Länge der Quecksilbersäule in der Röhre $= l$ findet man leicht vermittelst eines gemeinen Cirkels oder eines Stangencirkels, und wenn dieselbe beträchtlich lang ist, so kann man die convexen Enden der Quecksilbersäule füglich vernachlässigen, oder nach dem Augenmafse corrigiren. In diesem Falle ist der Inhalt des Quecksilbercylinders im Röhrchen $= r^2 \pi l$, und wenn das Gewicht eines gegebenen Mafses, z. B. eines Kubikzolles Quecksilbers $= m$ ist; so ist $r^2 \pi l m = p$ woraus der Halbmesser der Röhre $r = \sqrt{\frac{p}{\pi l m}}$ gefunden wird. Setzen wir hierin das Gewicht eines rheinl. Kubikzolles Wasser $= 288{,}21$ Gr. Med. Gew.[3], das spec. Gew. des Quecksilbers $= 13{,}586$, so ist für die Länge $= l$ in rheinl. Zollen und p in Granen Med. Gew. $r = 0{,}0090162 \sqrt{\frac{p}{l}}$. Für par. Zolle und Grane Med. Gew. ist $r = 0{,}008563 \sqrt{\frac{p}{l}}$; für englische Zolle und Grains Troy-Gewicht ist $r = 0{,}009615 \sqrt{\frac{p}{l}}$; für neu französisches Mafs p in Grammen und l in Decimetern ist $r = 0{,}1531 \sqrt{\frac{p}{l}}$ gleichfalls in Decimetern.

Will man indefs auf die Convexität an beiden Enden der Quecksilbersäule Rücksicht nehmen, und ist es möglich, den Anfang derselben genau wahrzunehmen, so läfst sich die hiernach erforderliche Correction auf folgende Weise erhalten. Man kann mit ziemlicher Sicherheit annehmen, dafs das Quecksilber an jedem Ende eine Halbkugel vom Halbmesser der Röhre

---

1 J. d. P. XI. 127.
2 Biot Traité. I. 440.
3 S. *Mafs.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

bildet. Mifst man daher die Länge des Cylinders bis an den Anfang dieser Halbkugel an beiden Enden und nennt diese Länge l', die Höhe der einen Halbkugel aber λ, so ist nach dem bekannten Verhältnisse der Kugel zum Cylinder $l = (l' + \frac{2}{3}\lambda)$ welches in die Formel aufgenommen den corrigirten Werth von r giebt, und wobei die Richtigkeit der Messung danach geprüft werden kann, dafs die hieraus gefundene Gröfse von r nicht merklich von $\frac{1}{2}\lambda$ abweichen darf. Wollte man sich indefs auf eine solche Messung nicht verlassen, so wäre zuvörderst aus der gemessenen ganzen Säule nach der oben gegebenen Formel der uncorrigirte Werth von r zu suchen, und indem man dann die corrigirte Länge der Säule $l' = (l - \frac{2}{3} r)$ aufs neue in die Formel einführte und abermals rechnete, der corrigirte Werth von r zu finden.

2. Unter Calibriren, hauptsächlich der Glasröhren, versteht man zweitens gleichfalls sehr häufig die Untersuchung, ob das Caliber oder die Weite der Röhre in der ganzen Länge des zum Gebrauche bestimmten Theiles gleich sey. Es ist dieses in allen denjenigen Fällen durchaus nothwendig, worin die Vermehrung oder Verminderung eines gegebenen Körpers nach der Länge des Cylinders gemessen werden soll, welchen er in der Röhre bildet, z. B. bei Thermometern, Eudiometern u. dgl. Das zweckmäfsigste und wohl einzige Mittel hierzu ist, in die zu calibrirende Röhre einen Cylinder von Quecksilber zu bringen, welches die Wände nicht benetzt, und daher bei seiner Bewegung in der Röhre von seiner Masse durch Adhäsion nichts verliert, und zu versuchen, ob die Länge desselben überall gleich bleibt. Man kann diesen Versuch auf zweierlei Weise anstellen, entweder indem man wiederholt gleiche Massen Quecksilber in die zu calibrirende Röhre giefst, und durch Messung bestimmt, ob eine jede darin einen Cylinder von gleicher Länge bildet, in welchem Falle auch das Caliber gleich ist, oder indem man die nämliche Masse Quecksilber durch die ganze Länge der Röhre fortbewegt, und an jeder einzelnen Stelle mifst, ob sie allezeit einen gleich langen Cylinder bildet. Das erstere Verfahren ist mühsam und leicht unsicher, das zweite hauptsächlich bey engen Röhren leicht und sicher anwendbar; in beiden Fällen aber ist es überflüssig, auf die convexe Oberfläche des Quecksilbers Rücksicht zu nehmen, weil der hieraus erwachsene Feh-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ler sich stets gleich bleibt und daher von selbst ausgeglichen wird. Bei weiteren Röhren befestigte de Lüc[1] einen in die Röhre gepafsten Kork an einem Faden, gofs das Quecksilber darüber, und bewegte den hierdurch gebildeten Cylinder in der Röhre durch Fortziehen des Korkes vermittelst des Fadens von einem Ende derselben zum andern. Bei engeren, namentlich zu Thermometern bestimmten Röhren ist dieses Verfahren aber unnöthig und meistens unmöglich. Es genügt dagegen, nur durch Saugen einen Cylinder von willkührlicher Länge in die Röhre zu bringen, sie horizontal niederzulegen, ein Stückchen dickes Papier oder Spielcharte genau von derjenigen Breite zu schneiden, als die Länge des gebildeten Cylinders beträgt, dann durch die erforderliche Neigung der Röhre den Quecksilbercylinder in derselben weiter zu bewegen, und durch Auflegen des Papierstreifens zu messen, ob seine Länge stets unverändert bleibt.

3. In vielen Fällen, z. B. bei der Verfertigung der Eudiometer, Anthrakometer und sonstiger Mefswerkzeuge ist es erforderlich, auch weitere Röhren in gleiche Räume und zugleich von einem bestimmten Inhalte zu theilen. Auch für diesen Zweck bietet das Quecksilber wegen seines grofsen spec. Gewichtes ein sehr sicheres und bequemes Hülfsmittel dar. Am einfachsten würde das Verfahren seyn, wenn man die den erforderlichen Raum ausfüllende Menge Quecksilbers jedesmal aufs neue abwöge, jede einzeln in die Röhre gösse, und ihren Stand bezeichnete, und den hierdurch erhaltenen Raum in so viele gleiche Theile theilte, als worein die Röhre getheilt werden soll. Weil aber dieses wiederholte Abwägen sehr langweilig ist, so bedient man sich lieber der Messungen, welche für diesen Zweck hinlängliche Genauigkeit geben. Ein hierzu von Parrot[2] vorgeschlagener Apparat, den früher von Réaumür, Lutz u. m. gebrauchten kleinen Bechern nachgebildet, aber ungleich bequemer und genauer eingerichtet, läfst sich in vereinfachter Gestalt und wohlfeil auf folgende Weise darstellen. Man nimmt eine genau cylindrische, einige Zolle lange und ei-

---

1 Recherches sur les mod. de l'atm. I. sect. 1. ch. 3.
2 G. XLI. 62.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nige Linien weite Glasröhre a a, fafst sie in einen eisernen Ring b b, welcher an zwei, einander diametral entgegengesetzten Seiten zwei mit der Glasröhre parallel herabgehende Stangen hat; diese tragen unten die Platte d d mit einer Schraubenmutter in ihrer Mitte, durch welche die männliche Schraube g geht. Am obern Ende dieser lezteren ist vermittelst einer eisernen Platte der Kork e befestigt, welcher gedrängt in die Röhre pafst. Leztere ist an ihrem oberen Ende plan geschliffen, und eine genau auf den Rand passende kleine Glasplatte dient dazu, den Raum der Glasröhre zwischen dem Korke und dieser Platte durch die letztere scharf abzuschneiden. Beim Gebrauche bestimmt man nach den oben mitgetheilten Angaben das Gewicht eines gewissen Volumens Quecksilber, wiegt dieses sorgfältig ab, schüttet es nach hinlänglich zurückgezogenem Korke in die Glasröhre, und indem man die Glasplatte auflegt, den Kork aber in die Höhe schraubt, bestimmt man auf das genaueste den Raum, welchen es einnimmt. Diesen füllt man nachher wiederholt mit Quecksilber, giefst dieses in die zu calibrirende Röhre, und bezeichnet den jedesmaligen Stand, welchen dasselbe einnimmt, wobei es leicht ist, nach den angegebenen Elementen die Länge der Quecksilbersäule für die convexe Oberfläche zu corrigiren. Bildet dieselbe nämlich eine Halbkugel, so darf man nur jederzeit $\frac{1}{3}$ ihrer Höhe abziehen. Eine weitere genauere Berechnung würde für jeden einzelnen Fall sehr schwierig, für den praktischen Gebrauch aber überflüssig seyn.

Fig. 1

M.

Calorimeter.

Mit diesem lateinisch griechischen Namen bezeichneten Lavoisier und La Place eine Vorrichtung, welche dazu dienen soll, die von einem Körper ausgehende Wärme zu messen. Sie bedienten sich hierzu des Eises, mit welchem sie den Körper von allen Seiten umgaben, und nahmen als relatives Mafs der Wärme das Quantum des aus der Eishülle durch die Wärme des Körpers ausgeschmolzenen Wassers an. Um die Störung zu verhüten, welche der Zutritt der Luftwärme auf das Resultat haben konnte, war jene Eisrinde noch mit einer zweiten Hülle von Eis umgeben, so dafs jede Schmelzung von Aufsen unmöglich gemacht wurde. Dieses sind die Grundzüge von Lavoisiers Eis-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fig. 2 apparat; seine nähere Beschreibung ist folgende: A ist eine Art Korb von Eisendraht geflochten, in welchen der zu prüfende Körper gelegt wird; er ist oben mit einem durchlöcherten Deckel C versehen, und in den blechernen Cylinder B B frei aufgehängt. Der Zwischenraum zwischen Korb und Cylinder wird überall mit zerstofsenem Eise erfüllt. Das Gefäfs B B ist sodann noch von einem zweiten E E ganz umschlossen, und der zwischen beiden befindliche Raum ebenfalls mit Eis ausgefüllt. Im Gefäfse B befindet sich unten ein eiserner Rost, und unter diesem ein Drahtsieb, um fortgeschwemmte Eistheilchen aufzuhalten. Etwas tiefer ist der senkrechte Auslauf mit dem Hahn d angebracht, während dem der Abzug aus dem äussern Gefäfse E seitwärts durch den Hahn f statt findet. Auch die Deckel C und D D werden mit zerstofsenem Eise gefüllt, und so ist der zu prüfende Körper ringsum mit einer doppelten Eiswand umschlossen. Indem er nun im Eisapparat bis auf 0° erkaltet, wird durch die aus ihm frei werdende Wärme ein Theil der innern Eishülle geschmolzen, und das aus dem Hahn d abfliefsende Wasser giebt das Mafs dieser Schmelzung an. Was durch den Hahn f abgeht, ist nur die Wirkung der äufsern Luftwärme auf die äufsere Eishülle. Da das Wasser, so lange noch ein Eistheilchen in demselben bleibt, sich nicht über 0° Wärme erhebt, so kann der innern Eishülle niemals einige Wärme von Aufsen her zugeführt werden.

Die Theorie des Calorimeters beruht auf folgendem: Die Menge des vom erwärmten Körper geschmolzenen Eises ist desto gröfser, 1. je gröfser die Masse des Körpers ist, 2. je stärker seine Erwärmung war, und 3. je gröfser das Mafs fühlbarer Wärme ist, das er bei gleicher äufserer Erkältung absetzt; mit andern Worten: sie ist im geraden Verhältnifs der Massen und Temperaturen der Körper und ihrer Capacität für die Wärme (ihrer specifischen Wärme). Es sind also für die Körper A und a, nach ihren Massen M und m, ihren Temperaturen (zwischen dem Eis- und Siedpunkt des Wassers) T und t, und ihren specifischen Wärmen C und c, die Mengen W und w des geschmolzenen Eises $= MTC$ und mtc, oder $C = \frac{W}{MT}$ und $c = \frac{w}{mt}$. Da hier nur von relativen Bestimmungen die Rede seyn

kann, so ist es nöthig, die specifische Wärme irgend eines bekannten Stoffes als Einheit anzunehmen, und die Eismengen, die von jedem andern Stoffe nach Mafsgabe seiner Masse und Temperatur geschmolzen werden, mit derjenigen zu vergleichen, welche dieser Körper zu schmelzen im Stande ist. Man hat hiefür, wie in manchen andern Fällen, das reine Wasser gewählt, dessen specifische Wärme $= 1$ gesetzt wird. Zu mehrerer Vereinfachung ertheilt man ihm (wenigstens in der Voraussetzung) eine Wärme, bei welcher es ein ihm gleiches Gewicht von Eis ganz zu schmelzen vermag. Versuche haben gezeigt, dafs dieses bei einer Wärme, welche $\frac{3}{4}$ unsrer Thermometerscale (60° des sogenannten Réaumür'schen oder 75° des hundertheiligen Thermometers) beträgt, statt finde. Durch diese Annahme werden in der Formel die Gröfsen W und M einander gleich, und $T = 60°$ R. oder 75° C.; und wenn C die specifische Wärme des Wassers, c diejenige des zu prüfenden Körpers bezeichnet, so hat man $C : c = \frac{W}{MT} : \frac{w}{mt}$ oder $1 : c = \frac{1}{T} : \frac{w}{mt}$, mithin $c = \frac{T \times w}{mt}$. Für T setzt man die Zahl 75 in die Formel, wenn t in Graden des hunderttheiligen Thermometers gegeben ist; gebraucht man das Réaum. Thermometer, so wird $T = 60$.

Beispiel. $5\frac{1}{2}$ Pfund Gufseisen bis zur Wärme des Siedepuncts erhitzt, haben 0, 81 Pf. Eis geschmolzen, man hat also $m = 5{,}5$; $w = 0{,}81$; $t = 100$, $T = 75$; mithin die specifische Wärme $c = \frac{75 \times 0{,}81}{100 \times 5{,}5} = \frac{3 \times 0{,}81}{4 \times 5{,}5} = 0{,}1105$.

Ist der zu prüfende Stoff tropfbar flüssig, so schliefst man ihm in ein Gefäfs ein, dessen specifische Wärme bereits durch Versuche oder Rechnung bestimmt worden ist. Es seyen c', w', m', t' die obigen Gröfsen für dieses Gefäfs, so ist $c' = \frac{75\,w'}{m'\,t'}$, und $w' = \frac{c'\,m'\,t'}{75}$. Bezeichnet man durch U das Resultat der ganzen Schmelzung, so ist derjenige Theil, welcher dem flüfsigen Körper zuzuschreiben ist $= w = \left(U - \frac{c'\,m'\,t'}{75}\right) : m\,t$, also die gesuchte specifische Wärme $c = \frac{75}{m\,t}\left(U - \frac{c'\,m'\,t'}{75}\right) = \frac{75\,U}{m\,t} - \frac{c'\,m'}{m}$, in-

dem die Temperatur des Gefäſses derjenigen der eingeschlossenen Flüssigkeit gleich gesetzt wird.

Beispiel. 4 Pfund Salpetersäure wurden in einem gläsernen Kolben von 0,531 Pf. Gewicht bis zu 100° C. erhitzt, und schmolzen nach einer zwanzigstündigen Abkühlung im Calorimeter 3,664 Pf. Eis. Die specifische Wärme des Glases ist 0,1929. Man hat also hier $U = 3,664$; $m = 4$, $t = 100$, $c' = 0,1929$ $m' = 0,531$, mithin $c = \frac{75 \times 3,664}{4 \times 100} - \frac{0,1929 \times 0,531}{4} =$ $0,68701 - 0,02562 = 0,66139$.

Beim Gebrauch des Calorimeters ist folgendes zu bemerken. 1. Das Eis, mit welchem die Zwischenräume gefüllt werden, muſs ja nicht kälter als 0° seyn. Man thut daher wohl, es vor der Anwendung etwa eine Viertelstunde lang ins Wasser zu tauchen. 2. Es muſs so stark befeuchtet seyn, daſs dasjenige Wasser, welches ein Product der Schmelzung ist, nicht von demselben eingeschluckt werde, sondern sogleich ablaufe. 3. Es darf nicht aus allzukleinen Stücken bestehen, weil diese durch die Wirkung der Capillarität das Wasser zurückhalten könnten. Eben deswegen ist auch der Schnee unbrauchbar. 4. Die Eisstücke dürfen jedoch auch nicht zu groſs seyn, um nicht freie Zwischenräume darzubieten, durch welche die Wärme hindurchstrahlen könnte. Einige rathen an, ihnen die Gröſse einer Nuſs zu geben. Auf jeden Fall wird, da die Gröſse der Stücke, mithin die dem anhängenden Wasser dargebotene Oberfläche immer kleiner wird, etwas mehr Wasser ablaufen, als was das bloſse Product der Schmelzung ist. 5. Die Temperatur des Zimmers, in in welchem operirt wird, darf niemals unter 0° seyn; sie darf aber auch nicht mehr als einige Grade über 0° ansteigen, damit nicht die Wärme, welche durch die unvollkommene Verschliessung der Deckel eindringen könnte, das Resultat störe.

Man entgeht einem groſsen Theile dieser Schwierigkeiten, wenn man neben dem Calorimeter, in welches der zu prüfende Körper gebracht wird, einen zweiten, diesem in allen Theilen möglichst gleichen Eisapparat hinsetzt, und abwechselnd den erhitzten Körper erst in den einen, dann in den andern legt. Der Unterschied der aus beiden abgelaufenen Wassermengen giebt

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

möglichst nahe das reine Resultat der beabsichtigten Schmelzung. Es versteht sich, dafs kein Wasser ablaufen, mithin keiner der Hähne geöffnet werden darf, bis der ganze Versuch, welcher meistens mehrere Stunden dauert, beendigt ist. Eben so ist bei Bestimmung der Temperatur des eingeschlossenen Körpers der Wärmeverlust zu berücksichtigen, welchen derselbe beim Uebertragen ins Calorimeter erleidet. Auch ist zu bemerken, dafs die aus solchen Versuchen abgeleiteten Resultate über die specifische Wärme verschiedener Stoffe[1] nur innerhalb derjenigen Gränzen als richtig anzusehen sind, in welchen jene angestellt wurden (zwischen dem Eis- und Siedepuncte des Wassers), und dafs bei höhern Wärmegraden die Fähigkeit der Körper, Wärme in sich aufzunehmen, wegen Aenderung ihres Aggregatzustandes nicht dieselbe seyn könne.

Das Calorimeter dient nicht nur, die specifische Wärme fester oder flüssiger Körper zu bestimmen, sondern auch die relative Wärme anzugeben, die sich bei der Vermischung verschiedener Flüssigkeiten, bei dem Respirations- und Verbrennungsprocefs und dgl. entwickelt. Für diesen letztern Zweck, namentlich auch für die Bestimmung der specifischen Wärme der Gasarten wird eine umgebogene Röhre in das Innere des Calorimeters hineingeführt. Ungleich bequemer aber ist hierzu das von Rumford vorgeschlagene Calorimeter, bei welchem ein bestimmtes Gewicht Wasser durch den zu prüfenden Körper erwärmt wird.

Das Wassercalorimeter. AA ist ein Kästchen aus dünnem Kupfer, oder aus Weifsblech von 8 Zoll Länge, 4,5 Zoll Breite und eben so viel Höhe. In demselben befinden sich drei kreisförmige Oeffnungen in B, C und D, in welche cylindrische Röhren eingelöthet sind. Die erstere, im Mittelpuncte des Dekkels dient, um das Kästchen mit Wasser zu füllen, und wird mit einem Korkstöpsel verschlossen; in die zweite engere Oeffnung bei C, wird durch einen durchbohrten Kork ein cylindrisches Thermometer gesteckt; die dritte bei D empfängt die Einmündung der Kühlschlange s s, welche das Wesen dieses Apparats ausmacht; diese ist von sehr dünnem Bleche, ihr Querschnitt ist nicht kreisförmig, sondern bildet ein Rectangel von Fig. 3.

1 Vergl. *Wärme, specifische.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$\frac{1}{2}$ Zoll Höhe und $1\frac{1}{2}$ Zoll Grundlinie am Eingang, und 1 Zoll am Ende der Schlange. Sie macht in horizontaler Ebene mit halbkreisförmiger Wendung drei Gänge durch das Kästchen, und steht vom untern Boden überall zwei Linien weit ab.

Bei D ist sie mit einem Cylinder e von 1 Zoll Durchmesser und 1 Zoll Länge verbunden, in welchen der umgekehrte Trichter f hineingesteckt wird, bestimmt, die Wärme verbrannter Stoffe aufzufangen. Das Kästchen A A ist an seinem Rande in einen hölzernen Rahmen m m eingelassen, der auf vier dünnen Füfsen steht, um jeden Abzug von Wärme durch Berührung so viel als möglich zu verhindern.

Das Gefäfs des bei C eingesteckten Thermometers ist ein Cylinder von dünnem Glase, zwey Linien weit, und 4 Zolle hoch, so dafs er die Temperatur der verschiedenen Wasserschichten vereint angiebt.

Rumford hatte anfangs zwei solcher Apparate dergestalt mit einander verbunden, dafs das Ende der Kühlröhre des Erstern in die Einmündung derjenigen des zweiten Recipienten übertrat. Ein Versuch, den er über die beim Verbrennen eines Wachslichtes entwickelte Wärme anstellte, bei welcher das Wasser der Hülfrecipienten um keinen vollen Grad erwärmt wurde, während dem die Temperatur des Hauptgefäfses von 10° R. bis auf 32° R. sich erhob, bewog den Erfinder, das zweite Gefäfs als unnütz wegzulassen, was um so unbedenklicher geschehen konnte, da er aus andern Gründen sich vorgenommen hatte, die Erwärmung nicht bis auf diese Höhe steigen zu lassen. Es trat nehmlich bei diesem Calorimeter ein Umstand ein, für welchen bei Lavoisiers Apparat bereits gesorgt war, die Einwirkung der äufsern Luft auf den Recipienten, und Wärmestrahlung seiner Oberfläche. Rumford half diesem auf eine Art ab, die eines so gewandten Experimentators würdig ist und die ihn zu dem Ausspruch berechtigte, dafs bei solchen Untersuchungen es besser sey, den Fehlern der Methode entweder ganz auszuweichen, oder sie durch ein entgegengesetzes Verfahren zu compensiren, als auf ihre Berechnung zu bauen. Er erkältete nämlich das Wasser des Recipienten, und somit auch seine Wände selbst *unter* die Temperatur der umgebenden Luft, und endigte den Versuch, wenn die Wärme des Wassers die Temperatur der Luft um eben so viel Grade überstieg, als

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sie zu Anfang unter derselben gewesen war. So wurde in der zweiten Hälfte der Versuche das Calorimeter durch die Luft um eben so viel erkältet, als es in der ersten erwärmt worden war.

Die Wände des Calorimeters nehmen die Temperatur des eingeschlossenen Wassers an, mithin wird ein Theil der Wärme, durch welche die Temperatur des Letzern erhöht wird, auch auf jene verwendet. Man kann dafür leicht Rechnung tragen, indem man die Wassermenge sucht, welche der Masse des Instruments und seiner specifischen Wärme entspricht. Diese Quantität ist gleich dem Gewicht des Calorimeters, multiplicirt mit der specifishen Wärme des Stoffes, aus welchem es verfertigt ist, dividirt durch die specifische Wärme des Wassers. Wäre z. B. das Gewicht des Kästchens von Eisenblech 400 Grammen, so ist die specifische Wärme dieser Substanz nach Lavoisier $= 0,11$, diejenige des Wassers gleich 1 gesetzt, mithin müfste bei Berechnung der Versuche die Wassermenge des Calorimeters noch um die constante Gröfse von $400 \times 0,11$ d. i. um 44 Grammes vergröfsert werden.

Die Angaben dieser Calorimeter lassen sich leicht auf diejenigen des vorhin beschrieben Eisapparats reduciren, wenn man die von verbrennlichen Stoffen bewirkte Erwärmung des Wassers mit der Wärme vergleicht, die erfordert wird, um ein Quantum Eis vom nämlichen Gewicht zu schmelzen. Diese beträgt drei Viertheile unsrer Thermometerscale. Die Wassermasse im Calorimeter mufs also mit ihrer Erwärmung eben so viel ausmachen, als ein zu suchendes Quantum Wasser, das 75° warm wäre; oder, wenn t die beobachtete Erwärmung nach 100 theiligen Graden, C den Wasserinhalt des Calorimeters nach Grammen oder Pfunden, E das Quantum geschmolzenen Eises, (oder Wassers von 75° Wärme) nach dem nämlichen Gewicht, wie das Calorimeter bezeichnet, so mufs $C \times t$ gleich $E \times 75$ seyn. Es folgt hieraus $E = \frac{C \times t}{75}$, und wenn die Temperatur des Wassers nach Réaumür-Graden bestimmt wurde, $E = \frac{C \times t}{60}$. Richtet man das Volumen des Calorimeters so ein, das sein Wassergehalt mit Einschlufs desjenigen Quantum, welches der specifischen Wärme des Gefäfses entspricht, in einer Gewichtegattung durch eine Zahl ausge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

drückt werde, welche zu 60 oder 75 ein einfaches Verhältnifs hat, so wird die Rechnung noch einfacher. Wäre z. B. das Gewicht der Wassermasse des ganzen Instruments = 6000 Grammen, so wäre bei dem Gebrauch des Réaumürschen Thermometers $\frac{C}{60} = 100$ und so würde das hundertfache der beobachteten Erwärmung die Menge von Eis ausdrücken, welche durch die, bei dem Versuch angewendete Substanz in eben der Zeit geschmolzen worden wäre. Da die beim Versuch aufgewandte Substanz nach dem nämlichen Gewichte angegeben wird, so mufs der gefundene Werth von E noch durch das Gewicht derselben dividirt werden, um diejenige Menge Gewichtstheile Eises zu erhalten, welche Ein Gewichtstheil dieser Substanz zu schmelzen vermag. Setzt man das gebrauchte Gewicht der Substanz = A, so wird endlich $E = \frac{C \times t,}{75\ A}$ oder wenn das Gewicht des Wassers dividirt durch 60 oder 75 einen constanten Werth = M ausmacht $E = \frac{M\ t}{A}$.

Beispiel. Versuch mit weifsem Wachs.[1] Temperatur des Zimmers = 61° F. = 12°, 87 R. Temperatur der 2781 Grammen Wasser, womit das Calorimeter angefüllt wurde, einschliefslich der der specifischen Wärme des Instruments entsprechenden Wassermenge = 56° F. = 10°,67 R. Ein Wachslicht, das unter der Mündung des Kühlrohres stand, wurde angesteckt, und als das Thermometer des Instruments genau 66° F. = 15°,11 R. erreicht hatte, also um 10° F = 4°,44 R. gestiegen war, ausgelöscht. Darüber waren 13′ 26″ hingegangen, und das Wachslicht hatte 1,63 Grammen an Gewicht verloren. Es ist also hier C = 2781, t = 4,44; A = 1,63; also M = 46,35; $\frac{t}{A} = 2,726$; und E = 126,36 d. i. die Hitze, die aus einem Gewichtstheil Wachs erzeugt wird, ist vermögend 126, 4 gleicher Gewichtstheile Eis zu schmelzen, also 1 Pf. Wachslichter 126 Pfunde Eis.

Auf eben den Grundsätzen beruhte das Calorimeter, dessen sich zwei französische Physiker Laroche und Berard bedien-

---

[1] Rumford bei G. XLIV. 12.

ten, um die specifische Wärme der Gasarten auszumitteln. Es bestand aus einem Cylinder von dünnem Kupferblech, $5\frac{1}{2}$ Zoll hoch, und 3 Zoll im Durchmesser, in welchem eine spiralförmig gewundene Kühlröhre, deren ganze Länge bis auf 3 Fufs gehen mochte, sich hinaufwand. Das Thermometer hatte einen Cylinder von der Höhe des Gefäfses, und war so empfindlich, dafs es 0,02 eines Grades angab. Um mit einem mäfsigen Quantum Gas einen anhaltenden Strom durch das Calorimeter zu leiten, bediente man sich zweier Gasometer, aus deren einem abwechselnd die Luft in das andere getrieben wurde. Bevor sie durch das Calorimeter ging, mufste sie eine Röhre von mehr als 3 Fufs Länge durchwandern, die mit einer zweiten, weitern Röhre umgeben war, durch welche beständig heifser Wasserdampf strömte. Um die Operation zu beschleunigen, wurde das Calorimeter, dessen Inhalt mit Inbegriff der metallenen Hülle einer Wassermasse von 596,8 Grammen gleich war, vorher durch eine Weingeistlampe nahe bis zu derjenigen Temperatur erwärmt, welche die Wirkung des Gases demselben im Maximum zu ertheilen vermochte. Alsdann beobachtete man die Zunahme der Erwärmung von 10 zu 10 Minuten. Da aber diese in der Nähe des Maximums noch zu langsam vor sich ging, so würde, wenn das Thermometer noch um einige Zehntel gerade unter der stationären Höhe war, die Temperatur des Calorimeters durch Annäherung eines erhitzten Körpers ein wenig über das Maximum hinaufgebracht, und nachher der Gang der allmäligen Erkältung des Instruments alle 10 Minuten notirt, und der Versuch geschlossen, wenn die Langsamkeit der Aenderung des Thermometers zeigte, dafs man der stationären Höhe in absteigender Richtung eben so nahe war, als vorher in aufsteigender. Die Erwärmung mochte ungefähr 16 bis 20 hunderttheilige Grade betragen, während dem das Gas etwa 70 Grade verlor. Für andere zufällige Quellen der Wärme, z. B. die Mittheilung durch die Leitungsröhren wurde sorgfältig Rechnung getragen, und eben so für die äufsere Erkältung des Apparats [1].

---

1 J. de Ph. LXXVI. 155. Von ähnlicher Beschaffenheit ist der Apparat, vermittelst dessen Despretz die latente Wärme der Dämpfe mafs. Vergl. *Dampf, latente Wärme desselben.*

Die Einfachheit und Bequemlichkeit des *Wassercalorimeters* bewog seinen ersten Erfinder, dasselbe auch auf die Prüfung tropfbar flüssiger Stoffe anzuwenden. Er gebrauchte statt des Kühlrohres ein kleines Fläschchen aus dünnem Kupferblech, welches, mit der zu prüfenden Substanz gefüllt, in das Wasser des Calorimeters getaucht wurde. Rumford hatte ihm zur Vergröſserung der Oberfläche die Form eines doppelten Kreuzes gegeben, es wog nur 76 Grammen; und seine specifische Wärme war der von 8,36 Gr. Wasser gleich. Es wurde durch einen langen Kork verschlossen, der zugleich als Handhabe diente, um beim Eintauchen desselben die Hand vom Wasser hinreichend entfernt zu halten. Das Wassergefäſs ebenfalls aus Kupferblech, war ein offener Cylinder von 2 Zoll Durchmesser, und $4\frac{3}{4}$ Höhe, nur 74,65 Grammen an Gewicht, und mit Einschluſs seines Thermometers an specifischer Wärme 24,3 Grammen Wasser gleich. Es stand in einem gröſsern Cylinder, und der Zwischenraum zwischen beiden war mit Eiderdunen ausgefüllt, um den Wärmeverlust durch Ausstrahlung zu hindern. Das Fläschchen mit der Flüssigkeit wurde nun eine geraume Zeit in einen groſsen Eimer Wasser getaucht, dessen Wärme von derjenigen des Zimmers wenig verschieden war, und nachher so schnell als möglich in den Cylinder übergetragen. Den Gang der Rechnung zeigt folgender *Versuch mit gereinigtem Rübsamenöl.* Wassermasse im Cylinder = 180 Gram. bei 15, 28 C. Wärme. Temperatur des Wassers im Eimer 6°, 94 C. Masse des Oels im Fläschchen = 82, 55 Gram. von eben der Temperatur. Nach 3 bis 4 Minuten fiel das Thermometer im Cylinder auf 13°, 75 C. blieb da eine geraume Zeit stehen, und fing dann wieder an zu steigen. Das Wasser im Cylinder war also um 1°, 53 C. erkältet, das Oel im Fläschchen um 6°, 81 C. erwärmt worden.

Man hat nun 180 + 24,3 Gram. = 204,3 Gr. Wasser multiplicirt mit 1°,52 C. Erkältung = 312,58 Gram. Wasser von 1° C. Wärme. Das Oelfläschchen hatte folglich durch das Eintauchen sich so viel Wärme angeeignet, als nöthig ist, um 312, 58 Gram. Wasser um 1° zu erwärmen. Dagegen hatte seine eigene Temperatur um 6°, 81 C zugenommen. Um die Erwärmung des Oels besonders zu haben, muſs man die Erwärmung des leeren Fläschchens, dessen specifische Wärme mit den vom Ein-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tauchen ihm anhängenden Wasser auf 9, 4 Gr. Wasser zu schätzen ist, aus dem Resultat ausscheiden. Sie beträgt 9, 4 × 6,81 = 64, 01 Gr. Wasser von 1° C, Wärme. Man hat also 312,58 — 64, 01 = 248,57 Gram. Wasser von 1° C Wärme, welche die Temperatur von 82, 55 Grammen Oel um 6°, 81 C erhöht haben. Jene 248, 57 Grammen Wasser von 1° C, sind aber gleich 36, 5 Gram. Wasser von 6°, 81 Wärme. Da nun bei gleicher Temperatur die specifischen Wärmen sich umgekehrt wie die Massen verhalten, so hat man für die specifische Wärme des Oels 82, 55 : 36, 5 = 1 : 0,442. Andere Versuche gaben sie 0, 452.

Bei einer Darstellung der verschiedenen Bemühungen, die specifische Wärme der Körper zu bestimmen, dürfte es nicht am unrechten Orte seyn, auch einer Methode zu erwähnen, die, wenn sie auch nicht ein eigentliches calorimetrisches Werkzeug darbietet, doch nicht minder genaue Angaben über die specifische Wärme geliefert hat. Das Element der Vergleichung ist hier nicht die *Wärme* selbst, welche der zu prüfende Körper dem umgebenden Fluidum abgiebt oder entzieht, sondern es ist die *Zeit*, in welcher der Wärmeumtausch vor sich geht. Die erste Idee dieser Methode verdanken wir dem Prof. Mayer in Göttingen, welcher fand, dafs die Geschwindigkeiten, mit welchen verschiedene Stoffe unter gleichen äufsern Umständen sich erkälten, ihren specifischen Wärmen proportional seyen. Die Versuche von Leslie, Boeckmann, und die von Dülong und Petit haben seither ihre Zweckmäfsigkeit ganz aufser Zweifel gesetzt. Sie ist jedoch hauptsächlich zwei Schwierigkeiten unterworfen: nämlich erstens, der Ungleichheit des Wärmeverlustes, die durch das verschiedene Ausstrahlungsvermögen der Oberfläche entsteht, und zweitens, der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher der Wärmezufluſs aus dem Innern des Körpers an seine Oberfläche, je nach seinem Leitungsvermögen, vor sich geht. Die beiden letztern Physiker verwahrten sich gegen diese Fehler dadurch, dafs sie erstlich alle festen Substanzen in pulverisirtem Zustand in einen sehr *kleinen* Cylinder von dünnem Silberblech einschlossen, der ein empfindliches Thermometer enthielt; dafs sie zweitens die Stoffe höchstens 10 Grade über die Temperatur der Atmosphäre er-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wärmten, und drittens, dafs sie die Erkältung nicht in der freien Luft sondern in einem inwendig geschwärzten, rings-um mit schmelzendem Eise umgebenen Behälter vor sich gehen liefsen, in welchem die Luft bis auf die Spannung von ein Paar Millimeter verdünnt worden war. Dadurch wurde der Gang der Erkältung so langsam, dafs nicht nur die Einwirkung der verschiedenen Leitungsfähigkeit beseitigt, sondern auch bei der Feinheit des Thermometers, das halbe Hundertheile eines Grades erkennen liefs, die Momente der verschiedenen Erkältungsgrade mit grofser Genauigkeit sich angeben liefsen.

Das Rumfordsche Calorimeter, das, wie Biot bemerkt, eine vervollkommnete Anwendung der Theorie der Mischungen ist, läfst sich auch nach dem Obigen mit Nutzen zur Bestimmung des Wärmegrades erwärmter Körper gebrauchen. Wenn man z. B. in ein Gefäfs mit Wasser ein erhitztes Stück Metall legt, so wird es dem Wasser so viel Wärme mittheilen, als dieses nach seiner Masse und seiner Wärme-Capacität aufzunehmen fähig ist; dergestalt, dafs wenn t die Temperatur des erhitzten Körpers, m seine Masse, und c seine specifische Wärme bedeutet, T, M und C ebendieses für das Wasser bezeichnen, $t.\ m.\ c = T.\ M.\ C$; woraus sich die Temperatur $t = \frac{T\,M\,C}{m\,c}$ ergiebt.

Beispiel. Ein Kilogramm Eisen beinahe bis zur Schmelzhitze erwärmt, wurde in 9,615 Kilogrammen Wasser abgekühlt, und die Temperatur des Letztern dadurch um 20 hunderttheilige Grade gehoben. Könnte man annehmen, dafs die specifische Wärme des Eisens bei allen Temperaturen die nämliche sey, so hätte man $c = 0,11$; $C = 1$; $m = 1$; $M = 9,615$; $T = 20$; mithin $t = \frac{20 \times 9,615}{0,11} = 1749$ hunderttheilige Grade, für die Temperatur des Eisens nahe an der Schmelzhitze. Ueberhaupt ist das Calorimeter zur Schätzung von Wärmeentwickelungen jeder Art, die durch Verbrennen, Athmen, Mischung flüfsiger Stoffe vor sich gehen, ein sehr brauchbares Werkzeug. Die wichtige Rolle, welche die Lehre der specifischen Wärme in der Erforschung der innern Beschaffenheit der Körper spielt, erhebt dasselbe in den Rang derjeni-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gen Instrumente, welche der Physik die wesentlichsten Dienste geleistet haben [1].

Gas-Calorimeter, nannte Tilloch einen Wärmemesser, ein Thermoskop, vermittelst dessen er die Wärme messen will, welche durch Verdichtung der Luft frei, und durch Verdünnung derselben gebunden wird. Die thermoskopische Substanz ist eine gefärbte Flüssigkeit in einem hohlen metallenen Gefäfse, welches ein anderes, gleichgeformtes, etwas kleineres umschliefst. Im letzteren wird die Luft durch Quecksilber zusammengedrückt, und theilt die entbundene Wärme der Flüssigkeit im erstern mit, deren Ausdehnung durch das Aufsteigen in eine Thermometerröhre gemessen wird. Indem in den Apparat nur mit Mühe, oder überhaupt nicht verschiedene Gasarten gebracht werden können, derselbe ohnehin für feine Temperatur-Unterschiede zu voluminös und im Allgemeinen zu sehr zusammengesetzt ist, so erfüllt er hienach die Erfordernisse eines zweckmässigen physikalischen Apparats keineswegs, und verdient daher keine weitere Beachtung [2].

Der Name *Calorimeter* bezeichnet nicht nur die erwähnten Werkzeuge zur Bestimmung des Wärmegehaltes verschiedener Körper, sondern ist auch einem Instrumente zu Theil geworden, das mehr für ökonomische, als für wissenschaftliche Zwecke bestimmt ist. Es wurde von Montgolfier angegeben, um die Hitze zu bestimmen, welche verschiedene Brennstoffe in einer gewissen Zeit hervorbringen. In einem Cylinder von Kupfer oder Holz befindet sich eine Art Ofen, in Gestalt eines an beiden Enden abgestumpften Doppelconus, in dessen mittlerer Grundfläche ein Rost für die Aufnahme des

---

1 Man sehe hierüber: In Biots Lehrbüchern der Physik das Capitel von Calorique latent, im Dictionnaire technologique den Artikel Chaleur von Clément, die oben erwähnte Abhandlung Rumfords in Gilberts Annalen. XLIV. 1. XLV. 1. die von Petit und Dulong in den Annales de Chim. X. pag. 395, und von Laroche und Berard, im Journal de Physique 1813. Tom 76. pag. 155. Leslie's Experimental Inquiry into the nature und propagation of heat. London. 1804. I. T. Mayer über die Modification des Wärmestoffs. Boeckmann, Versuch über die Wärmeleitung verschiedener Körper. 1812.

2 Phil. Mag. VIII. 216 Vergl. Scherers J. VII. 433.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Brennstoffes liegt. Die untere Oeffnung dieses Conus tritt durch den Boden des mit Wasser angefüllten Cylinders hinaus, um dem Ofen frische Luft zuzuführen; die obere endigt sich in ein rechtwinklicht umgebogenes horizontal fortlaufendes Rauchrohr, welches zur vollständigen Benutzung der Wärme noch mit einem weitern Rohre umgeben ist, das, mit Wasser angefüllt, mit dem Wasser des Cylinders in Verbindung steht. So ist also der Ofen ganz mit Wasser umgeben, und alle in demselben entwickelte Wärme wird auf die Erhitzung des Letztern verwendet. Nachdem man durch ein am obern Ende des Conus angebrachtes verticales Rohr, das nach Volumen oder Gewicht bestimmte Brennmaterial hineingeworfen und angezündet hat, braucht man nur den Moment abzuwarten, da das Wasser ins Kochen geräth. Das Feuer wird nun sogleich ausgelöscht, und die Quantität des verbrauchten Brennstoffes bestimmt. Sobald der Apparat wieder auf die vorige Temperatur heruntergekommen ist, kann zu einem zweiten vergleichenden Versuche mit einem andern Brennmaterial geschritten werden.

Gegen diese Einrichtung hat der königl. Fabrik-Commissär May in Berlin verschiedene Einwendungen gemacht, die hauptsächlich in folgendem bestehen:

1. Da der Cylinder oben ganz verschlossen, auch kein in das Wasser reichendes Thermometer angebracht ist, so hält es schwer, den Moment, wo das Kochen eintritt, wahrzunehmen. Das Herauslassen von Wasser aus dem oben angebrachten Hahn, und die Prüfung desselben mit dem Thermometer (nach des Erfinders Vorschrift) ist zu weitläufig und ungewifs.

2. Die gänzliche Umschliefsung des Ofens vom Wasser macht es unmöglich, das Brennmaterial ordentlich einzulegen, oder überhaupt sich zu überzeugen, dafs es gut brenne, auch kann, da keine Schieber zur Abschliefsung des Luftzuges angebracht sind, das Feuer nicht schnell genug gelöscht werden.

3. Läfst sich aus dem unverbrannten Rest des Brennstoffes die Quantität des Verbrauchten nicht mit Sicherheit bestimmen, weil der Rückstand wegen gänzlich veränderter Beschaffenheit keine Vergleichung mit dem rohen Material gestattet.

Nur durch gänzliche Verzehrung des Brennstoffes läfst sich,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nach des Verfassers Ansicht, die einem gewissen Quantum zukommende Wärme-Entwickelung bestimmen. Das beste Mittel, sie zu messen, bietet die durch die Siedhitze beschleunigte Verdünstung des Wassers dar; um diese mit Genauigkeit zu bestimmen, giebt May seinem *Brennkraftmesser* folgende Einrichtung:

AA ist der cylindrische Wasserbehälter von Kupferblech, oben offen, unten bei d d umschliefst er wasserdicht den Ofen B, dessen unterer Theil b b d d cylindrisch ist. Bei t ist daselbst eine kleine Thüre mit einem Schieber angebracht, um nach dem Feuer sehen zu können, das auf dem Roste b b liegt. Der Trichter a a ist bestimmt, die Asche in ein untergesetztes Gefäfs abzuleiten. Aus B geht der Rauch durch das spiralformig gewundene Zugrohr r r, und entweicht nach erfolgter Abkühlung durch das senkrechte Rohr p. Die Kappe q kann zur Reinigung des Rohres weggenommen werden. Seitwärts am Wasserbehälter befindet sich, in Verbindung mit demselben, die aufrechte Röhre f, die oben bei l in einen Cylinder von 2 bis 3 Zoll Durchmesser sich erweitert, der nöthigen Falls von Glas seyn kann, und mit einer Scale versehen ist. Bei o wird die Röhre f durch eine Klappe verschlossen, welche vermittelst des Wagebalkens i k durch den hohlen, kupfernen Schwimmer s, (von cylindrischer oder sphärischer Form) geöffnet werden kann. Durch den Hahn h wird das Wasser des Behälters AA abgelassen. Nachdem der Behälter mit Wasser so weit angefüllt ist, dafs die Röhre r r davon bedeckt ist, wird die vollständige Füllung durch den Cylinder l bewerkstelligt: so wie das Wasser so weit angestiegen ist, dafs es den Schwimmer s zu heben vermag, schliefst sich die Klappe o; und öffnet sich nur, wenn durch Verdünstung des Wassers der Schwimmer gesenkt wird. Hat man beim Anzünden des Brennmaterials, und nach völliger Verzehrung desselben, den Stand des Wassers im Gefäfse l genau notirt, so erhält man das Quantum der Verdunstung, mithin auch nach Anbringung der nöthigen Correctionen für dasjenige, was in der gegebenen Zeit auch ohne Erwärmung verdunstet wäre, für die Einwirkung des Feuchtigkeitszustandes der Luft, für barometrischen Druck und Luftzug und Radiation des Gefäfses das relative Resultat der Wirkung des angewendeten Brennstoffes. Doch möchte es bei Versuchen dieser Art meistens zulässig seyn, Fig. 4.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mit Beseitigung dieser Kleinigkeiten nur die Menge des verdunsteten Wassers durch das Product aus Brennmaterial und Zeit zu dividiren. Beim Versuche hat der Beobachter folgendes in Acht zu nehmen: 1. den kubischen Inhalt des zu verwendenden Brennmaterials, und auch sein Gewicht zu bestimmen; 2. zu bemerken, ob es mit, oder ohne Flamme brenne, auch ob es viel oder wenig Kohlen oder Rufs gebe; 3. die Zeit, die bis zum Sieden verfliefst, zu bestimmen; 4. die Menge des verdampften Wassers; 5. die dazu verwendete Zeit; 6. die Quantität der zurückgebliebenen Asche und Kohlen; 7. den Stand des Barometers; 8. den Stand des Thermometers. Da bei der Kleinheit des Ofens nur wenig auf einmal verbrannt werden kann, so mufs fleifsig nachgeworfen werden, damit der Ofen immer gleich gefüllt bleibe [1].

H.

Camera lucida.

Chambre claire; *Camera lucida.* Ein sehr sinnreiches, und bequemes optisches Instrument, das wie die Camera obscura zum Abzeichnen der Gegenstände nach der Natur dient, aber von dieser gerade dadurch wesentlich sich unterscheidet, dafs kein eingeschlossener Raum, keine Camera dabei ist. Es wurde im Jahr 1809 von Dr. Wollaston erfunden und mit dem erwähnten Namen bezeichnet [2]. Seine Einrichtung beruht auf folgendem: Wenn man vor einem Tische stehend durch eine Glastafel, die um 45° gegen den Horizont geneigt ist, auf ein, auf dem Tische liegendes Papier sieht, so wird man das Bild der vorliegenden Gegenstände mit dem Papier und einer hingehaltenen Bleifeder vereint erblicken, so dafs man mit dieser alle

---

1 Siehe über Montgolfiers Calorimeter das Journ. des Mines Vol. XIX. pag. 67. Gilb. Ann. Bd. 35. pag. 484. und Gehlens Journ. f. Chem. und Physik. Band II. pag. 717. 1806. Eine Beschreibung des von May vorgeschlagenen Brennkraftmessers giebt Hermbstädt in seinem Archiv d. Agriculturchemie. 3 Bd. pag. 231. und in seinem Bulletin des Wissenswdgsten. etc. Band V. pag. 193.

2 Schon früher hat Dr. Hooke eine aufser Gebrauch gekommene camera lucida angegeben, eine Vorrichtung, um helle Bilder von Gegenständen bei Tage oder bei Nacht auf einer Wand darzustellen. S. Phil. Trans. N. 38. p. 741.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

scheinbaren Umrisse nachzeichnen kann. Allein die umgekehrte Lage des Bildes ist der deutlichen Auffassung hinderlich, und jede Verrückung des Auges mufs die Umrisse auf eine andere Stelle des Papiers bringen. Beiden Mängeln hat Wollaston auf eine äufserst glückliche Weise abgeholfen. Indem er das Bild zweimal reflectiren liefs, erschien es wieder in aufrechter Stellung, und der Winkel von 45°, unter welchen die spiegelnde Ebene a b geneigt war, wurde nun auf die zwei kleinern Spiegelflächen a c und b c vertheilt, und in einer Deckplatte d d über der Kante a ein kleines Loch zum Durchsehen angebracht, wodurch auch die unverrückte Stellung des Auges gesichert wurde. Die ganze Landschaft ist nun auf die Fläche a e zusammengedrängt, und ihre Projection nimmt nur die Breite eines schmalen Streifens = f c ein. Bei durchsichtigen Glasflächen ist die Spiegelung schwach, und wegen der gedoppelten Bilder leicht undeutlich: man müfste also metallene Spiegel gebrauchen; da aber diese undurchsichtig sind, so mufs man die Oeffnung im Deckel so verschieben, dafs, wenn das Auge in der Richtung O e steht, die Oeffnung der Pupille durch die Kante a halbirt wird. Dadurch empfängt das Auge zugleich sowohl die Strahlen, die vom Bilde auf a e als auch die, welche von der unterliegenden Papierfläche direct ihm zugesendet werden. Die Bilder beider Gegenstände vermischen sich im Densorium, und so kann der Beobachter die Umrisse des Gegenstandes mit der Bleifeder deutlich und genau verfolgen. Statt der Metallspiegel gebrauchte Wollaston ein gläsernes Prisma a b c e, dessen Flächen die Strahlen m n, n o, o p, welche unter einem Winkel von 22 bis 23 Graden auffallen, nicht mehr durchlassen, sondern ohne Lichtverlust reflectiren. Das Ganze kann wegen der Nähe des Auges äufserst eng zusammengefafst werden, so dafs ein Prisma, dessen Flächen nur 3 Linien Breite haben, seinem Zwecke vollkommen genügt. Die Entfernung des Prisma von der Papierfläche hängt von der Grösse ab, in welcher man das Bild entwerfen will; sie sollte jedoch nicht über $1\frac{1}{2}$ Fufs, und nicht unter $\frac{1}{2}$ Fufs betragen: die erstere Distanz wird durch die Länge des Armes bedingt, welcher der freien Bewegung wegen, nicht ganz ausgestreckt seyn darf, wobei wegen der vorgeneigten Lage des Kopfes das Auge in die Höhe der Schulter zu stehen kommt; der letztere

Fig. 5.

Fig. 6.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Abstand liefert allzukleine Bilder, bei welchen die Umrisse nicht mit der nöthigen Schärfe gegeben werden können. Kurzsichtige müssen vorne, am Prisma bei v ein für ihr Auge passendes Concavglas anbringen; weitsichtige ein convexes unterhalb desselben, bei x, um die Spitze der Bleifeder deutlich zu erkennen. Die Art, wie beide Gläser am Prisma angebracht sind, ist aus Fig. 7 zu ersehen. Die Deckplatte hat rechts einen über das Prisma hinausragenden Stiel, mit welchem sie um das Schräubchen x als Axe gedreht werden kann. Sie ist der eigentliche Regulator dieser kleinen Maschine. Durch einen leichten Anstofs mit dem Finger wird die Oeffnung verschoben, dafs, je nach Bedürfnifs mehr Strahlen vom Bilde in's Prisma, oder mehr vom Papier in's Auge gelangen. Der Arm, an welchem das Prisma festgemacht ist, steckt in einer cylindrischen Röhre von etwa 10 Zoll Länge, und dient als Verlängerung desselben. Als Fufsstück dient ein Klotz Messing, in welchem die Röhre eine Zapfenbewegung hat, um ihr die erforderliche Neigung geben zu können.

Fig. 7.

Statt des Klotzes pflegte man auch eine etwas plump ausgefertigte messingene Schraubzwinge zu gebrauchen, mit welcher das Instrument an einen Tisch oder an ein Bret angeschraubt werden kann.

Die Camera lucida ist für die Liebhaber der Landschaftzeichnung ein ungemein brauchbares Hülfsmittel. Sie dient auch dem geübtern Künstler zur schnellern Anordnung und Eintheilung seiner Bilder, und ist namentlich zur schnellen Entwerfung von Panoramen (Rundansichten) äufserst bequem. Besonders wichtig ist sie für die Darstellung von Architecturgegenständen, indem sie alle Theile in ihrer gehörigen Verkürzung, gerade so, wie man sie auf eine durchsichtige verticale Tafel zeichnen würde, giebt; eben so treffliche Dienste leistet sie bei Abbildungen von Instrumenten; ein fertiger Zeichner kann sie sogar zur Entwerfung menschlicher Profile gebrauchen. Sie ist überhaupt eine allgemeine Copirmaschine für Zeichnungen. Man braucht das Original nur in einer geringen Entfernung vom Prisma in guter Beleuchtung aufzuhängen, um jeden Contur wiederzugeben; die Gröfse der Copie hängt von der relativen Entfernung ab, die das Prisma vom Tische und von der Zeich-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nung, die man copiren will, erhält. Doch darf bei allen diesen Anwendungen nicht vergessen werden, dafs das Feld, in welchem die Abbildungen genau ausfallen, ziemlich beschränkt ist, und es hält z. B. schwer, ein Quadrat, oder einen Kreis genau zu copiren. Es gründet sich dieses auf die allgemeinen Regeln der perspectivischen Entwerfung, denen zufolge der Winkel, den die Gränzen eines Bildes im Auge des Beobachters machen, nicht viel über 30 Grade betragen darf, wenn die vom Mittel entferntern Gegenstände nicht verzerrt werden sollen. Im Ganzen nehmen die Bilder, welche die Camera lucida liefert, etwa den Raum eines Quartblattes ein; allein nur ein Viertheil dieses Raumes, der diejenigen Gegenstände abbildet, welchen das Instrument gerade gegenübersteht, bildet sie in gleicher Ausdehnung ab.

Beim Gebrauch hat man vorzüglich darauf zu sehen, dafs man den Kopf hinreichend vorwärts neige, ganz senkrecht hinunter sehe, und das Auge möglichst nahe auf das Prisma halte: auch ist es nicht undienlich, das Prisma dergestalt um seine Axe zu drehen, dafs die Kante a c beinahe in lothrechte Richtung komme, wodurch ihre Entwerfung noch schmaler wird, und die Bilder noch mehr der Kante a genähert werden. Gehörige Verschiebung des Regulator d, für jeden einzelnen Gegenstand, je nach seiner Beleuchtung, hauptsächlich aber fleissige Uebung, machen bald die Schwierigkeiten verschwinden, durch welche mehrere Personen vom Gebrauch dieses nützlichen Instruments abgeschreckt worden sind.

Die Camera lucida läfst sich auch bequem bei Mikroskopen und Teleskopen anbringen, um vergröfserte Gegenstände zu entwerfen. Nur mufs die Röhre des Erstern eine horizontale Lage erhalten. Man kann das Prisma nur mit etwas Wachs an die äufsere Blendung des Oculars kleben, oder überhaupt so befestigen, dafs es um seine Längenaxe sich drehen lasse, und vor dem Ocular auf und nieder geschoben werden könne. Bei Gegenständen, wo die aufrechte Stellung nicht wesentlich ist, kann man auch bequem irgend eine schmale reflectirende Fläche, die unter etwa 45° geneigt ist, gebrauchen; so verfertigte Sömmerring seine Zeichnungen der durchs Microscop vergröfserten Bestandtheile der Augen von Menschen und Thieren mit Hülfe

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

eines wohlpolirten Stahlplättchens, das die Deckplatte der Unruhe einer Taschenuhr gewesen war[1].

Eben so kann man zur vergröſserten Entwerfung einer Landschaft entweder die unter 45° geneigte durchsichtige Glasfläche, oder einen an seiner Kante schräg abgeschnittenen gröſsern oder kleinern Metallspiegel vor das Ocular eines astronomischen, also verkehrt darstellenden, Fernrohrs, z. B. eines Kometensuchers anbringen, wodurch man sowohl an Vergröſserung des Bildes, als auch an Ausdehnung des Gesichtsfeldes gewinnt.

Der durch verschiedene sinnreiche Erfindungen in der praktischen Optik bekannte Profeſsor Amici in Modena hat im Jahr 1816 noch andere Einrichtungen für den nämlichen Endzweck vorgeschlagen. Er verwirft Wollastons Methode, weil viele Personen Schwierigkeiten finden, auf diese Weise die Bleifeder zu sehen, und kehrt zur frühern mit der durchsichtigen Tafel zurück. Sein erster Vorschlag ist ganz übereinstimmend mit der Einrichtung, welche im Jahr 1812 Profes-
Fig. 8. sor Lüdike in Meissen[2] mitgetheilt hat. C D ist ein Metallspiegel, der die aus m ankommenden Strahlen auf die durchsichtige Glastafel A B sendet, von welcher sie in's Auge reflectirt werden, das dann zugleich durch die Glastafel das Papier erblickt. Beide Erfinder suchten das Unangenehme der doppelten Reflection auf der durchsichtigen Tafel zu vermeiden, Lüdike indem er vorschlug, sie möglichst dünn zu machen, Amici indem er ihr eine Dicke von drei Linien gab, und diejenigen Stellen auf der untern Seite, auf denen die schädliche Reflection statt fand, matt schliff. Gesetzt, der Strahl m n werde nach o reflectirt, so wird ein Theil desselben in der Richtung o p in's Auge gehen, während dem der andere nach p, und von da nach r gebrochen wird, um in der Richtung r s in's Auge zu gelangen. Sind die Glasflächen genau parallel, so werden auch die Strahlen o p und r s parallel gehen, und es entsteht keine Undeutlichkeit; ist aber das Glas nur ein wenig prismatisch, so werden die Bilder doppelt; es ist daher rathsam, die hin-

---

1 S. dessen Dissertat. de oculorum hominis animaliumque sectione horizont. Gott. 1818. fol. und G. XLI. 110.

2 G. XLII. 338.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tere Fläche, die oberhalb q doch von keinem Nutzen ist, entweder matt zu machen, oder in der Richtung q r ganz wegzuschneiden. Um einen vollkommenen Parallelismus der Flächen zu erhalten, giebt Amici den Rath, das Glas A B aus zwei flachen Prismen zusammenzusetzen, die dann gehörig gegen einander geneigt werden können.

Eine zweite Combination setzt den Spiegel B D hinter die Glastafel auf die Seite des Beobachters. Die Strahlen aus m gelangen durch das Glas nach n, und durch die zwei folgenden Reflectionen nach o und p. Bei ihrem Durchgang durch die Glastafel erleiden sie einigen, jedoch unbedeutenden, Lichtverlust; dieser aber wird reichlich aufgewogen durch das grofse Gesichtsfeld, das diese Construction mit sich bringt, und durch den Vortheil, wegen des geringen Einfallswinkels bei n, einen Glasspiegel gebrauchen zu können. Fig. 9.

In Amici's dritter Einrichtung wird die Glastafel unter einem Winkel von 45° geneigt, und die Umkehrung des Bildes durch ein rechtwinkliges Prisma bewirkt, an dessen Hypotenusenfläche der Strahl m n in n′ reflectirt wird, und von n″ in gleichlaufender Richtung mit m n ausgeht. Bei dieser Gelegenheit räth Amici ebenfalls, wie Sömmerring that, einen kleinen Metallspiegel von elliptischer Form anzuwenden, der an einem sehr dünnen Stiel befestigt seyn mufs: er ist kleiner, als die Pupille, damit das Auge rings um denselben die directen Strahlen vom Papier erhalte. Fig. 10.

Der Erfinder ist endlich bei einer vierten Art stehen geblieben, die von der ersten sich nur dadurch unterscheidet, dafs statt des Metallspiegels ein Prisma gebraucht wird, in derjenigen Stellung, wie die Figur sie zeigt. Es ist bei dieser Einrichtung hauptsächlich darauf zu sehen, dafs keine Strahlen vom Prisma selbst, aus der Gegend von n″ in's Auge kommen. Diesem sucht Amici durch ein oben angebrachtes Blech zu begegnen, welches durch einen darin befindlichen Einschnitt dem Auge nur bis auf die nöthige Distanz hineinzublicken gestattet. Das letztere Instrument in seiner Fassung mit den dabei nöthigen Convex- und Concav-Gläsern ist aus der Zeichnung kenntlich. Fig. 11. Fig. 12.

So sehr auch Amici selbst, und die Herausgeber der Annales de Chimie, so wie auch Francoeur im Dictionn. Technologique (indem sie die Verfertigung dieser Werkzeuge bei den

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

französischen Optikern Lerebours und Chevalier anzeigen) die Vorzüge dieser Constructionen im Gegensatz zu Wollaston's Princip erheben, so finden beim Gebrauche der durchsichtigen Tafel doch zwei wesentliche Schwierigkeiten statt, die beim directen Sehen ganz wegfallen. Die eine liegt in der äufserst schwer zu beseitigenden Doppelreflection der Glastafel, die andere in dem Umstande, dafs man kein Mittel hat, das oft zu grelle Licht der von der Sonne beschienenen Gegenstände so zu modificiren, dafs es die Sichtbarkeit der Bleifeder nicht mehr hindere. Die Schwächung des Bildes durch gefärbte Gläser ist ein Hülfsmittel, das keine Abstufungen in seiner Wirkung zuläfst, dahingegen bei Wollastons Methode es leicht ist, durch Verschiebung des Regulators die relative Helligkeit der beiden Objecte dem jedesmaligen Bedürfnifs anzupassen. Die Erfahrung hat auch gezeigt, dafs diejenigen Personen, denen nicht alles praktische Geschick überhaupt abging, durch Aufmerksamkeit und Uebung sich mit dem Gebrauche des Wollastonschen vertraut gemacht haben.

Francoeur bemerkt, dafs der Optiker Chevalier, ehe Amici's Vorschläge bekannt waren, bereits auf die, in Fig. 9 angegebene Construction gefallen sey; es ist dieses um so weniger zu bezweifeln, da wir oben gesehen haben, dafs der an neuen Ideen so reiche Italienische Optiker auch in ein Paar andern Vorschlägen mit Lüdkle und Sömmerring die Ehre der ersten Erfindung theilen mufs[1]. *H.*

Camera obscura.

Dunkele Kammer; Chambre noire; *Dark chamber.* Ein eingeschlossener dunkler Raum, in welchen die von den umgebenden Objecten ausgehenden Lichtstrahlen nur durch eine einzige kleine Oeffnung dringen können, von der sie divergirend auf einer gegenüberstehenden Wand sich ausbreiten, und auf dieser eine mit den natürlichen Farben ver-

---

1 Siehe über Wollastons Camera lucida Gilberts Ann. Bd. 34. pag. 353. und Lüdike's Aufsatz. ibid. Bd. 42. pag. 338. Eine vollständige Uebersetzung von Amici's Schrift in den Annal. de Chim. Tom. XXII. pag. 187.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sehene, jedoch verkehrt stehende, Abbildung der Gegenstände hervorbringen, wird im Allgemeinen mit diesem Namen belegt.

Es sey M M der eingeschlossene Raum, i ein durch ein Blech gebohrtes Loch in der Vorderwand, so klein, dafs es nur wenige, gleichsam nur einen Strahl, von dem äufsern Gegenstande A C B durchgehen läfst. Auf diese Weise erhält jeder von A C B ausgehende Strahl auf der Wand in b c a seine bestimmte Stelle, die ihm von keinem andern streitig gemacht werden kann. Diese Strahlen reihen sich demnach auf der Wand in eben der Ordnung an einander an, wie sie am Object selbst liegen; und erzeigen dadurch ein getreues Bild desselben, das jedoch, weil sie in der Oeffnung i sich durchkreuzen, verkehrt ist. Die Gröfse des Bildes richtet sich nach der Ausbreitung des optischen Winkels, unter welchem das Object in i gesehen wird, auf der gegenüberstehenden Wand, mithin nach der Entfernung dieser Wand von der Oeffnung i. Die Deutlichkeit desselben hängt von der Kleinheit der Oeffnung ab, die so enge seyn mufs, dafs nicht zwei verschiedene Strahlen parallel neben einander durchgehen können; diese Letztere ist dagegen der Sichtbarkeit des Bildes hinderlich, in so ferne nicht das Object aufserordentlich hell ist. Wird die Oeffnung gröfser, so nimmt die Erleuchtung des Bildes, aber auch zugleich seine Undeutlichkeit zu, bis endlich der Zuflufs mannichfacher Lichtstrahlen von allen Stellen des Objects jede bestimmte Gestalt verschwinden macht, und nur die eigenthümliche Farbe der Wand dem Auge sich darbietet. Fig. 13.

Dem Mangel des Lichts, der von der Kleinheit der Oeffnung entsteht, kann man ohne Verlust der Deutlichkeit dadurch abhelfen, das man dieselbe auf 2 bis 3 Zolle erweitert, und ein convexes Glas einsetzt, defsen Brennweite der Entfernung der Wand von i gleich ist. Dieses hat die Eigenschaft, alle Strahlen, die von einem Puncte des Gegenstandes auf seine ganze Fläche fallen, zu vereinigen, und sie auf eine bestimmte Stelle der Wand zu werfen. So bildet dieses Glas von jedem bemerkbaren Theile des Objects einen besondern Brennpunct auf der Wand, und die Summen aller dieser neben einander liegenden Puncte bietet dem Auge eine vollkommene deutliche, hinreichend erhellte, mit frischen Farben prangende Abbildung

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dar, die jedoch wegen der oben bemerkten Durchkreuzung der Lichtstrahlen in i ebenfalls verkehrt erscheint.

Diese unterhaltende der Malerei dienliche, und durch ihre spätere Anwendung auf die Theorie des Sehens auch der Physik nützliche Vorrichtung ward um die Mitte des sechzehnten Jahrhunderts von dem Neapolitaner Iohann Baptist Porta erfunden, einem Gelehrten, der sich durch gründliche Forschungen in den Naturwissenschaften, so gut es damals möglich war, so wie durch Verbreitung nützlicher Kenntnisse grofse Verdienste erwarb. In seiner magia naturalis, Neap. 1558. fol. erklärt er das Eigenthümliche beider Arten der Camera obscura, und ihren Nutzen zur Abbildung natürlicher Gegenstände; ja er versuchte es sogar mit kleinen gemalten Bildern, die er in umgekehrter Stellung, stark von der Sonne beleuchtet, vor das Glas brachte und vergröfsert und aufrecht an der innern Wand des verfinsterten Zimmers erscheinen liefs. Da er ihnen einige Bewegung geben konnte, so stellte er auf diese Art Jagden, Schlachten u. dergl. vor, was in jener Zeit übernatürlich schien. Dieser leitete, später den Pater Kircher auf die Erfindung der Zauberlaterne, durch welche sich das Nämliche mittelst künstlicher Beleuchtung bei Nacht eben so bequem darstellen läfst, und die noch jetzt ein Hauptinstrument in der sogenannten belustigenden Physik ausmacht.

Die Darstellungen der *Camera obscura* zeichnen sich durch die Schönheit und Harmonie der Farben, durch die Zartheit ihrer Umrisse, und eine gewisse, von der Unvollkommenheit der Gläser und Spiegel herrührende, Weichheit des Bildes aus, die weder die Camera lucida, noch der Malerspiegel (ein am Rücken geschwärztes planconvexes Glas) zu geben vermögen. Sodann trägt das Bewegliche der Figuren ungemein viel zu ihrer Annehmlichkeit bei, so dafs, wer die Aussicht auf einen belebten, von der Sonne beschienenen Platz hat, es nicht bereuen darf, ein Zimmer für diesen Zweck einigermafsen einzurichten. Es bedarf dazu weiter nichts, als eine hinlängliche Verdunkelung desselben durch äufsere Fensterladen, oder inwendig eingepafste Fensterrahmen von Carton, ein Objectiv von etwa 5 Fufs Brennweite, und eine mit weifsem Papier beklebte Tafel, die im Brennpunct des Objectivs hingestellt wird. Die Umkehrung des Bildes wird am besten durch ein rechtwinkliches

Fig. 14.

gläsernes Prisma A B C bewirkt, in welchem die Strahlen an der Hypotenusenfläche A B reflectirt werden. Da solche Prismen, wegen der Schwierigkeit, grofse streifenfreie Glasmassen zu erhalten, nicht leicht in erforderlicher Gröfse zu finden sind, so dürfte es nicht unzweckmäfsig seyn, hier zu bemerken, dafs das untere Drittel des Prisma D E C weniger wichtig ist, weil die parallel mit der Basis einfallenden Strahlen dieselbe nicht mehr erreichen können. Gröfsere Prismen könnte man aus Tafeln von gutem Spiegelglase zusammensetzen, und mit Wasser oder Weingeist füllen. Fig. 14.

Die nämliche Umkehrung des Bildes durch ein Prisma läfst sich auch für eine kleinere Einrichtung ähnlicher Art benutzen, wobei das Zimmer nicht sehr finster zu seyn braucht. In einer wohlgelegenen, etwas dunkeln Ecke desselben wird die Mauer schräg durchbrochen, und auf der äufsern Seite A A ein Objectiv eingesetzt, dessen Brennweite ungefähr der Mauerdicke gleich ist. An der innern Seite der Wand J hängt ein gewöhnlicher Bilderrahmen m m mit einem mattgeschliffenen Glase, auf welchem die äufsern Gegenstände sich abbilden; ein Prisma P von mäfsiger Gröfse dient zur Aufrechtstellung dieses beweglichen Gemäldes. Fig. 15.

Beide Arten der Entwerfung des Bildes, auf einem Papier oder auf der mattgeschliffenen Glastafel, werden auch da angewandt, wo die *Camera obscura* kein Zimmer, sondern ein Kasten ist, in welchen der Beobachter hineinsieht. Das Bild wird hier nicht auf eine verticale, sondern auf eine horizontale Ebene geworfen; daher die Umkehrung desselben durch einen um 45° geneigten Planspiegel ohne Mühe bewerkstelligt wird. Der Spiegel kann bei diesem Reflexionswinkel von Glas seyn, nur müssen seine Flächen gut bearbeitet seyn, und nicht die Längenfurchen der meisten Glasspiegel haben. Man kann sich von seiner Tauglichkeit durch den directen Versuch, oder vorher auch dadurch überzeugen, wenn man mit einem mäfsig vergröfsernden Fernrohr reflectirte Gegenstände in demselben betrachtet. Werden diese nicht undeutlich, so ist der Spiegel gewifs gut. Man verfertigt auch rechtwinklichte Glasprismen, an denen die eine Kathetenfläche nach der erforderlichen Brennweite convex geschliffen ist; die horizontalen Strahlen werden

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fig. 16. alsdann auf der schrägen Fläche nach unten reflectirt, wie aus der Zeichnung zu ersehen ist.

Diejenige Einrichtung, in welcher das Bild auf einem halbdurchsichtigen, mattgeschliffenen Glase oder einem geölten Papier erscheint, ist gewöhnlich von kleinerem Format, als die Fig. 17. andere, die ungleich schönere Bilder lifert. Bei der Erstern wird das Bild aufwärts, bei der Letztern niederwärts reflectirt. Fig. 18. Die Ausschliefsung alles fremden Lichtes ist bei jener nicht so wesentlich; es genügt, durch die am Deckel angebrachten Kreissectoren das Seitenlicht abzuhalten. Das Gehäuse der letztern Art ist entweder von dünnen Brettern B B B, die in Charnieren beweglich sich zusammenklappen lassen, so dafs das Ganze eine Schachtel A A von mäfsiger Gröfse ausmacht; oder es besteht aus zusammengefügten Stäben, die mit einem dichten, überall anschliefsenden Mantel umgeben werden. Das obere Kästchen, welches das Objectiv und den Spiegel enthält, läfst sich vermittelst eines Getriebes t, das in eine gezähnte Stange eingreift, nach Bedürfnifs auf- und niederschieben. Der Spiegel s s wird durch den Knopf d in die erforderliche Neigung gebracht. Da es, zumal im Sonnenscheine, beschwerlich ist, in einem solchen eingeschlossenen Raume lange zu verweilen, so thut man besser, in die auf der Seite des Beobachters befindliche Wand ein ovales Loch einzuschneiden, in welches man nur einen Theil des Kopfes hineinhält, und nach Belieben wieder zurückziehen kann. Ein unterhalb hineingehender Aermel verschafft der Hand des Zeichners den Zutritt. Bei dieser Einrichtung kann dann auch das von unten eindringende, am meisten schädliche Licht ausgeshlossen werden, was bei dem über den Beobachter hängenden Mantel schwieriger ist. Die Brennweite des Objectivs variirt zwischen 20 und 30 Zollen. Nach Wollastons Rathe soll dasselbe periskopisch, d. h. ein Meniskus seyn, dessen concave Seite dem Object zugekehrt ist, und von welchem die Radien der Krümmungsflächen, zu Folge der Erfahrungen von Cauchoix, wie 5 zu 8 sich verhalten sollen. Wegen der vollkommnern Gestalt und der gröfsern Oeffnung möchten auch achromatische Objective (z. B. von Kometensuchern) schöne und helle Bilder geben.

Vor Erfindung der Camera lucida war die Camera obscura eine sehr nützliche Hülfe zur schnellen und richtigen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Zeichnung einer Landschaft oder anderer Gegenstände. Sie ist es noch in den, auch nicht seltenen Fällen, wo man die Entwerfung gröfser haben will, als das neue Instrument sie liefert. Ihr wichtigster Nutzen aber für den Künstler besteht darin, dafs sie ihm die schönsten Vorbilder für das Colorit seiner Landschaft liefert.

Die *Camera clara* ist von dem unter Fig. 17. beschriebenen Apparat dadurch verschieden, dafs man statt des mattgeschliffenen Planglases eine grofse Glaslinse von nicht gar langer Brennweite anbringt, auf welcher das Bild sich mit scharfen Umrissen und lebhafter Färbung zeigt. Man erhält hierdurch eigentlich ein astronomisches Fernrohr aus zwei Convex-Gläsern, dessen Axe in der Mitte durch den schräg liegenden Spiegel gebrochen ist, und der Beobachter sieht alsdann nicht die Entwerfung des Bildes, sondern das Bild selbst. Das Auge steht hiebei in einiger Entfernung vor der Linse, und mufs durch Seitenwände gegen allzustarkes äufseres Licht geschützt werden. Ein gewisser Storer in England bringt noch über der Glaslinse die mattgeschliffene Glastafel an, auf welcher das Bild sich schärfer als bei der Camera obscura zeigen soll. *H.*

Capillarität.

Capillar-Anziehung, Capillar-Attraction, Haarröhrchen-Anziehung; *Attractio capillaris*, Capillarité, Attraction capillaire; *capillary attraction* or *attraction of capillary tubes.* Dieser entgegengesetzt ist die Capillar-Depression, Haarröhrchen-Abstofsung; *Depressio capillaris;* Depression capillaire; *capillary depression.* Unter jener versteht man die Erscheinung, dafs Flüssigkeiten in engen Röhren, welche von ihnen benetzt werden, über ihr Niveau aufsteigen, unter dieser, dafs sie unter dasselbe hinabsinken, wenn sie die Oberfläche des Haarrörchens nicht benetzen.

Die Erscheinung selbst ist so oft und so allgemein vorkommend, dafs sie schon in den ältesten Zeiten beobachtet werden mufste, und als den Gesetzen der Natur zuwider von den Physikern sehr aufmerksam in nähere Betrachtung gezogen wurde. Zuerst soll Franciscus Aggiunti, Leibarzt des Grofsherzogs von

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Toscana, einer der Gründer der Academia del Cimento (starb 1635) auf das Phänomen aufmerksam gemacht haben.[1] Der Jesuit Honoratus Fabry[2] und aus ihm Ioh. Christoph Sturm[3] erwähnt in der Hauptsache, dafs Wasser in gläsernen Röhren nicht ohne Einflufs ihrer Länge zu einer dem Durchmesser umgekehrt proportionalen Höhe steige, und erklärt dieses aus dem im Innern der Röhre geringern Luftdrucke. Die Neuheit der nicht lange vorher erfundenen Luftpumpe und das Bestreben, die Erscheinung der Capillarität denjenigen anzureihen, welche jenes interessante Werkzeug darbot, richtete die Aufmerksamkeit mehrerer Gelehrten auf dieselbe, so dafs sich unter andern Rohault[4], Boyle[5], Sinclair[6], Mairan[7] und Leeuwenhoek[8] ernstlich damit beschäftigten, unter denen Sinclair auffand, dafs das Röhrchen benetzt seyn müsse, um die Wirkung hervorzubringen. Indem aber Isaac Vossius[9] das Entgegengesetzte, nämlich Depression beim Quecksilber in gläsernen Röhren wahrnahm, so glaubte er, das Wasser hänge vermöge seiner Zähigkeit an den Wänden des Glases. Künstlicher ist die Erklärung des Borellus[10], wonach das Wasser am unteren Theile der Röhre eine Art von Netz bilden und durch die Wirkung biegsamer Hebel in derselben aufsteigen soll. Nach Iac. Bernoulli[11] passen die Luftkügelchen nicht genau in die engen Oeffnungen der Röhren, werden daher durch den Gegendruck gegen ihre Wände getragen, und dann treibt der stärkere Luftdruck von Aufsen sie in die Höhe. Zu diesem Luftdrucke nahm auch Rob. Hooke[12] seine Zuflucht, und man darf diese Ansicht

---

1 La Lande Diss. sur la cause de l'élevation des liqueurs dans les tubes capillaires. à Par. 1770.

2 Scient. phys. Tract. V. L. II. Digress. 1.

3 Collegium experimentale sive curiosum. Norimb. 1676. 4. T. 1. tent. 8. p. 44.

4 Traité de Physique. Par. 1673. 1. cap. 22. §. 88.

5 Exper. phys. mech. exper. 9. p. 93. Phil. Trans. XI. 775.

6 Tractatus de gravitate. p. 161.

7 Mém. de l'Ac. 1722.

8 Continuat. Arcan. Nat. epist. 131.

9 De Nili et alior. fluminum origine. Hag. Com. 1666. cap. 2.

10 De mot. natural. a gravitate pendentibus. L. B. 1686. prop. 182 ff.

11 De gravit. aetheris. p. 239.

12 Micrographia. Obs. VII. Cotes's hydrostat. cet. Lectures. Lect. XI.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

für die allgemein geltende halten, bis Newton[1], Boyle[2] und Hawksbee[3] die wichtigsten dahin gehörigen Erscheinungen sowohl beim gewöhnlichen Luftdrucke als auch unter der Campane der Luftpumpe beobachteten, Lud. Carré[4] aber nebst Geoffroy aus ihren zahlreichen Versuchen fanden, dafs die Erscheinung wegfiel, wenn die innere Wand der Röhre mit einer noch so dünnen Lage Fett bestrichen war, wonach sie also durch das Anhängen der Wassertheilchen an der Oberfläche des Glases erzeugt werden mufste. Sie irrten indefs darin, dafs sie glaubten, die das Glas berührenden Wassertheilchen verlören ihr Gewicht ganz, und es müsse daher eine diesen gleiche Menge im Haarröhrchen aufsteigen, indem hiernach die Höhe des angehobenen Wassercylinders dem eingetauchten Theile der Röhre direct proportional seyn müfste. Jurin[5] wiederholte die früheren Versuche mit ungleich weiten Röhren sowohl unter dem gewöhnlichen Luftdrucke als auch im Guerickschen Vacuo, und erklärte das Aufsteigen des Wassers, wie Hawksbee, aus der Anziehung des Glases, welche dem die innere Wand berührenden Wasser die Schwere nähme. Dieser Ansicht trat auch Bülfinger[6] bei, mit dem Zusatze, dafs jedes Haarröhrchen gerade so viel Wasser anzuheben vermöge, als der gröfste Tropfen ausmacht, welcher unten an demselben, ohne herabzufallen, hängen bleibe. Hamilton[7] schrieb die Erscheinung einer Anziehung des untern Randes der Röhre gegen das Wasser zu und führte als Beweis hierfür an, dafs der Wassercylinder in einer horizontalen Röhre sich nach jeder Seite bewege, wohin man die Röhre neige, und blos dann hängen bleibe, wenn er den einen untern Rand berühre. Gegen dieses leicht zu widerlegende Argument hat sich Parkinson[8] weitläufig erklärt.

---

1 Optice. qu. XXXI. p. 317 ed. Clarke.

2 Cont. prima Exper. ad Exper. 27. p. 63. Cont. secund. Exper. ad exper. 9. p. 93.

3 Phil. Trans. XXV. 2223, XXVI. 258.

4 Mém. de Par. 1705. p. 245.

5 Phil. Trans. XXX. N. 355. 363. 759. 1083. Abridg. IV. 423. Com. Pet. III. 281.

6 Com. Pet. II. 233. III. 81.

7 Lectures cet. II. 47.

8 System of Mechanics and Hydrost. ch. v.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Bei weitem die meisten und vielfachst abgeänderten Versuche hat Musschenbroek[1] angestellt, und glaubt in Folge derselben die Ursache der Erscheinung in eine Anziehung des Glases der ganzen Röhre mit Einflufs seiner Dicke setzen zu müssen. Weitbrecht[2] folgerte aus seinen genauen Versuchen sehr richtig, dafs sowohl die Anziehung des Glases gegen die Wassertheilchen, als auch dieser lezteren unter einander berücksichtigt werden müsse. Eben so richtig folgert Gellert[3], dafs geschmolzenes Blei in gläsernen und irdenen Haarröhrchen niedriger stehen müsse, als sein äufseres Niveau, weil seinen Theilchen eine stärkere Anziehung gegen einander, als gegen die genannten Substanzen zukomme; und so müfsten also die Depressionen bei cylindrischen Röhren im umgekehrten Verhältnisse der Durchmesser, bei prismatischen aber im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln aus den Grundflächen stehen[4].

Am bekanntesten und am meisten geachtet waren bis auf die neueren Zeiten die Untersuchungen von Musschenbroek[5] und von de la Lande[6] über dieses Problem. Lezterer leitete die Erscheinung der Capillarattraction von der Anziehung des Wassers durch die inneren Wände der Glasröhre ab, wodurch der in Berührung befindliche Theil leichter werden, und so in die Höhe steigen müsse, bis das Gewicht der gehobenen Säule der Stärke der Anziehung gleich sey. Es mufs aber nach dieser Ansicht auch die Länge des eingetauchten Theiles einen Einflufs auf die Höhe des Wassercylinders haben, ein Irrthum, auf welchen schon Carré durch theoretische Gründe geführt war. Später wollte v. Arnim[7] aus einer Reihe von Versuchen gefunden haben, dafs die Länge des nicht eingetauchten Theiles der Röhre die

---

1 Dissert. Phys. exper. de tubis capill. et attractione speculor. plan. vitreor. olim L. B. editae, nunc Viennae. 1753. 4.

2 Com. Pet. VIII. 261. IX. 275.

3 Ebend. XII. 293.

4 Vergl. Funcch Diss. de ascensu fluidorum in tubis capill. Comment. I et II. Lips. 1773. 4. du Tour in Rozier's J. 1778. fevr.

5 Introd. I. 368 §. 1045.

6 Dissert. sur la cause de l'élevat. des liqueurs dans les tubes cap. à Paris 1770. 12. Auch im Journ. des Sav. 1768. Nov. und in Tablettes des Scienses. I, 78.

7 G. IV. 375.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Stärke ihrer Anziehung gegen das Wasser vermehre, welche Behauptung Hällström[1] genügend widerlegt, nicht gerechnet, dafs sie gegen die Resultate aller früheren Physiker streitet.

Ueber die eigentliche Ursache der Erscheinungen, welche zur *Capillarität* gerechnet werden, kann gegenwärtig kein Streit mehr seyn. Es geht nämlich aus allen Versuchen unverkennbar hervor, dafs dieselbe in der Adhäsion der Flüssigkeiten an festen Körpern und ihrer einzelnen Theilchen unter einander zu suchen sey, so dafs also diese Erscheinungen zur *Anziehung* der wägbaren Materie im Allgemeinen und zu derjenigen besondern Modification derselben gehören, welche mit dem Namen *Adhäsion*[2] bezeichnet wird. Es werden sonach die Theilchen der Flüssigkeit die Erscheinungen der Capillarität zeigen, je nachdem die Adhäsion derselben zu einander oder zu der Oberfläche des berührenden Körpers überwiegend ist. Eine Flächenanziehung oder eine Anziehung in der Berührung hat man aber deswegen hierbei anzunehmen, weil die Capillarattraction sogleich in Capillardepression übergeht, wenn die Wände des eingetauchten Körpers mit der dünnsten Lage einer Substanz überzogen werden, welcher die Flüssigkeit nur wenig adhärirt, oder welche durch dieselbe nicht benetzt wird. Die *Capillardepression* des Quecksilbers in Glasröhren ist folglich blos das Gegentheil der *Capillarattraction*, und es ist unnöthig, ihre Erklärung mit Gren[3] in einer gröfseren Schwierigkeit der Trennung der Theilchen des Metalles zu suchen, wenn anders unter dieser nicht die verhältnifsmäfsig gröfsere Adhäsion dieser Theilchen gegen einander als gegen die Wände des Glases verstanden wird.

Eine vortreffliche analytische Darstellung der Gesetze der Capillarität hat früher Clairaut[4] gegeben, vollständig aber und als Muster der gröfsten Gewandtheit im scharfen analytischen

---

1 G. XIV. 425. Vergl. XXVI. 479.

2 S. *Adhäsion*.

3 Grundrifs d. Naturl. p. 109.

4 De la figure de la Terre. Par. 1743. 2me ed. von Poisson. Par. 1808. 8.

Calcüle ist dieselbe dargestellt durch DE LA PLACE[1], welche wiederum in leichtere Uebersicht nach ihrem wesentlichsten Inhalte mitgetheilt ist durch den Verfasser selbst[2] und durch BIOT[3], ausführlich übersetzt aber und mit Anmerkungen begleitet durch W. BRANDES[4]; eine leichte, in den Grenzen der elementaren Geometrie gehaltene Uebersicht derselben aber haben PESSUTI[5] und KRIES[6] gegeben. Es ist rathsam, sich hauptsächlich hieran zu halten, weil die ausführlichen Abhandlungen weitläuftig und mitunter dunkel, oder mindestens höchst schwierig zu verstehen sind, obgleich die Richtigkeit der Sache selbst bei genauerer Prüfung nicht bezweifelt werden kann[7].

LA PLACE nimmt zuerst mit HAWKSBEE und andern an, dafs die Haarröhrchenwirkung auf einer *Anziehung in unmefsbare Ferne* beruhe, und daher blofs die Oberfläche des Glafes dabei thätig sey, wie aufser dem schon erwähnten Argumente auch noch daraus hervorgeht, dafs die Capillardepression im Barometer wegfällt, und sogar in Attraction verwandelt werden kann, wenn durch anhaltendes Kochen alle Luft und Feuchtigkeit entfernt ist, so dafs also eine äufserst dünne Wasserschicht oder Luftschicht zwischen dem Quecksilber und dem Glase das Verhalten beider gegen einander zu modificiren vermag. Mit Unrecht nahm daher CLAIRAUT an, dafs die Kraft der Anziehung sich vom Rande des Glases bis in die Axe des Röhrchens erstrecke, indem vielmehr durch die anziehende Kraft der Röhrenwand nur eine dünne Wasserschicht gehoben wird, diese aber die ihr zunächstliegende hebt, diese wieder eine folgende u. s. w. bis das Gewicht der angehobenen Säule des Flüssigen den hebenden Kräften das Gleichgewicht hält. Die meiste Schwierigkeit des Verstehens der LA PLACEschen Theorie scheint bei

---

1 Théorie de l'action capillaire par Mr. LA PLACE. Par. 1806. 62 S. 4. Supplément à la Théorie de l'action capillaire par Mr. LA PLACE ib. 1807. 78 S. 4.

2 J. de P. LXII. 120 u. 47. LXIII. 474. LXV. 88.

3 Bibl. Brit. 1806. Oct. G. XXV. 233. XXXIII. 117. Traité. 1. 437.

4 G. XXXIII. 1 bis 115. 117 bis 183. 273 bis 336. 367 bis 373.

5 Atti della Soc. Ital. T. XIV.

6 Gehlen J. IX. 104.

7 Vergl. vorzüglich die Darstellung der Capillartheorie durch BIOT in Traité. I. 437 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

vielen die Behauptung dieses Geometers gemacht zu haben, dafs die Krümmung der Oberfläche des Flüssigen die Capillarität bedinge. Es läfst sich indefs dieser Satz auf folgende Weise leicht anschaulich machen.

Geht man nämlich von dem Grundsatze aus, dafs jedes einzelne Theilchen einer Flüssigkeit nicht blofs der Schwere folgt, sondern zugleich auch eine Anziehung gegen jedes berührende Theilchen ausübt und von demselben erleidet, so ist klar, dafs jedes Theilchen dicht unter der gekrümmten Oberfläche auf mehrere Theilchen in derselben wirken kann, als in der ebenen. Es sey zu diesem Ende A B eine Glasröhre, in welcher die Flüssigkeit die gekrümmte Oberfläche q r bildet, a sey ein Theilchen derselben unter dieser Oberfläche, b aber in derselben, so wird a seine herabziehende Wirkung auf mehrere ihm nähere Theilchen der Flüssigkeit in der gekrümmten Fläche ausdehnen, als in der geraden m n, und da dieses nämliche auf alle andere Theilchen pafst, so wird dadurch die Summe der herabziehenden Kräfte zunehmen müssen. Die Curve, welche die gekrümmte Oberfläche in einer sie schneidenden Ebene bildet, ist zwar verschieden, und hängt von der Beschaffenheit der Flüssigkeit und dem Durchmesser der Röhre ab, allein man kann sie vorläufig immerhin als einen Kreis, und somit die gekrümmte Oberfläche als ein Kugelsegment betrachten. Indem aber der Unterschied der Kugelfläche und der ebenen so viel gröfser wird, je kleiner der Halbmesser der Kugel ist, die herabziehenden Kräfte aber um so stärker wirken, je grösser dieser Unterschied ist, so wird bei einerlei Flüssigkeit die Stärke der herabziehenden Kräfte dem Halbmesser der Kugel umgekehrt proportional seyn, von welcher die obere Wölbung ein Segment bildet. Es lehrt aber schon der Augenschein, dafs wenn in der Röhre A B die enthaltene Flüssigkeit eine concave Oberfläche q p bildet, welche von der geraden m n berührt wird, das Gegentheil statt finden müsse, indem die in der gekrümmten Fläche liegenden Theile früher und weiter aus der Anziehungssphäre von a rücken, mithin weniger herabgezogen werden. Hiernach mufs aber eine Flüssigkeit, welche durch die Beschaffenheit der inneren Fläche der Röhre disponirt wird, eine concave Oberfläche zu bilden, in derselben höher stehen als aufserhalb, und im entgegengesetzten Falle

Fig. 19.

Fig. 20.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tiefer herabgedrückt werden, und da die heraufwärts oder herabwärts ziehenden Kräfte den Halbmesser den Krümmungen umgekehrt proportional sind, so werden auch die Erhöhungen oder Vertiefungen der in ein Haarröhrchen eingeschlossene Flüssigkeiten über oder unter das Niveau der umgebenden Flüssigkeit diesen Halbmessern proportional seyn.

Man kann auf diesem Wege leicht zu einem geometrischen Beweise des durch zahlreiche ältere Erfahrungen schon aufgefundenen Hauptsatzes der Capillarität gelangen, *dafs nämlich die Höhen, bis zu welchen gleichartige Flüssigkeiten über das äufsere Niveau aufsteigen, den Durchmessern der Röhren umgekehrt proportional sind.* Zu diesem Ende seyen A B und a b die Durchschnitte zweier ungleich weiten Röhren, m r n und p s q der gekrümmten Oberfläche, welche eine gleichartige Flüssigkeit bildet, deren Neigungen gegen die inneren Flächen der Röhren daher gleich sind. Werden nun diese Neigungen durch die Tangenten m h und p t ausgedrückt, und bezeichnen O und o die Mittelpunkte der Kreise, zu welchen die Bogen gehören, so ist m h auf O m und p t auf o p normal, und A m h = a p t. Weil aber die Seiten jeder der Röhren als parallel angenommen werden, so sind m n und p q auf dieselben normal. Diesemnach ist

Fig. 21.
Fig. 22.

$$A\,m\,n = O\,m\,h \text{ und } a\,p\,q = o\,p\,t$$
$$A\,m\,h + h\,m\,n = h\,m\,n + O\,m\,n$$
$$a\,p\,t + t\,p\,q = t\,p\,q + o\,p\,q$$
$$\text{also } A\,m\,h = O\,m\,n \text{ und } a\,p\,t = o\,p\,q$$
$$\text{und da } A\,m\,h = a\,p\,t, \text{ so ist } O\,m\,n = o\,p\,q.$$

Es sind aber die Dreiecke gleichschenklig und einer der Winkel an der Grundlinie ist dem andern gleich, also sind alle Winkel gleich, und O = o, folglich sind die Bogen einander ähnlich, und verhalten sich wie die Halbmesser O m und o p der Kugelabschnitte, welche die Flüssigkeiten in den Röhren bilden. Eben so verhalten sich aber auch die Chorden m n und p q, welche als die Durchmesser der Röhren anzusehen sind, und es verhält sich also der Stand einer gleichartigen Flüssigkeit in zwei Haarröhrchen über oder unter dem Niveau aufserhalb umgekehrt wie der Durchmesser der Röhren.

Noch auf eine andere Art läfst sich die Capillarität als das Resultat aller auf ein gegebenes Theilchen einer Flüssigkeit wir-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

kender anziehender Kräfte auf folgende Weise darstellen. Denkt man sich in das mit Wasser gefüllte Gefäfs A B C D das Haarröhrchen T H eingetaucht, und die Wassersäule durch T H T′ T″ H′ fortgesetzt, so müfsten nach den blofsen Gesetzen der Schwere S und H′ im Gleichgewichte seyn. Nimmt man zuerst die Wasserader H T als Verlängerung der im Haarröhrchen gehobenen, so werden die Wassertheilchen derselben *herabgezogen* zuerst durch sich selbst und zweitens durch die sie umgebenden. Beide Anziehungen werden durch die gleichen Wirkungen gegen H′ T″ aufgehoben. Es wird aber die Wasserader H T′ *aufwärts gezogen* durch die Wassertheilchen in H T, welche Wirkung aber durch die gleiche herabziehende der Wasserader H T′ aufgehoben wird. Endlich wird H T′ aber *aufwärts gezogen* durch die inneren Seitenwände des Haarröhrchens H T mit einer Kraft, welche Q heifsen möge. Fig. 23.

Die Wasserader im Haarröhrchen H T wird *angezogen* zuerst durch ihre Theilchen unter einander, welche Anziehung aber, als sich wechselseitig aufhebend, keine Bewegung hervorbringen kann; zweitens durch die Wasserader in H T′ *herabwärts*, eine Wirkung, welche durch eine gleiche und entgegengesetzte Anziehung *aufwärts* aufgehoben wird; drittens durch die H T′ umgebenden Wassertheilchen *herabwärts* mit einer Kraft, welche der oben mit Q bezeichneten entgegenwirkt, und — Q′ heifsen möge. Die beiden entgegengesetzten Anziehungen Q und — Q′ würden einander aufheben, wenn die Substanz des Glases und des Wassers gleich wären. Viertens wird die Wasserader H T *aufwärts* gezogen durch die innere Fläche der Glasröhre, und wenn man diese gleichfalls wieder = Q setzt, so ist die Summe der aufwärts und herabwärts ziehenden Kräfte = 2 Q — Q′, welche mit dem Gewichte der Wassersäule T H ins Gleichgewicht kommen mufs. Heifst das Volumen der lezteren V, die Dichtigkeit D, die dieselbe herabziehende Schwere g, so ist

$$V D g = 2 Q - Q'$$

und es kommt auf das Verhältnifs der anziehenden Kräfte an, ob $V D g - (2 Q - Q')$ positiv, negativ oder = 0 ist. Indem ferner die anziehenden Kräfte nur in geringe Fernen wirken, so kann man den inneren Umfang der Röhre C und die ihr eigenthümliche Kraft der Anziehung ϱ nennen, wodurch Q =

$C\,\varrho$ und durch eine gleiche Voraussetzung $Q' = C\,\varrho'$ wird, so dafs also $V\,D\,g = (2\,\varrho - \varrho')\,C$ wird.

Fig. 24. Es sey ferner der innere Halbmesser eines Haarröhrchens $= r$, die Höhe der angehobenen Säule H S von Niveau N N an bis zum tiefsten Puncte der Krümmung S aber sey $= h$, und π das Verhältnifs des Kreises zum Durchmesser; so ist der Umfang der angehobenen Wassersäule oder $C = 2\,r\,\pi$, ihre Grundfläche $= r^2\,\pi$, und ihr Inhalt $= r^2\,\pi\,h$. Nimmt man hiezu den Inhalt des Meniskus über S, so ist dieser gleich einem Cylinder von der Grundfläche $r^2\,\pi$ und der Höhe r, weniger der Halbkugel vom Halbmesser r, also im Ganzen $\pi\,r^3 - \frac{2\,\pi\,r^3}{3} = \frac{\pi\,r^3}{3}$, und wenn beide Gröfsen addirt werden, die Summe für V substituirt, und der für C gefundene Ausdruck gleichfalls aufgenommen wird; so erhält man

$$g\,D\left(\pi r^2 h + \frac{\pi\,r^3}{3}\right) = (2\,\varrho - \varrho')\,2\,\pi r.$$

und auf beiden Seiten mit $\pi\,r$ dividirt

$$r\left(h + \frac{r}{3}\right) = 2\,\frac{(2\,\varrho - \varrho')}{g\,D}.$$

Für gleichartige Flüssigkeiten bleiben die Werthe von ϱ, ϱ' und D unverändert, g aber ist an sich eine beständige Gröfse. Werden diese sämtlich also durch A ausgedrückt, so ist für gleichartige Flüssigkeiten und Haarröhrchen von gleicher Substanz

$$r\left(h + \frac{r}{3}\right) = A, \text{ also } h + \frac{r}{3} = \frac{A}{r}.$$

und da r auf allen Fall gegen h sehr klein ist, und also $\frac{r}{3}$ vernachlässigt werden kann; so ist $h = \frac{A}{r}$ oder es ist *die Höhe dem Halbmesser der Haarröhrchen umgekehrt proportional.*

Man kann zu diesem Hauptsatze der Capillartheorie endlich auch auf folgende noch einfachere Weise gelangen. Bei gleichen Flüssigkeiten ist die Höhe der angehobenen Säule der Gröfse der anziehenden Fläche, mithin dem Halbmesser der Röhre direct, das Gewicht derselben aber, womit sie dieser anziehenden Kraft entgegen zu fallen strebt, ihrer Dicke, folglich dem Quadrate des Halbmessers proportional, und da beide

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Kräfte einander entgegen wirken, so verhalten sich die Höhen der angehobenen Wassersäulen bei Röhren von den Durchmessern

$$r \text{ und } r' \text{ wie } \frac{r}{r^2} : \frac{r'}{r'^2} = \frac{1}{r} : \frac{1}{r'} = r' : r.$$

Ist endlich die Röhre nicht lothrecht, sondern in einem Winkel $= v$ gegen den Horizont geneigt, so ist

$$r\left(h + \frac{r}{3}\right) \operatorname{Sin} v = 2\,\frac{(2\varrho - \varrho')}{g\,D}.$$

Obgleich das Bestreben der Flüssigkeit, der Einwirkung der Schwere zu folgen und herabzufallen, der Capillarattraction entgegen ist, so sind doch die Höhen, bis zu welchen die verschiedenen Flüssigkeiten in gleich weiten Röhren gehoben werden, den spec. Gewichten derselben nicht umgekehrt proportional, wie man hauptsächlich bei Weingeist und Wasser wahrnimmt. Ersterer steht nämlich niedriger als letzteres, weil seine Anziehung zum Glase geringer ist, wie auch in der Formel ausgedrückt wird.

Ein interessanter Versuch von La Place beweiset sehr evident, dafs Cappillarattraction und Depression dem nämlichen allgemeinen Gesetze zugehören. Ist nämlich bei einer heberförmig gebogenen Röhre mit ungleich weiten Schenkeln der weitere länger als der engere, und bringt man nach gehöriger Benetzung der inneren Wände Weingeist in dieselbe, so wird dieser im engeren Schenkel höher stehen. Giefst man so lange Alkohol in einzelnen Tropfen nach, bis derselbe im kürzeren Schenkel das Ende erreicht, so wird er, wie früher, in diesem eine concave Oberfläche bilden. Beim weiteren Zugiefsen wird diese eben werden, und dann der Alkohol in beiden Schenkeln nahe gleich hoch stehen; dann aber wird die Fläche bei fortgesetztem Zutröpfeln convex werden, der Alkohol aber im weiteren so viel höher stehen, als er vorher niedriger stand. Gleich interessant ist folgender Versuch: Taucht man ein heberförmiges Haarröhrchen A B ins Wasser, so dafs der kürzere Fig. Schenkel A unter das Niveau desselben kommt; so steigt 25. das Wasser im längeren Schenkel um die Gröfse F G über das Niveau. Zieht man dasselbe wieder heraus, so bildet sich an der Oeffnung des kürzeren Schenkels ein Tropfen A N O, und die über der Horizontalen N I′ stehende Wassersäule I′ C ist

höher als F G. Nimmt man das Tröpfchen weg, bis das Niveau eben ist, so wird die Säule I C = F G. Der Unterschied von F G und I′ C entspricht aber genau der Convexität des Tröpfchens A N O. Taucht man ein Haarröhrchen in Wasser oder in eine andere, Capillaranziehung äufsernde Flüssigkeit, verschliefst es mit dem Finger und hebt es aus dem Wasser, so wird ein ein Theil der Flüssigkeit auslaufen, unten ein Tropfen gebildet werden, und die im Röhrchen angehobene Säule länger seyn, als wenn die untere Fläche der Röhre die Flüssigkeit im Gefäfse berührt[1]. Verlängert sich der Tropfen, so verkürzt sich die Säule, und verlängert sich wieder, wenn ein Theil des Tropfens herabgefallen oder weggenommen ist; wird dagegen wieder kürzer, wenn der Tropfen kleiner als eine Halbkugel geworden ist[2]. Der Versuch dient sehr zur Bestätigung der La Place-
Fig. schen Theorie. Ist nämlich A B das Niveau des Wassers im
26. Gefäfse, so werden die einander entgegengesetzten Anziehungen der über und unter α β befindlichen Theile einander aufheben. Der Tropfen selbst wird gebildet durch die Anziehung der unteren Röhrenfläche A′ B′. Erlangt derselbe das Maximum seiner Länge, und reicht also bis etwa an α β, so werden die entgegengesetzten Anziehungen der Theile über und unter α' β' einander zum Theil aufheben; reicht er aber nur etwa bis α' β', so fällt die Gegenwirkung der unterhalb befindlichen Wassertheilchen weg, weswegen die Wassersäule im Röhrchen wachsen mufs. Nimmt man aber auch die unter A′ B′ befindlich gewesenen Theile weg, so strebt die untere Fläche der Röhre wieder einen Tropfen zu bilden, und die Wassersäule wird verkürzt.

Biegt man ein Haarröhrchen heberförmig um, und senkt den einen Schenkel in ein Gefäfs mit Wasser, so wird der Heber sich selbst füllen und das Gefäfs auslaufen, wenn der Theil des Haarröhrchens über der Wasserfläche bis zur Biegung geringer ist, als die Höhe der Wassersäule, welche in demselben

---

1 Diese Erscheinung beobachtete schon Petit. S. Mém. de l' Ac. 1724.

2 Dieses Phänomen scheint mir nicht ganz richtig dargestellt zu seyn durch Biot in Traité I. 460.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

angehoben wird. Das Gefäſs wird dann ausgeleert werden, bis das Niveau in demselben so tief herabgesunken ist, daſs es die halbe Höhe erreicht, bis zu welcher der herabhängende Schenkel das Wasser anheben würde[1]. Es bleibt dann zuletzt an diesem lezteren ein Wassertropfen hängen, welcher nahe eine Halbkugel bildet, wodurch das Gleichgewicht hergestellt wird. Hat der Tropfen seine mittlere Gröſse erreicht, und wird der Heber etwas tiefer herab gesenkt, so vergröſsert sich der Tropfen, fällt zuletzt herab oder der Heber fängt aufs Neue an zu laufen. Hebt man denselben aber etwas in die Höhe, so vermindert sich der Tropfen, zieht sich zuletzt ganz in das Röhrchen zurück, und die Flüssigkeit im Haarröhrchen bewegt sich rückwärts, sobald das Ende des nicht eingetauchten Schenkels höher über das Niveau des Wassers im Gefäſse gehoben wird, als bis zu welcher Höhe das Haarröhrchen das Wasser zu heben vermag. Alle diese Erscheinungen hängen mit der eben erläuterten Theorie innig zusammen. Wenn endlich eine Glocke oder eine Röhre von beliebiger Weite sich in ein Haarröhrchen endigt, so wird die Capillarität die Flüssigkeit in dem beliebig weiten Gefäſse so hoch heben, als sie in einem Haarröhrchen vom Durchmesser desjenigen, worin das Gefäſs sich endigt, gehoben werden würde[2].

Alle diese Erscheinungen zeigen im Allgemeinen die Gesetze der Capillarität und die Richtigkeit der dieselben ausdrückenden Formel. Will man die letztere aber durch genaue Versuche prüfen; so kommt es vorzüglich darauf an, die Durchmesser der dazu genommenen Röhren zu finden, welches bei der Kleinheit derselben und der dennoch erforderlichen Genauigkeit mit einigen Schwierigkeiten verbunden ist, am zweckmäſsigsten aber durch die Abwiegung einer Säule Quecksilber in dem zu gebrauchenden Haarröhrchen geschieht[3].

Ist demnach der Durchmesser der Haarröhrchen genau bekannt, so findet man die Länge der in denselben angehobenen Säule der Flüssigkeit, und selbst die Vertiefung des Meniskus

---

1 La Place bei G. XXXIII. 26.
2 Parrot theor. Phys. I. 327.
3 S. *Caliber*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fig. 27. nach Gay-Lüssac[1] mit einem hierzu eigends verfertigten Instrumente. Dieses besteht aus einem Gefäfse, welches vermittelst der Stellschrauben v v v lothrecht gestellt werden kann, wie eine auf den Rand A B gesetzte Wasserwage angiebt. Auf dieses wird vermittelst der Bodenplatte a b der Apparat gesetzt, welcher in dem Falze C C das Haarröhrchen T T trägt. Ein Fernrohr N M, auf einer getheilten Stange R R verschiebbar und mit einem Mikrometer versehen, auch durch das Bleiloth F P lothrecht erhalten, zeigt den oberen Stand der Flüssigkeit S und die Höhe des Meniskus. Um aber, bei der Erhebung der Flüssigkeit am Rande des Gefäfses das Niveau in der Mitte zu finden, wird auf die Scheibe a b der Träger der mit einer Schraube versehenen Stange t t′ gestellt, und die Spitze t so lange herabgeschroben, bis sie die Oberfläche der Flüssigkeit gerade berührt, während der Apparat mit der Röhre etwas seitwärts geschoben bleibt, um durch das Herausnehmen der Röhre den Inhalt des Gefäfses nicht zu vermindern. Dann nimmt man mit einem Stechheber oder einer Pipette etwas von der Flüssigkeit heraus, um die Spitze genau zu sehen, schiebt das Fernrohr herab, bis die Spitze des Stiftes im Mikrometer erscheint, und der am Stabe vom Fernrohre durchlaufene Raum giebt die Höhe der Flüssigkeit im Haarröhrchen.

Um die von La Place aufgestellte Theorie zu prüfen, stellten Haüy und Tremery mit vorzüglicher Genauigkeit einige Versuche an. In Haarröhrchen von der nämlichen Glasart vom

Durchmesser	3	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{4}$	mm
wurde Wasser gehoben	6,75	10	18,5	—
Orangenöl	3,40	5	9,0	—

welche Zahlen dem verkehrten Verhältnisse der Durchmesser vollkommen entsprechen. Es gehört somit für 1^{mm} eine Capillarattraction für Wasser von 13,569, für Orangenöl von $6,7398^{mm}$ oder für 1 Lin. par. von 6,0151 Lin. Wasser und 2,9877 Lin. Orangenöl. Die Depression des Quecksilbers wurde bei Röhren von 2 und $\frac{4}{3}$ millim. $= 3\frac{2}{3}$ und 5,5 gefunden, welches für 1^{mm} eine Depression von $7\frac{1}{3}$ millim. oder für eine Linie 3,251 Lin. beträgt. Man mufs indefs bei andern vergleich-

1 Biot Traité. I. 441.

baren Versuchen die hiebei stattgefundene Temperatur von 10° C. genau beobachten, oder die gefundenen Werthe für die jedesmalige Temperatur verbessern, indem für wenig abweichende Grade der Wärme gleich schwere Säulen der Flüssigkeit gehoben werden, so dafs also der Coefficient ihrer Ausdehnung die Gröfse giebt, womit die gefundene Höhe zu multipliciren ist, um die eigentliche Gröfse zu erhalten[1]. Die Versuche, welche Gay-Lüssac mit seinem Apparate anstellte, deren Genauigkeit sonach als ganz vorzüglich anzusehen ist, gaben folgende Resultate.

Durchmesser = 2r in millim.	Höhe der Wassersäule = h bis zum tiefsten Puncte des Meniskus	Temperatur nach C.
1,29441	23,1634	8°,5
1,90381	15,5861	

Berechnet man aus der ersten Beobachtung die zweite; so ist

$$A = 0{,}647205\ (23{,}1634 + 0{,}215735) = 15{,}1311.$$

Diesen Werth in die Formel für $h = \frac{A}{r} - \frac{r}{3}$ gesetzt, giebt 15,5783, welche von dem Resultate des Versuches um eine verschwindende Gröfse abweicht, zugleich aber zeigt, das der Werth $\frac{r}{3}$ nicht vernachlässigt werden kann. Bei einem Versuche mit Alkohol fand derselbe

Durchmesser der Röhren = 2r in millim.	Höhe des Alkohol = h bis zum tiefsten Puncte des Meniskus	Temperatur nach C.
1,29441	9,18235	8°,5
1,90381	6,08397	

Das spec. Gew. des Alkohol war 0,81961 bei der angegebenen Temperatur. Aus dem ersten Versuche wurde $A = 0{,}647025\ (9{,}18235 + 0{,}215735) = 6{,}0825$ gefunden, und hieraus $h = 6{,}0725$, gleichfalls mit dem Versuche genau übereinstimmend[2].

Das allgemeine Gesetz der Capillarität zeigt sich in sehr zahlreichen Erscheinungen. Aufser denjenigen, welche wegen des nähern Zusammenhanges mit dem untersuchten verwandten Gegenstande, nämlich den Gesetzen der Adhäsion[3] schon er-

1 Ueber diesen La Placeschen Satz s. weiter unten.
2 Biot Traité. I. 450.
3 S. Th. I. p. 186 ff.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

wähnt sind, kommt zunächst das Aufsteigen der Flüssigkeiten zwischen zwei in geringem Abstande von einander befindlichen Platten in Betrachtung. Es sey demnach der Abstand der bei-
Fig. den lothrechten Platten von einander $= \delta$, ihr horizontaler
28. Durchschnitt $= a$. Es werde ferner angenommen, dafs die von H bis S angehobene Flüssigkeit oben bei S durch die Oberfläche eines halben Cylinders begrenzt sey; so ist der Umfang eines horizontalen Durchschnittes der angehobenen Flüssigkeit $= 2\,(a + \delta)$, die Oberfläche desselben $= a\,\delta$, der Inhalt der angehobenen Wassermasse bis S $= a\,\delta\,h$, des über S befindlichen Meniskus $= \frac{a\,\delta^2}{2} - \frac{\pi\,a\,\delta^2}{8} = \frac{a\,\delta^2}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$, folglich der gesammte Inhalt $V = a\,\delta\,h + \frac{a\,\delta^2}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$. Werden diese Werthe in die oben für Haarröhrchen gefundene Formel substituirt; so ist

$$g\,D\left[a\,\delta\,h + \frac{a\,\delta^2}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)\right] = 2\,(2\,\varrho - \varrho')\,(a + \delta).$$

und auf beiden Seiten mit a g D dividirt

$$\delta\left[h + \frac{\delta}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)\right] = \frac{2\,(2\,\varrho - \varrho')}{g\,D}\left(1 + \frac{\delta}{a}\right)$$

und wenn man $\frac{\delta}{a}$ vernachlässigt und $\frac{2\,(2\,\varrho - \varrho')}{g\,D} = A$ wie oben setzt $\delta\left[h + \frac{\delta}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)\right] = A$.

Ist dann δ gegen h geringe, so kann $\frac{\delta}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$ als in der Fehlergrenze der Versuche liegend betrachtet werden, und es ist $h = \frac{A}{\delta}$ oder die Höhe der angehobenen Flüssigkeit dem Abstande der Platten umgekehrt proportional. Indem ferner oben für cylindrische Haarröhrchen $h = \frac{A}{r}$ gefunden wurde, aber $\frac{A}{\delta} = \frac{A}{2\,r}$ gesetzt werden kann; so folgt, das die Flüssigkeit zwischen zwei ebenen Platten halb so hoch steht, als in einem cylindrischen Haarröhrchen von demjenigen Durchmes-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ser, welcher dem Abstande der Platten gleich ist, wie mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmt[1].

Hiermit verwandt ist ein Versuch, welchen schon Brook Taylor und Hawksbee anstellten[2]. Nimmt man zwei ebene Glasplatten A B C D, legt sie so auf einander, dafs sie sich an einer Seite B D berühren, an der andern im geringen Abstande von einander stehen, und senkt sie einige Linien tief in ein Gefäfs mit Wasser, die Linie ihrer Berührung B D lothrecht gehalten, so bilden ihre regelmäfsig abnehmenden Entfernungen ein System von Haarröhrchen, und das Wasser zwischen den Platten mufs eine ihrem Abstande von einander umgekehrt proportionale Höhe erreichen. Die Grenze dieser Höhen bildet eine Hyperbel, deren Asymptoten ein senkrechter Durchschnitt der Ebene des Wassers n m und die Linie ihrer Berührung sind. Nennt man nämlich die Entfernung der Platten bei $\alpha \ldots y$ bei $\beta \ldots d$; die Höhe des Wassers bei $\alpha \ldots h$ bei $\beta \ldots x$; so ist Fig. 29.

$$h : x = y : d \text{ also } xy = hd$$

die Gleichung der Hyperbel zwischen rechtwinklichen Asymptoten[3]. Dafs in einer horizontal gehaltenen konischen Röhre ein Wassertropfen sich nach der engeren Seite, ein Quecksilbertropfen aber nach der weiteren bewege, folgt gleichfalls aus der Capillarität.

Manche Erscheinungen dürfen nur erwähnet werden um einzusehen, dafs sie gleichfalls zur Capillaranziehung gehören, z. B. das *Filtriren*,[4] das Feuchtwerden von Sand, Asche, Erde u. s. w. durch tiefer befindliche Flüssigkeiten, das Durchdringen der lezteren durch poröse Gefäfse, das Eingesogenwerden der Arzneien und sonstiger Substanzen durch die Gefäfse im thierischen Körper, das sogenannte Athmen der Pflanzen, das Aufsteigen der Fettigkeiten in Dochten, das Anschwellen hygroskopischer Körper bei feuchter Witterung, die Verkürzung der Seile und Zeuge durch Nässe u. dgl. m. Man kann dahin

1 Biot Traité I. 454.

2 Phil. Trans. XXVII. 538. Verg. Musschenbroek diss. de attract. p. 71. Introd. §. 1062.

3 Vergl. Lehot in Bibl. Brit. LVIII. 78, wo zugleich eine allgemeine Formel für diesen Versuch gegeben ist.

4 S. *Filtrirmaschinen*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ferner rechnen das Eintauchen der Menschen in Seewasser zum Löschen des Durstes, die Wirkungen der Bäder u. a. Besteht ein poröser, haarröhrchenförmige Räume enthaltender Körper, z. B. Seile[1], Holz, Elfenbein u. dgl. aus einer sehr viele solcher Räume einschliefsenden Substanz, so mufs die Kraft der Capillarität dadurch ins Unglaubliche wachsen. Daher rührt die Gewalt, womit quellendes Holz oder Elfenbein metallene Bänder zerreifst, und man kann sogar Mühlsteine sprengen, wenn man in das Loch derselben einen trocknen Cylinder von noch frischem Holze treibt, und diesen dann langsam befeuchtet. Die Knochen der Schädel sprengt man dadurch, dafs man sie mit Erbsen füllt und diese befeuchtet, Sandsteine werden abgesprengt, indem man eine Furche darin ausarbeitet, in diese trockne hölzerne Keile treibt, und dieselben befeuchtet[2], und viele andere Erscheinungen.

Musschenbroek[3] will bemerkt haben, dafs das Wasser in einem Haarröhrchen, welches einen Cylinder von 20 Lin. Länge anhob, wenn es aus dem Wasser gezogen und langsam horizontal geneigt wurde, sich genau in die Mitte der Röhre bewegte, und dort stehen blieb. Mit Recht bemerkt Kries[4], dafs in La Place's Theorie kein Grund zu dieser Erscheinung liege, dafs aber eben deswegen, weil das Wasser in einer vollkommen horizontalen Röhre sich an jeder Stelle ihrer Länge befinden könne und überall gleichmäfsig angezogen werde, die geringste Neigung dasselbe nach der einen oder andern Seite bewege, und deswegen sein Stillstand nur in der Mitte erfolgen werde. Eine andere Erscheinung entlehnt La Lande vom Pater Abat. Wenn man nämlich ein Haarröhrchen aus dem Wasser hebt, und die angehobene Wassersäule durch Neigen desselben nach dem andern Ende fliefsen läfst, dann die Röhre abermals neigt, so dafs der enthaltene Wassercylinder wieder rückwärts fliefst, so gehört eine beträchtliche Neigung dazu, bis das Wasser das Ende der Röhre wirklich erreicht, indem es vielmehr vor dem Ende des Röhrchens stehen bleibt. Kries[5] zeigt, dafs

1 De la Hire in Mém. de l' Ac. IX. 242.
2 Robison Syst. of Mech. Phil. I. 234.
3 Diss. de tubis cap. vit. Exp. VII.
4 Gehlen J. IX. 127.
5 Ebend. p. 128.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sich dieses weder nach La Lande aus der inneren Anziehung der Röhre noch aus La Place's Theorie erklären lasse, sondern von dem wenigen Staube und Schmutze abgeleitet werden müsse, welcher während des Versuches, obgleich mit unbewaffneten Augen nicht wahrnehmbar, sich in dem Ende des Röhrchens ansetze. Man könnte vielleicht hinzusetzen, dafs das Ende des Röhrchens durch den Einflufs der Luft trocken werden mufs, und dann das Wasser nicht so leicht annimmt.

Unter die Phänomene der Capillarität gehört wahrscheinlich auch eine sehr interessante Beobachtung Döbereiner's [1], dafs Wasserstoffgas, in einer geborstenen Campane, welche, sonstige Gasarten nicht durchläfst, über Quecksilber gesperrt, entweicht und vermindert wird. Der Beobachter leitet diese Erscheinung von den kleinen Atomgewichten des Wasserstoffgas ab, welche den feinen Rifs deswegen leichter durchdringen können. Eben dieses Gas strömt auch schneller durch enge Röhrchen als andere Gasarten, und dringt leichter durch Thierblasen [2]. Aehnliche Beobachtungen, dafs nämlich geborstene Röhren nicht mehr isoliren, führten mich selbst schon früher zu der Vermuthung, das auch die Elektricität der Capillaranziehung folge.

Manche Physiker waren geneigt, das Aufsteigen des Saftes in lebenden Pflanzen als eine Wirkung der Capillaranziehung zu betrachten [3]. Dafs diese auch hierbei sich wirksam zeige, kann nicht bezweifelt werden, indem selbst abgeschnittene und mäfsig getrocknete Pflanzentheile noch die Wirkungen ihrer haarröhrchenartigen Räume durch das Einsaugen von Flüssigkeiten zeigen. Indefs läfst sich das ganze Phänomen der *Saftbewegung* keineswegs auf die Capillarität zurückführen, wie nicht sowohl aus der Höhe folgt, bis zu welcher der Saft angehoben wird, als vielmehr daraus, dafs derselbe aus lothrecht stehenden abgeschnittenen Pflanzentheilen ausfliefst, was durchaus gegen die Capillartheorie streitet. Aufserdem aber ergeben die von mir und dem hiesigen Universitätsgärtner Metzger

---

1 Aus seiner Abhandlung hierüber in Férussac Bulletin des Sc. Math. Phys. 1824. Fevr. p. 112.

2 Verwandte Erscheinungen s. Th. I. p. 200.

3 Robison System of Mech. Phil. I. 223.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mit abgeschnittenen Weinreben angestellten Versuche, dafs die den Saft auftreibende Kraft vorzüglich in den feinen Wurzelfasern zu suchen sey, indem der Saft der abgeschnittenen Weinreben und ihrer gröfseren Wurzeln in aufgesetzen Glasröhren von 1 bis 4 Lin. innerem Durchmesser bis 20 par. F. und noch weiter in die Höhe getrieben wurde[1]. Die wirkende Ursache ist also in einer dem Pflanzenleben eigenthümlichen Kraft zu suchen, wie schon Bell gezeigt hat[2]. Auch das Anschwellen und Verkürzen der thierischen Muskeln bei erhöheter Thätigkeit derselben ist zwar mit vermehrtem Andringen des Blutes und der Säfte in die Gefäfse verbunden, aus einer Capillaranziehung aber deswegen nicht erklärlich, weil das Volumen der Muskeln sich dann nicht vermehrt, sondern vermindert, wie genaue Versuche hierüber ergeben[3].

Diejenigen Flüssigkeiten, bei welchen ϱ' gröfser ist als 2ϱ müssen *Capillardepression* zeigen, oder aber die Capillarattraction ist negativ. Dieses Resultat folgt nothwendig aus La Place's Theorie, sobald die obere Fläche convex ist statt concav. Man darf also allgemein sagen, dafs Capillarattraction statt findet, wenn die Oberfläche der Flüssigkeit concav ist, Cappillardepression, wenn sie convex ist, und keins von beiden, wenn sie genau horizontal gefunden wird. Am wichtigsten in dieser Hinsicht ist das Verhalten des Quecksilbers in Glasröhren, weil hieraus ein Einflufs auf die Länge der Quecksilbersäule im Barometer hervorgehen mufs[4]. Es kann sonach nur ein solches Barometer als ein absolut richtiges angesehen werden, welches eine ganz ebene Oberfläche hat, jedes andere mufs aber wegen dieser modificirenden Bedingung corrigirt werden. Man leitet, in Uebereinstimmung mit den annalogen Erscheinungen der Adhäsion, die Depression des Quecksilbers in Glasröhren von einer gröfseren Anziehung der Theile des Quecksilbers zu einander als zu der Oberfläche des Glases ab[5].

---

1 Schweigg. J. 1823.

2 Manch. Mem. II. in Bibl. Brit. IX. 67.

3 Vergl. D. Bernoulli in Com. Pet. I. 297. Rudolphi Physiolog. II. 303.

4 S. *Barometer*.

5 Libes Traité élémentaire de Physique 1re ed. III vol. 8. Par. an IX (1801) II. 23.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Hiergegen streitet aber die gemeine Erfahrung, dafs in gut ausgekochten Barometern die Quecksilbersäule in der Röhre ganz festhängt, und erst nach einer Erschütterung herabfällt. Eben dieses zeigt sich, wenn man das Barometer auch späterhin einige Zeit in umgekehrter Lage läfst, insbesondere aber, wenn man sie in dieser Richtung trägt oder mäfsig aufstöfst und erschüttert. Diese Erscheinung ist vor längerer Zeit bekannt gewesen, und Huygens[1] beobachtete schon, dafs eine Säule von 75 Z. Länge auf diese Weise getragen wurde, welches er dem Drucke eines, die Luft nicht durchdringenden Aethers beilegte. Brounker[2] war mit ihm hierin einverstanden. Daher zeigte Hauy[3], die Depression sey eine Folge der Feuchtigkeit, welche dem Glase oder Quecksilber anhänge, und berief sich hierbei auf einen Versuch von Casbois, welcher gefunden haben wollte, dafs trocknes Quecksilber in trocknen Röhren vielmehr Capillarattraction zeige. Milon stellte deswegen Versuche an mit Quecksilber, welches eine geraume Zeit gesiedet hatte, und mit Röhren, welche bis nahe zur Glühhitze erhitzt waren, fand aber die Depression hierbei sowohl in den Röhren als auch zwischen denselben, wenn sie neben einander in Quecksilber getaucht wurden, eben so stark, als bei feuchtem Quecksilber[4].

Wenn gleich gegen die Genauigkeit dieser Versuche nichts einzuwenden seyn mag, so entscheiden doch zugleich zahllose andere beim Auskochen der Barometer angestellte, dafs die Entfernung der Luft und Feuchtigkeit die Capillardepression zwischen Glas und Quecksilber aufhebt, weswegen das Auskochen der Barometer eine unerläfsliche Bedingung ihrer Genauigkeit ist, und man mufs daher mit Hauy, Bellani[5] u. a. annehmen, dafs die dem Quecksilber anhängenden Theile von Luft und Feuchtigkeit seine Adhäsion zum Glase aufheben. Vielleicht waren diese durch Casbois mehr weggeschaft, als durch Milon, und beruhete hierauf die Verschiedenheit der

---

1 Phil. Trans. VII. 4128.
2 Ebend. VIII. 4260.
3 Séances de l' École Normale III. p. 50. Vergl. J. de P. LIV. 129.
4 J. de Ph. LIV. 129.
5 Brugnatelli G. III. 291.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

durch beide erhaltenen Resultate. Hieraus ergiebt sich aber weiter, dafs es sehr schwer ist, die absolute Depression des Quecksilbers in Haarröhrchen zu bestimmen[1]. Nimmt man indefs gewöhnliches, trocken genanntes Quecksilber, so hat hierfür Bouvard nach La Place's Formel diejenigen Höhen berechnet, welche den verschiedenen Durchmessern der Röhren zugehören, und mit den Versuchen von Young, Ivory und Cavendish verglichen, wie die nachfolgende Tabelle in Millim. angiebt[2].

Durchm. d. Röhre	Depress. nach La Place	nach Dr. Young	nach Ivory	nach Cavendish
21,0	0,030	0,024	0,024	
20,0	0,034			
19,0	0,038	0,031	0,031	
19,5	0,043			
19,0	0,049	0,041	0,042	
18,5	0,056			
18,0	0,064	0,053	0,054	
17,5	0,073			
17,0	0,083	0,068	0,071	
16,5	0,094			
16,0	0,107	0,088	0,087	
15,5	0,121			
15,0	0,137	0,111	0,118	0,131
14,5	0,156			
14,0	0,176	0,144	0,152	0,150
13,5	0,198			
13,0	0,223	0,188	0,196	0,170
12,5	0,250			
12,0	0,281	0,242	0,253	0,200
11,5	0,315			
11,0	0,354	0,311	0,316	0,270
10,5	0,397			
10,0	0,445	0,402	0,406	0,406

1 Wie dieses beim Barometer geschehen könne, darüber s. *Barometer*.

2 Ann. de Chim. et de Phys. XXII. 333.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Durchm. d. Röhre	Depress. nach La Place	nach Dr. Young	nach Ivory	nach Cavendish
9,5	0,500			
9,0	0,562	0,517	0,521	0,608
8,5	0,632			
8,0	0,712	0,669	0,673	0,820
7,5	0,803			
7,0	0,909	0,869	0,868	1,073
6,5	1,030			
6,0	1,171	1,139	1,134	1,377
5,5	1,337			
5,0	1,534	1,510	1,513	1,735
4,5	1,774			
4,0	2,068	2,063	2,066	2,187
3,5	2,442			
3,0	2,918	2,986	2,988	3,054
2,5	3,568			
2,0	4,454	4,887	4,888	4,472

La Place's Theorie der Capillarität ist jetzt wohl so ziemlich von allen Physikern allgemein angenommen, und wird auch bei genauer und genügender Prüfung den Beifall derselben stets erhalten; wo dieses aber nicht der Fall ist, da wird dieselbe entweder nicht völlig verstanden, oder vielmehr wegen des darauf verwandten weitläuftigen und schwierigen Calculs nicht gehörig erkannt. Man könnte immer die Frage aufwerfen, weswegen so viel höherer Calcul auf ein so leicht in seiner Einfachheit darstellbares Problem verwandt ist? Hierauf läfst sich indefs erwiedern, dafs eben dieser dem grofsen Geometer am meisten geläufig ist, und dann mufs man wohl berücksichtigen, dafs derselbe die Aufgabe, welche eigentlich die gesamte Anziehung in unmefsbarer Ferne begreift, in ihrem ganzen Umfange zum Gegenstande seiner Untersuchung gewählt hat, wodurch die mannigfaltigen, hierauf zurückgeführten Erscheinungen erklärlich werden, und hieraus ergiebt sich denn auch der Umfang, in welchem der Gegenstand behandelt ist.

Rücksichtlich der übrigen bedeutenden Untersuchungen über diesen Gegenstand hat Th. Young schon 1804, also vor

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Bekanntwerdung der La Placeschen Theorie eine schätzbare Abhandlung darüber bekannt gemacht[1], und darin zugleich die Erscheinungen der Adhäsion im Allgemeinen berücksichtigt. Später hat derselbe gegen La Place erinnert, dafs er bei seiner Formel die Temperatur nicht berücksichtigt habe, ein Einwurf, dessen Gültigkeit La Place selbst zugesteht[2]. Es ist schon oben bemerkt, dafs La Place, und nach ihm Biot[3] annehmen, der Einflufs der Temperatur sey blofs in sofern zu berücksichtigen, als die angehobene Säule der Flüssigkeit durch Wärme mehr ausgedehnt, mithin leichter werde, wonach also bei bekanntem Gesetze der Ausdehnung einer gegebenen Flüssigkeit die Höhe der angehobenen Säule leicht corrigirt werden könnte. Allein dieses ist sicher nur für sehr geringe Temperaturunterschiede zulässig, indem wohl nicht bezweifelt werden kann, dafs eben wie die Cohäsion auch die Adhäsion sowohl der Theile der Flüssigkeiten unter einander als auch gegen die Wände der festen Körper, und somit auch die Capillarität geändert wird. Das Gesetz aber, wonach diese Aenderung erfolgt, ist bis jetzt noch nicht aufgefunden, und kann ohne genaue und schwierige Versuche nicht wohl aufgefunden werden, wonach sich also demnächst erst ergeben müfste, welchen Einflufs dasselbe auf die Formel La Place's haben kann, indem die Theorie selbst schwerlich dadurch wesentlich geändert werden würde.

Es wird diesemnach überflüssig seyn, verschiedene Kritiken der La Placeschen Theorie hier näher zu erläutern und zu würdigen, und mag vielmehr eine blofs historische Erwähnung genügen. Am wenigsten gewichtig sind die Einwendungen, welche Tardy de la Brossy[4] dagegen gemacht hat, indem er hauptsächlich den Begriff der Attraction zu unbestimmt aufgefafst und in der Theorie selbst keine Uebereinstimmung der Schlüsse mit den Phänomenen finden will. Von einem andern Gesichtspuncte geht Belli[5] aus, indem er zu beweisen sucht, die moleculäre Anziehung oder die Anziehung in unmefsbare Ent-

1 Phil. Trans. 1805. I. 65.
2 Ann. de Ch. et P. XII. 7.
3 Traité 1. 454.
4 Bibl. Brit. XXXVII. 1 ff.
5 Brugnatelli G. VII. 191.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

fernung müsse als Grundlage angenommen werden, um eine Theorie der Capillaranziehung darauf zu gründen, dieselbe wirke aber in einer höheren Potenz als der umgekehrten fünften der Enfernung. Am ausführlichsten und mit einem grofsen Aufwande des Calculs hat Brunacci[1] dieselbe geprüft, mit den von Pessuti und Clairaut aufgestellten verglichen, und findet sie weder im Principe gehörig begründet, noch auch alle Erscheinungen hinlänglich erklärend, welcher Meinung auch Leopoldo Nobili[2] beitritt. Hieran darf man auch die Kritik reihen, welche G. F. Parrot[3] von der La Placeschen Theorie gegeben hat, welche zugleich eine eigenthümliche Darstellung des Capillaritäts-Gesetzes und verschiedene Versuche enthält. Dagegen hat neuerdings Rudberg[4] eine mit La Place's Grundsätzen übereinstimmende elegante mathematische Theorie der Capillarattraction gegeben[5]. *M.*

Cardinalpuncte.

Hauptgegenden der Welt; *Puncta cardinalia, cardines mundi;* points cardinaux; *Cardinal Points.* Die vier Puncte des Horizonts, in deren zweien er vom Mittagskreise in den zwei übrigen vom Aequator durchschnitten wird.

Der *Nordpunct* oder Mitternachtspunct; der *Südpunct* oder Mittagspunct; der *Ostpunct* oder Morgenpunct; der *Westpunct* oder Abendpunct[6]. *B.*

---

1 Ebend. IX. 7. 127. 163. 241. 348. Vergl. Ann. de Ch. et P. IV. 54.

2 Sopra la Identitâ dell' attrazione molecolare colla astronomica. Modena 1818. in Appendice.

3 Ueber die Capillarität. Eine Kritik der Theorie des Grafen La Place u. s. w Dorpat (1816).

4 Denkschriften der Kön. Soc. d. Wiss. zu Stockholm. 1819 — 21. Die Abhandlung selbst habe ich nicht erhalten können.

5 Aufser der angegebenen Literatur verdienen noch berücksichtigt zu werden Segner in Com. Gott. 1751. I. 301. C. Cavendish berechnete Depressionen des Quecksilbers in Phil. Trans. 1776. p. 382. Monge in Mém. de l'Ac. 1787. p. 506. auch in Nichols. J. III. 269. Leslie in Phil. Mag. XIV. 193.

6 S. *Weltgegenden.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Centralbewegung.

Motus centralis; nennt man die Bewegung, welche durch eine, gegen einen unveränderlichen Mittelpunct gerichtete Kraft bestimmt wird.

1. Wenn der durch eine solche Kraft gegen den Mittelpunct angezogene oder von dem Mittelpuncte abgestofsene Punct nicht etwa eine Bewegung hat, deren Richtung mit der Richtung der Kraft zusammentrifft; so ist die so entstehende Bewegung allemal eine krumlinigte. Es ist nämlich einleuchtend, dafs ein Körper (den wir übrigens hier als einen einzigen Punkt ansehen), wenn er eine Geschwindigkeit nach der Richtung A B hat, und vermöge dieser in 1 Sec. von A nach B gelangen würde, nicht den Weg A B durchlaufen kann, wenn eine nach C anziehende Kraft auf ihn wirkt, sondern, wenn diese allein in 1 Sec. ihn nach D bringen würde, so durchläuft er in 1 Sec. die Diagonale A E, vermöge der Gesetze der Zusammensetzung der Kräfte oder Geschwindigkeiten[1].

Fig. 30.

In der nächsten Secunde durchläuft er wieder nicht die Verlängerung der A E, sondern wenn man auf dieser Verlängerung E F = A E nimmt, und nun E H auf E C so grofs setzt, als der Weg ist, durch welchen die anziehende Kraft für sich allein den Körper in eben der Zeit treiben würde, so ist wieder die Diagonale E G als der wahre Weg des Körpers anzusehen. Eigentlich freilich ist die Bahn des Körpers nicht aus den geraden Stücken A E, E G, zusammengesetzt, sondern wegen der unaufhörlich einwirkenden Kraft wird die Bahn eine krumme Linie, zu welcher die eben angegebenen geraden Linien ebenso eine Annäherung geben, wie das Polygon im Kreise zum Kreise selbst.

2. Die eben angeführte Betrachtung zeigt, *dafs der von dem Körper, auf welchen eine Centralkraft wirkt, beschriebene Sector A C G der Zeit proportional ist, die gegen C wirkende Kraft sey, nach welchem Gesetze man will, veränderlich.*

Wirkte die Kraft gar nicht, so würde in Beziehung auf

---

1 S. *Bewegung* Th. I. 933.

den Punct C der Sector A C B vermöge der anfänglichen Geschwindigkeit durchlaufen; aber der bei vorausgesetzter Einwirkung der Kraft beschriebene Sector A E C ist eben so grofs, weil die Dreiecke A B C, A E C einerlei Grundlinie A C und gleiche Höhen haben. Eben so grofs würde im zweiten Zeittheilchen der Sector E C F seyn, wenn die Kraft nicht aufs neue einwirkte, weil dann mit der schon erlangten Geschwindigkeit ein Weg E F = A E durchlaufen würde, und E F = A E auf derselben geraden Linie lägen, also die Dreiecke A E C, E F C an Inhalt gleich wären; aber da aus dem Vorigen schon erhellet, das auch der Flächenraum E C F = E C G; so ist E C G = A C E. So werden also in gleichen Zeittheilen gleiche Flächenräume zurückgelegt, und in ungleichen Zeiträumen sind die Sectoren den Zeiten proportional, ohne dafs dabei die absolute Gröfse der Kraft, noch auch, ob sie gleich wirkend bleibt oder nicht, in Betrachtung kömmt.

Dieses ist die theoretische Ableitung des ersten Keplerschen Gesetzes[1].

3. *Wenn der Körper in einem gegebenen Abstande = C A die Geschwindigkeit = c hat, so wird die vermöge der Centralkraft geänderte Geschwindigkeit = v in jeder Entfernung = C V eben so grofs seyn, wie sie seyn würde, wenn der Körper gerade gegen C zu bewegt, von A nach W, wo C W = C V ist, durch die Kraft in C getrieben wäre.* Fig. 31.

Es sey zuerst V sehr nahe bei A, so dafs man die Kraft als gleichförmig wirkend während der Bewegung von A nach V im einen, oder von A nach W im andern Falle, ansehen kann. Dann ist die Zunahme der Geschwindigkeit beim Falle durch A W der Zeit proportional, also = 2 g p t, wenn p die Kraft, in Vergleichung gegen die als Einheit betrachtete Schwerkraft und 2 g die durch die Schwere in der Zeiteinheit bewirkte Geschwindigkeit bedeutet. Die nach A V wirksame Kraft ist = p. Cos C A V und in gleicher Zeit = t würde also auf A V die Zunahme der Geschwindigkeit 2 g p t. Cos C A V betragen; da aber A V : A W = 1 : Cos C A V, so ist die zum Durchlaufen von A V verwendete Zeit (weil die Anfangsgeschwin-

1 S. *Bahn, der Planeten.*

digkeit sowohl für den durch A W als durch A V laufenden Körper einerlei, zum Beispiel = c ist) = $\frac{t.}{\overline{\text{Cos CAV}}}$, und folglich in dieser Zeit die Zunahme der Geschwindigkeit = 2 g p t, ebenso wie bei der Bewegung auf A W.

Man kann dieses kurz so ausdrücken: die Zunahme der Geschwindigkeit ist für einen kleinen Raum, wo die Kraft ungeändert bleibt, sowohl der Kraft als der Zeit, während welcher sie wirkt, proportional: nun ist zwar die nach A V wirkende Kraft kleiner als die nach A W wirkende, aber die auf A V verwandte Zeit in eben dem Mafse gröfser, so dafs das Product beider Gröfsen ungeändert bleibt.

Gilt dies aber für ein kleines Stück A V des Weges, so gilt es auch für das nächste und so fort, so dafs auch in Z die Geschwindigkeit so grofs geworden ist, wie sie bei einem von A geradezu nach Y gelangenden Körper wäre, wenn beide mit gleicher Geschwindigkeit von A ausgegangen wären, und C Y = C Z ist.

4. Wenn der Körper in einer gekrümmten Bahn um den Mittelpunct läuft, so hat die Kraft, die ich als eine anziehende betrachten will, eine doppelte Wirkung, indem sie erstlich die Geschwindigkeit vermehrt, wenn sich der Körper dem Centro nähert, oder sie vermindert, wenn die Entfernung vom Centro zunimmt, und zweitens ihn in seiner Bahn erhält, oder hindert, dafs er nicht, wie die Trägheit es fordern würde, nach der Tangente fortgeht. Man kann sich daher in jedem Puncte der Bahn die anziehende Kraft als zerlegt in eine nach der Richtung der Tangente und in eine nach der Richtung der Normallinie vorstellen, wo dann jene die eben erwähnte erste, diese die zweite Wirkung hervorbringt.

Die *Bahn*, welche der Körper durchläuft, kann nach Verschiedenheit der anziehenden Kräfte sehr verschieden seyn, und für die abstofsenden Kräfte gilt etwas ganz hiemit übereinstimmendes.

Kreisbewegung.

Fig. 32. 5. Wenn ein gegen C hin von einer bestimmten Kraft angezogener Körper A nach einer auf A C senkrechten Richtung fort-

geschleudert wird, so bleibt er auf einem Kreise, wenn die anziehende Kraft allein wirkend ihn in einem kurzen Zeittheilchen eben so viel näher zum Mittelpuncte C hinzöge, als er auf A B fortgehend sich in gleicher Zeit von C entfernen würde.

Es sey die Kraft p mal so grofs als die Schwere und daher die in einer kurzen Zeit $= t$ vermöge dieser Kraft allein erlangte Geschwindigkeit $= 2\,g\,p\,t$ (wenn $2\,g$ die durch die Schwere in der Zeiteinheit bewirkte Geschwindigkeit ist), der durchlaufene Weg $= g\,p\,t^2$. Um so viel $=$ A D würde der Körper sich von der senkrechten A B entfernen, wenn eine solche mit A C parallel wirkende Kraft immer fort auf den in A zuerst ruhenden Körper wirkte; aber auch, wenn während der Fortbewegung nach A B eine mit A C parallel bleibende Kraft fortwirkte, würde eben die Entfernung von der Richtungslinie A B hervorgebracht werden. Nennen wir nun ferner die Geschwindigkeit des Körpers, die er in A hat, um auf A B fortzugehen ... c, so würde der in der Zeit t durchlaufene Raum $= c\,t$ seyn, und wenn $A\,B = c\,t$ ist, so gelangt der Körper vermöge der Wirkungen beider Kräfte in dieser Zeit nach E, wenn A B E D ein Parallelogramm ist. Damit nun

$C\,E = C\,A$ sey, mufs seyn:

$$D\,E : A\,D = \text{Sin } A\,C\,E : \text{Sin vers. } A\,C\,E$$

$$\text{oder } c\,t : g\,p\,t^2 = \text{Sin } A\,C\,E : 1 - \text{Cos } A\,C\,E.$$

$$= \sqrt{(1 + \text{Cos } A\,C\,E)} : \sqrt{(1 - \text{Cos } A\,C\,E)},$$

$$\text{oder } c : g\,p\,t = 1 : \text{Tang. } \tfrac{1}{2}\,A\,C\,E.$$

Bei so kleinen Bogen aber, wie sie hier vorausgesetzt werden, ist

$$\text{Tang. } \tfrac{1}{2}\,A\,C\,E = \frac{\tfrac{1}{2}\,\text{Bogen } A\,E}{r},$$

wenn $C\,A = r$ ist, und

Bogen A E ist sehr nahe $= c\,t$,

$$\text{also } c : g\,p\,t = 1 : \frac{c\,t}{2\,r},$$

$$\text{das ist } p \text{ mufs} = \frac{c^2}{2\,g\,r}$$

seyn, damit der Körper in derselben Entfernung bleibe.

Anmerkung. Diese Bestimmung ist vollkommen richtig, sie erscheint aber als unvollkommen, weil Gröfsen, die allerdings nicht viel verschieden seyn können, geradezu als ge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nau gleich mit einander vertauscht sind. Diese Unvollkommenheit vermeidet man, wenn man Grenzen angiebt, zwischen welchen die Kraft nothwendig enthalten seyn mufs, und diese kann man strenge bestimmen, ohne sich schwieriger Rechnungen und höherer Analysis zu bedienen; wie ich es in meinem Lehrbuche[1] gezeigt habe. Eine solche Bestimmung bewährt die Richtigkeit des eben Gefundnen.

6. Eine so grofse anziehende Kraft mufs also dem Mittelpuncte eigen seyn, wenn der Körper im ersten Augenblicke und eben deshalb auch unaufhörlich sich auf dem Umfange desselben Kreises erhalten soll. Die Geschwindigkeit des bewegten Körpers bleibt dabei ungeändert, da die auf die Richtung der Bewegung senkrechte Kraft dem Körper weder eine gröfsere Geschwindigkeit ertheilen, noch auch die erlangte schwächen kann. Die anziehende Kraft hat also einzig die Wirkung, zu hindern, dafs der Körper sich nicht vom Mittelpuncte entferne, und wir sehen sie daher an, als gerade entgegen wirkend einer Kraft, die diese Entfernung vom Mittelpuncte zu bewirken strebt, und die daher Centrifugalkraft oder Schwungkraft heifst. Der Ausdruck $p = \frac{c^2}{2gr}$ ist daher als das Mafs dieser Schwungkraft anzusehen, die folglich im directen Verhältnisse des Quadrates der Geschwindigkeit und im umgekehrten Verhältnisse des Halbmessers desjenigen Kreises, auf welchem die Bewegung geschieht, stehet.

7. Wenn der Körper mit der unveränderlichen Geschwindigkeit $= c$ den Umfang $= 2\pi r$ des Kreises vom Halbmesser $= r$ durchläuft, so ist die ganze Umlaufszeit $T = \frac{2\pi r}{c}$, oder $c = \frac{2\pi r}{T}$, und folglich ist auch $p = \frac{c^2}{2gr} = \frac{2\pi^2 r}{gT^2}$, oder die Schwungkraft ist direct dem Halbmesser des Kreises und umgekehrt dem Quadrate der Umlaufszeit proportional[2].

8. Sollen durch die anziehende Kraft eines und desselben

---

1 Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts u. d. Bewegg. fester u. flüss. Körper von Brandes. II. 78.

2 Vergl. *Centrifugalkraft*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Körpers zum Beispiel der Sonne im Planetensystem verschiedene Körper in verschiedenen Entfernungen auf ihren Kreisen erhalten werden, so ist p eine in verschiedenen Abständen ungleiche Kraft. Weifs man nun aus Keplers Untersuchungen, dafs bei den Planeten die Quadrate der Umlaufszeiten sich wie die Kubi der Abstände verhalten (*Keplers drittes Gesetz*) so ist, wenn r und T sich auf den einen, r′ und T′ sich auf den andern Planeten beziehen, und p, p′, die anziehenden Kräfte bedeuten nach dem Gesetze der Schwungkräfte, denen jene anziehenden Kräfte das Gleichgewicht halten müssen,

$$p : p' = \frac{r}{T^2} : \frac{r'}{T'^2},$$

aber nach dem dritten Keplerschen Gesetze

auch $T^2 : T'^2 = r^3 : r'^3$,

$$\text{also } p : p' = \frac{r}{T^2} : \frac{r^3}{r'^2 . T^2} = \frac{1}{r^2} : \frac{1}{r'^2},$$

die anziehenden Kräfte müssen sich, wie die Quadrate der Entfernungen umgekehrt verhalten, wenn das dritte Keplersche Gesetz richtig ist.

Allgemeine Untersuchung über die Centralbewegung.

9. Wenn der Körper auch nicht auf einem Kreise fortgeht, so kann man dennoch die Schwungkraft, die er vermöge der Bewegung auf seiner Bahn in jedem Puncte erlangt, berechnen. Jeder kleine Theil einer Curve kann nämlich als mit einem kleinen Kreisbogen zusammenfallend angesehen werden, und der Halbmesser dieses Kreises, welcher der Krümmungshalbmesser der Curve in eben diesem Puncte heifst, dient ebenso zur Bestimmung der Schwungkraft wie vorhin, wo der Körper den ganzen Kreis durchlief. Man kann daher, um kurz zu übersehen, worauf die Bestimmung der Bewegung beruht, nur folgende Ueberlegung anstellen.

Es sei C der anziehende Mittelpunct, A der Punct, wo der Körper sich in seiner Bahn befindet, und A B die Tangente der Bahn. Zerlegt man nun die beschleunigende Kraft, die auf A nach der Richtung A C wirkt, in eine auf A B senkrechte und in eine damit parallele, so wird die letztere angewandt, Fig. 30.

um die Geschwindigkeit zu vermehren, wenn C A B ein spizzer Winkel, zu vermindern, wenn C A B ein stumpfer Winkel ist; die erstere aber mufs der Schwungkraft das Gleichgewicht halten, und man kann daher entweder die in A wirkende Kraft bestimmen, wenn die Bahn des Körpers bekannt ist, oder man kann umgekehrt angeben, wie grofs der Krümmungshalbmesser der Curve an dieser Stelle seyn mufs, wenn man die Gröfse der Kraft und die dort stattfindende Geschwindigkeit kennt. Ein Beispiel wird dies erläutern.

10. Nach Keplers Bestimmungen bewegen sich die Planeten in Ellipsen, in deren Brennpuncte die Sonne steht, und die um die Sonne beschriebenen Sectoren sind der Zeit proportional. Die letzte Bemerkung läfst uns schliefsen, dafs die Kraft, welche den Planeten in seiner Bahn erhält, in der Sonne im Brennpuncte der Ellipse ihren Sitz hat; wir wollen daher für einige Puncte der Ellipse die Gröfse dieser Kraft zu bestimmen suchen.

Wenn die halbe grofse Axe der Ellipse $= a$, die halbe kleine Axe $= b$ heifst, so ist der Inhalt der Ellipse $= a.\ b.\ \pi$, weil er sich zum Inhalt eines Kreises vom Halbmesser a verhält, wie $b : a$. Nenne ich T die in Secunden ausgedrückte Umlaufszeit, so ist $\frac{a\,b\,\pi}{T} =$ dem in 1 Sec. beschriebenen Sector. Befindet sich nun der Körper in der grofsen Axe und zwar in dem Puncte A, welcher der Sonne C am nächsten ist, so ist seine Entfernung $C\,A = a - \sqrt{(a^2 - b^2)}$; und wenn A B den in 1 Sec. durchlaufenen Bogen vorstellt, und $A\,B = c$ ist, so hat man

Fig. 33.

den Sector $A\,C\,B = \frac{1}{2}\,c.\ (a - \sqrt{(a^2 - b^2)}) = \frac{a\,b\,\pi}{T}$,

wodurch $c = \frac{2\,a\,b\,\pi}{T\,(a - \sqrt{(a^2 - b^2)})}$ bestimmt ist. Der Krümmungshalbmesser der Ellipse ist in diesem Puncte $= \frac{b^2}{a} = r$,

und folglich die Schwungkraft $= \frac{c^2}{2\,g\,r} =$

$\frac{4\,a^2\,b^2\,\pi^2}{T^2(a - \sqrt{(a^2 - b^2)})^2} \cdot \frac{a}{2\,g\,b^2} = \frac{2\,a^3\,\pi^2}{g\,T^2\,f^2}$, wenn ich $(a - \sqrt{(a^2 - b^2)}) = f$ nenne.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Am andern Ende der grofsen Axe bei G sey c' die Geschwindigkeit, f' die Entfernung, so ist, weil auch da die Richtung der Bewegung senkrecht auf den Radius Vector ist, der Sector $= \frac{1}{2} c' f' = \frac{a b \pi}{T.}$, also $c' = \frac{2 a b \pi}{T. f'}$, und die Schwungkraft $= \frac{2 a^3 \pi^2}{g. T^2. f^2}$. Also verhalten sich die Schwungkräfte an beiden Enden der grofsen Axe, umgekehrt wie die Quadrate der Entfernung wie $\frac{1}{f^2} : \frac{1}{f'^2}$, und eben so mufs sich also die dieser Schwungkraft hier genau entgegengesetzte Anziehungskraft der Sonne verhalten, weil sie es ist, die den Körper hindert, der Trägheit zu folgen, und ihn nöthigt, in dieser bestimmten Bahn zu bleiben.

Wir wollen noch als dritten Punct der Bahn den Endpunct der kleinen Axe betrachten. Wenn E der Mittelpunct der Bahn, D der Endpunct der kleinen Axe ist, so ist hier die Richtung der Bewegung auf E D senkrecht; der Abstand C D vom Brennpuncte ist hier $= a$, und wenn $D H = c''$ hier den Weg in einer Secunde bedeutet, so ist der Sector $D C H = \frac{1}{2} c''. b.$ weil des Sectors Höhe $D E = b$ ist, also $c'' = \frac{2 a b \pi}{T. b} = \frac{2 a \pi}{T}$.

Der Krümmungshalbmesser der Ellipse ist an dieser Stelle $= \frac{a^2}{b}$, also die Schwungkraft $= \frac{4 a^2 \pi^2}{T^2}. \frac{b}{2 g a^2} = \frac{2 b \pi^2}{g T^2}$.

Hier ist es aber nicht die gesammte Attractionskraft der Sonne, die der Schwungkraft entgegen wirkt, sondern wenn die ganze Kraft nach der Richtung D C, ... p'' heifst, so ist der Theil derselben, der senkrecht gegen die Bahn gerichtet ist,

$$= p''. \text{Cos. } C D E = \frac{p'' b}{a},$$

also mufs $\frac{p'' b}{a} = \frac{2 b \pi^2}{g T^2}$

oder $p'' = \frac{2 a \pi^2}{g T^2}$ seyn.

Die Werthe der Normalkraft in den drei betrachteten Puncten sind allso $\frac{2 a \pi^2. a^2}{g T^2. f^2}$; $\frac{2 a \pi^2. a^2}{g T^2 f'^2}$; $\frac{2 a \pi^2}{g T^2} \cdot \frac{a^2}{a^2}$,

sie verhalten sich also wie $\frac{1}{f^2} : \frac{1}{f'^2} : \frac{1}{a^2}$, oder umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen f, f', a. Für andere Puncte der Ellipse würde man dasselbe Gesetz bestätigt finden.

11. Um aber die Frage, ob die Bewegung, wenigstens in Beziehung auf die betrachteten drei Puncte, ganz einer solchen, im umgekehrten Verhältnifs des Quadrates der Entfernungen wirkenden Kraft gemäfs sey, sollten wir auch noch die Geschwindigkeiten c, c', c'' näher betrachten. Es sollte, damit der Gleichheit der Sectoren Genüge geschähe, für die gröfseste Entfernung $f' = a + \sqrt{(a^2 - b^2)}$, $c' = \frac{2\,a\,b\,\pi}{T\,f'}$; für die mittlere Entfernung $= a$, $c'' = \frac{2\,a\,\pi}{T}$; für die kleinste $f = a - \sqrt{(a^2 - b^2)}$ die Geschwindigkeit $c = \frac{2\,a\,b\,\pi}{T\,f}$ seyn.

Um hier nicht die ganze Lehre von der Bestimmung der Geschwindigkeit eines frei gegen einen anziehenden Mittelpunct fallenden Körpers einzuschalten, will ich den Satz als erwiesen annehmen, dafs, wenn C, C' die Geschwindigkeiten sind, die dieser Körper in den Entfernungen F, F' hatte, $C^2 - C'^2 = 4\,g\,l^2 \left\{\frac{F' - F}{F.F'}\right\}$ seyn mufs, wenn die Kraft den Quadraten der Abstände umgekehrt proportional ist, und l hier eine von der absoluten Gröfse der Kraft abhängende Gröfse bedeutet. In unserm Falle ist nun $c^2 - c'^2 =$

$$\frac{4\,a^2\,b^2\,\pi^2}{T^2}\left(\frac{1}{f^2} - \frac{1}{f'^2}\right) = \frac{4\,a^2\,b^2\,\pi^2}{T^2}\cdot\frac{(f' + f)\,(f' - f)}{f^2\,f'^2}$$

$$\text{und } c^2 - c''^2 = \frac{4\,a^2\,b^2\,\pi^2}{T^2}\left(\frac{1}{f^2} - \frac{1}{b^2}\right) = \frac{4\,a^2 b^2\,\pi^2}{T^2}\cdot\frac{(b+f)\,(b-f)}{b^2\,f^2},$$

oder weil $f' + f = 2\,a$ und $f'.\,f = b^2$ ist,

$$c^2 - c'^2 = \frac{8\,a^3\,\pi^2\,(f' - f)}{T^2\,f\,f'},$$ wie es nach der durch C, F ausgedrückten allgemeinen Formel seyn mufs; und weil

$$b^2 - f^2 = 2\sqrt{(a^2 - b^2)}.\,(a - \sqrt{(a^2 - b^2)})$$

oder $b^2 - f^2 = 2\sqrt{D\,(a^2 - b^2)}.\,f$, ist, $c^2 - c''^2 =$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$\frac{8\,a^2\,\pi^2}{T^2} : \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)}}{f} = \frac{8\,a^3\,\pi^2}{T^2} \cdot \frac{(a - f)}{a\,f}$, welches gleichfalls jener Formel gemäfs ist.

12. Diese Betrachtungen werden hinreichen, um denen, die ohne höhere Analysis die Gründe für die theoretische Bestimmung der Planetenbahnen zu übersehen wünschen, den Weg zu zeigen; ich gehe jetzt zu gründlichern Untersuchungen über.

Es sey C der Mitterpunct der Kräfte, A B, die noch unbekannte Bahn des Körpers, die durch den Winkel A C B $= \varphi$ und den Abstand C B $= z$ bestimmt werden soll. Ist nun B D die an die Bahn in B gezogene Tangente und p die Gröfse der in B wirkenden beschleunigenden Kraft, so ist, wenn man die Senkrechte C D $=$ w auf die Tangente vom Mittelpuncte aus fället, die mit B D parallele, die Bewegung beschleunigende Kraft $= \frac{p\sqrt{(z^2 - w^2)}}{z}$; Fig. 34.

die auf die Richtung der Bewegung senkrechte Kraft $= \frac{p.\ w}{z}$

War nun die in B erlangte Geschwindigkeit $= v$, so ist $d\,v = \frac{2\,g\,d\,t.\,p.\sqrt{(z^2 - w^2)}}{z}$ oder $v dv =$ $\frac{2g\,d\,s.\,p.\ \sqrt{(z^2 - w^2)}}{z}$, und $\frac{p\,w}{z} = \frac{v^2}{2\,g\,r}$, wenn r den Krümmungshalbmesser in diesem Punct bedeutet. Diese Gleichungen reichen hin, um alle Umstände der Bewegung zu bestimmen; denn r läfst sich durch z und w, d s läfst sich durch eben die Gröfsen ausdrücken, und folglich enthalten die Gleichungen nur die drei veränderlichen Gröfsen v, w, z, wenn p gegeben ist, und es läfst sich aus beiden eine Gleichung für die Bahn, zwischen z und w, finden.

Um die Gleichungen bequemer darzustellen, wollen wir bemerken, dafs Cos C B D $= -\frac{dz}{ds} = \frac{\sqrt{(z^2 - w^2)}}{z}$, wo das — Zeichen steht, weil z abnimmt, wenn C B D ein spitzer Winkel ist. Die vorige erste Formel giebt also

$$v\,d\,v = -\,2\,g\,p\,d\,z.$$

woraus $\frac{v^2}{4g} = \frac{c^2}{4g} - \int p\,d\,z$, folgt, wenn c die an einem gewissen Orte statt findende Anfangsgeschwindigkeit bedeutet.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Diese Formel spricht den in Nr. 3. angeführten Satz aus, der also hier vollständig erwiesen ist

Um die andere Formel bequemer darzustellen, müssen wir r durch z und w ausdrücken. Bekanntlich ist $r = \frac{d\,s}{d\,\psi}$, wenn $d\,\psi$ den Krümmungswinkel bedeutet; aber wenn man die beiden Tangenten B D, b d zieht, die den Winkel $= d\,\psi$ mit einander machen, so ist $D\,d = -\,d\,w. = B\,D.\,d\,\psi$

also $d\,\psi = \frac{-\,d\,w}{\sqrt{(z^2 - w^2)}}$, und da auch $d\,s = \frac{-\,z\,d\,z}{\sqrt{(z^2 - w^2)}}$

war, $\frac{d\,s}{d\,\psi} = r = \frac{z\,d\,z}{d\,w}$ also $v^2 = 2\,g\,p.\,\frac{w\,d\,z}{d\,w}$, und vermöge der erste Gleichung $v\,d\,v = -\,2\,g\,p\,d\,z$, also durch Division $\frac{d\,v}{v} = \frac{-\,d\,w}{w}$, und $v = \frac{C}{w}$, $v.\,w = C$.

Dies ist der in Nr. 2. ausgesprochne Satz; denn v ist der in 1 Sec. durchlaufene Weg, und folglich v die Basis, w die Höhe des in 1 Sec. durchlaufenen Sectors, dessen doppelter Inhalt also $= C$, unveränderlich ist.

Setzt man diesen Werth von v, $v = \frac{C}{w}$ in die Gleichung $v^2 = \frac{2\,g\,p\,w\,d\,z}{d\,w}$, so ist $C^2 = \frac{2\,g\,p.\,w^3.\,d\,z}{d\,w}$ eine Gleichung, welche die Bahn des bewegten Körpers bestimmt, wenn p eine gegebne Function von z ist.

Anwendung auf die Planetenbahnen.

13. Es sey $z = \frac{\frac{1}{2}\,P}{1 + \text{Cos.}\,\varphi.\sqrt{\left(1 - \frac{P}{2\,a}\right)}}$ die Gleichung für einen Kegelschnitt,

$$\text{also Cos.}\,\varphi = \frac{\frac{P}{2\,z} - 1}{\sqrt{\left(1 - \frac{P}{2\,a}\right)}};$$

$$d\,\varphi.\,\text{Sin.}\,\varphi = \frac{\frac{1}{2}\,P\,d\,z}{z^2.\sqrt{\left(1 - \frac{P}{2\,a}\right)}}.$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Nun ist, wenn w noch immer die Senkrechte auf die Tangente bedeutet, bei jeder Curve $\frac{w}{z} = \frac{z\,d\varphi}{d\,s}$ oder

$$w = \frac{z^2\,d\varphi}{\sqrt{(d\,z^2 + z^2\,d\,\varphi^2)}},$$ das ist in unserm Falle

$$w = \frac{\frac{1}{2}\,P\,z}{\sqrt{\left(\frac{1}{4}\,P^2 + z^2\,\mathrm{Sin.}^2\,\varphi\left(1 - \frac{P}{2\,a}\right)\right)}},$$ oder weil

$\mathrm{Sin}^2\,\varphi.\left(1 - \frac{P}{2\,a}\right)$ hier $= \frac{P}{z} - \frac{P}{2\,a} - \frac{P^2}{4\,z^2}$; so ist

$$\frac{1}{w^2} = \frac{4}{P\,z} - = \frac{2}{P\,a} \text{ und } \frac{d\,w}{w^3} = \frac{2\,d\,z}{P\,z^2}.$$

Für die Centralbewegung sollte aber seyn $p = \frac{C^2\,d\,w}{2\,g.w^3.d\,z}$.

also mufs hier $p = \frac{C^2}{g\,P\,z^2}$, die anziehende Kraft dem Quadrate des Abstands z umgekehrt proportional seyn, wenn der Körper einen Kegelschnitt durchlaufen soll.

14. Nehmen wir umgekehrt an, es solle das Gesetz der Kraft seyn $p = \frac{A^2}{z^2}$ und man verlange die Curve zu bestimmen, die der Körper dann durchlaufen wird, so würden wir die letzte Gleichung in Nr. 12. durch $C^2 = \frac{2\,g\,A^2\,w^3\,d\,t}{z^2\,d\,w}$ ausgedrückt erhalten. Daraus würde $\frac{C^2}{2\,w^2} = \frac{2\,g\,A^2}{z} + B$ folgen, als Gleichung für die gesuchte Curve. Da wir aber eben nicht gewohnt sind, eine Curve durch den Abstand z und die Senkrechte w auf die Tangente darzustellen, so suchen wir w wegzuschaffen, und dafür jede Curve $\frac{1}{w^2} = \frac{d\,z^2}{z^4\,d\,\varphi^2} + \frac{1}{z^2}$ ist, (vgl. Nr. 13), so giebt die vorige Gleichung

$$\frac{C^2\,d\,z^2}{2\,z^4\,d\,\varphi^2} + \frac{C^2}{2\,z^2} = \frac{2\,g\,A^2}{z} + B,$$

$$C^2\,d\,z^2 = (2\,B\,z^4 + 4\,g\,A^2\,z^3 - C^2\,z^2)\,d\,\varphi^2 \text{ oder}$$

$$d\,\varphi = \frac{C\,d\,z}{z\sqrt{(2\,B\,z^2 + 4\,g\,A^2\,z - C^2)}}$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Das Integral $\int \frac{dz}{z\sqrt{(\alpha z^2 + \beta z - \gamma)}}$

ist aber $=$ Const. $- \frac{1}{\sqrt{\gamma}}$ Arc. Tg. $\frac{2\gamma - \beta z}{2\sqrt{\gamma}\cdot\sqrt{(\alpha z^2 + \beta z - \gamma)}}$

also $\varphi =$ Const. $-$ Arc. Tang. $\frac{C^2 - 2gA^2 z}{C\sqrt{(2Bz^2 + 4gA^2 z - C^2)}}$

oder wenn ich die Const. $= D$ nenne,

$$\text{Tang. } (D - \varphi) = \frac{C^2 - 2gA^2 z}{C\sqrt{(2Bz^2 + 4gA^2 z - C^2)}}$$

und $\text{Sin } (D - \varphi) = \frac{C^2 - 2gA^2 z}{z\sqrt{(2BC^2 + 4g^2A^4)}}$,

oder $z = \frac{C^2}{2gA^2 + \sqrt{(2BC^2 + 4g^2A^4)}\,\text{Sin. } (D - \varphi)}$.

Dies ist die allgemeine Gleichung für die Curve, welche beschrieben werden kann. Sie ist aber ganz mit der Gleichung für die Kegelschnitte einerley, wenn $\omega = 90^\circ - D + \varphi$ den Winkel bedeutet, den der Radius Vector mit der Haupt-Axe einschliefst, denn alsdann ist

$$z = \frac{C^2}{2gA^2 + \text{Cos. } \omega.\sqrt{(2BC^2 + 4g^2A^4)}}$$

und es ist $\frac{1}{2}P = \frac{C^2}{2gA^2}$ der halbe Parameter des Kegelschnitts

und $\frac{2BC^2}{4g^2A^4}$ ist $= \frac{P}{2a}$, also die halbe grofse Axe

$a = \frac{gA^2}{B}$, wie die Vergleichung der für alle Kegelschnitte passenden Gleichung Nr. 13. zeigt.

Die grofse Axe ist also negativ oder die Curve ist eine Ellipse, wenn B negativ ist; die Curve ist eine Hyperbel, wenn B positiv ist, und endlich eine Parabel, wenn $B = 0$ ist.

Wenn $\omega = 0$ ist, so befindet sich der bewegte Körper in der kleinsten Entfernung vom anziehenden Körper, weil dann der aus zwei positiven Gliedern bestehende Nenner am gröfsesten ist. Für ein negatives B erhält z seinen gröfsten Werth, wenn $\omega = 180^\circ$ ist, und in der Ellipse ist also da der bewegte Körper in seinen gröfsten Abstande vom anziehenden Körper. Für $B = 0$ wird mit wachsendem ω, z immer gröfser und

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

z wächst ins Unendliche, wenn ω sich dem Werthe $= 180°$ nähert; der Körper läuft auf dem Aste der Parabel ins Unendliche hinaus. Ist endlich B positiv, so wächst z mit zunehmendem Werthe von ω immerfort, bis

$$\text{Cos. } \omega = -\frac{2 g A^2}{\sqrt{(2 B C^2 + 4 g^2 A^4)}}$$

ist, oder diesen Werth, wo der Radius Vector mit der Asymptete der Hyperbel parallel wäre, erreicht ω niemals vollkommen, wenn sich auch der Körper auf dem Aste der Hyperbel noch so weit entfernt.

Dies alles gilt, wenn die Kraft $= \frac{A^2}{z^2}$ eine anziehende ist; eine abstofsende Kraft müfste man durch $-\frac{A^2}{z^2}$ ausdrücken, und also A^2 überall mit — bezeichnen. Für eine abstofsende Kraft ist also

$$z = \frac{C^2}{-2 g A^2 + \text{Cos. } \omega \sqrt{(2 B C^2 + 4 g^2 A^4)}}$$

und auch dieses ist eine Gleichung für die Hyperbel, weil, wie sogleich sich zeigen wird, B allemal positiv ist, für diesen Fall. Hier entspricht

$$z = \frac{C^2}{-2 g A^2 + \sqrt{(2 B C^2 + 4 g^2 A^4)}}$$

dem andern Endpuncte der Axe oder dem Puncte, wo die gegen den Brennpunct convexe Hälfte der Hyperbel diesem am nächsten ist; auch hier nimmt z zu, wenn ω zunimmt und z wird schon unendlich, wenn

$$\text{Cos. } \omega = \frac{2 g A^2}{\sqrt{(2 B C^2 + 4 g^2 A^4)}}$$

ist, der Körper geht auf dem Aste des entfernteren Theiles der Hyperbel fort.

15. Um deutlicher zu übersehen, wenn denn B positiv, $= 0$, oder negativ werde, müssen wir die zwei durch Integration eingeführten constanten Gröfsen B, C, näher bestimmen.

Von C habe ich schon bemerkt, dafs es den doppelten in der Zeit Einheit beschriebenen Sector bezeichnet. Heifst also der kleinste Abstand des bewegten Körpers $= h$, und ist, wenn er sich da befindet, seine Geschwindigkeit $= c$, so ist

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$C = h\,c$, weil hier die Richtung der Bewegung senkrecht auf den Radius Vector ist.

Die Gröfse A ist durch die absolute Gröfse der anziehenden Kraft p bestimmt; sie ist nämlich gleich dem Abstande von Centro, in welchem $p = 1$ der als Einheit angenommenen Kraft gleich ist. Bezieht sich also g auf die Schwere, oder bezeichnet g den vermöge der Schwerkraft in der ersten Secunde durchlaufenen Fallraum, so ist A die Entfernung, in welcher die Attractionskraft des Punctes C der Schwerkraft gleich ist. Damit ist dann auch B bestimmt. In dem Perihelio ist $z = w = h$ weil der Radius Vector senkrecht auf die Tangente ist, also

$$B = \frac{h^2 c^2}{2 h^2} - \frac{2 g A^2}{h} = \frac{c^2 h - 4 g A^2}{2 h}.$$

Und nun erhellt, dafs der Körper in einer Parabel läuft, wenn $\frac{C^2}{4 g} = \frac{A^2}{h}$; in einer Elilpse, wenn $\frac{C^2}{4 g} < \frac{A^2}{h}$, in einer Hyperbel, wenn $\frac{C^2}{4 g} > \frac{A^2}{h}$ ist.

Soll die Gleichung für den Kreis passen, so mufs $\frac{1}{2} P = -a$, also $-B\,C^2 = 2\,g^2\,A^4$ seyn (weil die Ellipse hier hervorging, wenn a negativ war); das ist, es mufs $\frac{C^2}{4 g} = \frac{A^2}{2 h}$ seyn.

Geschichte dieser Lehren.

16. Galilaei, der zuerst krummlinige Bewegungen nach mathematischen Regeln bestimmte, blieb bei der Betrachtung der geworfenen Körper, auf welche die Schwere wirkt, stehen, und seine Untersuchung gehören also nicht ganz hieher. Huygens machte zuerst die wichtigen Sätze von der Schwungkraft im Kreise bekannt[1] und zwar anfangs ohne Beweis. Die Beweise finden sich in den erst nach seinem Tode herausgekommenen Werken[2], die eine eigne Abhandlung de vi centrifuga enthalten. Er benutzte diese Lehre nicht blofs, um die Untersuchung über

1. Horologium oscillatorium. Paris. 1673.
2. Hugenii opusc. posth. Amstelod. 1728. Tom. II. pag. 105.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

das Pendel darauf zu gründen, sondern zeigte auch, dafs wegen der Schwungkraft die Erde abgeplattet seyn müsse, u. s. w. Ganz vollendet stellte Newton die Theorie der Centralbewegung in seinen Principien dar[3]; er bewies dort alle hier mitgetheilten Sätze nach der synthetischen Methode, in welcher das ganze Buch geschrieben ist. Er lehrte die Bestimmung der anziehenden Kraft auch für andere gegebene Bahnen der Körper; untersuchte, welche Folgen es hat, wenn der anziehende Körper selbst eine Bewegung hat; und gründete darauf die Untersuchung über die Bewegungen der Planeten und des Mondes.

Nachdem durch dieses Werk, dessen Ruhm gewifs mit Recht unsterblich heifsen kann, der Grund zu einer vollkommneren Kenntnifs der Bewegungen auf krummen Linien gegeben worden, war es minder schwer, theils dieselben Lehren in analytischer Form darzustellen, theils sie mit neuen Lehrsätzen zu bereichern. Dieses ist von Euler, Lagrange, Laplace, Olbers, Gauss u. a. geschehen, und diese Lehren findet man jetzt in allen guten Lehrbüchern der Mechanik. *B.*

Centralfeuer, S. *Erde. Temperatur derselben.*

Centralkraft.

Vis centralis; force centrale; *centralforce.* Eine Kraft, welche den bewegten Körper immer gegen einen bestimmten Punct hin zu ziehen, oder abstofsend ihn von demselben zu entfernen strebt, heifst Centralkraft. Die Bewegung, die vermöge der Einwirkung solcher Centralkräfte entsteht, ist in dem Artikel *Centralbewegung* betrachtet werden. Wenn die Kraft gegen den Mittelpunct zu wirkt, so heifst sie *Centripetalkraft* und nöthiget den Körper, dessen Bewegung nicht gerade gegen den Mittelpunct zu gerichtet ist, eine krumme Linie zu durchlaufen, die hohl gegen den anziehenden Mittelpunct ist. Wenn die Kraft abstofsend wirkt, so würde sie eine eigentliche Centrifugalkraft seyn, und den Körper nöthigen, eine Curve zu durchlaufen, deren convexe Seite dem abstofsen-

3. Principia philos. naturalis Lib. I. Sect. 2. 3.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

den Mittelpunct zugewandt wäre. Die Sonne besitzt eine Centralkraft, durch welche sie die Planeten und Kometen in ihren Bahnen erhält. da diese Kraft eine anziehende und umgekehrt den Quadraten der Entfernung proportional ist, so müssen die Bahnen der Planeten und Kometen Ellipsen, Parabeln oder Hyperbeln seyn, und was die Hyperbel betrifft, so müfste der Körper sich in derjenigen Hälfte der Hyperbel bewegen, die ihre hohle Seite gegen die Sonne kehrt. Gäbe es Körper, auf welche die Sonne abstofsend wirkte und gleichfalls so, dafs die Kräfte umgekehrt den Quadraten der Entfernung proportional wären, so müfsten solche Körper in Hyperbeln laufen, und zwar in derjenigen Hälfte der Hyperbel, die ihre Convexität gegen die Sonne kehrt. Die Gründe hierfür sind in Art. *Centralbewegung*. Nr. 14. 15. dargelegt.

Zu den Centralkräften gehört sodann noch die aus der Trägheit des Körpers hervorgehende *Schwungkraft*, die sich als eine vom Krümmungsmittelpuncte abwärts strebende Kraft zeigt. Warum man sie als eine der Centralkraft, von welcher die Bewegung regiert wird, oder vielmehr der aus ihr entspringenden Normalkraft entgegen wirkende Kraft ansehen mufs und wie ihre Gröfse bestimmt wird, ist im Art. *Centrifugalkraft* angegeben.

Aufgabe der Centralkräfte nennt man die Frage, wie aus der gegebnen krummen Linie das Gesetz der wirkenden Centralkraft gefunden werden könne. Ein Beispiel giebt der Art. *Centralbewegung*. Nr 13. und Newton beantwortet mehrere solche Fragen [1]. *Die verkehrte Aufgabe der Centralkräfte* ist dagegen diejenige, wo man die Beschaffenheit der Bahn aus dem Gesetze der Kraft will kennen lernen, wie es im Art. *Centralbewegung*. Nr. 14. 15. geschehen ist. Völlig allgemein hat Joh. Bernoulli diese zuerst aufgelöst [2]. *B.*

Centrifugalkraft.

Vis centrifuga; force centrifuge; *centrifugal force*; ist eine Kraft, die eine Entfernung von einem bestimmten Mit-

1. Principia. Lib. I. Sect. 2. 3. Propos. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13.
2. Opera Tom. I. p. 470.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

telpuncte zu bewirken strebt. Man versteht gewöhnlich die *Schwungkraft* darunter, die nicht als eine ursprüngliche Kraft anzusehen, sondern bloſs eine Folge der Trägheit der Körper ist. Warum man sie gleichwohl eine Kraft nennt, erhellt schon aus dem, was im Art. *Centralbewegung*, Nr. 6 gesagt worden; denn da sie einer Kraft das Gleichgewicht hält, so muſs sie selbst eine Kraft seyn, deren Maſs nach den dort angegebnen Principien richtig bestimmt wird. Ihre Gröſse ist dort in Vergleichung gegen die Schwere, oder diejenige als Einheit angenommene Kraft bestimmt, die 1 Sec. wirkend dem Körper die Geschwindigkeit $= 2\,g$ ertheilt. Sie ist also dort als eine *beschleunigende* Kraft angesehen worden, und die folgenden Betrachtungen werden noch etwas näher zeigen, mit welchem Rechte wir sie so betrachten durften, und in welcher Rücksicht man sie als *bewegende* Kraft ansehen kann.

Wenn man eine Kugel, deren Gewicht ich 1 Pfund setzen will, an einem Faden gehalten, im Kreise schwingt, so wird der Faden durch die Schwungkraft gespannt erhalten und kann allenfalls von ihr zerrissen werden. Könnte man einen Faden wählen, der ganz genau ein Pfund tragen könnte, oder durch ein angehängtes Gewicht, das nur irgend mehr als ein Pfund beträgt, zerrissen würde, so dürfte man, wenn des Fadens Länge $= r$ wäre, die Geschwindigkeit nicht über $c = \sqrt{2\,g\,r}$ vergröſsern, sonst risse der Faden. Sobald nämlich $c^2 = 2\,g\,r$ ist, hat die Schwungkraft eben die Gewalt, wie die Schwere, erlangt, und die Masse, die wir ein Pfund nennen, übt dann einen eben so groſsen Druck, eine eben so groſse bewegende Kraft aus vermöge der Schwungkraft, als vermöge der Schwerkraft. Hätte man an demselben Faden eine Masse, die nur $\frac{1}{4}$ Pfund wöge befestigt, so müſste man die Geschwindigkeit verdoppeln, wenn r denselben Werth behält, um einen viermal so groſsen Werth der Schwungkraft, als beschleunigende Kraft betrachtet, zu erhalten; diese vierfache Kraft bewirkt, daſs $\frac{1}{4}$ Pfund so stark drückt, als ein ganzes der Wirkung der Schwere ausgesetztes Pfund, und dieses Viertelpfund kann bei solcher Geschwindigkeit wieder den Faden zerreiſsen.

Ist zum Beispiel $r = 1$ Fuſs, $2g = 30$ Fuſs, $c = 5\frac{1}{2}$ Fuſs, so ist beinahe $p = \frac{c^2}{2\,gr} = 1$, und das mit $5\frac{1}{2}$ Fuſs Geschwin-

digkeit bewegte ganze Pfund würde den Faden zerreifsen; aber um mit dem herumgeschwungenen Viertelpfunde den Faden zu zerreifsen, müfste man demselben eine Geschwindigkeit von etwa 11 Fufs in der Secunde geben.

Von dieser Schwungkraft hängen viele Erscheinungen ab. Wie sie bei der Bewegung geworfener Körper in Betrachtung kommt, zeigt der Art. *Centralbewegung*. — Die sphäroidische Gestalt der Erde wird durch die Schwungkraft hervorgebracht; indem diese der Schwerkraft entgegen wirkt, daher den Körpern auf der Erde einen Theil ihrer Schwere raubt, und dies am meisten um den Aequator, wo sich deshalb, um den Gegendruck herzustellen, eine gröfsere Wassermenge anhäuft. — Von der Schwungkraft hängen die Wirbel ab, die wir in fliessendem Wasser sehen; — die mit ziemlich bedeutender Geschwindigkeit um einen Mittelpunct laufenden Theilchen streben, sich von diesem Mittelpuncte zu entfernen, und da das umgebende Wasser dies nicht ganz gestattet, so steht das Wasser am Rande des Wirbels höher, in der Mitte tiefer, und hier oft sehr bedeutend tief, wo dann der Platz mit Schaum, d. i. Luft, die nur sehr wenig Wasser zwischen sich hat, ausgefüllt ist.

B.

Centrifugalmaschine,

the whirlingtable, ein Instrument, woran man durch Umdrehung einer horizontalen Scheibe die Wirkungen der Schwungkraft zeigen kann.

1. Die Einrichtung derselben besteht im Wesentlichen darin, dafs eine oder zwei horizontale Scheiben, meistentheils vermittelst einer Schnur ohne Ende durch ein Rad, oder eine Scheibe welche man dreht, in eine schnelle Bewegung gesetzt werden. Hierbei kann man eine ungleiche Geschwindigkeit jener Scheibe, die ich die Schwungscheibe nennen will, durch mehr oder minder schnelles Drehen des Rades bewirken, und überdies hat jeder auf der Schwungscheibe weiter vom Mittelpuncte entfernte Punct eine gröfsere Geschwindigkeit. Weifs man, wie viele Umläufe die Schwungscheibe macht, während sich das mit der Hand gedrehte Rad einmal dreht, so kann

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

man leicht die wahre Geschwindigkeit jedes Punctes auf der Scheibe bestimmen.

Es giebt mehrere Constructionen dieser Maschine, und die Apparate, deren man sich zur Erläuterung der Erscheinungen der Schwungkraft bedient, sind mehr oder minder zusammen gesetzt und zahlreich, lassen sich aber leicht auffinden und abändern[1]. Aufser den älteren Maschinen findet man am häufigsten die durch Ferguson[2] beschriebene; eleganter und besser zum Gebrauche aber ist die von Desagüliers[3] angegebene mit den Verbesserungen, welche Nairne hinzugefügt hat. Sie ist aus der Zeichnung leicht zu erkennen, und mit zwei dazu gehörigen Apparaten dargestellt. Fig. 35.

Versuche, die man mit der Centrifugalmaschine anzustellen pflegt.

2. Man schraubt auf die Mitte der Scheibe den Träger, worauf ein dünnes, sehr glattes Metallstäbchen C D angebracht ist. Auf dieses Stäbchen schiebt man Kugeln, die durch den Mittelpunct durchbohrt, und deren zwei vermittelst eines Fadens oder einer metallenen Röhre verbunden sind. Das Stäbchen selbst ist von dem Puncte aus, welcher dem Centrum der Scheibe entspricht, getheilt, so dafs man die Kugeln auf bestimmte Entfernungen vom Mittelpuncte stellen kann. Fig. 36.

3. Wählt man nun zuerst zwei gleiche Kugeln und stellt sie in ungleiche Entfernungen vom Mittelpuncte, und an entgegengesetzte Seiten desselben, so schiebt sich die entferntere, sobald die Drehung nur stark genug ist, damit die Schwungkraft die Reibung überwinden könne, so weit als möglich vom Mittelpuncte weg, und zieht die andere Kugel, wenn sie jenseits des Mittelpunctes steht, mit sich. — Die Schwungkraft der entfernteren Kugel ist also gröfser die der nähern, wenn ihre Massen gleich sind. Dies folgt aus der Formel[4] $p = \frac{2\pi^2 r}{g T^2}$, weil die

1 Vergl. Hutton Dict. II. 602.
2 Lectures on Mechanics lect. 2.
3 Cours de Phys. I. 330.
4 S. *Centralbewegung* Nr. 7.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Umlaufszeit hier für beide gleich ist. Wären beide Kugeln an derselben Seite des Mittelpunctes, so würden beide ein gleiches Bestreben haben, sich nach eben der Seite hin so weit als möglich zu entfernen und müfsten also bei jeder Bewegung ruhen.

4. Wählt man zwei ungleiche Kugeln, deren Gewichte sich wie m zu n verhalten, und stellt sie einander so gegenüber an verschiedenen Seiten des Mittelpunctes, dafs sich die Entfernungen umgekehrt wie die Gewichte verhalten, so bleiben sie bei der Drehung unverändert in ihrer Stellung. Die bewegenden Kräfte sind nämlich, wenn der Abstand der ersten $= n\,a$, der zweite $= m\,a$ ist, gleich für diese Massen, weil die beschleunigende Kraft $= \frac{2\pi^2 n\,a}{g\,T^2}$ auf die Masse m wirkend, eben den Druck hervorbringt, wie die beschleunigende Kraft $= \frac{2\pi^2 m\,a}{g\,T^2}$, wenn sie auf die Masse n wirkt. Dieser Versuch läfst sich nicht gut ausführen, weil es schwer ist, das Mafs der Entfernungen so strenge, als es erforderlich wäre, zu nehmen, zumal da eine auch nur geringe Dehnung des Fadens das Verhältnifs der Entfernungen leicht ein wenig ändert. Man kann statt dessen lieber es so einrichten, das die Entfernung der Kugel, deren Masse m ist, etwas weniges zu grofs sey; dann entfernt sie sich vom Mittelpuncte und zieht die andre mit fort; und wenn man dagegen in einem zweiten Versuche die Entfernung der andern Kugel mit Fleifs ein wenig zu grofs nimmt, so zieht diese jene mit fort, so dafs leicht erhellt, das Gleichgewicht werde eintreten, wenn man die Entfernungen ganz genau jener Regel gemäfs genommen hätte.

5. In der geneigten Röhre a D befinden sich Wasser und Quecksilber. So lange die Schwungscheibe ruht, ist das Quecksilber unten, das Wasser oben; aber sobald die Scheibe in schnelle Bewegung gesetzt wird, drängt sich das Quecksilber nach oben. Dies erklärt sich leicht aus den Gesetzen der Schwungkraft; denn wenn man die an das Wasser grenzende Quecksilberschicht und die benachbarte Wasserschicht, die ich beide als von gleichem Volumen ansehen will, betrachtet, so wirkt auf beide sehr nahe dieselbe beschleunigende Kraft, aber das vierzehnmal so dichte Quecksilber übt, wegen seiner

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

14 mal so grofsen Masse, bei gleich einwirkender Beschleunigung einen 14 mal so grofsen Druck aus, und treibt das Wasser aus der Stelle. Da dies überall, wo Wasser und Quecksilber in der geschwungenen Röhre an einander grenzen, ebenso der Fall ist, so drängt sich alles Quecksilber nach dem entferntesten Theile der Röhre hin, und thut dies selbst dann, wenn wegen der Neigung der Röhren gegen den Horizont die Schwere überwunden werden mufs.

Auch auf folgende Weise läfst sich diese Wirkung der Schwungkraft anschaulich machen. Man nimmt eine Glaskugel C, etwa 3 Z. im Durchmesser haltend, mit einem Stiele a a fafst diesen in Messing, und schraubt ihn vermittelst dieser Fassung so auf die Schwungscheibe, dafs die lothrechte Linie durch das Centrum der Kugel und die Axe des Stiels geht, füllt die Kugel bis zur Hälfte mit denjenigen Flüssigkeiten, welche das Elementenglas enthält,[1] so dafs diese in Ruhe die Schichten $\alpha\alpha$, $\beta\beta$, $\gamma\gamma$, $\delta\delta$ bilden, und verstopft die obere Oeffnung, oder verschliefst sie hermetisch. Giebt man hernach dem Apparate eine schnelle drehende Bewegung um seine Axe vermittelst der Schwungmaschine, so legen sich die verschieden specifisch schweren Flüssigkeiten in concentrische Lagen, das schwerste Quecksilber nach aufsen, und die leichteste Luft nimmt den innersten Raum ein. Fig. 37.

6. Man kann bei dieser Schwungmaschine eine Einrichtung anbringen, um die Gröfse der Schwungkraft geradezu abzumessen. Zu diesem Zwecke wird in der Mitte des bisher betrachteten Trägers eine aufrechtstehende Säule errichtet, woran sich oben eine Rolle befindet. Eine auf dem Stäbchen C D bewegliche Kugel oder eine sonstige Masse von bekanntem Gewichte ist an einem Faden befestiget, der über die Rolle gehend am andern Ende ein Gewicht trägt. Stellt man die Kugel so weit es der Faden erlaubt, vom Mittelpuncte entfernt, während das Gewicht noch unten aufliegt, und setzt die Scheibe in eine hinreichend schnelle Bewegung, so entfernt sich die Kugel noch weiter vom Mittelpuncte und hebt das Gewicht. Will man die Schwungkraft nicht, wie es bei der eben beschriebenen Ein- Fig. 35.

---

1 S. *Elementenglas.*

richtung der Fall wäre, einen Zug in schiefer Richtung ausüben lassen, so bringt man bei A eine Rolle und senkrecht über A in der Höhe die zweite Rolle B an, damit der Faden von E nach A horizontal und dann senkrecht hinauf läuft und über die obere Rolle fortgeht. Die Sperrung auf der gezahnten Stange dient zum bequemen Feststellen der Kugel. Wenn die Maschine so eingerichtet ist, dafs man die Schnelligkeit der Umdrehungen ziemlich genau bestimmen kann, so liefse sich hieran ein förmliches Experiment zur Abmessung der Schwungkraft knüpfen. Das Gewicht der Kugel sey $= \frac{1}{2}$ Pfund, das zu hebende Gewicht $= 1$ Pfund, und die Kugel stehe 1 Fufs vom Mittelpuncte, so müfste die Geschwindigkeit fast $= 8$ Fufs in der Secunde seyn, damit $\frac{c^2}{2gr} = \frac{64}{30.1}$ reichlich $= 2$ würde, um das doppelt so schwere Gewicht zu heben, und auch noch die Reibung zu überwinden. Das Experiment würde genau die hier nur ungefähr berechnete Geschwindigkeit angeben.

7. Wenn man an einer senkrechten glatten Axe vier bis sechs sehr dünne, elastische, kreisförmige Reifen unten befe-
Fig. stiget, oben aber die Axe A B frei durch sie hindurchgehen
31. läfst und ihnen hierdurch erlaubt, eine elliptische Gestalt, mit verkürztem Verticaldurchmesser anzunehmen, so wird, sobald man sie vermittelst der Axe auf die Schwungscheibe schraubt, und mit ihr die elastischen kreisförmigen Reifen in Drehung setzt, die Schwungkraft den von der Axe entfernten Theilen ein Bestreben geben, sich mehr von der Axe zu entfernen, und dadurch werden die Reifen abgeplattet, ellipdisch, so dafs die verticale Axe die kürzere ist. Bei schneller Drehung hat es dann den Anschein, als ob man einen sphäroitischen Körper vor sich hätte. Dieses Experiment pflegt man als die Ursache der sphäroidischen Gestalt der Erde erläuternd anzuführen; und obgleich es hier die Elasticität der kreisförmigen Reifen, bei der Erde die Schwere ist, welche ursprünglich die Kreisform im einen, die Kugelform im andern zu erhalten strebt, so ist es wenigstens doch in beiden die Schwungkraft, welche die Aenderung bewirkt[1].

8. Langsdorfs Schwungmaschine gehört endlich auch noch

---

1 Mehr Experimente lehrt Ferguson, lectures on several Subjects. pag. 18.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hieher[2]. Eine verticale Röhre A B, die sich oben in zwei horizontale ein wenig gebogene Arme B C, B D endiget, ist bei A in die Wasserfläche E F eingetaucht. Bei G ist sie mit einem Trilling umgeben, der vermittelst des Rades H in schnelle Drehungsbewegung gesetzt werden kann. Um die Maschine in Thätigkeit zu setzen, wird die ganze Röhre, die bei A mit einem sich oberwärts öffnenden Ventil versehen ist, von oben mit Wasser gefüllt, und dann das Rad H gedrehet und so auch die Röhre C B A D in schnelle Schwungbewegung gesetzt. Dieser Schwung ertheilt den bei C und D liegenden Wassertheilchen ein Bestreben, sich vom Mittelpuncte B zu entfernen, und das Wasser fliefst daher dort aus; weil aber der Druck der Atmosphäre auf E F nicht gestattet, dafs irgendwo in der Röhre ein leerer Raum entstehe, und das gesammte Wasser in B C sich nach C, das gesammte Wasser in B D sich nach D drängt, so tritt immer neues Wasser bei A in die Röhre, so dafs vermöge dieses Saugens bei A und des Schwunges in C D, fortwährend Wasser gehoben und bei C, D, ausgegossen wird. — — Man kann also mit dieser Maschine, wie mit einer Saugepumpe das Wasser heben und aus dem Raume unter E F fortschaffen. Langsdorf nennt sie daher *Saug-Schwungmaschine.* *B.* Fig. 39.

Centrifugalpendel.

Pendulum centrifugum. Das Centrifugalpendel, welches Pfaffius zuerst wirklich ausgeführt zu haben scheint[2], besteht aus einer Kugel, die an einer Stange befestiget, statt der gewöhnlichen Pendelschwingungen eine Kreisbewegung macht. Stellt man sich nämlich die Pendelstange in einiger Entfernung von ihrem oberen Puncte so frei aufgehängt vor, dafs sie sich nach allen Richtungen bewegen kann, so wird sie, wenn man der seitwärts gehobenen Kugel eine Geschwindigkeit ertheilt, deren Richtung nicht in der durch die Pendelstange gelegten Verticalebene ist, eine Kreisbewegung annehmen, und die ganze Stange wird eine Kegelfläche beschreiben.

---

1 Langsdorfs Lehrbuch der Hydraulik. S. 352.
2 G. XVI. 494.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Gesetze dieser Bewegung kannte schon Huygens[1]. Pfaffius hat dieses Pendel angewandt, um eine Uhr zu treiben. Das obere, jenseit des Aufhängepunctes liegende Ende der Stange greift nämlich in einen Einschnitt einer Kurbel ein, und diese dreht, indem sie mit dem kreisenden Pendel fortgeführt wird, ein Getriebe, durch welches das Uhrwerk in Bewegung gesetzt wird. — Er hat es späterhin auch zu Tertien-Uhren angewandt.

Um die kreisförmige Bewegung zu erhalten, hat Pfaffius es so eingerichtet, dafs das Lager, worauf die Schneide, die dem Pendel zum Ruhepuncte dient, aufliegt, wieder auf einer Schneide schwingt, und beide Schneiden einen rechten Winkel mit einander machen. *B.*

Centripetalkraft.

Vis centripeta; force centripète; *centripetalforce.* Die Kraft, die einen bewegten Körper gegen den Mittelpunct der Kräfte hin anzieht. Wenn ihre Richtung mit der Richtung der Bewegung des Körpers übereinstimmt, so hat dieser blofs eine geradlinige Bewegung, und zwar eine beschleunigte Bewegung, wenn er auf den Mittelpunct zu gehet, eine verzögerte Bewegung, wenn er sich geradezu vom Mittelpuncte der anziehenden Kräfte entfernt. Ist die Richtung der Bewegung genau senkrecht gegen die Richtung der Kraft, so bringt die Kraft weder eine Beschleunigung noch eine Verzögerung der Bewegung hervor, sondern bewirkt blofs eine Krümmung der Bahn. Ist die Richtung der Kraft unter einem schiefen Winkel gegen die Richtung der Bewegung geneigt, so zerlegt man am besten die Kraft in eine Normalkraft, senkrecht auf die Richtung der Bewegung, und in eine Tangentialkraft, übereinstimmend mit der Richtung der Bewegung: jene wirkt blofs auf die Krümmung der Bahn, diese beschleunigt die Bewegung, wenn sie mit der Richtung der Bewegung zusammenfällt, oder verzögert sie, wenn sie der Richtung der Bewegung entgegen gesetzt ist[2]. *B.*

---

1 Hugenii opera posthuma. Tom. II. p. 126. Auch gehören Bernoulli's Untersuchungen über die pendula turbinantia hieher. Opera Iohannis Bernoulli Tom. II. Nr. 97.

2 Vergl. *Centralbewegung.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ceres.

Name eines Planeten, der seine Bahn zwischen Mars und Jupiter hat. Das Zeichen dieses Planeten ist ⚳.

Geschichte der Entdeckung.

Seit der Entdeckung des Uranus war von mehreren Astronomen der Gedanke geäufsert worden, dafs es nicht unmöglich scheine, noch andre Planeten zu entdecken. Die schon früher von Lambert obenhin angedeutete und von Bode bestimmter ausgeführte Bemerkung, dafs der Zwischenraum zwischen dem Mars und Jupiter zu grofs erscheine, und dafs das bei den übrigen Planeten nahe richtige Gesetz, dafs die Entfernung von der Sonne

für den Mercurius $= 4$;
Venus $= 4 + 3$;
Erde $= 4 + 2 \cdot 3$;
Mars $= 4 + 4 \cdot 3$;
x $= 4 + 8 \cdot 3$;
Jupiter $= 4 + 16 \cdot 3$;
Saturn $= 4 + 32 \cdot 3$

sey, hier eine Lücke zeige, leitete die Vermuthung darauf, es möge hier noch ein unentdeckter Planet seine Bahn haben, um so mehr, als man auch die Entfernung des Uranus dem Gesetze gemäfs fand. Das Bemühen einiger Astronomen, durch genaue und öftere Bestimmung der Lage selbst der kleineren Sterne, die der Ekliptik ziemlich nahe stehen, einen unter ihnen wandelnden Planeten durch seine Ortsveränderung zu erkennen, war indefs noch nicht vollkommen genug durchgeführt worden, um Erfolg zu gewähren, als im April 1801 bekannt wurde, Piazzi habe einen Kometen ohne Nebel entdeckt, der seine rückläufige Bewegung mit einer rechtläufigen vertauscht habe, als er ungefähr 56 Grade von der Opposition entfernt war. Da nun der Mars etwa in 44 Grad Abstand von der Opposition, Jupiter in 64 Grad Abstand von der Opposition stillstehend wird, so konnte dies auf jenen vermutheten Planeten passen, und die deutschen Astronomen Bode und von Zach hatten sich einander diesen Gedanken mitgetheilt, als man erfuhr, auch Pi-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

azzi selbst und Oriani wären geneigt, diesen Himmelskörper für einen Planeten zwischen Mars und Jupiter anzusehen.[1]

Piazzi hatte diesen Stern am 1. Januar 1801 entdeckt, sogleich am nächsten Abend seine Bewegung wahrgenommen und ihn nun fortwährend bis zum 11. Febr. beobachtet;[2] war aber dann durch eine Krankheit an ferneren Beobachtungen gehindert. Der Bogen, den der Planet unterdefs durchlaufen hatte, schien zu klein, um eine genaue Bahn zu berechnen; mehrere Astronomen berechneten indefs aufser der Kreisbahn, die den Beobachtungen ziemlich nahe Genüge that, auch noch Parabeln. Burkhardt berechnete eine Ellipse, die indefs für nicht sehr sicher gehalten werden konnte, da man eine Ellipse nur mit Hülfe irgend einer willkürlichen Hypothese, dafs der Planet der Sonnennähe oder der Sonnenferne nahe gewesen sey u. dgl. glaubte erhalten zu können und die so bestimmte Ellipse fehlerhafter ausfallen könnte, als die Kreisbahn. Höchst wichtig war es daher, dafs Gauss eine Methode entdeckte, um die elliptische Bahn ohne alle Hypothese über die Stellung des Planeten in der Bahn zur Zeit der Beobachtung zu bestimmen. Piazzi's nun vollständig bekannt gewordene Beobachtungen schienen Gauss so genau, dafs sie eine sorgfältige Berechnung nach dieser neuen Methode der Bahnbestimmung verdienten, und er machte die hiernach bestimmte Ellipse bekannt. Diese führte zu einer neuen Vorausberechnung des Ortes, wo man den Planeten bei seiner Wiedererscheinung zu Ende des Jahres suchen müsse, und diese Vorausberechnung gab den Ort um 6 bis 7 Grade von demjenigen verschieden an, den man bisher nach der Kreisbahn und der Burkhardtschen Ellipse vermuthet hatte. Uebrigens stimmte diese Gaussische Ellipse mit den Beobachtungen Piazzi's ganz vollkommen überein, was bei allen frühern Bahnbestimmungen nicht in gleichem Grade der Fall war.[3]

Die Astronomen richteten nun ihre Beobachtungen auf den Ort am Himmel, wo der Planet nach Gauss stehen sollte, und nun glückte es zwar von Zach zuerst, ihn wieder zu se-

---

1 v. Zachs mon. Corr. III. 602. 605. 607.
2 Mon. Corr. IV. 559.
3 Mon. Corr. IV. 639.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hen, Olbers aber entdeckte ihn mit völliger Bestimmtheit, ehe von Zach so glücklich war, seine Beobachtung völlig zu bestätigen. Von Zach nämlich hatte in der Nacht vom 7. zum 8. Dec. zwei unbekannte Sterne beobachtet und aufgezeichnet, deren einer der scheinbaren Bahn des Planeten sehr nahe stand, [1] nach anhaltend trübem Wetter war es erst in der Nacht vom 31. Dec. zum 1. Jan. möglich zu entscheiden, dafs dieser Stern an seinem damaligen Orte nicht mehr stand, also der Planet gewesen sey. [2] In eben dieser Nacht beobachtete von Zach wieder mehrere Sterne in der Gegend, wo jetzt der Planet stehen sollte, und am 11. Jan. fand sich einer derselben wieder nicht mehr an seiner Stelle; von Zach hatte also den Planeten gesehen. Aber unterdefs hatte am 1. Januar 1802 Olbers die in der Gegend des Planeten stehenden Sterne beobachtet und in ein Chärtchen eingetragen, am 2. Jan. sah er, dafs einer derselben seinen Ort verändert hatte, und erkannte so den Planeten in zwei verschiedenen Stellungen, als allein fortgerückt unter den umgebenden Fixsternen; am 6. Jan. früh fand er den Planeten genau so fortgerückt, wie es die Theorie forderte. [3] Und so war denn durch Piazzi's höchst genaue Beobachtungen und Gauss's treffliche Berechnungsmethode die Wiederauffindung eines Planeten möglich geworden, der während der Piazzischen Beobachtungen heliocentrisch nur $9\frac{1}{4}$ Gr. durchlaufen hatte; der Planet war nun unverlierbar den Astronomen bekannt.

Piazzi selbst hatte den Wunsch geäufsert, dafs man den Planeten Ceres Ferdinandea (dem König Ferdinand von Neapel und Sicilien zu Ehren) nennen möchte; aber nur der Name Ceres hat sich bei den Astronomen erhalten.

Elemente der Bahn.

Es wäre jetzt unnütz, die früheren Bemühungen für die Bestimmung dieser Elemente anzuführen. Selbst die ersten Angaben von Gauss, so sehr genügend zur Auffindung des

---

1 M. C. V. 90.
2 M. C. V. 172.
3 M. C. V. 174.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Planeten sie waren, bedurften doch noch sehr der Verbesserung; und selbst als mehrjährige Beobachtungen genauere Bestimmungen gegeben hatten, war es, wegen der starken Störungen welche die Ceres leidet, doch nur möglich, die von diesen Störungen noch afficirte Bahn eine den beobachteten Orten möglichst angeschlossene Ellipse anzugeben. Jetzt, nachdem die wichtigsten Störungen in die Rechnung eingeführt sind, und eine sehr bedeutende Reihe von Beobachtungen nun schon mehrere Umläufe umfafst, sind die folgenden Elemente als der wahren elliptischen Bahn, wenigstens weit mehr genähert anzusehen.[1]

Halbe grofse Axe	= 2, 767245.
Excentricität im J. 1806	= 0, 0785028.
Jährliche Abnahme ders.	= 0, 00000583.
Umlaufszeit	= 1681, 4 Tage.
Mittlere tägliche trop. Bewegung	= 770,″ 923.
Neigung der Bahn. 1806	= 10° 37′ 31,″2.
Jährliche Abnahme ders.	= 0,″ 44.
Länge des aufsteigenden Knotens im J. 1806.	= 80° 53′ 41″,3.
Jährliche Bewegung des Knotens	= + 1″, 48
Länge des Perihelii im Jahre 1809	= 146° 36′ 6,″6.
Jährliche Bewegung desselben	= 2′ 1,″3.
Mittlere Länge am 1. Jan. 1809 Mittag in Göttingen	= 343° 2″, 33.
Gröfste Mittelpunctsgleichung	= 9° 0′ 7″, 68.

Grösse der Ceres und Beobachtungen über ihre natürliche Beschaffenheit.

Die *Ceres* ist sehr klein, aber die Angaben für ihre Gröfse weichen sehr von einander ab. Sie erschien bei ihrer Entdeckung als ein Stern neunter Gröfse; ihre Farbe ist etwas röthlich; mit starken Fernröhren beobachtet erscheint sie mit Nebel umgeben, und daher ihre Scheibe nicht gut begrenzt.

Die Messung ihrer Gröfse stellte Schröter auf die so häufig von ihm angewandte Weise an, dafs nämlich ein mit blofsem Auge gesehenes Scheibchen in diejenige Entfernung gestellt ward, wo es eben so grofs erschien als die unter bestimmter Vergrö-

1 Ich entlehne sie aus Schubert traité d' astronomie théorique. Petersb. 1822. Tome II. p. 281. und v. Lindenau's Zeitschrift für Astronomie. I. 15.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

fserung mit dem andern Auge beobachtetete Ceres im Fernrohr. Nur selten gelang es, das aus dem umgebenden Nebel deutlich als fester Körper hervorblickende Scheibchen zu messen, und Schröter leitet aus diesen Messungen den auf den Abstand der Erde von der Sonne reducirten scheinbaren Durchmesser = 3,48 Secunden, den wahren Durchmesser = 352 geogr. Meilen her. In den meisten Fällen war es nicht möglich, diesen eigentlichen Kern oder anscheinend festen Körper zu unterscheiden, sondern es wurde nur die nebliche Umhüllung gemessen, die sonderbar ungleich und zuweilen so grofs erschien, dafs ihr Durchmesser 650 Meilen betragen mufste. [1]

Sehr hievon abweichend sind Herschels Bestimmungen, der den Durchmesser nur 0, 351 Sec. oder den wahren Durchmesser 35 geogr. Meilen angiebt; die umgebende Atmosphäre möge, glaubt er, eine viermal oder fünfmal so grofsen Durchmesser haben. [2] Auch Herschel hatte sich zur Abmessung einer kleinen erleuchteten Scheibe bedient, die er mit blofsem Auge betrachtete und mit dem im Fernrohre gesehenen Bilde des Planeten verglich; aber Schröter glaubt, Herschel habe die Scheibe weiter als es bei solchen Messungen zulässig sey, vom Auge entfernt, und das alsdann undeutlich werdende Bild einer sehr erhellten weifsen Scheibe erscheine dem Auge gröfser, als sie nach der Berechnung des Sehewinkels erscheinen sollte. Dagegen hat Herschel durch spätere Versuche und Beobachtungen seine Bestimmungen zu rechtfertigen gesucht.[3] Er stellte kleine Metallkugeln, Silberdrahttropfen, Siegellackkügelchen u. s. w. in hinreichend gröfsere Entfernungen auf und betrachtete sie durch eben die Fernröhre, mit welchen er die Ceres beobachtete. Er fand hier, dafs er zum Beispiel Silberkügelchen von $\frac{1}{200}$ Zoll Durchmesser, so entfernt aufgestellt, dafs sie dem blofsen Auge $\frac{1}{2}$ Sec. grofs erscheinen mufsten, mit 523maliger Vergröfserung noch so deutlich erkannte, dafs er ihre Viertel wahrnehmen konnte;

---

1 Schröters Lilienthalische Beob. d. Planeten Ceres, Pallas, Juno. (Göttingen 1805.)

2 Phil. Transact for 1802. p. 213.

3 Phil. Trans. for. 1804. Herschels experiments for ascertaining how far telescopes will enable us, to determine very small angles and to distinguish the spurious from the real Diameter etc.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und daran knüpft er den Schlufs, ein Planet, der bei 500 maliger Vergröfserung, ja selbst bei 800 maliger Vergröfserung noch nicht deutlich als Scheibe erscheine, könne noch nicht eine halbe Secunde im Durchmesser haben. Er macht daher die Bemerkung, dafs man bei geringern Vergröfserungen zuweilen schon den Planeten als Scheibe zu sehen glaube, aber da bei stärkern Vergröfserungen die Scheibe nicht im gehörigen Mafse immer deutlicher sichtbar werde, so dürfe man diesen durch Irradiation bewirktem Scheine nicht trauen. Dagegen führt Schröter Beobachtungen an, wo ihm die Scheibe der Ceres gröfser, wenn gleich nicht so gut begrenzt, als Uranus und der erste Jupitersond erschien, wonach denn jene ungefähr die von ihm angegebne Gröfse haben müsse.

Ungeachtet dieses Streites über die scheinbare Gröfse ist es gewifs, dafs die Ceres viel dunkler als Uranus erscheint; was zum Theil daher rührt, dafs ihr Licht matter und neblich ist. Nach Schröters Messungen scheint der Durchmesser ihrer glänzenden Atmosphäre wirklichen Aenderungen unterworfen zu seyn, so dafs der Durchmesser dieser unbestimmten Nebelhülle zuweilen gröfser, zuweilen kleiner, als es nach der Entfernung seyn sollte, erscheint; der Planetenkern scheint zuweilen deutlicher, zuweilen minder deutlich durch diese Umhüllung hervorzublicken, u. s. w.

In Rücksicht auf die natürliche Beschaffenheit dieses Planeten verdient auch noch Olbers Meinung, dafs vielleicht die vier Planeten Ceres, Pallas, Juno, Vesta Trümmer eines einzigen grofsen Planeten sind, angeführt zu werden. Die Umlaufszeiten der Ceres und Pallas sind beinahe ganz gleich,[1] und ihre Bahnen kommen im Knoten einander so nahe, dafs man wohl annehmen darf, die Bahnen mögen ehemals einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunct gehabt haben, oder von dem Puncte, wo sie aus der Zertrümmerung der gröfsern Planeten entstanden, ausgegangen seyn. Da Olbers's hierauf gegründete Vermuthung, dafs man wohl aufser der Ceres und Pallas noch

---

1 Wegen dieser Gleichheit der Umlaufszeit entfernen sie sich von der Sonne aus gesehen, nie weit von einander; und ihre gegenseitige Stellung giebt Bode für den ganzen Umlauf an. Astr. Jahrbuch 1807. S. 216.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mehrere Stücke jenes Planeten in Bahnen, die nicht sehr weit von den Bahnen jener entfernt wären, finden werde, sich durch die Entdeckung der Juno und Vesta als richtig gezeigt hat, so darf man dieses wohl als einigermafsen die Vermuthung über den Ursprung dieser Planeten bestätigend ansehen.

B.

Cerium.

Cererium, *Cerer*; Cerium; *Cerium.* Dieses Metall findet sich in einigen seltnen, besonders schwedischen Fossilien, wie im *Cerit*, *Allanit*, *Ytterocerit* u. s. w. Man kennt dasselbe noch nicht im reinen, sondern nur im eisenhaltigen Zustande. Es scheint in heftiger Hitze flüchtig zu seyn. Es bildet mit dem Sauerstoff ein Oxydul und ein Oxyd. Das *Ceriumoxydul* (46 Cerium auf 8 Sauerstoff) ist weifs, und bildet mit den Säuren farblose oder blafsrothe, süfs und herb schmekkende Salze, welche durch reine kohlensaure, phosphorsaure, arseniksaure, kleesaure, weinsaure, bernsteinsaure und benzoesaure Alkalien weifs gefället werden. Der Niederschlag, welchen kholensaures Kali hervorbringt, löst sich im Ueberschufs desselben wieder auf. Mit Kali und Schwefelsäure bildet das Ceriumoxydul ein schwer lösliches Doppelsalz. Das *Ceriumoxyd* (46 Cerium auf 12 Sauerstoff) bildet sich beim Glühen des Oxyduls an der Luft, ist zimmtbraun, und wenig, mit röthlichgelber Farbe, in Säuren löslich. *G.*

Chamaeleon.

Mineralisches Chamäleon; *Chamäleon mineralis;* Chaméleon minéral; *Mineral Chameleon;* von seinem Farbenwechsel nach der Aehnlichkeit mit dem Thiere gleiches Namens so genannt, ist eine Verbindung der Mangansäure mit Kali. Man erhält dasselbe durch Glühen von 1 Theil fein gepulverten Braunstein mit 3 Th. Salpeter oder 2 Th. Kalihydrat in einem Tiegel, bis eine Probe in Wasser mit grüner Farbe löslich ist. Die schwarzgrüne Masse läfst sich in gut verschlossenen Gefäfsen aufbewahren, und giebt in Wasser gelöset eine grün gefärbte Flüssigkeit, welche mehr oder minder schnell durch Blau, Violett und Purpur in Roth übergeht, indem dem ursprünglich basischen man-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gansauren Kali, welches grün ist, durch Wasser und Kohlensäure der Ueberschufs des Kali entzogen und somit das neutrale rothe Salz gebildet wird. Man kann daher durch Zusatz von kaustischem Kali die grüne, durch eine Säure aber die rothe Farbe herstellen, und durch mehr oder minderen Zusatz des einen oder andern die verschiedenen Farben hervorbringen. Kommt die rothe Flüssigkeit mit einem organischen Körper, wie etwa Staub und Korkstöpsel, in Berührung, so entfärbt sie sich völlig, indem die Mangansäure einen Theil ihres Sauerstoffs an dieselbe abtritt, und als braunes Oxyd niederfällt. *G.*

Chemie.

Chymie, Mischkunde, Scheidekunst; *Chemia*, *Chymia*; Chimie, Chymie; *Chimistry*, *Chymistry*. [1] Dieser Theil der Naturwissenschaft beschäftigt sich mit allen den Veränderungen der Materien, welche als eine Wirkung der chemischen Verwandtschaft zu betrachten sind (s. *Verwandtschaft*). Diese Veränderungen bestehen in der Verbindung ungleichartiger Materien zu gleichartigen Ganzen, womit häufig zugleich die Zertrennung gleichartiger Ganzen in ungleichartige Theile verbunden ist. Man unterscheidet eine *reine*, *theoretische* oder *philosophische* und eine *angewandte Chemie*. Erstere ist die Lehre von den chemischen Verhältnissen der Materien, an und für sich; unter letzterer versteht man Bruchstücke derselben Lehre, blofs in der Beziehung betrachtet, als sie andern Zwecken aufserhalb der Wissenschaft dienen. Solche Zwecke sind: 1. Erklärung der in andern Theilen der Naturwissenschaft vorkommenden chemischen Verhältnisse, woraus die *physische*, *mineralogische*, *physiologische* und *ökonomische Chemie* entspringt. 2. Anweisung zur Bereitung von Arzneimitteln (*pharmaceutische Chemie*) und von andern Gegenständen des gemei-

---

1 Χημία oder Χημεία, von Χυμὸς, Saft; oder von Χέω, Χεύω, ich schmelze, oder von Χήμη, eine Art Muschel; oder von Cham dem Sohne Noahs, der die Naturkenntnifs nach Aegypten gebracht haben soll und von Χημία, worunter in der Priestersprache Aegypten selbst verstanden wurde?

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

nen Lebens, (*technische Chemie*), sofern diese Bereitung auf chemischen Grundsätzen beruht. — Aufserdem versteht man unter *praktischer Chemie* die Anweisung, nach welchen Regeln und mittelst welcher mechanischen Mittel die chemischen Veränderungen der Körper im Kleinen zu bewerkstelligen sind, und hiervon macht die *analytische Chemie*, welche die Trennung zusammengesetzter Körper in ihre Bestandtheile beabsichtigt, einen wichtigen Theil aus. *G.*

Chlor.

Chlorine, dephlogistisirte Salzsäure, oxygenirte Salzsäure; *Chlorum*, *acidum salis dephlogisticatum*, *acidum muriaticum oxygenatum*; Chlore, acide muritique oxigéné; *chlorine*, *oxy-muriatic acid.* (Von χλωρὸς, grünlich gelb). Eine Substanz, welche von ihrem Entdecker, Scheele, für Salzsäure angesehen wurde, der Phlogiston entzogen sey, dann von Berthollet für eine Verbindung der Salzsäure mit Sauerstoff; dann von Gay-Lussac und Thenard und von Davy als eine einfache Substanz betrachtet wurde, welche letztere Ansicht, als die einfachere, jetzt fast allgemein angenommen ist. Man erhält das *Chlor* beim Erhitzen von Braunstein mit Salzsäure, oder mit Kochsalz und Schwefelsäure, als ein blafsgelbes Gas, dessen spec. Gewicht sich zu dem der Luft ungefähr verhält, wie 2,440 : 1,000. Dasselbe unterhält das Verbrennen einer Wachskerze mit dunckelm Lichte und Erzeugung von viel Rufs, riecht höchst erstickend, wirkt sehr nachtheilig auf die Athmungswerkzeuge, zerstört viele organische Farbestoffe, so wie auch die Ansteckungstoffe[1]. Durch einen mehr als 4 Atmosphären betragenden Druck geht das Chlorgas bei 15° C. in eine grünlichgelbe Flüssigkeit von 1,33 spec. Gewicht über, welche eine etwas geringere lichtbrechende Kraft hat, als das Wasser, nicht bei — 36° C. gefriert, und sich bei Aufhebung des äufsern Drucks plötzlich, unter bedeutender Erkältung, wieder in Gas verwandelt.

Das *Chlor* bildet mit wenig Wasser bei einigen Graden über 0° C. ein gelbes krystallinisch blättriges Hydrat, welches bei mäfsiger Wärme viel Chlorgas entwickelt, wobei eine flüs-

1 Vergl. *Atmosphäre*, I, 478.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sige, blafsgelbe Verbindung von viel Wasser mit wenig Chlor, das wässrige Chlor, übrig bleibt.

Das Chlor geht mit dem *Sauerstoff* 4 Verbindungen ein:

Das *Chloroxydul* oder die *Euchlorine* (36 Chlor auf 8 Sauerstoff) und das *Chloroxyd* (36 Chlor auf 24 Sauerstoff,) zwei Gase, dunklergelb als das Chlorgas, welche bei geringer Temperaturerhöhung unter lebhafter Verpuffung und Lichtentwickelung in ihre zweigasförmigen Bestandtheile zerfallen, nicht sauer sind, und etwas reichlicher, als das Chlorgas vom Wasser absorbirt werden.

Die *Chlorsäure*, *hyperoxygenirte Salzsäure* (36 Chlor und 40 Sauerstoff), noch nicht im reinen Zustande bekannt, bildet mit Wasser eine farblose, sauer schmeckende verdampfbare Flüssigkeit, und mit den Salzbasen die *chlorsauern Salze*, welche in der Hitze gröfstentheils in Sauerstoffgas und Chlormetall, oder in Sauerstoffgas, Chlorgas und Metalloxyd zerfallen, welche mit brennbaren Körpern durch die Hitze und oft schon durch den Schlag verpuffen (sofern der Sauerstoff der Chlorsäure und oft zugleich des Metalloxyds sich mit den brennbaren Körpern unter Feuerentwickelung verbindet), welche mit Vitriolöl Chloroxydgas entwickeln (während sich zugleich oxydirte Chlorsäure erzeugt), welche die Silbersalze nicht niederschlagen und nicht zerstörend auf Pflanzenfarben wirken.

Die *oxydirte Chlorsäure* (36 Chlor auf 56 Sauerstoff, ist ebenfalls nur in Verbindung mit Wasser oder Salzbasen bekannt, und zeigt dann ähnliche Verhältnisse, wie die Chlorsäure, so weit dieses bis jetzt erforscht ist. Jedoch entwikkeln die oxydirt chlorsauren Salze mit Vitriolöl kein Chloroxydgas, sondern lassen bei stärkerem Erhitzen des Gemisches die oxydirte Chlorsäure unzersetzt übergehen.

Mit dem *Wasserstoff* bildet das Chlor die *Salzsäure*, *Hydrochlorsäure* (36 Chlor auf 1 Wasserstoff). Die Verbindung der zu gleichen Massen zusammengebrachten Gase erfolgt nur bei Einwirkung des Lichts, einer höheren Temperatur, oder eines elektrischen Funkens, und ist, wenn sie augenblicklich erfolgt, von Feuererscheinung und Verpuffung begleitet. Die reine Salzsäure, welche man durch Erhitzen von Kochsalz mit Schwefelsäure zu bereiten pflegt, erscheint als

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ein farbloses Gas von ungefähr 1,254 spec. Gewicht, riecht erstickend sauer, und erregt an der Luft Nebel. Durch einen Druck, welcher ungefähr 40 Atmosphären gleicht, wird dieses Gas bei 10° C. zu einer farblosen tropfbaren Flüſsigkeit verdichtet. Es wird schnell, reichlich und unter Erhitzung vom Wasser verschluckt, mit dem es die wässerige Salzsäure bildet, welche im reinen Zustande ebenfalls farblos, meistens aber etwas gelblich ist, im concentrirten Zustande an der Luft raucht, und deren höchstes spec. Gewicht 1,211 beträgt. Mit vielen Salzbasen erzeugt die Salzsäure die *salzsauren Salze*; mit andern zersetzt sie sich dagegen schon in der Kälte in Wasser und Chlormetall, worin auch die meisten übrigen salzsauren Metalloxyde bei der Verflüchtigung des Wassers durch Erhizzung oder Entziehung mittelst Vitriols u. s. w. übergehen. Auſserdem werden die salzsauren Metalloxyde dadurch erkannt, daſs sie häufig mit Schwefelsäure salzsaures Gas, mit Schwefelsäure und Braunstein Chlorgas entwickeln, und daſs sie gleich der reinen Salzsäure das salpetersaure Silberoxyd und Quecksilberoxydul selbst bei groſser Verdünnung und Ueberschuſs der Salpetersäure reichlich niederschlagen.

Das Chlor ist mehr oder weniger leicht, zum Theil unter Feuerentwickelung, mit Kohlenstoff, Boron, Phosphor, Schwefel, Selen, Jod und Stickstoff verbindbar. Diese Verbindungen sind theils gasförmig, theils tropfbar flüssig, theils fest und krystallinisch, jedoch immer leicht verdampfbar. Mehrere derselben zersetzen sich mit Wasser auf die Art, daſs das Chlor durch Aufnehmen von Wasserstoff aus derselben in Salzsäure verwandelt wird, während sich der Sauerstoff des Wassers mit dem andern Körper vereinigt. Auch mit den meisten Metallen ist es verbindbar, und mit vielen derselben theils bei gewöhnlicher, theils bei höherer Temperatur unter Feuerentwickelung. Auch gehen viele salzsaure Metalloxyde durch Wasser in Chlormetalle über. Die *Chlormetalle* sind theils tropfbar flüssig, theils fest, und im Ganzen schmelzbarer und flüchtiger als das Metall, welches sie enthalten. Aus den meisten derselben läſst sich durch Erhitzen das Chlorgas nicht austreiben; diese erleiden denn auch keine Zersetzungen beim Glühen mit reiner Kohle oder mit trockner Borax- oder Phosphorsäure; dagegen erfolgt die Zersetzung, wenn noch Wasser hinzutritt, weil durch

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dessen Bestandtheile einerseits Salzsäure entstehen kann, welche sich entwickelt; andrerseits Kohlensäure oder Metalloxyd, welches letztere mit der Borax- oder Phosphorsäure in Verbindung tritt. Die meisten Chlormetalle sind im Wasser löslich und diese Lösung ist entweder als eine solche, oder als Auflösung von salzsauren Metalloxyd in Wasser zu betrachten, und kömmt ganz mit der Verbindung überein, welche man durch Zusammenbringen wässriger Salzsäure mit Metalloxyd erhält.

Die Verhältnisse des Chlors sind hier nach der *chloristischen* Ansicht gegeben worden. Nach der *antichloristischen* besteht das Chlor oder die oxygenirte Salzsäure aus 8 Sauerstoff und 28 einer (nicht in diesem Zustande bekannten, also hypothetischen) trocknen Salzsäure. Letztere besteht aus 12 *Muriatum* einem hypothetischen brennbarer Körper und aus 16 Sauerstoff; die oben angeführten Verbindungen des Chlors mit Sauerstoff sind demzufolge die höhern Oxydationsstufen des Muriatums. Die Salzsäure, wie wir sie als salzsaures Gas kennen, ist eine Verbindung von 28 hypothetisch trockener Salzsäure mit 9 Wasser, und bildet sich daher auch, wenn man zu dem oxydirt salzsauren Gase Wasserstoffgas bringt, indem sich letzteres mit dem Sauerstoff des erstern zu Wasser verbindet, welches dann mit der hypothetisch trockenen Salzsäure, in welche die oxydirte Salzsäure durch das Abtreten von Sauerstoff verwandelt ist, in Verbindung tritt. Eben so wird bei der Verbindung des Phosphors oder eines Metalls in oxydirt salzsaurem Gase angenommen, dafs sich Phosphor oder Metall mit dessen Sauerstoff zu Säure oder Metalloxyd vereinige, welche dann mit der hypothetisch trockenen Salzsäure zu demjenigen zusammentreten, was nach der chloristischen Theorie als Chlorphosphor oder Chlormetall angesehen wird. Kurz alle bis jetzt bekannte Thatsachen lassen sich auch nach der antichloristischen Theorie erklären, und wie wohl sie weniger einfach ist, weniger die Analogie für sich hat (denn Schwefel, Selen, Jod und Cyan zeigen dem Chlor ganz ähnliche Verhältnisse) und 2 Substanzen annimmt, die sich noch nie haben darstellen lassen, so läfst sie sich doch durch keine Erfahrung widerlegen. *G.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Chrom.

Chromium; *Chromium;* Chrome; *Chromium.* (Von χρόω ich färbe). Dieses Metall findet sich vorzüglich in Chromeisenstein und im rothen Bleispathe. Es ist stahlgrau, mäfsig hart, nicht magnetisch, höchst strengflüssig und hat nach Richter ein specifisches Gewicht von nur 5,900.

Seine zwei wichtigsten Verbindungen mit Sauerstoff, zwischen denen vielleicht noch ein braunes Oxyd liegt, sind die des *Chromoxyduls* und der *Chromsäure.* Das *Chromoxydul* (28 Chrom auf 12 Sauerstoff) ist in der Kälte dunkelgrün, in der Hitze braun. Es bildet mit Wasser ein bläulichgrünes Hydrat, und mit Säuren die Cromoxydulsalze. Diese sind theils grün, theils blau, und geben mit reinem und kohlensauerm Kali einen grünen Niederschlag, welcher sich in einem Ueberschufs desselben mit grüner Farbe wieder auflöset.

Die *Chromsäure* (28 Chrom auf 24 Sauerstoff) erscheint, wenigstens in dem mit Schwefel- Salz und Salpetersäure verunreinigten Zustande, in welchem man sie bis jetzt erhalten hat, als eine dunkelbraunrothe krystallinische Materie, die Lackmus röthet, in der Hitze Sauerstoffgas entwickelt und auch durch organische Körper, Hydrothionsäure u. s. w. zu Chromoxydul reducirt wird. Sie löset sich leicht in Wasser, mit intensgelber Farbe. Mit den Salzbasen bildet sie die chromsauren Salze, von denen die meisten durch gelbe, wenige durch rothe und braune Farbe ausgezeichnet sind. *G.*

Chromaskop.

(Von Χρῶμα Farbe und σκοπεῖν, schauen). Unter diesem Namen hat Lüdicke ein Instrument angegeben[1], dessen Hauptzweck die Bestimmung des Brechungverhältnisses für die verschiedenen Farbenstrahlen zu seyn scheint. Die Beschreibung, die mit ermüdender Weitläuftigkeit bei den einzelnen Theilen des Werkzeuges verweilt, und dem Leser dadurch das Auffassen des Wesentlichen sehr erschwert, mufs man an a. O. selbst nachle-

1 G. XXXVI. 127.

sen. Das Wesentliche scheint zu seyn, dafs man bei richtiger Stellung des Prisma's, welches sich an einem Ende des Kastens befindet, die Breite der Farbenstreifen am andern Ende genau abmifst, und daraus die Winkel und das Brechnungsverhältnifs bestimmt.

Da indefs dieses durch andere Methoden schon besser geleistet ist, so wird das Instrument wohl nicht in allgemeinen Gebrauch kommen. *B.*

Chronhyometer.

Von χρόνος die Zeit, ὑετὸς der Regen und μετρέω ich messe, ist ein von Landriani erfundenes Werkzeug, welches bestimmt ist, die Zeit des Regnens zu messen[1], wovon man aber wegen seiner Kostbarkeit, Unsicherheit und des zu erwartenden geringen Nutzens keinen Gebrauch gemacht zu haben scheint. Seine Einrichtung ist kürzlich folgende: A ist ein weites konisches Gefäfs, welches aufserhalb des Daches angebracht wird, den Regen aufzufangen. Dieser wird sich in der Spitze sammeln, und bei einer geringen Quantität wird der kleine Heber a zu laufen anfangen, der Rest aber durch die weite Röhre s stets ablaufen, so dafs das Niveau unverändert bleibt, und weifs man dann die Zeit, in welcher der Heber eine gewisse Quantität Wasser liefert, so kann man aus der Menge des in einem mit dem Heber verbundenen Gefäfses enthaltenen Wassers die Zeit des Regnens berechnen. Hierdurch wird indefs blofs die Dauer des Regens angegeben nicht aber die Zeit des Anfanges. Um auch diese zu wissen, dient eine im Zimmer unter dem Regenmesser angebrachte, durch ein Uhrwerk einmal täglich um ihre Axe gedrehete horizontale Scheibe, deren Oberfläche schwarz gefärbt und nach den Stunden getheilt seyn soll. Ueber derselben ist der Hebelarm m n fein balancirt, und trägt am einen Ende den weifsen Bleistift α nebst dem konischen Gefäfse v mit dem kleinen Heber l. Indem das Wasser dann aus dem Regenmafse durch den beschriebenen Heber in dieses Gefäfs v läuft, erhält der Hebelarm das Uebergewicht, drückt den Bleistift gegen die Scheibe, und zeichnet die Stunden des Regnens.

Fig. 40.

Fig. 41.

---

1 J. de Ph. XXII. 280.

Um das Verstopfen der kleinen Heber zu verhüten, soll ihr längerer Schenkel trompetenförmig erweitert seyn; allein man begreift leicht, wie unsicher eine solche feine und zusammengesetzte Maschine für den bestimmten Gebrauch sey. *M.*

Chronologie.

Chronologia; Chronologie; *Chronology*; von χρόνος die Zeit u. λόγος ist die Wissenschaft, welche sich mit der Abmessung der Zeit oder der Vergleichung der zu ihrer Abmessung dienenden Zeit-Eintheilungen beschäftiget. Ihr mathematischer Theil mufs also die wahre Gröfse der Tage, Jahre u. s. w. angeben, die man entweder wirklich zur Zeitmessung anwendet, oder die (wie es mit dem ganz genauen Sonnenjahre in Vergleichung gegen das bürgerliche Jahr der Fall ist) wenigstens den wirklich angewandten zur Richtschnur dienen; ihr angewandter Theil zeigt, wie diese Zeit-Eintheilungen bei den verschiedenen Völkern wirklich gebraucht sind; wie man die Bestimmung der verschiedenen Zeitrechnungen auf einander zurückführen, die an gewisse Erscheinungen geknüpften Bestimmungen von merkwürdigen Tagen, Festen u. dergl. erhalten könne u. s. w.

In den *mathematischen* Theil gehören daher vorzüglich diejenigen astronomischen Lehren, welche die Zeiträume, da die Sonne und der Mond zu gleichen Stellungen zurückkehren, angeben, indem diese allen Zeit-Eintheilungen zum Grunde liegen. Die angewandte Chronologie setzt eine historisch genaue Kenntnifs dessen voraus, was theils als Regulirung der Jahre bei verschiedenen Völkern angenommen war, theils ihren Kalender, die Anordnung der Monate, der Feste u. s. w. betraf, oder diese Gegenstände bei uns regulirt.

Unter den Alten haben sich viele Astronomen mit der Chronologie beschäftigt; ihr Bestreben ging vorzüglich darauf hin, das Jahr, dessen Dauer noch nicht genau bekannt war, zu bestimmen, und die Jahrrechnung, die Anordnung des bürgerlichen Jahres so festzusetzen, dafs dabei so weit es möglich schien, die Uebereinstimmung mit der Wiederkehr der Jahreszeiten erhalten werde. Von den darauf gerichteten Bemühungen so wie von den ähnlichen Bemühungen in neuern Zeiten wird in den

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Artikeln *Jahr* und *Kalender* die Rede seyn. In Rücksicht auf die *historische* Chronologie hat sich Ptolemaeus durch die Anknüpfung derselben an sichere astronomische Beobachtungen ein Verdienst erworben, welches in Beziehung auf uns wenigstens wichtig ist, da nur allein von ihm solche Vergleichungen auf unsre Zeiten gekommen sind. In neuern Zeiten haben sich mit dem historischen Theile der Chronologie sehr viele Gelehrte beschäftigt; es scheint mir aber hier gerade nicht der Ort, diese mehr der Geschichte als der Mathematik und Physik angehörenden Verdienste umständlich zu erzählen. Ich führe daher nur noch ein, soweit mir zu urtheilen erlaubt ist, höchst gediegenes, gründliches und vollständiges Buch über diese Wissenschaft an, nämlich: Idelers Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie, (Berlin 1825) wovon bis jetzt nur der erste Theil erschienen ist. *B.*

Chronometer.

Zeitmesser, Zeithalter, Seeuhr, Längenuhr; Chronomètre, Garde-tems, Montre marine; *Chronometer*, *Timekeeper*. Von χρόνος die Zeit und μετρέω ich messe. Eine tragbare *Uhr* von grofser Vollkommenheit, die zur Bestimmung der *geographischen Länge* gebraucht wird. Bekanntlich ist diese letztere nichts anders, als der Unterschied zwischen der wahren Sonnenzeit an einem gegebenen Orte und derjenigen in einer andern, welcher als Normalstation angenommen wird. Für diese gilt bei den englischen und andern Seefahrern meistens die Sternwarte in *Greenwich*, bei den französischen und bei den Astronomen des Continents die *Pariser Sternwarte*. Hätte man nun eine Uhr von vollkommen richtigem, unveränderlichem Gange, die z. B. in *Greenwich* zur Zeit, als die Sonne daselbst durch den Meridian ging, genau auf 12 Uhr 0 Min. 0 Sec. gestellt worden wäre, so würde diese auch zwei Monate später in Amerika immer die Zeit angeben, welche es in einem gegebenen Momente in *Greenwich* ist. Hat man sodann an jenem Orte nach einer andern guten Uhr die wahre Zeit aus Beobachtungen bestimmt, so wird der Unterschied beider Uhren den Abstand des Meridians jenes Ortes von dem von Greenwich in Stunden,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Minuten und Secunden angeben, welche nach dem Verhältnifs von 24 St. zu 360° oder 1 : 15 leicht in Grade und deren Theile zu übersetzen sind. Dieser östliche oder westliche Abstand des Ortes von Greenwich heifst dann seine geographische Länge. Da man nun im Stande ist, entweder durch Aufstellung eines Passageinstrumentes, durch correspondirende oder auch einzelne Sonnenhöhen die wahre Zeit an jedem Orte mit aller Genauigkeit zu bestimmen, so begreift man leicht, dafs eine so zuverlässige Uhr das einfachste Mittel zur Bestimmung der geographischen Länge wäre. Dafs die Uhr gar keinen *täglichen Gang* haben sollte, ist kaum anzunehmen, hat aber auch auf das Resultat keinen Einflufs, wenn nur ihre Acceleration oder Retartation von einem Tage zum anderen genau sich gleich bleibt. Denn gesetzt, die Uhr gehe täglich 2,5 Sec. vor, so müfsen für 2 Monate oder 61 Tage $61 \times 2{,}5 = 152{,}''5$ oder $2' \; 32'',5$ von der Uhrzeit abgezogen werden.

Man unterscheidet im Englischen diese Kunstwerke auch in *Pocket-Chronometer* und *Pox-Chronometer* Taschenchronometer und dosenförmige Chronometer oder Seeuhren. Die ersten sind in Form und Gröfse den Taschenuhren ähnlich, und sind bestimmt, in der Tasche getragen zu werden, wobei es jedoch rathsam ist, sich eines zu harten Ganges und aller starken Erschütterungen zu enthalten; des Nachts werden diese Uhren in einem viereckigen Kästchen *stehend* bewahrt; es sey denn, dafs sie so gut abgeglichen sind, dafs sie in jeder Lage den nämlichen Gang beibehalten. Die Box-Chronometer befinden sich in einem geräumigen hölzernen Kästchen, in welchem sie, wie die Compasse, in zwei Ringen horizontal aufgehängt sind, damit sie bei den Schwankungen des Schiffes in möglichst gleicher Lage bleiben. Sie sind auch gewöhnlich gröfser als die andern Chronometer. Beide Arten von Uhren werden alle 24 Stunden, wo möglich immer zur nämlichen Zeit, aufgezogen; die meisten gehen 30 Stunden; einige auch zwey, ja sogar acht Tage lang, damit, wenn einmal das Aufziehen vergessen würde, dennoch der ursprügliche Stand der Uhr, auf welchen man sich bey Herleitung der Länge bezieht, nicht verloren sey.

Die Wichtigkeit der Kenntnifs der geographischen Länge für die Sicherheit der Schiffahrt bewog schon früh verschiedene Regie-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

rungen, Preise auf das beste Mittel, die Länge zur See zu finden, auszusetzen, die dann auch namentlich auf die Verbesserung der Uhren ausgedehnt wurden. Der erste, der von der Anwendung der (wie er bemerkt, kurz zuvor erfundenen) Uhren zur Findung der Meereslänge spricht, ist Gemma Frisius [1]. Später, nach Erfindung des Pendels mit der Spiralfeder (der Unruhe) durch Huygens um das J. 1664 beschäftigten sich Dr. Hooke und Huygens selbst mit diesem Gegenstande, und wirklich wurde eine von dem letztern verfertigte Uhr im J. 1665 auf eine Reise nach der Küste von Guinea mitgenommen und soll auf der Rückreise die Länge der Insel Fuego am grünen Vorgebirge mit grofser Genauigkeit angegeben haben. Obwohl dieser gute Erfolg ihn zur fernern Verbesserung seiner Werke antrieb, so überzeugte Huygens sich doch, dafs, so lange man diese Maschinen nicht von der Einwirkung der Wärme und Kälte, und andern Störungen unabhängig machen könnte, sie ihrem Zwecke nicht genügen würden.

Im J. 1714 bewilligte das englische Parlament 2000 Pf. Stlg. zu Versuchen über diesen Gegenstand, und überdem einen Preis von 10000 Pf. für den Erfinder einer Methode, die Meereslänge bis auf einen Grad zu erhalten. Durch eine spätere Acte wurde dieser Preis genauer bezeichnet, und zu 5000 Pf. für den Verfertiger einer Uhr festgesetzt, welche auf einer Reise von 6 Monaten die Länge des Schiffes bis auf einen Grad genau gäbe, zu 7500 Pf., wenn sie nicht über zwei Dritttheile eines Grades oder 40 Min. fehlte, und zu 10000 Pf. wenn sie bis auf einen halben Grad genau wäre. Aehnliche Bestimmungen wurden auch für die Verbesserung der Methode der Monddistanzen ausgesprochen.

Aller dieser Aufmunterungen unerachtet machte die Chronometrie keine Fortschritte, bis ein Mann aufstand, der durch Scharfsinn, Beharrlichkeit und Erfindungsgabe die vorher unübersteiglichen Schwierigkeiten zu beseitigen wufste, und der als der eigentliche Schöpfer dieser zu einer unglaublichen Vollkommenheit gebrachten Kunst anzusehen ist. Dieser war John Harrison, geb. i. J. 1693 zu Foulby in Yorkshire, der

---

1 Principia Astronomiae. Antwerp. 1530.

Sohn eines Landzimmermanns, welcher zugleich mit Feldmessen und Repariren der Uhren in der Umgegend sich abgab. Bei einem aufserordentlichen Hange zur Maschinerie hatte der junge Harrison doch nur schlechte Gelegenheit, seinen Durst nach Kenntnissen zu befriedigen; er verwandte die Nächte zum Schreiben und Zeichnen, und scheute die Mühe nicht, Saunderson's Vorlesungen über die Physik, die der Ortspfarrer im Manuscript ihm mitgetheilt hatte, mit allen Figuren zu copiren. Im J. 1726 verfertigte er zwei Uhren gröfstentheils aus Holz mit Compensationspendel und Echappement von eigner Erfindung, die alles Vorherige übertrafen, indem sie in einem ganzen Monat nur 1 Sec. Fehler gaben. Im J. 1728 kam er nach London mit Zeichnungen zur Construction einer See-Uhr, wozu er bei der Comission für die Meereslänge Unterstützung suchen wollte. Der Königl. Astronom Dr. Halley wies ihn an den Mechaniker Graham und dieser rieth ihm, die Sache erst für sich selbst auszuführen, und nachher bei jener Behörde sich zu melden. Harrison erschien erst nach acht Jahren wieder mit seinem vollendeten Werk, das im folgenden Jahre auf einer Reise nach Lissabon eine günstige Prüfung bestand. Im J. 1739 brachte er eine zweite einfachere und bessere Uhr, die ihm, obgleich sie keiner Seereise unterworfen wurde, doch im Publicum viele Gönner erwarb. Sie wurde jedoch, zehn Jahre später von einer noch einfachern und bessern, die nur 3 bis 4 Sec. wöchentlich abwich, übertroffen. Harrison glaubte hier am Ziele seiner Bestrebungen zu stehen; doch der Versuch, seine neuen mechanischen Grundsätze auch auf die Verbesserung der Taschenuhren anzuwenden, welcher über seine Erwartung gelang, vermochte ihn, einen vierten Chronometer zu verfertigen, welcher die Form einer Taschenuhr von 6 Zoll in Durchmesser erhielt. Mit diesen machte sein Sohn vom November 1761 bis März 1762 eine Reise nach Jamaica und zurück, deren Resultat war, dafs das Chronometer in 4 Monaten nur $114\frac{1}{2}$ Sec. von Zeit, oder $28\frac{1}{2}$ Min. im Bogen abgewichen war. Dieses war noch unter der Gränze, welche die Parlamentsacte festgesetzt hatte, und Harrison meldete sich um den vollen Preis. Man erhob jedoch Zweifel über die wahre Länge von Jamaica, über die gebrauchte Art der Zeitbestimmung daselbst so wohl als in Portsmouth, und wollte in dieser

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

einmaligen Probe keine Garantie für die künftige Zuverläſsigkeit des Werkes finden. Nachdem man Beobachter zur Bestimmung der wahren Länge von Jamaica ausgesandt hatte, ging im März 1764 der Sohn William Harrison nach Barbados ab, wo er in der Mitte Mai's ankam. An beiden Orten, in Portsmouth und Barbados, war die Zeit durch correspondirende Höhen bestimmt worden, nach welchen der Chronometer den Längen-Unterschied beider Oerter zu 3st 55′ 3″, angab, statt daſs ihn die astronomischen Beobachtungen zu 3st 54′ 20″ bestimmt hatten; der Fehler betrug also nur 43 Sec. in Zeit, oder 10′ 45″ im Bogen. Harrison erhielt nun endlich die eine Hälfte der festgesetzten Belohnung, nachdem er schon vorher mehrere Summen theilweise empfangen hatte. Dagegen übergab er der Admiralität seine vier Uhren mit allen dazu gehörigen Zeichnungen und Instructionen. Die Richtigkeit der von ihm aufgestellten Grundsätze erhielt ihre volle Bestätigung, als man durch den Uhrmacher Kendal nach denselben ein neues Chronometer verfertigen lieſs, das noch besser ging, als die von Harrison selbst. Seine Trefflichkeit wurde auf Cooks zweiter Reise von 1772 bis 1775 vollständig bewährt, und Harrison empfing endlich im J. 1774 die zweite Hälfte des Preises. Im folgenden Jahre gab er eine kleine Schrift heraus unter dem Titel: Description concerning such Mechanism as will afford a nice or true mensuration of time etc, die ein Muster der höchst verworrenen Schreibart eines unstudirten Kopfes ist. Er starb 1776 in einem Alter von 83 Jahren. Auf die Astronomen, die ihrerseits den ausgesetzten Preis durch die Verbesserung der Methode der Monddistanzen zu erringen suchten, war er nicht gut zu sprechen, und nannte sie scherzweise *Lunatics*. Diese Empfindlichkeit mochte voneinem ungünstigen Urtheile über den Gang seines letzten Chronometres herrühren, das aus den Beobachtungsregistern des Königl. Astronomen Dr. Maskelyne hervorging, welchem man nach der Reise von Barbados jenes Instrument zur fernern Prüfung übergeben hatte. Ein ähnliches Miſstrauen vermochte auch später den geschickten Künstler Josia Emery zur Begründung seiner Ansprüche auf die gesetzliche Belohnung seiner Chronometer vorzugsweise einem ausländischen Astronomen, (von Zach) zu übergeben, welcher beim Besuch verschiedener Sternwarten

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Europa's die Uhren jedesmal dem dortigen Astronomen behändigte, und es diesem überliefs, durch Vergleichung mit seiner berichtigten Pendel-Uhr die geographische Länge herzuleiten, und nachher das Resultat bekannt zu machen. Auf diese Weise erhielt der Sachwalter Emery's mehrere Zeugnisse für die Güte seiner Chronometer, gegen deren Gültigkeit kein Zweifel erhoben werden konnte.

In Frankreich bemühten sich Le Roy und die beiden Berthoud's um die Verbesserung der Chronometer, während dem in England verschiedene Künstler, namentlich Arnold, Kendal, Brookbanes, Pennington, Mudge, Emery, Barraud und vorzüglich Earnshaw [1] auf dem von Harrison geöffneten Pfade mit Erfolg fortschritten. Der letztere erhielt im J. 1803 von der englischen Admiralität eine Belohnung von 3000 Pf. Stlg.

Im Deutschland haben Seiffert in Dresden, Butzengeiger in Tübingen, und Auch in Weimar sich mit diesem Gegenstande beschäftigt; es sind jedoch nicht hinreichende Notizen über den Gang dieser Kunstwerke bekannt geworden.

In Dänemark haben in den neusten Zeiten Jürgensen in Kopenhagen und Kessels in Altona sehr gute Chronometer verfertigt, von denen die astronom. Nachrichten des Prof. Schumacher [2] Kenntnifs geben. Die meiste Bewunderung aber erwecken die Kunstwerke Breguet's in Paris, die Alles was bisher in diesem Fache geleistet worden, übertreffen, von denen jedoch erst im J. 1819 in den Ann. de Chim. Bd X. p. 113 und im J. 1823 in Schumachers Astron. Nachr. Bd. I. p. 109 einige Register ihres Ganges bekannt gemacht worden sind [3].

Die Hauptstücke, worauf es bei der Verfertigung eines *Chronometers* ankommt, sind folgende: 1. Der *Druck*, wel-

---

1 Earnshaw hat die Grundsätze und die Einrichtung seiner Chronometer in einer besondern gegen Arnold gerichteten Streitschrift entwickelt unter dem Titel: Explanation on the Time-Keepers constructed bi Mr. Thomas Earnshaw and the late Mr. John Arnold. London. 1806.

2 Bd I. p. 209, 233, 510; ferner Bd. III. p. 153 und 169.

3 Ein detaillirtes Verzeichnifs der Chronometer und anderer Uhren von Breguet findet sich in Schumacher's Astron. Nachr. IV. N^ro. 77 Beilage. Nach demselben kosten die Box-timekeeper 2400 bis 3000 Francs; die Taschenchronometer in Gold 1800, in Silber 1500 Francs. Sehr vorzügliche Werke dieser Art sind auch höher im Preise.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

chen die Hauptfeder auf das Räderwerk, und durch dieses auf die Unruhe ausübt, muſs beständig von *gleicher* Stärke seyn. Die in dem gewöhnlichen Taschen-Uhren angebrachte Schnekke ist dazu unzureichend. Harrison half sich durch Anbringung einer kleinen schwachen Feder, die nur $\frac{1}{8}$ Minute lang auf das Gehewerk wirkte, und immer wieder durch die Hauptfeder aufgezogen wurde. Die neuen Künstler erreichen ihren Zweck dadurch, daſs sie *lange* nicht stark gespannte Federn gebrauchen, und Breguet bringt, wie Schumacher berichtet, in seinen Chronometern sogar zwei Federn an, die zu beiden Seiten in das Getriebe des Minutenrades eingreifen. Eben dahin wirkt denn auch

2. die Beschaffenheit der *Auslösung* oder des sogenannten *Echappements*, das so eingerichtet seyn muſs, daſs die Hauptfeder nur durch das Intermedium freischwebender Hebel der Unruhe einen augenblicklichen Anstoſs zur Fortsetzung ihrer Bewegung ertheilen kann, und die Unruhe den gröſsten Theil der Zeit von dem Werke selbst unabhängig ist. Man glaubte, durch die *Schnelligkeit* der Schwingungen die Dauer der Berührungsmomente abzukürzen, und lieſs daher die Unruhe bis auf fünf Schläge in der Secunde machen. Es giebt jedoch mehrere und zwar von den besten Chronometern, die nur halbe Secunden schlagen, was nebenbei ihren Gebrauch bei Beobachtungen wesentlich erleichtert, indem man die Secunden nach dem Gehör fortzählen kann, was bei ungeraden Schlägen nicht wohl möglich ist. Dagegen dürfte die Schnelligkeit der Schwingungen, die auch durch die Gröſse des Ausschlags zu erreichen ist, dazu beitragen, die Unruhe gegen rasche äuſsere Bewegungen in der Richtung ihrer Ebene unempfindlicher zu machen.

3. Nicht minder wichtig ist die *Gröſse der Unruhe*, welche das gewöhnliche Verhältniſs bedeutend übertrifft, so daſs sie durch ihr statisches Moment, verbunden mit einer starken Spiralfeder, groſse und kräftige Schwingungen zu machen fähig sey, und vom Räderwerk gerade nur denjenigen Impuls empfange, welcher zur Fortsetzung der durch Reibung, und den Widerstand der Luft und der Spiralfeder geschwächten Bewegung nothwendig ist. Man pflegt die Schwere der Unruhe durch zwei kleine, an den Enden eines Diameters befindliche

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

cylindrische Gewichte zu vermehren, welche an einem feinen Schraubengang dem Centrum näher gerückt oder von ihm entfernt werden können, um durch dieses die Schnelligkeit der Schwingungen oder den mittlern Gang der Uhr zu reguliren. Die Spiralfeder selbst bleibt unverändert; sie ist von bedeutender Länge und Stärke, zuweilen des Rostens wegen nicht aus Stahl, sondern aus stark gehämmertem Golde verfertigt. Arnold und andere Künstler gaben ihren Umgängen eine cylindrische Form; Earnshaw hält dieses für unwesentlich.

4. Die *Reibung* mufs aufs möglichste vermindert, und diejenigen Theile, welche derselben am meisten ausgesetzt sind, müssen aus solchen Stoffen verfertigt werden, die keine Abnuzzung erleiden, damit die Uhr nicht mit der Zeit ihre Tauglichkeit verliere. Zu diesem Ende ist nicht nur das Räderwerk, sowohl in Absicht auf Ausarbeitung als auch in Beziehung auf die gröfsere Zahl der Triebstärke von besonderer Vollkommenheit, sondern es ist auch bei den besten Uhren dieser Art das Messing von allen denjenigen Theilen, die gröfserer Reibung ausgesetzt sind, ausgeschlossen, und diese werden nur von Stahl verfertigt, gehärtet und aufs höchste polirt; die Zapfenlöcher mit ihren Deckplatten, und eben so die eingreifenden Haken oder Stifte sind von harten Steinen, Agaten oder Rubinen. Man wollte eine Zeitlang behaupten, dafs solche Uhren kein Oel erfordern, und der jüngere Arnold ging so weit, dieses als einen Vorzug seiner Chronometer vor Gericht namhaft zu machen; doch verrieth der Geruch die Gegenwart desselben. Von grofsem Einflufs ist die Reinheit und Unveränderlichkeit des Oeles, das weder durch die Reinigungsmethode, noch ursprünglich irgend eine Anlage zur Säurung enthalten darf. Man nimmt daher hierzu nur den freiwilligen ungeprefsten Ablauf guter reifer Oliven [1]. Aufserdem hat die Entfernung des Messings auf den Stellen der stärksten Reibung noch den Nutzen, dafs nicht die durch Berührung heterogener Metalle hervorgebrachte Elektricität einen Sauerungsprocefs einleitet, der das Ranzigwerden des Oels und seine Zähigkeit beschleunigen würde.

---

1 S. von Zach Corresp. Astron. Vol. III. p. 174.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

5. Noch bleibt ein wesentliches Hindernifs eines regelmäfsigen Ganges zu beseitigen übrig, der Einflufs der *Temperatur*. Die Wärme macht die Spiralfeder schwächer, und dadurch die Schwingungen der Unruhe langsamer. Man begegnet diesem Kraftverlust, indem man zwei an der Unruhe angebrachte kleine Gewichte durch die Wirkung eben derselben Wärme dem Centrum näher rücken läfst, wodurch das Trägheitsmoment der Unruhe erleichtert und sie fähig wird, auch bei geringerer Kraft der Feder eben so schnelle Schwünge zu machen, wie vorher [1].

6. Alle einzelnen Theile des Werkes, die an Axen sich bewegen, müssen aufs Beste *aequilibrirt* seyn. Besonders gilt dieses von der Unruhe, welche, wenn sie (ohne Spiralfeder) sich selbst überlassen ist, nirgend eine Ueberwucht zeigen soll. Dafs die Axen an ihren Ansätzen keine eigentliche Reibung haben, sondern nur mit der äufsersten Spitze einen von harten Steinen verfertigten Deckel des Zapfenlochs berühren sollen, ist eine Bedingung, die sich bereits aus den in Nr. 4 gemachten Bemerkungen ergiebt.

Die *Chronometer* in ihrer gegenwärtigen Vollkommenheit sind ein wichtiges Beförderungsmittel der Schifffahrt und der nautischen Geographie geworden. Die Leichtigkeit, mit welcher man aus einigen Sonnenhöhen jeden Augenblick die wahre Zeit finden, mithin die Ortsveränderung des Schiffes in der Länge bestimmen kann, macht dieses Werkzeug auch besonders bei Küsten-Aufnahmen zur Bestimmung der Mefsungsstationen sehr nützlich. So trefflich übrigens die Dienste sind, welche ein gutes Chronometer für die Bestimmung der täglichen Länge leistet, so wird dennoch jeder Seefahrer wohlthun, von Zeit zu Zeit die Angaben desselben durch Längenbestimmungen aus Monddistanzen zu prüfen, welche bei der gegenwärtigen Genauigkeit der Spiegelsextanten, der Reductionsmethoden, und besonders der Mondstafeln ein zuverlässigeres Resultat gewähren, als diese kleinen, so manchem Zufall ausgesetzten Maschinen. Etwas entbehrlicher wird diese Prüfung auf kürzern Ueberfahrten, und besonders wenn man im Besitz mehrerer wohlgeprüfter Chronometer der besten Art sich befindet,

---

1 Vergl. *Compensation*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

deren relative Aenderung bei dem Wechsel der Temperaturen (die immerhin auf die Fluidität des Oeles einen unausweichlichen Einflufs behalten) man kennen gelernt hat. In diesem Falle läfst sich aus der blofsen täglichen Vergleichung der Uhren mit einander die Epoche und das Quantum der Aenderung ihrer relativen, mithin auch diejenige ihres absoluten Ganges erfahren. Ueberdem liegt es in den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit, dafs wenn alle Chronometer von gleicher Güte sind, das arithmetische Mittel aus Allen der Wahrheit sehr nahe kommen werde. Sind sie es nicht, so läfst sich die Zuverlässigkeit des einen und andern durch Zahlen ausdrücken, nach welchen ihre Angaben beim Zusammenschlagen derselben modificirt werden müssen. Ein wichtiger Vorzug chronometrischer Längenbestimmungen liegt noch darin, dafs sie von keiner Art zweifelhafter Elemente, wie Mondsdurchmesser, Parallaxe, Abplattung, Refraction u. s. w. abhängig sind. Dieses mag wohl die englische Admiralität veranlafst haben, einige wichtige Puncte durch Chronometer bestimmen zu lassen. Im Sommer 1822 sandte sie den Dr. Tiarks von Greenwich nach Madeira mit 17 Chronometern; im Sommer 1823 von Dover nach Falmouth und zurück mit 29 im Sommer 1824 nach Helgoland mit 36 Chronometern; die Länge von Falmouth ergab sich hieraus zu 20′ 11,″3 west. von Greenwich, statt dafs sie aus den trigonometrischen Messungen nur zu 20′ 6,″9 bestimmt worden war.

Mit Recht haben berühmte Seefahrer und Kenner der nautischen Astronomie [1] sich gegen die Gleichgültigkeit erhoben, mit welcher oft bei wichtigen und kostbaren Ausrüstungen die Anschaffung eines Chronometers vernachlässigt wird. Nicht nur kürzt die tägliche Bestimmung der Länge die Reise des Seefahrers ab, indem sie ihn, falls er durch Strömungen entführt worden wäre, in den Stand setzt, immer den Curs nach seiner jedesmaligen Station zu verändern, sondern eben diese Beschleunigung der Reise ist oft für das Heil seiner Schif-

---

1 z. B. Krusenstern in Zachs Corresp. Astron. VII. p. 150. Capt. Basil Hall im Edinb. Philos. Journ. N° 4. und von Zach an mehrern Stellen der Monatl. Corresp. und der Corr. Astron.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

fer von den wichtigsten Folgen. Eine Verspätung von wenigen Stunden, um welche er dem Port zu spät sich nähert, zieht zuweilen den Untergang des Schiffes, oder einen Zeitverlust von mehrern Wochen nach sich. Die Ersparung von einigen hundert Thalern hat schon mehr als einmal den Verlust von Millionen zur Folge gehabt, selbst in Fällen, wo die Geschicklichkeit und Sorgfalt des Befehlshabers jedes Versehen der Art auszuschliefsen schien. So wurde den 2. April 1804 die englische Fregatte Apollo, die eine Flotte von 61 reich beladenen Schiffen nach Westindien begleitete, sechs Tage nach ihrer Abfahrt mit 40 dieser Schiffe vom Sturm an die Portugiesische Küste geworfen, nur darum, weil der Capitän J. W. T. Dixon durch Sturm und Strömung um 3,5 Grad weiter nach Westen getrieben worden war, als die Schifferrechnung auswies. Hätte er ein nur mittelmäfsiges Chronometer gehabt, so hätte er, da am Tage vor seinem Unglück die Sonne schien (er erhielt nämlich eine Breitenbestimmung) durch ein Paar Sonnenhöhen über das Gefährliche seiner Lage belehrt, bei dem Südwest-Sturme durch einen nördlichen Curs dem Schiffbruch entrinnen können. Die französische Fregatte Medusa verunglückte im J. 1817 aus dem nämlichen Grunde. Ein eben so warnendes Beispiel liefert das Schicksal des grofsen englischen Transportschiffes Arniston, das mit einer durch zwei Corvetten geleiteten Flotte von Ceylon nach Europa zurückkehrte. Ehe man das Vorgebirge der guten Hoffnung erreichte, verlor der Arniston die übrigen Schiffe aus dem Gesichte, und blieb nun sich selbst überlassen. Am Vorgebirge der guten Hoffnung regieren starke westliche Strömungen, welche die von Osten kommenden Schiffe in ihrem Laufe bedeutend zurücksetzen. Ungewifs über seine Länge (die Chronometer waren am Bord der Kriegsschiffe) hatte der Capitän nach guten Angaben täglich 20 nautische Meilen von seiner Rechnung abgezogen, und glaubte endlich am 11ten Tage sein Schiff nach Norden auf St. Helena wenden zu dürfen. Ein heftiger Sturm von Süden schien seine Fahrt zu begünstigen; allein wie grofs war sein Erstaunen, als er nach wenigen Stunden sich von Land umgeben, und unentrinnbar in die 100 Meilen ostwärts vom Cap liegende Struysbey hineingetrieben sah. Vergeblich warf man die Anker aus; die Wuth des Sturmes und der Wellen warf das

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Schiff an die Küste, und die ganze Mannschaft, die aus einigen hundert Invaliden, etwa 50 Weibern und einer grofsen Anzahl Kindern bestand, fand ihr Grab in den Fluthen. Nur fünf Personen entkamen dem traurigen Schicksal.

Einflufs des Mangnetismus auf den Gang der Chronometer.

Schon im J. 1798 macht Varley auf die Abweichungen aufmerksam, welche durch den Magnetismus der Unruhe vermuthlich des stählernen diametralen Steges an derselben) im Gange der Chronometer hervorgebracht wurden. Er zeigte dafs ein solches Chronometer, wenn der Nordpol jenes Stäbchens nach Norden gerichtet war, täglich 5′35″ voreilte, und in entgegengesetzter Richtung um 6′48″ zurückblieb. Obwohl nun dieses Beispiel ganz aufserordentlich ist, so fand sich dennoch seither an vielen Chronometern ein Unterschied von einer oder mehreren Secunden im täglichen Gange, wenn z. B. die Zahl XII. das einemal nach dieser, das andere nach einer entgegengesetzten Richtung gekehrt wurde. Einer von Scoresby's Chronometern veränderte seinen Gang von 4″ bis 9″, wenn er, das einemal Nord-Ost, das andere mal Süd-West gerichtet wurde. Zur Zeit, als die Entdeckung vom Magnetismus der Eisenmassen im Schiffe und ihrer störenden Wirkung auf den Compafs [1] gemacht wurde, kam auch dieser Gegenstand aufs Neue in Anregung; besonders wollte man darin eine Erklärung der befremdlichen Erscheinung finden, dafs viele Chronometer auf dem Schiffe einen andern Gang annahmen, als sie kurz zuvor am Lande gehabt hatten. Ein gewifser Harvey hat über den Einflufs künstlicher Magnete viele Versuche angestellt, die aber gröfstentheils unbrauchbar sind, weil er nicht die *Unruhe*, sondern nur die *Hauptfeder* in regelmäfsige Lagen gegen einen 13 Zoll langen Magnetstab gebracht hatte. Dadurch wurde die Unruhe von zwei nach Lage und Annäherung veränderlichen, Magnetismen, dem directen des Magnetstabes und dem (von diesem erregten) der Hauptfeder sollicitirt, so dafs sich aus dieser gemischten Wirkung keine bestimmten Resultate ableiten lassen. Bei einigen dieser Versuche ging

1 S. den Artikel: *Ablenkung*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Aenderung des Ganges auf etwa 45 Sec. in plus und minus Geringe Veränderungen der Länge der Chronometer gegen den Magneten brachten bedeutende Aenderungen des Ganges hervor; doch kehrten die Uhren nach dem Versuche bald wieder zu ihren vorigen Gange zurück. Es ist wohl kaum der Mühe werth, diese Versuche, die wegen des Einflusses der Hauptfeder und der stählernen Axen kein reines Resultat gewähren können, weiter auszudehnen; ungleich sicherer möchte es seyn, den Steg der Unruhe aus Mefsing, oder wenn man die Ausdehnung dieses Metalles scheut, aus Platin zu verfertigen, und vielleicht auch dieses Metall zur Verfertigung der Compensationsstreifen anzuwenden. Scoresby schlägt vor, die Chronometer auf ein Lager zu legen, das auf einer Spitze drehend, durch eine unterhalb in einiger Entfernung angebrachte Magnetnadel in unveränderter Richtung erhalten würde. Er hat von dieser Vorrichtung gute Resultate wahrgenommen [1]. *H.*

Circummeridianhöhen.

Altitudines siderum parum a meridiano distantium. Hauteurs circon-meridiennes. Höhen der Gestirne, die in der Nähe des Meridians beobachtet sind. Man bedient sich dieser Höhen, wenn man aus Mangel an feststehenden Instrumenten die wahre Meridianhöhe nicht mit vollkommener Genauigkeit erhalten kann, und es läfst sich die wahre Mittagshöhe aus einer Reihe solcher Höhen, die mit Angabe der Zwischenzeiten nahe an der Culmination genommen sind, sehr gut bestimmen. Hat man nämlich aus correspondirenden Sonnenhöhen die Zeit des wahren Mittags bestimmt, so weifs man bei jeder einzelnen Beobachtung, wie weit vom Mittage sie angestellt ist, und kann aus der oberflächlich bekannten Polhöhe die *Reduction auf den Meridian* für jede Beobachtung d. i. die wahre Mittagshöhe sehr genau finden, wodurch dann auch die Polhöhe selbst genau gefunden wird [2]. *B.*

---

1 Siehe das Edinb. Philos. Journ. Nr. 17. p. 41, und Nr. 19. p. 1. ferner die Philos. Transact. for 1822. p. 241.

2 Littrow. Astronomie I. S. 149. 171.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Circumpolarsterne.

Stellae polo vicinae; *Circum-Polar Stars.* Die Sterne, welche dem wahren Pole des Himmels nahe stehen. Man gebraucht sie gern zu Bestimmung der Polhöhe, weil ihre beiden Höhen im obern und untern Durchgange durch den Meridian die Polhöhe des Ortes geben, die nun noch wegen der in dieser Höhe statt findenden Refraction corrigirt werden mufs. Man hat hiebei nicht nöthig, die Declination des Sternes zu kennen, und da für Sterne, die nur wenige Grade vom Pole entfernt sind, die Höhe sich um die Zeit der Culmination sehr wenig ändert, so schadet selbst eine kleine Entfernung des Instruments von der Meridian-Ebene wenig. Der Polarstern ist hierzu vorzüglich geeignet. Selbst aus Beobachtungen des Polarsternes aufser dem Meridian läfst sich die Polhöhe gut bestimmen [1]. Aber nicht blofs zu Bestimmung der Polhöhe, sondern auch um die Stellung der Meridian-Instrumente zu berichtigen, dienen die Circumpolarsterne. Beobachtet man nämlich an einem Fernrohr, das in einer Vertical-Ebene beweglich ist, den Durchgang des Sternes oberhalb und unterhalb des Poles, so ist die Zwischenzeit die genaue Hälfte eines Sternentages, wenn jene Vertical-Ebene die Ebene des Meridians ist; findet man also die Zwischenzeit abweichend von einem halben Sternentage, so erkennt man sogleich, nach welcher Seite die Stellung des Instruments vom Meridian abweicht, und kann auch die Gröfse dieser Abweichung leicht berechnen [2]. *B.*

Cohäsion.

Cohärenz, Zusammenhang; *Cohaesio*, *cohaerentia*; Cohésion, cohérense; *Cohesion*; bezeichnet den Grad der Stärke, womit die Bestandtheile fester, oder eigentlich starrer Körper zusammenhängen, oder auch den Widerstand, welchen diese Körper einer Trennung, einem Zerrissen- oder Zerbrochenwerden entgegensetzen. Diese Eigenschaft der starren Körper fällt also gleichsam mit ihrer *Festigkeit* zusam-

1 Littrows Astronomie I. 173.
2 Littrows Astron. I. 391.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

men, und wird daher vielfach durch die letztere ausgedrückt[1]. Bei der Untersuchung dieses Gegenstandes sind zwei verschiedene Gesichtspuncte zu berücksichtigen, aus welchen man die Sache betrachten kann, indem man nämlich entweder die *Naturkraft* zu erforschen sich bemüht, auf welcher dieser Zusammenhang der Bestandtheile starrer Körper und der ungleiche Widerstand beruhet, welchen sie den trennenden Kräften entgegensetzen, oder unbekümmert um das eigentliche Wesen dieser bis jetzt noch unerforschten Ursache sich an die *Thatsachen* hält, und die Stärke des Zusammenhanges oder den Grad der Cohäsion der einzelnen Körper unter den mannigfaltigen bedingenden Umständen untersucht. Da das Leztere von grofsem praktischen Nutzen ist, das Erstere aber schon in Voraus keinen reellen Gewinn verspricht, so könnte man geneigt seyn, blofs jenes zu berücksichtigen und dieses gänzlich zu vernachlässigen. Allein da die Erscheinungen der Cohäsion so tief in die eigentlichen Naturgesetze eingreifen, und mit der philosophischen Untersuchung der Naturkräfte in so genauem Zusammenhange stehen, so ist es selbst aus dem geschichtlichen Gesichtspuncte betrachtet unumgänglich nothwendig, hier das Wesentlichste von demjenigen beizubringen, was man zur Aufklärung dieser Erscheinungen an sich bisher aufgestellt hat.

1. Theoretische Betrachtungen.

Schon in den ältesten Zeiten hat man versucht, die auffallende Erscheinung der Cohäsion auf ein allgemeines Naturgesetz zurückzuführen. Nach den Peripatetikern war Härte und Zusammenhang eine *Qualität zweiter Ordnung*, oder eine Folge der Trockenheit, welche ihnen für eine *Qualität erster Ordnung* galt. Andere Scholastiker redeten von einem ursprünglichen Leime; oder von kleinen Häkchen der Atome, und Galilaei wollte diese Eigenschaft der Körper auf den Abscheu der Natur am leeren Raume zurückführen. Nach Cartesius[2] ist Härte und Zusammenhang fester Körper eine Folge der ab-

---

1 Vergl. über diesen Sprachgebrauch die Artikel *Anziehung* I. p. 347 und *Adhäsion* I. p. 171.

2 Princ. phil. II. §. 55.

soluten Ruhe ihrer Theile, indem dagegen die der Flüssigkeiten in steter Bewegung seyn sollen. Wie diese Erklärung sich damit in Uebereinstimmung bringen lasse, dafs die festen Körper im Ganzen bewegt werden können, ohne Aufhebung ihres Zusammenhanges, ist allerdings leichter begreiflich, als dafs die Cohäsion selbst durch die Schwingungen schallender Körper nicht aufgehoben wird; indefs belohnt es sich überhaupt der Mühe nicht, solche an sich ganz unbegründete Hypothesen zu widerlegen, wie schon daraus hervorgeht, dafs im Gegensatze mit der eben aufgestellten Meinung Leibnitz [1] die Cohäsion als eine Folge der Bewegung der Körperelemente angesehen wissen will. Jacob Bernoulli [2] leitete die Cohäsion zuerst vom Drucke der Luft ab, worauf ihn wohl vorzüglich die Versuche mit sogenannten Cohäsionsplatten führten. Weil aber sowohl die Stärke der Cohäsion selbst, als auch das Verhalten der Körper im luftleeren Raume hiergegen streitet, so nahm er einer eigenen *Aether* als wirkende Ursache an, dessen Elasticität übrigens nach Winkler [3] 1912 mal stärker, als die der Luft seyn müfste, um die Stärke des Zusammenhanges beim Kupfer zu erklären, wovon ein Draht von 0,1 Z. im Durchmesser durch 299 ℔ zerrissen wurde. Als gänzlich ungenügende Hypothese ist auch diejenige zu betrachten, welche Henley [4] aufgestellt hat. Er argumentirt nämlich, dafs der Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln eine durch den Luftdruck bewirkte Cohäsion beweise. Diese reiche aber nicht hin, um die Phänomene genügend zu erklären, wohl aber das Elementarfeuer, welches als Mittel, alle Körper zu trennen, auch fähig seyn müsse, sie zusammen zu halten, um so mehr, als dasselbe in seiner eigentlichen Gestalt sich auflösend, als Licht nicht auflösend, als Elektricität wieder anziehend zeige. Ohne Zweifel sey daher die *Elektricität* das eigentliche *Elementarfeuer*, und vielleicht das Löthen der Metalle so wie das Schweisen des Eisens im Feuer ein directer Beweis für die Gül-

1 Theoria motus. Lond. 1671. 12. Phil. Tr. VI. 2213.
2 De gravitate aetheris. Amst. 1683. 8. Opp. I. 45.
3 Anfangsgründe der Phys. §. 642.
4 Phil. Trans. 1777.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tigkeit dieser Hypothese. Auch nach Hube [1] soll die elektrische Anziehung allen Erscheinungen des Zusammenhängens zum Grunde liegen, indem alle Körper in einem gewissen Verhältnisse stets elektrisch sind. Ritters [2] Hypothese, welche gleichzeitig durch v. Arnim [3] aufgestellt wurde, wonach die Cohäeion mit dem *Magnetismus* zusammenfallen oder mindestens damit verwandt seyn soll, kann bei der jetzigen Kenntnifs dieses Gegenstandes keinen Beifall mehr finden.

Dafs die Erscheinungen der Cohäsion im Allgemeinen zur *Attraction* gehören, kann nicht bezweifelt werden, und es würde sehr unphilosophisch argumentirt seyn, wenn man annehmen wollte, die Stärke des Zusammenhanges der starren Körper sey etwas diesen eigenthümlich Zukommendes, und aufser Verbindung mit den übrigen Naturgesetzen Stehendes. Vielmehr beobachten wir, dafs die Cohäsion der nämlichen Körper bald stärker bald schwächer ist, und dafs sie namentlich bei den schmelzbaren, z. B. den Metallen, von dem schwächsten Bestreben nach *Annäherung* ihrer Theile gegen einander in der Dampfform zur *Adhäsion* im Zustande der tropfbaren Flüssigkeit, und nach dem Erstarren zur schwer überwindlichen *Festigkeit* übergeht, wonach also die Cohäsion zur allgemeinen Naturkraft der Anziehung zu rechnen ist. Newton, welcher das Attractionsgesetz auffand, und vielfach anwandte, hat sich auf verschiedene Weise über die eigentliche Ursache der Cohäsion geäufsert, ohne jedoch auf diese Resultate der blofsen Speculation grofsen Werth zu legen. Den Druck eines *Aethers*, welcher zu seiner Zeit sehr allgemein als existirend und wirkend angenommen wurde, und auf welchen auch er die Phänomene der Schwere und Gravitation zurückzuführen mit unter sich nicht abgeneigt zeigte [4], scheint er nicht als Ursache der Cohäsion angesehen zu haben. Dagegen äufserte er die Hypothese, es möchten wohl die kleinsten Theilchen der Körper, durch die stärkste Anziehung gebunden, gröfsere Körper von geringerem Zusammenhange bilden, diese aber wie-

---

1 Vollständiger und fasslicher Unterricht in der Naturlehre II. 99.
2 G. IV. 15.
3 G. III. 48.
4 S. *Anziehung* p. 324.

derum gröſsere von noch schwächerem Zusammenhange u. s. w. bis die Reihe mit den gröberen Theilen aufhöre, von denen die chemischen Operationen und die Farben abhingen, und deren Verbindungen sinnlich wahrnehmbare Körper bildeten. Von dem Grade der Trennung in solche feinere oder gröbere Theilchen könnte dann der Zustand der Flüchtigkeit und Feuerbeständigkeit, der Flüssigkeit und Festigkeit abhängen [1]. Eine ähnliche beiläufige Aeuſserung Kant's [2], daſs die Anziehung welche man zur Erklärung des Zusammenhanges der Materie annähme, vielleicht nur scheinbar sey, und die Meinung viel für sich habe, daſs die Zusammendrückung eines überall verbreiteten Aethers Ursache dieser Phänomene sey, ist zu wenig sagend, zu schwach begründet und in zu losem Zusammenhange mit der Theorie dieses berühmten Philosophen, als daſs sie ernste Beachtung verdiente.

Kant hat bekanntlich Anziehung und Abstoſsung (*Ziehkraft* und *Dehnkraft*) als Urkräfte oder Grundkräfte aufgestellt, welche der Materie zu ihrer Existenz nothwendig zukommen sollen, und seine Anhänger wollen hieraus, wie schon früher Godwin Knight [3], die verschiedenen Naturerscheinungen erklären, so daſs also auch die Cohäsion in nichts anderm, als in einem *Uebergewichte der Ziehkraft* bestehen würde. Einestheils aber ist die Annahme dieser Kräfte als Grund- oder Urkräfte eine bloſse Hypothese, anderntheils zeigt eine gründliche Prüfung bald, daſs zwar die *Anziehung* als allgemein der Materie zukommend sich überall in der Erfahrung darbietet [4], daſs aber in specieller Beziehung auf die *Cohäsion* eben die Hauptfrage hierdurch gar nicht beantwortet wird, nämlich warum sich diese gegenseitige Anziehung der Bestandtheile eines Körpers bei den verschiedenen Substanzen und unter verschiedenen Umständen auf so *ungleiche Weise* und in sehr *abweichender Stärke* zeigt.

Indem es ausgemacht ist, daſs alle Materie allgemeine Anziehung äuſsert, so gewährt es den einzigen Anhaltpunct bei

---

1 Optice ed. Clarkii. Lond. 1706 qu. 23. p. 337 ss.
2 Metaph. Anfangsgr. der Naturw. Leip. 1800. p. 125.
3 S. *Abstoſsung* p. 122. Vergl. *Materie*.
4 S. *Anziehung*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

diesen Betrachtungen, wenn man untersucht, ob sich die Erscheinungen der Cohäsion auf diese allgemeine Naturkraft zurückführen lassen, und in welchem Verhältnisse sie zu derselben stehen. Man kann diese allgemeine Ansicht der Sache zu gröſserer Deutlichkeit noch näher bestimmen, wenn man die Frage sogleich innerhalb derjenigen Grenzen hält, in welche eingeschlossen sie meistens betrachtet wurde, nämlich ob die Erscheinungen der Cohäsion sich auf die von Newton aufgefundene, *den Massen directe und den Quadraten der Abstände umgekehrt proportionale Anziehung* zurückführen lassen, oder ob es einer anders modificirten, wo nicht ganz eigenthümlichen Kraft zu ihrer Erklärung bedarf. In dieser Hinsicht stehen die Meinungen zweier groſsen Geometer einander entgegen, nämlich Newton's, welcher anzunehmen geneigt war, daſs die Anziehung der Cohäsion in einem höheren umgekehrten Verhältnisse des Abstandes wirke, und La Place's, welcher meint, daſs auch diese sich auf das umgekehrte quadratische zurückführen lasse [1].

Gegen die letztere Meinung, so sehr man übrigens die allgemeinen Naturgesetze zu vereinfachen und auf eine geringe Anzahl zurückzubringen suchen muſs, läſst sich mit Grunde einwenden, einestheils daſs diejenige Anziehung, wodurch wägbare Körper gegen einander und gegen die Erde zu fallen sollicitirt werden, jedem einzelnen materiellen Theilchen auf gleiche Weise zukommen, und daher den Massen direct proportional ist, daſs dagegen die Anziehung der Cohäsion bei verschiedenen Körpern verschieden, z. B. anders beim Kupfer als beim Blei, beim Zink, beim Silber u. s. w. gefunden wird; anderntheils aber, daſs die Adhäsion flüssiger Körper an feste und die Cohäsion der lezteren bedeutend stärker sind, als die Gravitation und Schwere, daſs sie neben und zugleich mit der lezteren bestehen, und mit der Trennung der Theile in der Regel gröſstentheils oder gänzlich aufhören. Rücksichtlich auf das Erstere müsste man also entweder annehmen, daſs die Bestandtheile des einen Körpers mehr als die eines andern von der Kraft der Anziehung afficirt würden, was aber mit ihrer Allgemeinheit und der Gleichartigkeit der Gravitation nicht

---

1 Vergl. *Anziehung*.

wohl vereinbar wäre, oder dafs eine dieser Anziehung entgegenwirkende Kraft bei einigen mehr, bei andern weniger die Wirkung derselben vermindern. Was aber Newton vermochte, die *Flächenanziehung*, oder die Anziehung in der Berührung von der allgemeinen, nach ihm benannten, Attraction zu unterscheiden, und ihr eine in einem stärkeren Verhältnisse der Annäherung als dem quadratischen wachsende Kraft zum Grunde zu legen, ist insbesondere der Umstand, dafs getrennte Theile des nämlichen Körpers auch wenn sie wieder mit einander in Berührung gebracht werden, dennoch gar keine oder nur eine geringe Anziehung gegen einander zeigen. Es läfst sich zwar mit genau flach geschliffenen Platten von Marmor, Glas, Metall u. dgl. (den sogenannten *Cohäsionsplatten*) zeigen, dafs sie auch ohne Bindemittel bei sehr genauer Berührung einen bedeutenden Grad des Zusammenhängens zeigen; eigentlich aber ist diefes nur *Adhäsion*, und die Stärke des Zusammenhaltens steht derjenigen, welche diese Substanzen im ungetrennten Zustande zeigen, oder der eigentlichen *Cohäsion*, sehr weit nach. Am beweisendsten in dieser Hinsicht ist der Versuch, wenn man zwei Bleicylinder mit ihren glatt geschabten Flächen fest an einander drückt, in welchem Falle indefs das weiche, und somit nachgebende, Metall eine innige Berührung mehrerer Puncte, eine ganz eigentliche Verbindung der sich berührenden Theile gestattet, und dann einen bedeutenden Grad des Zusammenhanges zeigt [1]. Hieraus, eben wie aus den Erscheinungen der Adhäsion und Capillarität, ergiebt sich also, dafs die Wirksamkeit der hierbei thätigen Kraft sich nur in unmefsbar kleine Entfernung erstrecken könne, in der wirklichen Berührung aber weit stärker sey, als die sich zugleich stets äufsernde, den Massen directe und dem Quadrate des Abstandes umgekehrt proportionale Anziehung.

Indefs liegen diese Beweise gegen die Gleichheit der Flächenanziehung und der allgemeinen Attraction viel zu nahe, als dafs die scharfsinnigen Physiker, und unter ihnen namentlich La Place, welche dennoch beide ihrem Wesen nach für identisch zu halten geneigt sind, sie sollten übersehen haben. Nach

---

1 S. *Adhäsion* p. 173.

diesen lassen sich nämlich die Erscheinungen der Cohäsion allerdings auf dafs Newtonsche Attractionsgesetz zurückführen, wenn man nur annimt, dafs die constituirenden Bestandtheil der Körper einander nahe genug gebracht werden, um in ihre gegenseitige Attractionssphäre zu kommen, welches nur in unmittelbarer oder sehr nahe unmittelbahrer Berührung geschehen kann, da die Durchmesser aller Körperelemente verschwindend klein sind, folglich eine so genannte nahe Berührung noch immer einen Abstand von vielen Halbmessern derselben beträgt [1]. Diesen allerdings schweren Satz erläutert Robison [2] in besonderer Beziehung auf die Cohäsion und ihre Vergleichung mit der Gravitation durch ein Beispiel. Angenommen die ausserordentlich starke Anziehung eines Körpers erstreckte sich nur auf eine solche Entfernung von demselben, seinen Durchmesser als Einheit angenommen, dafs sie bei der Erde in einem Abstande von einem Fufse schon verschwindend wäre, und man hätte eine Menge Kugeln, jede von 1 F. Durchmesser in unmittelbarer Berührung neben einander liegend, höbe von denselben eine in die Höhe bis auf einen Fufs Abstand von der Erdoberfläche, so würde diese schon aufhören gegen die Erde zu gravitiren, zugleich aber würde eine folgende von ihr mit gröfster Kraft angezogen werden, von dieser wieder eine andere und sofort, wobei man *dem Gewichte nach* stets nur eine einzige zu tragen hätte, obgleich zur Trennung der an einander hängenden Kugeln eine sehr grofse Kraft erforderlich wäre.

Viele Gelehrte haben die schwierige Frage, ob zur Erklärung der Cohäsion eine eigenthümliche, in höheren umgekehrten Verhältnissen, als dem quadratischen, zunehmende sogenannte Flächenkraft anzunehmen sey, oder auch diese, eben wie die Adhäsion, auf die Newtousche Attraction zurückgeführt werden könne, mit vielem Scharfsinn und gründlich geprüft, von welchen Bemühungen die wesentlichsten hier erwährt werden mögen. Newton [3] zuvörderst bewies durch

---

1 Vergl. *Anziehung*. p. 341.

2 Mech. Phil. I. 233.

3 Princ. I. sect. XII. prop. LXXI. theor. XXI. ss. Der Beweis des Satzes findet sich ausführlich in der Ausgabe der Principien von Tessanek. T. I. Pragae 1780 p. 268. Vergl. G. G Schmidt. in Münch. Denksch. 1808. p. 279.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

eine Reihe von Schlüssen, dafs ein Punct aufserhalb einer Kugelfläche, welcher gegen alle Puncte derselben gravitirt, von dieser nach dem Mittelpuncte mit einer dem Quadrate des Abstandes von diesem umgekehrt proportionalen Kraft angezogen werde, und indem dieses für alle sehr dünnen Kugelschichten, mithin auch für die ganze Kugel gilt, so läfst sich annehmen, dafs die gesammte Anziehung im Centro derselben vereinigt sey, welches daher auch der *Mittelpunct der Anziehung* genannt wird. Wenn daher von zwei gegebenen Puncten der eine sich in mefsbarem Abstande, der andre aber in der Berührung der Kugeloberfläche befindet, so wird das angegebene Verhältnifs der Anziehungen bei beiden stets ein endliches bleiben; wogegen aber Schmidt [1] erinnert, dafs der Satz blofs für den Fall strenge bewiesen ist, wenn die Entfernungen der Puncte gegen die Halbmesser der Kugeln als unendlich grofs angenommen werden. Inzwischen folgerte Newton [2] hieraus dafs die Flächenanziehung, wodurch die Cohäsion bewirkt werde, im umgekehrten höheren Verhältnisse, etwa dem kubischen oder biquadratischen zunehmen müsse, ein Satz, welchen späterhin auch Keil [3] vertheidigte, indem er annahm, man könne für die Entfernung $= x$ das Gesetz der Cohäsion durch die Formel $\frac{A}{x^2} + \frac{B}{x^3}$ oder $\frac{A}{x^2} + \frac{B}{x^m}$ ausdrücken.

Während man sich im Allgemeinen mit dieser Vorstellung begnügte, oder vielmehr die ganze Frage lange Zeit auf sich beruhen liefs und die anderweitigen verschiedenen, zur Anziehung im Allgemeinen gehörigen Erscheinungen weiter untersuchte, veranlafsten einige nicht erschöpfende Bemerkungen von Murhard [4] eine nähere Betrachtung der Frage, ob die Cohäsion aus dem Newtonschen Attractionsgesetze erklärt werden könne, durch Benzenberg [5], indem er zeigte, dafs wir die Gröfse der

---

1 a. a. O. p. 284.

2 Princ. Sec. XIII. prop. 85 — 87.

3 Introductio ad veram Physicam et veram Astronomiam Lugd. Bat. 1725. p. 626.

4 Gren N. J. IV. 83.

5 G. XVI. 76.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

einfachen Bestandtheile der Körper zwar nicht kennen, aber doch so viel durch Erfahrung sicher wissen, dafs die meisten derselben weit kleiner sind, als unser Vorstellungsvermögen zu fassen vermag [1]. Obgleich dann die Anziehung dieser materiellen Puncte oder der aus ihnen zusammengesetzten Körper, selbst in sehr kleinen, aber mefsbaren, Entfernungen kaum merklich ist, so wird sie doch durch stets gröfsere Annäherung im quadratischen Verhältnisse wachsend zuletzt ins Unendliche zunehmen, und jede mechanische Gewalt weit hinter sich lassen müssen [2], so dafs es hiernach also zur Erklärung der Cohäsion keiner besonderen Flächenkraft bedürfe.

Mit noch mehrerem Grunde machte ferner J. T. Mayer [3] den gegründeten Einwurf gegen eine *eigenthümliche Flächenkraft* oder Cohäsionskraft, dafs noch niemand durch irgend einen Versuch eine solche im umgekehrten kubischen oder höheren Verhältnisse des Abstandes wirkende Kraft nachgewiesen habe, auch nicht wohl begreiflich sey, wie damit die bekannte Kraft der Anziehung z. B. der Erde gegen den Mond, als im Mittelpuncte dieser Körper vereinigt, verträglich sey. Dagegen sprach Mayer ganz deutlich seine Meinung dahin aus, dafs die Erscheinungen der Cohäsion sich füglich auf das allgemeine Gesetz der Anziehung im umgekehrten quadratischen Verhältnisse des Abstandes zurückbringen lassen, und zeigte die Richtigkeit dieser Behauptung durch den Calcül. In den bekannten Abhandlungen über die Capillaranziehung [4] äufserte auch der grofse Geometer de la Place, dafs die Erscheinungen der Cohäsion sich füglich auf das allgemeine Gesetz der Attraction zurückführen lasse, wenn man die Durchmesser der kleinsten Bestandtheile der Körper gegen ihre Entfernung von einander bei ihrer nur scheinbaren, aber nicht wirklichen unmittelbaren Berührung in den festen Körpern unendlich klein annähme.

Sowohl die Newtonsche Behauptung, als auch die entgegen-

---

1 Vergl. *Theilbarkeit*.
2 Vergl. Emmet in Ann. of Phil. XVI. 180 ff.
3 Comm. Soc. Gott. XVI. 52.
4 S. *Capillarität*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gesetzte von La Place werden gründlich geprüft durch G. G. Schmidt [1], und bei der Wichtigkeit des Gegenstandes möge folgende kurze Darstellung der hauptsächlichsten Momente zur leichteren Uebersicht des Ganzen dienen. Newton's Behauptung sagt, dafs man sich die Summe der Anziehungen aller anziehenden Theile eines Körpers, z. B. einer Kugel, gegen einen aufserhalb derselben gelegenen Punct im Mittelpuncte der anziehenden Kugel vereinigt denken könne, und indem die Summe aller Anziehungen der Masse der Kugel directe und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional angenommen wird, so folgt, dafs die Anziehung einer Kugel vom Halbmesser $= r$ gegen einen Punct, welcher sich in der Entfernung $= a$ von ihrer Oberfläche befindet $= \frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{(r + a)^2}$, gegen einen Punct in einer unmittelbaren Berührung mit ihrer Oberfläche aber $= \frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{r^2}$ seyn mufs. Beide verhalten sich also wie $\frac{1}{(r + a)^2} : \frac{1}{r^2}$. Der Beweis ist aber blofs in der Voraussezzung geführt, dafs die Anziehung eines verschwindenden Kugelabschnittes gegen einen aufserhalb liegenden Punct im Verhältnifs zur Anziehung eines Segments von endlicher Gröfse unbedingt verschwinde, welches keineswegs als ausgemacht anzunehmen ist, wie folgender Satz, als der einfachste unter den in der Abhandlung erörterten, deutlich zeigt. Es bezeichnen AB einen unendlich schmalen Cylinder von gegebener Länge, p einen Punct in der verlängerten Axe desselben. Die Fig. 42. Entfernung des Punctes p sey $= 1$, ein Element des Cylinders $= e^2 dx$ und die veränderliche Entfernung des Punctes $p = 1 + x$, so ist nach Newton's Gravitationsgesetze die Anziehung des Elementes gegen den Punct $p = \frac{e^2 dx}{(1 + x)^2}$, und die Summe der Anziehungen aller verschwindenden Elemente, oder die Anziehung des ganzen Cylinders $=$

$$\int \frac{e^2 dx}{(1 + x)^2} = - e^2 (1 + x)^{-1} + C.$$

Es mufs aber das

1 Münch. Denksch. a. a. O.

Integral für $x = 0$ verschwinden, und so wird $C = \frac{e^2}{l}$, mithin das vollständige Integral $= \frac{e^2}{l} - \frac{e^2}{l+x} = \frac{e^2 x}{l(l+x)}$. Es ist aber e^2x die Masse des Cylinders, und wenn man die Entfernung seines Mittelpunctes vom gezogenen Puncte $= z$ setzt, so ist die Stärke der Attraction $= \frac{e^2x}{z^2}$ mithin $\frac{e^2x}{z^2} = \frac{e^2x}{l(l+x)}$ und hieraus $z = \sqrt{l(l+x)}$. Setzt man l gegen x verschwindend, so wird $z = 0$ und $\frac{e^2x}{z^2} = \frac{e^2x}{0} = \infty$ oder in Worten ausgedrückt: ein schmaler Cylinder zieht einen seine Grundfläche unmittelbar berührenden Punct mit einer unendlich stärkern Kraft als jeden Punct, der sich in einer endlichen Entfernung in seiner Axe befindet. Wenn man auf gleiche Weise in der obigen, nach dem Newtonschen Attractionsgesetze gebildeten Formel $= \frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{(a+r)^2}$ zuerst r gegen a verschwindend und a veränderlich setzt, so erhält man $\frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{a^2}$ und für $a = 0$ oder in unmittelbarer Berührung die Kraft der Anziehung unendlich; welches der Satz des Laplace ist. Aus allen, für verschiedene Körper nach Art des mitgetheilten geführten Beweisen folgert Schmidt:[1] „*daſs die Anziehung zweier sich unmittelbar berührender Elemente, gegen eine jede Anziehung eines Körpers, welcher sich in einer endlichen Entfernung von dem gezogenen Elemente befindet, unendlich groſs sey, und daſs daher die Erscheinungen der Cohäsion, als Wirkungen einer Flächenkraft, unabhängig von den Massenanziehungen der Körper existiren können, obgleich beide sich auf eine und dieselbe Grundkraft der Materie, welche in endlichen sowohl als in unendlich kleinen und unendlich groſsen Entfernungen nach dem nämlichen Gesetze wirkt, zurückführen lassen.*“ Indem dieser wichtige Satz auf solche Weise präcis ausgedrückt ist,

1 a. a. O. p. 296.

wird zugleich einem sonst leicht möglichen Mifsverständnisse vorgebeugt, welches daraus entstehen könnte, wenn man sich dächte, es müsse sich die Anziehung eines verschwindend kleinen Körpertheilchens zur Anziehung durch die Erde wie die Kuben der Durchmesser beider zu einander verhalten, und könne daher bei ersterem nie anders als unendlich klein im Verhältnifs gegen die Schwere seyn. Man mufs aber vielmehr die Sache so auffassen, dafs die Anziehung jedes einzelnen Elementes gegen jeden Punct in der Berührung unendlich grofs ist, im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung abnimmt, und dafs somit ein jeder Körper im Wirkungskreise der Schwere, welche als eine im Mittelpuncte der Erde vereinigte Gesammtwirkung aller ihrer Theile angesehen werden darf, sich schon in einer verhältnifsmäfsig unendlichen Entfernung von jedem einzelnen anziehenden Körperelemente, den Durchmesser desselben als Einheit genommen, befinde, und der Körper daher nur durch die unzählbare Menge der ihn in ungleichen Entfernungen sollicitirenden einzelnen Theile der Erde schwer seyn könne. Man könnte sagen, dafs schon Newton [1] diese Meinung angedeutet habe, wenn er von der unendlich grofser Anziehung der kleinsten Körperelemente redet, wodurch gröfsere Körper von stets abnehmender Anziehung entständen.

Es ergiebt sich also aus dem hier Mitgetheilten, dafs die Erscheinungen der Cohäsion sich allerdings auf das Newtonsche Attractionsgesetz zurückführen lassen, und dafs diese Hypothese auch durch den Calcül unterstützt werden kann. Noch weiter, als diese Möglichkeit zu demonstriren, geht J. B. Emmet [2], welcher die bekannten Erfahrungen zum Grunde legt, dafs 1. ebene Flächen an einander hängen, 2. Flüssigkeiten eine ihre Schwere überwindende Adhäsion an feste Körper zeigen; 3. sich berührende Tropfen in einander fliefsen, und 4. Gasarten ihrem spec. Gew. entgegen sich mischen, wonach also das Bestreben ihrer Partikeln hierzu sich auf einen weit über ihren Durchmesser hinausreichenden Raum erstreckt. Hieraus sucht Emmet die Unmöglichkeit einer im umgekehrten kubischen

1 a. a. O.
2 Ann. of Ph. N. S. III. 425.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

oder biquadratischen Verhältnisse des Abstandes wirkenden Kraft zu beweisen. Es sey eine verschwindende Pyramide C A D, ein Element in A und zwei parallele Flächen K L, G H von gleicher, verschwindend kleiner Dicke; so ist die Fläche K L: G H = A L²: A H². Die Kraft der Anziehung eines Theilchens in L verhält sich zu der Anziehung eines Theilchens in H wie A H³: A L³. Es folgt also aus der Verbindung dieser beiden Gleichungen, dafs die Kraft der Anziehung von K L zu der von G H = A H: A L. Fället man die Perpendikel A N, L J, H F, D B, und nimmt L J, H F, D B im Verhältnifs der Stärke der Anziehung, so ist die Linie B F J M eine Hyperbel, und die Fläche B J L D giebt die Stärke der Anziehung des Pyramidenstückes C K L D; die Stärke der Anziehung der ganzen Pyramide auf den Punct A ist aber unendlich, weil die Fläche B M N A D unendlich ist. Hiernach müfste also die Anziehung gegen einen Punct in endlicher Entfernung sich zur Anziehung eines Punctes in der Berührung wie eine endliche Kraft zu einer unendlichen verhalten; und da eine unendliche Anziehung in der Natur nicht existirt, so läfst sich eine im umgekehrten kubischen Verhältnisse des Abstandes wirkende Kraft nicht annehmen. Es ist aber eben das Bestreben der Geometer, zu beweisen, dafs die Anziehung in der wirklichen Berührung unendlich werden mufste, wenn es gleich in der Natur weder eine wirkliche Berührung der Elementartheilchen (indem diese absolute Dichtigkeit erzeugen würde) noch auch eine unendliche Anziehung giebt.

Fig. 43.

Indefs giebt es zugleich auch nicht unbedeutende Physiker, welche auf das bestimmteste, und unterstützt durch den Calcül darzuthun gesucht haben, dafs zur Erklärung der Cohäsion eine den Quadraten des Abstandes umgekehrt proportionale Anziehung der Körperelemente unzureichend sey, und man daher zu einer in höheren Potenzen wachsenden seine Zuflucht nehmen müsse. Aufser denen, welche im Artikel: *Anziehung* schon erwähnt sind, gehört hierhin auch Belli [1], welcher aufser dem allgemeinen Gesetze der *Massenanziehung*

1 Brugnatelli G. VII. 169.

noch ein besonderes der *molecülären Anziehung* annehmen zu müssen glaubt, und namentlich in Beziehung auf die Cohäsion durch den Calcül zu beweisen sucht, dafs weder das Gesetz einer im umgekehrten quadratischen, noch kubischen, noch auch nach biquadratischem Verhältnisse der Entfernung wachsenden Kraft zur Erklärung der Phänomene passe, sondern dafs eine noch höhere n^{te} Potenz anzunehmen sey, welche er indefs unbestimmt gelassen hat. Eine sehr gehaltreiche Untersuchung über die Anziehung der Fläche hat Mollweide [1] geliefert, und entscheidet hiernach für eine im umgekehrten kubischen Verhältnisse des Abstandes zunehmende Kraft als Ursache der Cohäsion. Eine gleiche Behauptung hat noch neuerdings J. F. Fries [2] aufgestellt, und allerdings mit triftigen Gründen durch den Calcül unterstützt.

Es liefse sich die Reihe der auf diese Weise einander entgegen stehenden Autoritäten noch vermehren, wenn man hoffen dürfte, hierdurch zu einem endlichen genügenden Resultate zu gelangen. Auffallen mufs es aber, dafs diefser Gegenstand so vielfach mit so grofsem Scharfsinn und einem so bedeutenden Aufwande des höheren Calcüls untersucht ist, ohne bis jetzt zur vollständigen Entscheidung gebracht zu seyn. Eine gründliche Revision aller darüber vorhandenen Berechnungen würde in kaum zu überwindende Schwierigkeiten verwickeln, und hier auf allen Fall nicht am rechten Orte seyn. Betrachtet man aber die Sache im Allgemeinen, so scheint als Resultat der verschiedenen Versuche stets das Bestreben hervorzugehen, für die Anziehung in der Berührung eine unendliche Wirkung aufzufinden, welche indefs in der Erfahrung selbst nirgend gegeben wird, und auch nicht verlangt werden kann. Dabei kommt man aufserdem stets auf eine *unmittelbare* Berührung der angezogenen Theile zurück, welche aus später zu würdigenden Gründen gleichfalls nicht statt findet. Entfernt man sich indefs von der Voraussetzung einer unmittelbaren Berührung, so müfste die endliche Gröfse der Entfernung zur Begründung genauer

---

1 Mon. Cor. XXVII. 26. Vergl. XXVI. 602.

2 Die mathematische Naturphilosophie, nach philos. Methode bearbeitet. Heidelb. 1822. p. 476.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Resultate scharf bestimmt seyn, und dennoch sind die Abstände, worin die genäherten Körper eine Flächenanziehung äufsern, so verschwindend klein, dafs eine genaue Messung derselben unmöglich wird, mithin giebt die Erfahrung diejenigen Thatsachen gar nicht an, auf welche man fufsen müfste, um ein genaues Gesetz zu erhalten. Wollte man annehmen, dafs durch die Gröfse der Ausdehnung, welche ein gegebener Körper durch die Wärme erleidet, zugleich der wachsende Abstand seiner Bestandtheile gegeben würde, dann die in höheren Temperaturen abnehmende Cohäsion messen, um hieraus das Gesetz der mit dem Abstande der Bestandtheile von einander abnehmenden Anziehung aufzufinden, so zeigt die Erfahrung, wie abhängig von anderweitigen Bedingungen, und somit unsicher, die Resultate solcher Versuche sind, und dafs daher wenig Hoffnung vorhanden ist, auf diesem Wege die Frage zu beantworten. Man kann daher mit Grunde annehmen, dafs das Gesetz der Cohäsion deswegen noch nicht völlig sicher aufgefunden ist, weil die Erscheinungen selbst nicht in derjenigen Ausdehnung und auf eine gleiche Weise messbar gegeben sind als diejenigen, worauf Newton sein Attractionsgesetz gründete. Hierzu kommt denn ferner noch der Umstand, dafs es sich eigentlich darum handelt, Gesetze und Erscheinungen zu erforschen, welche sich auf die unmefsbar kleinen Bestandtheile der Körper beziehen, deren Gröfse und eigentliche Beschaffenheit uns gleichfalls bis jetzt noch völlig unbekannt sind.

Die Schwierigkeiten einer genügenden Erklärung dieser Phänomene wachsen endlich durch folgende sehr nahe liegende Betrachtungen. Angenommen es existirte eine in irgend einem Verhältnisse des Abstandes abnehmende anziehende Kraft, als Ursache der Cohäsion, wie geht es zu, dafs nicht alle zu unserm Planeten gehörigen Körperelemente endlich mit einander zur unmittelbaren Berührung kommen, und hiernach unendlich fest cohäriren? Denn wie auch immer das Verhältnifs des Abstandes seyn mag, so wird allezeit, wenn x die Stärke der Cohäsion, k die sie erzeugende Kraft und a den Abstand bezeichnet, nach der Formel $x = \frac{k}{a^n}$ für ein verschwindendes a oder die unmittelbare Berührung $x = \infty$ werden. Man kann

nicht einwenden, dafs dieses auch bei den Planeten als Folge ihrer Anziehung statt finden müfste, denn bei diesen ist eine Annäherung durch ihre stete Bewegung unmöglich. Die Anhänger der *Kantischen Dynamik* glaubten die Sache durch den Conflict der beiden, einander entgegenwirkenden Kräfte, nämlich der *Dehnkraft* und *Ziehkraft* erklären zu können, welche bei verschiedenen Körpern und unter den modificirenden Bedingungen verschieden die ungleichen Aeufserungen der Cohäsion bewirken sollten. Allein einestheils ist die Annahme einer Dehnkraft, als absolut zurückstofsender Potenz blofs hypothetisch[1], anderntheils wird durch die Annahme derselben die Schwierigkeit keineswegs beseitigt. Insofern nämlich *Dehnkraft* und *Ziehkraft* einander entgegengesetzt sind, müssen sie einander um gleiche Gröfsen aufheben, und es wird daher nur *eine Kraft*, als die Differenz beider, übrig bleiben, welche, einem der angegebenen Gesetze folgend, allezeit auf die nämlichen Resultate führt. Wollte man in den blofs hypothetischen Voraussetzungen noch weiter gehen, so liefse sich annehmen, dafs zwei Kräfte, eine anziehende und eine abstofsende, in ungleichen Verhältnissen des Abstandes wirksam wären. Wir wollen Beispielsweise einmal voraussetzen, dafs die Cohäsion k', durch eine ursprüngliche Ziehkraft $= k$ und eine ursprüngliche Dehnkraft $= d$ erzeugt würde, wovon die erstere im umgekehrten quadratischen, die zweite im umgekehrten kubischen Verhältnisse des Abstandes $= a$ wirksam seyn möge: so würde $k' = \frac{k}{a^2} - \frac{d}{a^3} = \frac{ka - d}{a^3}$ für die Berührung negativ werden, oder aber es fände in unmittelbarer Berührung gar keine Anziehung statt; bei der Voraussetzung aber, dafs k beträchtlich gröfser wäre als d, würde sie in geringer Entfernung ihr Maximum erreichen, bei gröfserer aber die Abstofsung als unmerklich vernachlässigt werden können, was sich mit den Beobachtungen wohl vereinigen liefse. Minder wäre dieses der Fall, wenn man dafs Verhältnifs der Wirksamkeit beider Kräf-

---

1 S. *Abstofsung*.

te umgekehrt annehmen wollte, in welchem Falle $k' = \frac{k - da}{a^3}$ in der Berührung unendlich werden müfste [1].

So wenig befriedigend es auch ist, sich im Kreise dieser blofsen Hypothesen umherzutreiben, so mufs doch noch diejenige erwähnt werden, welche den meisten Beifall findet und auch wohl ohne Zweifel verdient. Viele hegen nämlich die Meinung, namentlich La Place [2], Biot [3] u. a., dafs die Wärme das der Anziehung entgegenwirkende Princip sey, welche, als solches, verhindere, dafs die Cohäsion nie unendlich stark werden könne. Diese Ansicht findet schon darin eine vorzügliche Unterstützung, dafs die Ausdehnung fast aller Körper durch Wärme und ihre Zusammenziehung durch Wegnahme derselben mit einer der Stärke der Cohäsion selbst nahe gleichen Kraft geschieht, so dafs also hier der Conflict zweier, einander mit nahe unendlicher Kraft entgegenwirkender Potenzen angetroffen würde. Man könnte hierbei zugleich annehmen, die Materialität der Wärme (des Wärmestoffes) vorausgesetzt, dafs dieselbe dem allgemeinen Gesetze der Anziehung folge, mit einigen Substanzen mehr, mit andern weniger verwandt sey und dadurch eine ungleiche Cohäsion bewirke [4], auch läfst es sich denken, dafs die ersten Antheile der Wärme zwar leicht, z. B. durch Anziehung anderer Körper gegen sie durch die verschiedenen Mittel des Erkaltens und selbst durch mechanische Zusammendrückung der Körper entfernt werden könnten, die letzten aber ihrer Wegschaffung ein unübersteigliches Hindernifs wegen ihrer gröfseren Adhäsion entgegensetzten [5]. Wollte man ferner die Adhäsion der Wärme mit den Molecülen der

---

1 Die mir noch nicht vollständig bekannten Ansichten Seeber's bei G. LXXVI. 229 ff. werden an einem andern Orte berücksichtigt werden. Vorläufig verdient es eine Anzeige, dafs auch dieser anziehende und abstofsende Kräfte annimmt, deren Intensität nach der Entfernungen der Elementartheilchen der Körper veränderlich seyn, und aus deren Conflicte ein *stabiles Gleichgewicht* derselben hervorgehen soll.

2 Ann. de Chim. XXI. 22. Vergl. *Festigkeit*.

3 Traité. I. 5.

4 Emmett in Ann. of Phil. XVI. 351.

5 Vergl J. T. Mayer bei Gren *VII*. 218.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Körper wegen unmittelbarer Berührung beider als unendlich stark ansehen, so könnte keine *absolute Dichtigkeit* und somit keine *unendliche Cohäsion* statt finden, aufser beim absoluten Nullpuncte der Temperatur, indem in allen übrigen Fällen die wachsende Attraction mit der gleichfalls, und zwar in einem stärkern Verhältnisse wachsenden Repulsion der Wärme, deren abstofsende Kraft indefs erst bei sehr grofser Näherung der Molecülen anfangend zu denken wäre, ins Gleichgewicht kommen würde. Die ungleiche Stärke der Cohäsion verschiedener Körper müfste dann als Folge einer ungleichen Anziehung ihrer Molecülen, oder einer verschiedenen Affinität derselben zum Wärmestoffe angesehen werden, wenn man sie nicht mit La Place [1] für eine Folge der verschiedenen Form der Atome halten will, welche nach der Lage ihrer Axen nach der einen Seite stärker als nach der andern anziehen sollen. Auf allen Fall ist das ganze Problem in naher Uebereinstimmung mit den bekannten Erscheinungen der chemischen Verwandtschaft und der mechanischen Adhäsion, welche durch die Zwischenkunft anderer Substanzen geschwächt oder scheinbar aufgehoben werden.

Wenn gleich dieser Ansicht eine gewisse innere Consequenz nicht abzusprechen ist, so bleibt sie doch blofs Hypothese, und kann nie für etwas anders gehalten werden, auch stehen ihr manche Schwierigkeiten entgegen, insbesondere wenn man den der Wärme hiernach beigelegten Charakter einer Repulsion genau und bestimmt zu ergründen sucht [2]. Einige Einwürfe dagegen lassen sich indefs durch gewisse anderweitige Voraussetzungen ziemlich leicht beseitigen. Dahin gehört, was Avogrado auffallend findet, dafs die Atome einiger Körper, z. B. des Wassers im Eise, weiter von einander abstehen, und doch gröfsere Cohäsion zeigen. Er erklärt dieses indefs mit Wollaston und Ampère daraus, dafs die Elemente (molecules totales) des Wassers zwar weiter abstehen, die individuellen Eismolecüle (molecules partielles) aber einander näher seyn sollen [3]. Für weit weniger gezwungen, als

1 G. XXXIII. 134.
2 S. *Abstofsung*.
3 Brugnatelli G. Dec. II. I. 375.

diese Erklärung ist, darf man diejenige eines andern Phänomens ansehen, nämlich wie es zugehe, dafs nach der Zerreifsung eines Körpers die wieder genäherten Theile nur einen geringen Zusammenhang zeigen. Man mufs nämlich annehmen, dafs eben durch das Zerreisen die einzelnen Theile in eine der Wirkung der Anziehung minder günstige Lage kommen, und somit bei der Näherung der getrennten Theile nur wenige derselben wieder zu derjenigen nahen Berührung gebracht werden können, welche zur Aeufserung der Cohäsion erforderlich ist, indem nach Rumford [1] die einzelnen Elemente nicht *gleichzeitig*, sondern *nacheinander* über die Grenze ihrer Cohäsion hinausgerückt werden, und dadurch aus ihrer, der Attraction günstigen Lage kommen. Es würden ferner so genannte ganz ebene Platten im Verhältnifs zu der Nähe, in welche ihre einzelnen Theile zur Erzeugung der Cohäsion kommen müfsten, aus beträchtlichen Erhabenheiten und Vertiefungen bestehend gedacht werden, wie mikroskopische Beobachtungen dieses bestätigen. Endlich ist auch noch der Einflufs der Luft zu berücksichtigen, deren Elemente sogleich mit den getrennten Oberflächen zerrissener Körper in unmittelbare Berührung kommen, und die Wiedervereinigung derselben unmöglich machen. Werden aber die Körper flüssig, so können ihre Elemente in Folge ihrer leichten Beweglichkeit eine solche Lage annehmen, vermöge welcher sie die stärste Anziehung gegen einander ausüben, und dann nach gröfserer, durch Entfernung der Wärme möglich gemachter, Annäherung Cohäsion zeigen.

Um das eigentliche Wesen und die Grundgesetze der Cohäsion aufzufinden, hat man in neueren Zeiten nur wenige Versuche angestellt, und dieses wahrscheinlich wohl deswegen, weil solche äufserst schwierig sind, und dennoch kein genügendes Endresultat weder versprechen noch gewähren. Aufser demjenigen, was hierüber schon unter den verwandten Artikeln *Abstofsung*, *Adhäsion* und *Anziehung* beigebracht ist, und noch unter *Materie* erwähnt werden wird, je nachdem es mehr oder minder unter die eine oder die andere von diesen Untersuchungen gehört, verdient noch folgendes als die

---

1 G. XIII. 389.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Sache erläuternd, beachtet zu werden. Dafs überhaupt zwischen den festen Körpern eine auf Cohäsion hindeutende Anziehung statt finde, welche sich bei den sogenannten *Cohäsionsplatten* auch ohne bindendes Zwischenmittel selbst im luftleeren Raume zeigt, ist schon unter dem Artikel *Adhäsion* [1] erwähnt. Nicht minder verdient bei diesen Untersuchungen dasjenige berücksichtigt zu werden, was Robison [2] aus den Erscheinungen folgert, welche zwei zur Erzeugung der Newtonschen Farbenringe auf einander gedrückte Glafscheiben darbieten, dafs sie nämlich zwar zusammenhängen, zugleich aber auch selbst im luftleeren Raume einen bedeutenden Druck erfordern, um in eine zur Erzeugung des schwarzen Flecks nöthige nahe Berührung zu kommen, woraus er schliefst, dafs in sehr geringen Entfernungen der Körper von einander ein *Wechsel von Anziehung und Abstofsung* anzunehmen sey. Huygens stellte auch den Versuch an, dafs er zwei sehr ebene Glasplatten nahm, die obere mit einer Handhabe versah, auf die untere einen Kreis von einem einfachen Seidencoconfaden legte, und die obere darauf drückte. Hierbei waren also beide erwiesen nicht in unmittelbarer Berührung, dennoch aber wirkte ihre Anziehung so stark, dafs die obere die untere aufhob. Legte er indefs über den Kreis des Coconfadens noch ein Kreuz von der nämlichen Substanz, so hörte die Anziehung so weit auf, dafs die untere nicht mehr aufgehoben werden konnte, Robison [3] will diese Versuche mit der gröfsten Sorgfalt wiederholt, und die hierbei wirksame Anziehung 14,5 mal so stark als die Schwere gefunden haben. Er bediente sich der in London von den besten Künstlern verfertigten Gläser zu Spiegelsextanten, und fand den kleinsten Durchmesser der hierzu gebrauchten, allezeit nicht runden, sondern platten Coconfäden $= \frac{1}{2400}$stel eines engl. Zolles, so dafs also bei einer doppelt so grofsen Entfernung, als diese Gröfse beträgt, die Anziehung der Cohäsion unmerklich wird. Reibt man die Gläser über einander, so werden kleine Partikelchen losgeschabt, welche hinreichen, die Adhäsion aufzuheben. Aeufsert sich

1 Th. I. p. 173.
2 Ebend. p. 122.
3 Syst. of Mech. Phil. I. 241.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

indefs die Anziehung ebener Flächen noch in der angegebenen Entfernung, so kann man sich vorstellen, wie stark die Cohäsion bei noch gröfserer Näherung werden mufs, da nach Robison die Dicke einer dünnen Vergoldung nicht mehr als ein Vierzehnmilliontheil eines Zolles beträgt. Dafs indefs zwischen jener Entfernung und dieser nochmals ein oder vielleicht mehrere *Wechsel der Abstofsung und Anziehung* mindestens bei den verschiedenen Substanzen liegen müsse, liefse sich daraus folgern, dafs Glasplatten mehr als 1000 ℔ Druck auf eine Fläche von einem Zoll bedürfen, um so weit genähert zu werden, dafs sie einen schwarzen Fleck bilden, wobei sie einander auf $\frac{1}{178000}$ stel eines engl. Zolles nahe kommen [1]. Robison setzt diese Erscheinungen auch damit in Verbindung, dafs feste Körper, ohngeachtet der Anziehung ihrer Theile als Ursache der Cohäsion, durch grofse Lasten beschwert, an Volumen vermindert werden, sich aber wieder ausdehnen, wenn die zusammendrückende Last weggenommen wird, wodurch sich also eine ausdehnende Kraft wirksam zeigt [2].

So schätzbar alle diese angeführten Bemühungen seyn mögen, und so wenig man es den Naturforschern verargen darf, wenn sie auf die wenigen bekannten Erfahrungen Hypothesen zur Erklärung dieser höchst dunkeln Naturerscheinungen und zur Auffindung ihrer Gesetze gründen, so zeigt doch eine Uebersicht des Ganzen, dafs genau genommen noch wenig aufgeklärt ist, und dafs wir noch weit davon entfernt sind, die eigentliche Ursache der Anziehung und ihrer verschiedenen Modificationen als Gravitation, Schwere, Adhäsion, Cohäsion und vielleicht auch der chemischen Verwandtschaft bereits aufgefunden zu haben.

---

1 Diese Gröfse, welche Newton aus seinen Versuchen zur Erzeugung der Farbenringe berechnete, wird durch die eben angestellten Betrachtungen schwankend, indem es danach überhaupt zweifelhaft ist, ob die Erzeugung des schwarzen Flecks eine unmittelbare oder so nahe Berührung erfordert, und diese wegen der nach Robison gefolgerten Abstofsung überhaupt möglich ist. Vergl. *Anwandlungen* und *Farbenringe*.

2 Vergl. Ebend. I. 388. ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

II. Praktische Untersuchungen.

Wenn man von der eigentlichen Ursache der Cohäsion abstrahirt, und die Erscheinung als eine durch Erfahrung gegebene nimmt, so würde es, auch aus diesem Standpuncte die Sache betrachtet, interessant seyn, ein allgemeines Gesetz über die Stärke des Zusammenhanges der verschiedenen Körper aufzufinden, welches aber bis jetzt noch nicht gelungen ist. Ritter [1] stellte als solches auf, dafs die Cohäsion der Körper bei einer gegebenen Temperatur sich verhalte wie die Producte aus ihren Wärmecapacitäten in die Grade ihrer Schmelzpuncte, beides an dem nämlichen Thermometer gemessen, fand auch dasselbe für Gold, Silber und Kupfer sehr nahe zutreffend, für Eisen aber bedeutend abweichend. Wenn man aber berücksichtigt, wie schwer bestimmbar die Stärke der Cohäsion ist, noch weit mehr aber der Schmelzpunct der strengflüssigen Metalle, und dafs endlich dieses Gesetz überhaupt nur auf Metalle angewandt werden könnte, so ist begreiflich, warum man dasselbe nicht weiter geprüft hat. Auch der Dichtigkeit der Körper kann die Stärke der Cohäsion nicht proportional gesetzt werden, wie man aus theoretischen Gründen zu folgern geneigt seyn könnte. Man mufs diesemnach annehmen, dafs die Bestandtheile der Körper sich nicht bei allen in einer ihrer Dichtigkeit proportionalen Nähe zu einander befinden, sondern dafs die festen Körper gleichsam aus einzelnen vereinigten Bündeln bestehen, und dafs ihre Cohäsion nicht sowohl auf der Menge der beim mechanischen Zerrissenwerden in Conflict kommenden Molecülen, als vielmehr auf der Stärke des Zusammenhanges derselben in den einzelnen Bündeln beruhe, woraus man sich den Körper gebildet vorstellen kann [2].

Die Stärke der Cohäsion wird im Allgemeinen durch *Wärme* vermindert, und wenn die Temperatur einen bedeutenden Grad erreicht, wird sie beim Schmelzen und Verflüchtigen der Körper zuletzt ganz aufgehoben. Indefs werden manche, namentlich Metalle, durch Kälte spröder und dadurch

---

1 G. IV. 1.
2 Vergl. Rumford bei G. XIII. 391.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

weniger cohärent, z. B. Zink und Eisen. Die Ursache scheint in ihrem krystallinischen Gefüge zu liegen, vermöge dessen die Bestandtheile bei gröſserer Zusammenziehung durch Kälte sich nicht gehörig neben einander lagern können, vielmehr in eine Art Spannung gerathen. Daher pflegen die Fuhrleute nach kalten Nächten gegen die eisernen Achsen der Wagen einigemale zu schlagen, um die Zusammenziehung derselben regelmäſsiger zu machen, und die Sprödigkeit zu vermindern [1]. Man hat ferner behauptet, alle *Mischungen* zeigten stärkere Cohäsion als die einfachen in der Mischung verbundener Körper [2]. Bei einigen Metallen findet sich dieses allerdings bestätigt, allein als allgemeine Regel kann der Satz nicht aufgestellt werden, indem in manchen Fällen die einfachen Metalle, in andern aber ihre Verbindungen eine gröſsere Stärke der Cohäsion zeigen, wie aus Achard's [3], Musschenbroek's [4] u. a. Versuchen folgt. Bei *Hölzern* geben weder die äuſsern Theile der Baumstämme, noch auch die innersten diejenigen Theile, welche die stärkste Cohäsion zeigen, sondern diese liegen in der Mitte zwischen beiden; auch sollen in Europa diejenigen Theile die gröſste Stärke der Cohäsion zeigen, welche am Baume selbst nach S. O. gerichtet waren. Es ist dieses weit leichter glaublich, als daſs Steine dann die gröſste Tragkraft haben sollen, wenn sie in derjenigen Lage nach den Weltgegenden gerichtet sind, welche sie früher in ihrer Lagerstätte hatten [5].

1. Absolute Festigkeit der Körper

Man bezeichnet mit absoluter Festigkeit der Körper diejenige Stärke der Cohäsion, mit welcher sie einer Kraft Widerstand leisten, die sie in der Richtung ihrer Axe zu zerreisen strebt. Versuche zur Auffindung derselben erfordern groſse Apparate, sind aber übrigens nicht schwierig. Man verfertigt nämlich Körper, welche in einer gewissen gleichen Länge

---

1 Schweigg. J. XXXIII. 484.
2 Robison System of Mech. Phil. I. 399.
3 Traité sur les Propriétés des alliages metalliques, à Berlin 1788. 4.
4 Introd. I. 419.
5 Young Lectures. I. 152.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sämmtlich gleich dick sind, an beiden Enden aber etwas dicker, befestigt sie selbst oben auf eine geeignete Weise an einen starken Träger und hängt an ihr unteres Ende eine Waagschale, welche man so lange mit Gewichten beschwert, bis sie zerreifsen, wobei dieses Gewicht als das Mafs ihrer Stärke angesehen wird. Weil aber das Auflegen der vielen Gewichtstücke mühsam ist und auch eine sehr grofse Menge derselben erfordert, so bedient man sich lieber der Schnellwaage von derjenigen Einrichtung, wie diese durch Eytelwein zur Prüfung der Festigkeit verschiedener Holzarten gebraucht wurde, und aus der blofsen Zeichnung leicht erkannt werden kann. Die zum Zerreifsen bestimmten, an ihren Enden etwas dickeren, Holzstücke a nämlich wurden durch zwei aufgeschobene Halter α, α festgehalten, diese durch die Zangen der Ketten gepackt, und dann gaben die Zahlen des Waagebalkens die Pfunde an, wobei sie in der Mitte, als ihrem schwächsten Theile, zerrissen wurden. Fig. 44.

Es giebt eine Menge Versuche, welche in den älteren und neueren, bis auf die neuesten Zeiten angestellt sind, um die absolute Festigkeit der verschiedenen Körper aufzufinden. Unter die vorzüglichern gehören die von de Lanis [1], nach welchem die Metalle in folgender Ordnung abnehmende Festigkeit zeigen: Stahl, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei. Die meisten Versuche, welche auch bis auf die neuesten Zeiten im vorzüglichsten Ansehen standen, hat Musschenbroek [2] angestellt; und sie dürfen allerdings auf einen hohen Grad der Genauigkeit Anspruch machen, wenn gleich die Resultate weder unter sich noch mit andern vollkommen übereinstimmen, indem sich dieses aus anderweitigen, nachher zu erörternden Nebenumständen leicht erklären läfst. Eine Reihe von Versuchen verdankt man dem Grafen v. Sickingen [3], welche er mit 2 F. langen und 0, 3 Lin. dicken Drähten anstellte. Diese rissen durch folgende Gewichte:

1 P. Franc. Tertii de Lanis Magisterium naturae et artis. Brixiae 1686. fol. II. L. XI. cap. 1. §. 22.

2 Dissert. physical et geom. Viennae 1756. Ej. Inst. phys. p. 293. Introd. I. 390.

3 Versuche über die Platina Manh. 1782. p. 114.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Eisen, sehr sprödes durch	60 ℔.	24 Loth	0 Qt.	8 Gr.
— wenig sprödes	— 39	— 12	—	— 47 —
Messing — —	— 40	— 30	— 3	— 14 —
Kupfer — —	— 33	— 2	— 0	— 4 —
Platin — —	— 28	— 15	— 0	— 5 —
Silber — —	— 20	— 22	— 1	— 43 —
Gold — —	— 16	— 12	— 0	— 43 —

Auf grofse Sorgfalt machen auch diejenigen Versuche Anspruch, welche Guyton de Morveau [1] angestellt hat. Nach dieser ersten Reihe wurden zum Zerreisen von Drähten, welche 0,887 par. Lin. dick waren, an Gewicht erfordert, bei

Eisen — — —	510,2 par. ℔.	Gold — —	139,8 par. ℔.
Kupfer — —	280,7 — —	Zink — —	101,7 — —
Platin — —	254,7 — —	Zinn — —	32,1 — —
Silber — —	173,8 — —	Blei — —	11,5 — —

Später erhielt ebenderselbe [2] zwar die nämlichen Reihenfolge der Metalle rücksichtlich ihrer Cohäsion, indefs doch einige Abweichung in den einzelnen gefundenen Gröfsen. Stangen von 2^{mm} im Durchmesser rissen nämlich durch folgende Gewichte in Kilogrammen.

Eisen — —	249,659 K.	Gold — —	68,216 K.
Kupfer —	137,399 —	Zink — —	49,790 —
Platin —	124,690 —	Zinn — —	15,740 —
Silber —	85,062 —		

Blei, nach der Dimension beim Zerreifsen — 12,555 K.
Blei, absolute Tragkraft — — — — — — 5,623 —

Eytelwein [3] hat nicht blofs die Resultate früherer Versuche in grofser Vollständigkeit zusammengestellt, sondern auch durch eigene bereichert, deren einige später noch besonders erwähnt

---

1 Mém. del' Inst. IX. 267. G. XXXIV. 209. Ann. de Ch. XX. 9. Scherer Allg. J. d. Chem. I. 676.

2 Ann. de Chim. LXXI. 194. G. XXXIV. 209. Diese Versuche stehen im Frankreich am meisten in Ansehn.

3 Handbuch der Statik fester Körper mit vorzüglicher Rücksicht auf ihre Anwendung in der Architectur. 3 Bde. Berl. 1808. Eine sehr vollständige Uebersicht der älteren Versuche giebt gleichfalls die Edinburgh Encyclopaedia. V. p. 494. ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

werden sollen. Viele Versuche haben ferner TELFORD [1] und TREDGOLD [2] angestellt, vorzüglich auch G. RENNIE mit einem genau beschriebenen, und allem Anschein nach sehr zweckmäfsigen Apparate [3]. Einige der durch ihn erhaltenen Resultate sind folgende. Es rissen Stäbe von 0,25 engl. Quad. Zoll Querschnitt bei 6 Z. Länge durch Pfunde in avoir du poid Gewicht:

Gegossenes Eisen	1193 ℔
Gufsstahl	8391 —
Gehämmerter Stahl (Blister)	8322 —
desgl. (Sheer)	7977 —
Schwedisches Eisen, gehäm.	4504 —
Englisches Eisen, gehäm.	3492 —
Speismetall	2273 —
Geschlagenes Kupfer	2212 —
Gegossenes Kupfer	1192 —
Feines Messing	1123 —
Gegossenes Zinn	296 —
Gegossenes Blei	114 —

Einige eigene Versuche, Benutzung fremder, berechnete Tabellen und eine sehr vollständige Uebersicht der Cohäsionserscheinungen, mit hauptsächlicher Rücksicht auf die Stärke des Gufseisens unter den verschiedensten Bedingungen, hat ganz neuerdings TREDGOLD in einem lehrreichen Werke zusammengestellt, welches in England sehr allgemein bei praktischen Anwendungen benutzt wird [4].

Es ist sehr schwierig, aus Versuchen, wenn sie auch noch so sorgfältig angestellt wurden, für die Anwendung brauchba-

---

1 Barlow Essay on the Strength and Stress of Timber. Lond. 1817. Daraus in Jahrb. des polyt. Inst. in Wien. V. 215.

2 Elementary Principles of Carpentry. Lond. 1810. neueste Ausg. Ebend. 1820. 8.

3 Phil. Tr. 1818. p. 118. Vergl. Ann. de Ch. et P. IX. 33, wo die Versuche, jedoch ohne irgend einen Grund dieser Behauptung anzugeben, minder zweckmäfsig genannt werden.

4 Practical Essay on the Strength of cast Iron and other metals cet. by Thomas Tredgold. Lond. 1824. 8. Dieses Werk ist gemeint, wenn schlechtweg Tredgold angeführt wird.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

re Resultate zu erhalten, weil die angewandten Stoffe in vielfacher Rücksicht sehr von einander abweichen. Namentlich bei Metallen machen ihre Reinheit überhaupt und ihr Freiseyn von kleinen Partikelchen Oxyds insbesondere, der höhere oder geringere Hitzegrad, wobei sie geschmolzen sind, die Schnelligkeit und Art des Erkaltens, das Hämmern, Drahtziehen, vorausgegangenes öfteres Glühen und sonstige Bedingungen einen grofsen Unterschied, und alle Resultate aus solchen Versuchen können daher nur als genäherte Werthe betrachtet werden. Man hat dieses lange im Allgemeinen gewufst [1], oft aber auch im Einzelnen erfahren, z. B. bei den Versuchen mit verschiedenen Arten Eisen [2], indem unter andern Eytelwein [3] fand, dafs zwei gleiche eiserne Stangen durch 21160 und 17560 ℔, und zwei andere abermals anscheinend vollkommen gleiche durch 2600 und 1780 ℔ rissen. Man mufs ferner zwar im Allgemeinen annehmen, dafs der Zusammenhang gleichartiger Körper von ungleicher Dicke im geraden Verhältnisse der Queerschnitte wächst [4], und würde ohne diese Voraussetzung gar nicht im Stande seyn, von einem Versuche mit einem Körper von gegebenem Durchmesser auf einen gleichartigen anderen von verschiedenem Durchmesser zu schliefsen. Allein schon Rumford [5] hat eingesehen, dafs ein solcher Schlufs durchaus nicht genügend begründet sey, indem er sogar auch der verschiedenen Form der Körper einen Einflufs beilegt. Nach Parrot [6] rifs ein Eisendraht von 1 Quad. Lin. Queerschnitt durch 490 ℔, ein anderer aus dem nämlichen Metall verfertigt, von 350 Quad. Lin. aber durch 17300 ℔, anstatt dafs er erst durch 171500 ℔ hätte reifsen müssen. Noch genauer wurde diese Wahrheit begründet durch diejenigen Versuche, welche die Construction der Drahtbrücken veranlafste. Die Kön. Akademie in Paris ernannte nämlich zur Untersuchung der Sache eine

---

1 Robison Syst. I. 397.
2 Ann. of Phil. VII. 321.
3 Handb. d. Stat. II. 248.
4 Vergl. Robison Syst. I. 395. Tredgold p. 117. u. v. a.
5 G. XIII. 390.
6 Theor. Phys. I. 50. Vergl. Guyton de Morveau in Mém. de l' Inst. IX. 268.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Commission aus Prony, Fresnel, Molard und Girard bestehend, welche durch Versuche fanden, dafs

Stangen von	0,0045	bis 0,0315 Met. Dicke auf 1 Millim.	40	Kilogr.
— —	0,0315	— 0,2700 — — — — —	21	—
Draht —	0,00025	— 0,0060 — — — — —	60	—
Klavierdraht von 24 bis 25 mal dünner		— —	80	—

trugen, wobei noch aufserdem in Betrachtung kommt, dafs gezogener Draht eine bedeutend gröfsere Cohäsion zeigt, als gewöhnlich bearbeitetes Metall, und an Stärke verhältnifsmäfsig sehr verliert, wenn die äufsere Oberfläche weggeschabt oder gefeilt ist, indem die Appretirung (*corroyage*) und das Ziehen desselben gleichsam eine Art Epidermis bildet, welche stärker ist, als das Innere, und bei dünnen Drähten mehr beträgt, als bei dicken [1]; oder wie Robison [2] meint, weil die Bestandtheile eine andere Lage gegen einander bekommen, indem die Körper überhaupt dichter werden, mit Ausnahme des Bleies, welches durch den Procefs des Drahtziehens lockerer werden, zugleichs aber seine Cohäsion um das Dreifache wachsen soll. (?) Bei Gold, Silber und Messing wird nach eben diesem Schriftsteller die Cohäsion durch das Drahtziehen verdreifacht, bei Kupfer und Eisen mehr als verdoppelt. Der nämliche Gegenstand, nämlich die Construction der Drahtbrücken hat aufserdem noch zwei Reihen von Versuchen veranlafst, um die Stärke der verschiedenen Drähte auszumitteln. Seguin zu Annonay nämlich fand als Hauptresultat aus einer grofsen Reihe von Versuchen mit verschiedenen Sorten Eisendraht, dafs im Allgemeinen die feineren Sorten verhältnifsmäfsig die gröfste Stärke besitzen. Die von ihm versuchten Drähte von N^ro^. 1 bis 23, welche von 0,6188 bis 5,942 Millim. im Durchmesser hielten, zeigten für einen Durchmesser von 1^{mm} eine Cohäsion von 86,98 bis 49,32 Kilogramm [3]. Noch bedeutender sind diejenigen Versuche, welche Dufour gleichfalls mit verschiedenen Sorten Eisendraht anstellte. Hierbei fand er, dafs diejenige Sorte, deren Durchmesser 0,85 Millim. betrug, im Mittel durch ein Gewicht von

---

1 Moniteur. 1824. N^ro^. 35.
2 Syst. of Mech. Phil. I. 397.
3 Ann. de C. et P. XXV. 110.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

46 bis 48 Kilogramm zerrissen wurde. Um zugleich den Einflufs der Temperatur zu prüfen, liefs er den zu untersuchenden Draht durch eine kaltmachende Mischung von — 22°,5 C. und durch Wasser von 92,5 C. Wärme gehen, und fand, dafs beide Temperaturen keinen Einflufs auf die Stärke der Cohäsion hatten, ausgeglüheter Draht aber verlor die Hälfte seiner Tenacität [1]. Die letztere Behauptung steht im Einklange mit demjenigen, was so eben aus Robison angeführt ist, die erstere aber steht minder im Widerspruche mit der allgemein angenommenen grösseren Sprödigkeit des Eisens bei niederer Temperatur, insofern ohne Verminderung der Cohäsion ein spröderer, und dadurch weniger biegsamer Körper leichter abspringen kann, als vielmehr mit der auf die vielfachsten Versuche gestützten Behauptung Tredgold's [2], dafs alle Metalle durch Wärme an Cohäsion abnehmen. Namentlich ergab ein mit Eisen angestellter Versuch, dafs eine Temperaturerhöhung von 84°,45 C. eine Verminderung der gesammten Cohäsion von 0,05 bewirkte. Mehr im Einzelnen erhielt Dufour aus seinen Versuchen folgende Resultate. Feinster Eisendraht N^ro^. 4, von 0,85 Millim. Durchmesser trug 48 Kilogr., ausgeglühet 21 K. Draht N^ro^. 13 von 1,9 Millim. Durchmesser trug im Mittel 186 K. ausgeglühet 101 K., und war also verhältnifsmäfsig $\frac{1}{7}$ schwächer. Draht von N^ro^. 17, fast 3 Millim. im Durchmesser trug 382 K., ausgeglühet etwa halbsoviel, von N^ro^. 19 aber, 3,7 Millim. im Durchmesser, trug gegen 776 K., ausgeglühet 403. Man darf also annehmen, dafs Draht von 1 bis 4 Millim. im Durchmesser auf ein Quadratmillimeter der Durchschnittsfläche mindestens 60 K. zu tragen vermag, statt dafs geschmiedete Eisenstäbe nur 40 K. tragen. Messingdraht will derselbe noch etwas stärker gefunden haben [3], welches gleichfalls allen anderen Versuchen widerstreitet.

Viele Körper, namentlich die Metalle, dehnen sich bei Versuchen über ihre absolute Festigkeit um eine aliquote Gröfse aus, und ziehen sich bei nachlassender Einwirkung der sie ausdehnenden Kraft wieder zu ihrer früher Länge zusammen.

---

1 Bibl. univ. XX. 220.
2 On cast Iron. p. 104. u. a. v. O.
3 Bibl. univ. XXIII. 305.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dieses geschieht indefs nur dann, wenn die bewirkte Ausdehnung eine gewisse Gröfse nicht übersteigt, indem sie sonst nicht völlig wieder zu ihrem früheren Volumen zurückkehren [1].

Ueber die Cohärenz gedreheter hanfener Seile hat Musschenbroek [2] Versuche angestellt, welche aber nicht genau genug beschrieben sind, um sie bei der Anwendung zum Grunde zu legen. Viel Schätzbares enthalten ferner die Abhandlungen von Erichson und Polhem [3], desgleichen von Rappolt [4]; für die praktische Anwendung am brauchbarsten aber sind die Bestimmungen, welche Eytelwein [5] aus eigenen Versuchen folgerte, wonach ein gewöhnliches käufliches hanfenes Seil von 1 rheinl. Quadratzoll Querschnitt im Mittel durch 10845 ℔ rifs. Weil aber die Stärke derselben nicht in gleichem Verhältnisse des Querschnittes wächst, und die Versuche mit dünneren Seilen angestellt wurden, so sind in der nachfolgenden Tabelle nur 9000 ℔ angegeben. Indefs ist auch diese Zahl noch fast um das Doppelte zu grofs, und nur auf sehr dünne Seile, keineswegs aber auf dickere und vorzüglich auf Thaue anwendbar, wie insbesondere aus den sehr genauen englischen Versuchen [6] hervorgeht, wonach die Tragkraft der Seile für einen engl. Quadratzoll Querschnitt in av. d. p. Gewicht nur 5414 ℔ betrug. Ueberhaupt ist es bei Hanfseilen und allen sonstigen Arten von Seilen sehr schwer, ihre absolute Festigkeit genau anzugeben, weil es bei ihnen noch mehr, als bei Metallen und Hölzern auf bedingende Nebenumstände ankommt, namentlich auf die Stärke ihrer Zusammendrehung, weil hiernach die einzelnen Fibern mehr oder weniger von der geraden Linie abweichen, und gegen die Richtung der ausdehnenden Kraft schräg zu liegen kommen [7]. Die gröfste Stärke derselben könnte daher nur dann erhalten werden, wenn man die einzelnen Hanf-

---

1 Robison a. a. O. I. 394.
2 Introd. I. 409.
3 Schwed. Abh. I. 60 ff.
4 Ueber die Stärke rund gewobener Seile. Tübing. 1795. 8.
5 a. a. O. II. 257.
6 Phil. Mag. and Journ. 1820. Jun. Daraus in Jahrb. d. polyt. Inst. in Wien V. 269.
7 Robison I. 394.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

stränge in gerader Richtung in Conflict bringen wollte, was aber für gröfsere Längen unmöglich und für die Anwendung ohne Nutzen ist. Réaumur [1] fand diesemnach bei seinen Versuchen, dafs gedrehete Stricke durch weit geringere Gewichte zerrissen wurden, als die Summe derjenigen, welche die einzelnen in ihnen vereinigten Schnüre zu tragen vermochten. Auch genäfste Stricke reifsen nach Musschenbroek [2] leichter, als trockne, und verlieren allgemein durch stärkeres Zusammendrehen, weswegen sie nur so wenig zusammengedrehet seyn müssen, als zu ihrer Haltbarkeit durchaus erforderlich ist.

Noch verdienen einige sehr gehaltreiche Untersuchungen des Grafen Rumford [3] über einige aufffallende Erscheinungen der Cohärenz verschiedener Körper hier erwähnt zu werden. Vegetabilische und thierische Stoffe, welche zuerst flüssig sind, und dann erhärten, zeigen eine unglaubliche Stärke der Cohäsion, z. B. Flachs und Hanffäden, Seide, Haare, erhärteter Mehlkleister, Schreinerleim u. dgl. Die Festigkeit einer 0,05 Lin. dicken kupfernen Röhre wird durch einen um dieselbe geleimter Streifen Papier von doppelter Dicke mehr als doppelt verstärkt. Ein Cylinder von zusammengeleimtem Papiere, höchstens einen Quadratzoll Querschnitt haltend, trug 30000 ℔., und ein gleicher Cylinder von ihrer Länge nach zusammengeleimten Hanffäden 92000 ℔., indem ein gleich dicker Cylinder von dem besten Eisen nur 66000 ℔., und von geringerer Güte nur 55000 ℔. trug. Ein seidener Faden ist dreimal so stark als ein gleich dicker von Flachs, und ein Menschenhaar ist im Verhältnifs der Dicke stärker, als ein Pferdehaar.

Aus dem bisher Gesagten ergiebt sich, dafs alle durch Versuche gefundene Bestimmungen der absoluten Festigkeit nur für genäherte Werthe zu halten sind. Bei der vielfachen Anwendung indefs, welche man von denselben zu machen veranlafst wird, ist es nicht überflüssig, auch diese in einer Tabelle zur leichtern Uebersicht neben einander zu stellen, wozu ich dieje-

---

1 Mém. de l'Ac. 1711. p. 7 — 19.
2 Int. I. 408.
3 Aus Journal of the Royal Inst. I. 34. bei G. XIII. 383.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nigen Resultate unverändert aufnehme, welche Eytelwein [1] zu diesem Ende aus älteren Beobachtungen berechnet hat, mit Hinzufügung der neuesten genaueren Bestimmungen, welche letzteren mit einer Angabe der Autoritäten versehen sind [2]. Indem aber Eytelwein in seinem ohnehin vielgebrauchten Werke jene auf rheinl. Mafs und Berliner Pfunde reducirt hat, so ist beides für die ganze Tabelle beibehalten, um so mehr, als der rheinl. Fufs von den Fufsmafsen der meisten deutschen Staaten wenig abweicht, das Berliner Pfund aber dem kölnischen Markgewichte gleich, und somit in Deutschland sehr bekannt, von dem meistens üblichen Gewichte gleichfalls nicht sehr abweichend ist. Will man die Angaben der Tabelle auf altfranzösisches Fufs- und Gewichts-Mafs reduciren, so darf man die angegebenen Gröfsen nur mit 1,0215 multipliciren, um die Tragkraft einer Stange von 1 Par. Quadratzoll Querschnitt in pariser Pfunden, oder mit 1,0712, um sie in berliner Pfunden zu erhalten; desgleichen giebt die Multiplication mit 0,97186 die Tragkraft einer Stange von einem englischen Quadratzoll in Londoner Pfunden, und mit 0,94317 die Tragkraft derselben in Berliner Pfunden; endlich erhält man die Tragkraft einer Stange von einem Quadrat Centimeter der Durchschnittsfläche in Kilogrammen, wenn man die angegebene Zahl mit 0,06379 und in Berliner Pfunden, wenn man sie mit 0,1365 multiplicirt.

Stahl,	wie zu Scheermessern	158200
—	— — gemeinen Messern	142380
—	mittelmäfsig biegsamer	130780
—	bester biegsamer	125510
—	bester gehärtet	118120
—	gemeiner biegsamer	113900
—	guter engl. (Rennie)	133764
Eisen,	schlesisches geschmied.	78140
—	schwedisches geschmied.	76570

1 a. a. O. II. 262.

2 Viele Resultate aus englischen Versuchen über die Stärke des Eisens nach Barlow Essay on the Strength and Stress of Timber. Lond. 1817 findet man im Einzelnen genau angegeben in Jahrb. des polyt. Inst. in Wien V. 228. Sie sind durch Tredgold benutzt und finden sich den wesentlichen Ergebnissen nach in der Tabelle mit aufgenommen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Eisen, gemeines geschmied. . . .	71300
— dicke Stangen } (franz. Commiss.) .	32922
— dünne Stangen } (franz. Commiss.) .	62710
Eisenstangen, französ. (Düfour.) . .	62710
Eisen, engl. gutes, im Mittel aus vielen Versuchen (Tredgold) . . .	61737
— deutsches gegossenes . . .	70433
— englisches gegossenes (Rennie) .	95692
Eisendraht — — .	60433
— mittlere Dicke (franz. Commiss.) .	94062
— — — (Düfour) . .	94062
— französ. stärkerer (Seguin) . .	77319
Klavierdraht, franz. (Seguin) . .	136360
— — — (franz. Commiss.) .	125420
Goldraht, Pistolengold . . .	67129
Gold, gegossen	21093
Silberdraht	49690
Feines gegossenes Silber . . .	42186
Messingdraht	48480
Messing (Rennie) . . .	18531
Kupfer, gelbes barbarisches, geschmiedet .	41128
— — schwedisches — .	38865
— — — gegossen .	38463
— — ungarisches — .	32661
— — spanisches — .	21785
— — japanisches — .	20910
— — barbarisches — .	23284
Kupferdraht, rother schwedischer .	40205
Kupfer, geschmiedetes (Rennie) .	33956
Zinndraht	6609
Zinn, englisches gegossenes . .	6167
— aus Banca . . .	3796
— aus Malacca . . .	3322
Bleidraht	3934
Blei, englisches gegossen . .	913
Wismuth, gegossen . .	3228
Zink, gegossen . .	2903
Spiefsglanz, gegossen . .	1093
Glas, weifses . . .	2812

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Eichenholz, Sommereichen, vom Kern	26600
— zwischen Kern und Splint	21940
— vom Splint	14760
Steineichen	22120
Erlenholz	24740
Rothbuchen	22360
— (Barlow)	11467
Sakkerdanholz	22784
Eschenholz	21488
— (Barlow)	17492
Kiefernholz, das stärkste	21400
— das schwächste, harzig	12520
Eichenholz, indisches, Teak, (Barlow)	15090
Englische Eiche (Barlow)	10290
Weifsbuche	20400
Zuckerkistenholz	18832
Weifsdornholz	18350
Granadillenholz	17028
Kampferbaumholz	16347
Buchsbaumholz	15790
— (Barlow)	20467
Weidenholz	15709
Weifstanne	15400
— (Barlow)	12347
Ulmenholz	14857
Guajacholz	14432
Nufsbaumholz	14261
Kirschbaum, wildes	13978
Lindenholz	13870
Ebenholz	13504
Olivenholz	12614
Mispelbaumholz	12028
Birnbaumholz	11158
— (Barlow)	10106
Pflaumbaumholz	11099
Rothtanne	10920
Holunderholz	10547
Santelbaumholz, rothes	10128
Apfelbaumholz	10018

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Mahagoni (Barlow)	8774
Hanfseile	9000
— engl.	5571
Mauerziegel	290
— brick, (Tredgold)	283
Marmor, weifser (ders.)	1863
Schiefer, italiänifcher (ders.)	11833
— von Westmoreland (ders.)	8098
— schottischer (ders.)	9878
Stein, Portland-stone (ders.)	882
Bath-stone (ders.)	492
Craighleith-stone (ders.)	794
Dundee-stone (ders.)	2738

Wenn man von diesen Bestimmungen der absoluten Festigkeit der Körper eine praktische Anwendung machen will, so ist es rathsam, wegen der Ungewifsheit solcher Angaben bei Metallen nur die Hälfte, bei Hölzern und Seilen [1] nur den dritten Theil der angegebenen Werthe in Rechnung zu nehmen [2]. Hierbei kommt es selten vor, dafs Körper, welche vermöge ihrer absoluten Fertigkeit Lasten tragen sollen, sehr lang sind, in welchem Falle ihr eigenes Gewicht zugleich neben dem zu tragenden berechnet werden müfste. Sollte dieses aber dennoch der Fall seyn, so läfst sich aus demjenigen, was hierüber im nächstfolgenden Abschnitte N^ro. 12 gesagt ist, leicht die Methode einer solchen Berechnung entlehnen.

2. Relative Festigkeit.

Relative oder respective Festigkeit der Körper nennt man diejenige Stärke derselben, mit welcher sie einer auf ihre Längenaxe normal wirkenden Kraft entgegenstreben. Nimmt man hierbei auf gleiche Weise Körper von gegebenen Dimensionen,

---

1 Tredgold p. 280. giebt an, dafs man das Quadrat des Umfanges eines Hanfseiles in Zollen mit 200 und eines Cabelthaues mit 120 multipliciren mufs, um die Tragkraft desselben in Pfunden zu finden. Die hierdurch erhaltenen Werthe im engl. Mafse und Gewichte lassen sich nach dem oben angezeigten Verhältnifs durch Multipliciren mit 1,029 leicht in Berliner verwandeln.

2 Eytelwein a. a. O. II. 264.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und beschwert sie mit einer Last in Pfunden ausgedrückt so lange, bis sie zerbrechen, so giebt das hierzu angewandte Gewicht das Maximum ihrer respectiven Festigkeit. Da dieser Gegenstand auf gleiche Weise, und noch wohl mehr, von praktischem Nutzen ist als die Kenntnifs der absoluten Festigkeit, so hat man seit längerer Zeit sich bemühet, ihn durch theoretische Untersuchungen und praktische Erfahrungen genau zu ergründen. Unter den theoretischen Untersuchungen sind die vorzüglichsten von Galilaei [1], Leibnitz [2], Mariotte [3], Varignon [4], Jac. Bernoulli [5], L. Euler [6], Kraft [7], Bülfinger [8], Young [9], Gregory [10], Brewster [11], Borgnis [12] u. a. zugleich mit Versuchen verbunden sind die von Parent [13], Réaumür [14], Büffon [15], du Hamel [16], Coulomb [17], Camüs de Mézières [18], Eytelwein [19], G. G. Schmidt [20], John Banks [21], Rondelet [22],

---

1 Discorsi e dimostrazione matematiche. Leid. 1638.
2 Act. Erud. Lips. 1684. p. 319.
3 Traité des Mouv. des Eaux. Par. 1686. P. V. disc. II.
4 Mém. de l'Ac. 1702. p. 90.
5 Ebend. 1705. p. 230.
6 Acta Acad. Pet. 1778. I. 121.
7 Dissert. de corp. natur. cohaerentia. Tub. 1752. 4.
8 Com. Pet. IV. 164.
9 Lectures. II. p. 46.
10 Treatise on Mechaniks, theoretical, practical and descriptive. 2 vol. 8. Lond. 1815. I. art. 180.
11 Ferguson Lectures. Edinb. 1823. II. 232.
12 Théorie de la Mécanique usuelle. Par. 1821. 4. p. 336.
13 Mém. de Par. 1707, 1708, 1710.
14 Ebend. 1711. p. 6.
15 Ebend. 1740. u. 41. Auch in Hamb. Mag. V. 179. u. 506.
16 Mém. de l'Ac. 1768. p. 534.
17 Mém. de Mathem. et de Phys. présentes à l'Acad. de Par. 1773. p. 343.
18 Traité de la force des Bois. Par. 1782. 8.
19 Lehrbuch d. Statik u. s. w. Th. II.
20 Gren N. J. IV. 184.
21 On the Power of Machines. Kendal 1803. p. 96.
22 Traité théorique et pratique de l'Art de Bâtir. Par. 1814. VI vol. 4. IV. 514.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Rennie [1], Reynolds [2], Düleau [3], Gauthey [4], Barlow [5], Tredgold [6], White [7] u. a. ausführliche Zusammenstellungen der wichtigsten Versuche, Prüfung derselben und Formeln zur praktischen Anwendung, endlich findet man theils in den genannten Werken, theils bei Girard [8], Langsdorf [9], weitläuftig bei Magold [10], kurz bei Brandes [11], ausführlich bei Eytelwein [12], Emerson [13], Leslie [14], insbesondere aber sehr gründlich und mit verschiedenen Tabellen zum praktischen Gebrauche in Tredgold's mehr erwähntem Werke.

Sowohl theoretische Untersuchungen, als auch Versuche führten auf gleiche Weise zu dem Resultate, dafs bei einem überall gleich dicken Parallelepipedum, wenn dasselbe an beiden Enden unterstützt und in der Mitte mit der ganzen Last beschwert ist, die Tragkraft im geraden Verhältnisse der Breite und des Quadrates der Höhe, und im umgekehrten der Länge steht. Heifst deswegen die Tragkraft irgend eines Körpers in Gewichten ausgedrückt W, die Breite der Fläche seines Querschnittes b, die Höhe h, der Abstand der beiden Unterstüzzungspuncte l, so ist:

---

1 Phil. Trans. 1818. 1. Phil. Mag. LIII. 173.

2 Nicholsons J. 1813. XXXV. 4.

3 Essay théorique et expérimental sur la résistance du fer forgé. Par. 1820. 4.

4 Traité de la Construction des Ponts. Par. 1809. u. 13. II vol. 4. II. 153.

5 Essay on the Strength of Timber. Lond. 1817. 8. p. 88.

6 a. a. O. Phil. Mag. and J. 1820. Oct.

7 Philos. Mag. and J. 1821. Mai.

8 Traité analytique de la resistance des solides, et de solides d'égale resistance cet. à Par. An. VI. Deutsch: P. S. Girards analytische Abhandlung von dem Widerstande fester Körper u. s. w. von C. Krönke. Gies. 1803. 4.

9 Handbuch der Maschinenlehre für Practiker und acad. Lehrer. Altenb. 1797. II vol. 4. I. 73.

10 Mathematisches Lehrbuch zum Gebrauche öffentlicher Vorlesungen, u. s. w. Landsh. 1808 — 13. V. 36.

11 Lehrb. d. Gesetze des Gleichgewichts u. der Bewegung u. s. w. I. 151.

12 a. a. O.

13 Mechanics, or the doctr. of Motion. 1769. I vol. 8.

14 Elements of Natural Philosophy. Edinb. 1823. I. 214.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$$W = \frac{k\,h^2 b}{l}.$$

Ist aber das Parallelepipedum an einem Ende horizontal befestigt, am andern mit der ganzen Last beschwert; so ist:

$$W' = \frac{k\,h^2 b}{4l},$$

wobei bloſs der constante Coefficient k für die verschiedenen Körper durch Versuche ausgemittelt werden muſs.

Man hat eine unglaubliche Menge von Versuchen zur Bestimmung von k angestellt, welche man sehr vollständig durch Tredgold geprüft findet. Eine der besten Methoden ist diejenige, deren sich Beaufoy [1] bediente, um die Tragkraft verschiedener Holzarten zu messen, welche daher unter mehreren andern hier erwähnt werden möge. Es wurde das eine Ende des zu prüfenden prismatischen Körpers a a in einen starken Balken A A fest eingekeilt, trug am andern ein eigens vorgerichtetes, auf dasselbe geschobenes Bogenstück b b, damit die Richtung des herabziehenden Seiles c d e stets auf die Längenaxe desselben normal wäre; an dieses Seil wurde eine Waagschale P befestigt, und durch ein Gegengewicht p, über wenig Reibung verursachende Rollen gezogen, balancirt, und wenn dann die Waagschale mit Gewichten beschwert war, so gab ein Zeiger r, an einer herabgehenden Stange s befestigt, die Biegung in Graden an, und die Summe der, bis zum Zerbrechen aufgelegten Gewichte in Pfunden die absolute Tragkraft oder das Maximum der relativen Festigkeit des untersuchten Körpers. Hiermit läſst sich dann auch leicht diejenige Last finden, wodurch ein Körper beschwert werden kann, ohne daſs seine Form bleibend verändert wird, oder nach deren Wegnahme er seine vorige Gestalt wieder annimmt, und welche man als das Maximum ansehen kann, womit er in der Anwendung beschwert werden darf. Beaufoy fand vermittelst dieses Apparates, daſs verschiedene Stücke der nämlichen Holzart sehr ungleiche, zuweilen bis auf das Doppelte steigende Tragkraft zeigten, dagegen waren die Krümmungen derselben so lange sehr regelmäſsig, als sie nicht über die Hälfte des Maximums ihrer

Fig. 45.

1 Ann. of Phil. VIII.

relativen Festigkeit beschwert wurden. Die Versuche sind nur mit den zum Schiffsbaue brauchbaren Holzarten angestellt, haben indefs einige allgemeine Resultate gegeben. Als die stärkste Holzart zeigte sich die Pechtanne (pitch-pine) und zunächst nach dieser die englische Eiche mit geraden Fibern. Gleich lange Parallelepipeda von ungleichen Dimensionen zeigten eine nach etwas mehr als dem Kubus der Seiten des Querschnittes zunehmende Tragkraft, wurden sie aber in mehrere ähnliche Parallelepipeda zerschnitten, so nahm ihre Tragkraft ab, wie die Quadratwurzeln der Zahl der Stücke, worin sie zerschnitten waren. Es zeigt sich hierbei also der umgekehrte Erfolg als derjenige, welchen die Versuche über die absolute Festigkeit namentlich der Metalle geben, indem diese leztere kleiner ist, als das Verhältnifs des Querschnittes, jene dagegen gröfser.

Eine Reihe sehr schätzbarer Versuche über die respective Festigkeit der verschiedenen Holzarten hat Barlow [1] angestellt, indem er die prismatischen, genau gearbeiteten Körper entweder horizontal an beiden Enden frei auflegte, oder sie an beiden Enden befestigte, oder an einem Ende horizontal festkeilte, oder endlich unter einem Winkel gegen den Horizont geneigt gleichfalls an einem Ende festkeilte. Auch hierbei wurde die Biegung auf eine sinnreiche Weise gemessen, doch ist Beaufoy's Methode vorzuziehen.

Tredgold [2] hat vorzüglich mit den verschiedenen Sorten Gufseisen, aber auch mit Schmiedeeisen, sonstigen Metallen, Hölzern u. s. w. eigene Versuche angestellt, andere, welche in England so häufig gemacht sind, verglichen, und sie verdienen um so mehr beachtet zu werden, als sie mit gröfster Sorgfalt und steter Rücksicht auf eine praktische Anwendung angestellt und berechnet wurden. Namentlich berücksichtigt Tredgold weniger dasjenige Gewicht, durch welches die Körper zerbrochen wurden, als vielmehr dasjenige, welches sie zu tragen vermochten, ohne ihre Form bleibend zu ändern. Behalten wir seine Art der Bezeichnung bei, nennen dasjenige Gewicht in

---

1 a. a. O. dem wesentlichen Inhalte nach mitgetheilt in Jahrb. d. pol. Inst. V. 240.

2 Practical Essay on the strength of cast Iron and other metals. Lond. 1824.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Pfunden ausgedrückt, welches ein Würfel von einem Zoll Seite zu tragen vermag, ohne seine Form bleibend zu ändern = f, so enthält die folgende Tabelle die von ihm gefundenen, auf rheinländ. Zolle und Berliner Pfunde reducirten Werthe von f für die verschiedenen Substanzen, und zugleich einen Werth für m, dessen Gebrauch weiter unten nachgewiesen werden wird.

Substanzen	f	m
Schmiedeeisen . .	18315	0,28296
Gufseisen . . .	15743	0,27439
Glockenspeise . .	10289	0,30354
Messing . . .	6894	0,31120
Zink . . .	5865	0,26152
Zinn . . .	2963	0,27138
Blei . . .	1511	0,42359
Fischbein . . .	5762	0,04827
Eiche, engl. geradfibrige .	4074	0,03087
Mahagoni, von Honduras .	3910	0,02084
Fichte, gelbe amerikanische .	4013	0,01595
Tanne, rothe . .	4414	0,02079
— weifse . .	3735	0,01750
Lerchenbaum . .	2125	0,02084
Esche . . .	3643	0,02830
Buche . . .	2428	0,02710
Ulme . . .	3334	0,02024

Sollen von diesen Werthen praktische Anwendungen gemacht werden, so dienen hierzu folgende Formeln.

1. Es sey in den angegebenen Mafsen W das zu tragende, in der Mitte aufliegende Gewicht in Pfunden; von dem tragenden Körper sey b die Breite und h die Höhe, dann ist für ein gleichförmiges, an beiden Enden aufliegendes Parallelepipedon, den Abstand der Unterstützungspuncte = l genannt

$$W = \frac{2f\ b\ h^2}{3l}$$

woraus, da f durch die Zahlen der Tabelle gegeben ist, die unbekannten Gröfsen aus den bekannten gefunden werden können. Ist daher z. B. der Abstand der Stützpuncte, und das zu tragende Gewicht gegeben, so ist:

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$$\frac{3\,l\,W}{2\,f} = b\,h^2.$$

Indem hiernach durch das quadratische Verhältnifs der Höhe an Material viel gespart wird, so ist dabei zugleich zu berücksichtigen, dafs die Höhe nur bis so weit vermehrt werden darf, als das Material erlaubt, ohne durch die Last eingedrückt oder seitwärts gebogen zu werden. Will man aber aus einem Cylinder vom Halbmesser $= r$ das stärkste Parallelepipedon erhalten, so nehme man von seinem Mittelpuncte an die halbe Höhe desselben $= 0{,}8165\,r$, und seine halbe Breite $= 0{,}57735\,r$.

2. Liegt die Last nicht in der Mitte zwischen beiden Stützpuncten, sondern heifsen die beiden Abstände, gleichfalls in Zollen, λ und λ', so ist:

$$W = \frac{f\,b\,h^2}{6} \times \frac{l}{\lambda.\,\lambda'}$$

3. Ist die Last gleichmäfsig über den ganzen Balken verbreitet, so trägt derselbe doppelt so viel, als wenn sie in der Mitte aufliegt, und es ist also

$$W = \frac{4f\,b\,h^2}{3\,l}.$$

4. Wenn ein Parallelepipedon an einem Ende befestigt, die Last aber am andern angebracht ist, so trägt es nur den vierten Theil des für N^ro. 1. angegebenen Gewichtes, wie dieses schon in der anfänglich mitgetheilten Formel ausgedrückt ist. Hiernach wird also seyn

$$W = \frac{f\,b\,h^2}{6\,l}.$$

Diese Formel pafst auch auf diejenigen Fälle, in denen ein Balken in der Mitte unterstützt, und an beiden Enden mit Lasten beschwert ist, z. B. bei den Waagebalken oder den Balancieren der Dampfmaschinen u. s. w. Es ist hierbei nicht nöthig, dafs der Balken überall gleiche Dicke habe, vielmehr ist es besser, wenn er an dem befestigten Ende stärker ist. Als Regel hierfür gilt, dafs derselbe an demjenigen Ende, worauf die Last wirkt, eine der Breite gleiche Höhe habe, am befestigten Ende aber diejenige Höhe, welche aus der Formel für h gefunden wird, und dann in gerader Linie von hier bis ans Ende abnimmt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

5. Noch mehr und genauer findet diese Regel Anwendung, wenn die Last über den ganzen Balken vertheilt ist, in welchem Falle

$$W = \frac{f\,b\,h^2}{3\,l}.$$

Ein unmittelbarer Gebrauch dieser Formel wird bei den Tragbalken der Altanen gemacht, mit Rücksicht auf die so eben angegebene Bedingung, weswegen bei angebrachten Verzierungen darauf gesehen werden muſs, daſs ihre Vertiefungen nicht in die Linie DA einschneiden, welche von der erforderlichen gröſsten Höhe an der Mauer nach der geringsten am Ende des Balkens gezogen ist. Auch die Stärke der Zähne an Rädern läſst sich hiernach bestimmen. Berücksichtigt man indeſs, daſs die Last auch auf eine einzelne Stelle wirken kann, der Zahn aber leicht nicht überall gleiche Dicke hat, so ist es am besten, $W = \frac{f\,b\,h^2}{5\,l}$ anzunehmen, und mit Rücksicht auf das nothwendige Abreiben der Zähne wird mit Sicherheit Fig. 46.

$$W = \frac{f\,b\,h^2}{10\,l}$$

genommen.

6. Die allgemeine Formel kann nur eine unbedeutende Abänderung erleiden, wenn die Körper keine Parallelepipeda sind. Von den vielen möglichen Formen der Flächen der Querschnitte möge hier nur der Cylinder berüksichtigt werden. Heiſst der Durchmesser desselben d, so ist, die Last in der Mitte hängend angenommen:

$$W = \frac{0{,}7854\,f\,d^3}{2\,l};$$

bei einem ungleichen Abstande derselben von den Stützpuncten, die Entfernungen $= \lambda$ und λ' angenommen

$$W = \frac{0{,}7854\,f\,d^3}{8} \times \frac{l}{\lambda.\,\lambda'};$$

und bei gleichmäſsiger Vertheilung derselben über die ganze Länge des Cylinders zwischen den Stützpuncten ist

$$W = \frac{0{,}7854\,f\,d^3}{l}.$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ist dagegen der Cylinder an einem Ende befestigt, am andern mit der Last beschwert, so ist für den Halbmesser = r

$$W = \frac{0{,}7854\ f\ r^3}{l},$$

und wenn die Last gleichmäfsig über denselben vertheilt ist:

$$W = \frac{1{,}5708\ f\ r^3}{l}.$$

Hieraus folgt also, dafs die Tragkraft eines Balkens vom quadratischen Querschnitte zu der eines aus ihm verfertigten Cylinders sich verhält wie 1 : 0,5895; zu demjenigen Cylinder aber, aus welchem er verfertigt ist, wie 1 : 1,7 nahe genau.

7. Einen grofsen Vortheil erhält man in der Mechanik dadurch, dafs man statt massiver Cylinder hohle Röhren anwendet, wodurch bei gleicher Masse des Materials eine gröfsere Stärke desselben erhalten wird, vorausgesetzt, dafs zwischen dem inneren und äufseren Durchmesser des hohlen Cylinders ein richtiges Verhältnifs statt findet, dafs die Wand nicht zu schwach ist, um dem Drucke den erforderlichen Widerstand zu leisten, und die Arbeit gehörig genau, so dafs namentlich bei gegossenen Röhren die Metalldicke überall gleich und ohne Fehlstellen ist [1].

Man hat sich viele Mühe gegeben, zuvörderst das beste Verhältnifs des innern Durchmessers zum äufseren für die stärkste Tragkraft hohler Cylinder aufzufinden. Nach Girard [2] soll die relative Festigkeit am gröfsten seyn, wenn der innere Halbmesser sich zum äufseren verhält wie 51 : 112. Indefs ist dieses Verhältnifs weit kleiner als dasjenige, welches die Engländer praktisch in Anwendung zu bringen pflegen. Buchanan [3] nimmt zu Wellen der Mühräder hohle Cylinder, deren Halbmesser 3 und 4 sind, nach Tredgold [4] aber verhält sich die relative Festigkeit eines hohlen Cylinders zu der eines

---

1 Die Natur erreicht bei verschiedenen Körpern z. B. den Pflanzen und selbst den Knochen der Menschen und Thiere eine gröfsere Festigkeit durch hohle Röhren, statt massiver Cylinder. Vergl. Leslie Elements of Natural Philosophy Edinb. 1823. I. 225.

2 Ann. Ch. Ph. XXI. 352.

3 Essay on the Shafts of Mills. 2°. ed. I. 305.

4 a. a. O. p. 129.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

massiven von gleicher Metallmasse, wie 1,7 : 1, wenn der innere Halbmesser sich zum äufseren wie 15 : 25 verhält, und wie 2 : 1, wenn das Verhältnifs der Halbmesser = 7 : 10 ist. Für das erstere beträgt die Metalldicke 0,2 der Dicke des ganzen Cylinders, für das letztere 0,15 derselben, und er hält letzteres für das Minimum, wenn das Metall noch stark genug bleiben soll, um nicht eingedrückt zu werden [1]. Ist allgemein der äufsere Halbmesser der Röhre = r, der innere aber = nr, so wird bey gleicher Masse die relative Festigkeit des massiven Cylinders = 1 gesetzt, die des hohlen $= \frac{1-n^4}{(1-n^2)^{\frac{3}{2}}}$ seyn [2]. Behalten wir diese Bedeutung von n bei, so ist für einen an beiden Enden aufliegenden hohlen Cylinder die Last in der Mitte,

$$W = \frac{3{,}1416\ fr^3\ (1-n^4)}{l};$$

und wenn derselbe an einem Ende befestigt ist, die Last am anderen wirkend gedacht,

$$W = \frac{0{,}7854\ fr^3\ (1-n^4)}{l};$$

in beiden Fällen aber ist die relative Festigkeit doppelt so grofs, wenn die Last über der ganzen Länge gleichmäfsig verbreitet ist, und eben so läfst sich aus den oben mitgetheilten Formeln leicht finden, wie der Fall zu berechnen sey, wenn bei einer an beiden Seiten unterstützten Röhre die Last nicht in der Mitte angebracht ist.

8. Man hat angenommen [3], dafs die Tragkraft eines dreiseitigen Prisma, wenn die eine Fläche nach Oben gekehrt,

---

1 Nach Eytelwein a. a. O. II. 322. verhält sich die Tragkraft der Röhre zu der des Cylinders von gleicher Metallmasse wie 1,212.... : 1 wenn der innere Halbmesser der Röhre sich zum äusseren wie 1 : 2 verhält.

2 Nach G. G. Schmidt's Versuchen bei Gren N. J. IV. 214. verhält sich der Querschnitt des massiven Cylinders zum Querschnitte des hohlen von gleicher Stärke, wie 84 : 59, woraus eine bedeutende Ersparung des Materials und weit geringeres Gewicht, also auch Verminderung der Reibung für Maschinen folgt.

3 Eytelwein a. a. O. II. 312. Die Behauptung wurde zuerst durch Galilaei aufgestellt, nachher durch Mariotte, Leibnitz und Jacob

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Kante aber auf den Unterlagen ruhend wäre, gröſser sey, als bei der entgegengesetzten Lage, und zwar im Verhältniſs von 3 : 1 oder nach andern von 2 : 1. Allein Tredgold folgert aus Düleau's [1] Versuchen mit dreikantigen Balken, daſs ihre Tragkraft in jeder Lage gleich sey. Die Tragkraft eines solchen aber verhält sich zu derjenigen eines rechtwinklichen von gleicher Höhe und der Breite der Basis wie 0,339 : 1. Indem nun ersterer halb so viel Masse enthält, als letzterer; aber nur nahe $\frac{1}{3}^{tel}$ so viel Tragkraft hat, so ergiebt sich hieraus, daſs deren Anwendung nicht vortheilhaft sey.

9. Die hier angegebenen Formeln geben auf allen Fall sehr genäherte Werthe, und können mit Benutzung der oben mitgetheilten Tabelle füglich praktisch angewandt werden, wobei jedoch wohl zu berücksichtigen ist, daſs auch die relative Festigkeit der verschiedenen Körper bei einzelnen Exemplaren sehr ungleich gefunden wird, abgesehen von Fehlstellen oder Brüchen in denselben, welche überall nicht statt finden dürfen, wenn von irgend einer der Formeln Gebrauch gemacht werden soll. Im Allgemeinen läſst sich auſserdem noch bemerken, daſs die Tragkraft der an beiden Enden auſliegenden Balken vermehrt wird, wenn sie fest eingemauert oder fest gekeilt sind.

10. Ein anscheinend paradoxes, aber sehr zuverlässiges Mittel, die Tragkraft der an beiden Enden auſliegenden Balken zu vermehren, giebt Camüs de Mé'zié'res [2] nach eigenen und früheren Versuchen als zweckmäſsig an, und Parrot [3] fand dasselbe in wiederholten Erfahrungen bestätigt. Man schnei-

---

Bernoulli weiter geprüft. Ihre Untersuchungen finden sich in den oben angeführten Abhandlungen derselben.

1 Essay sur la Resistance cet. p. 26. Ein gleiches Resultat folgt aus den neuesten Versuchen von Couch S. Jahrg. des polyt. Inst. in Wien. V. 233.

2 Traité de la force des Bois. p. 224.

3 Theoret. Phys. I. 53. Ein einziger eigener, aber sehr gelungener, Versuch bewies mir die Anwendbarkeit dieses leichten Mittels. Ich lieſs nämlich einen 11 Z. Seite haltenden, 25,5 F. zwischen den Stützpuncten langen tannenen Balken bis in die Mitte einschneiden, dann einen eisernen, oben 8 Lin. dicken Keil bis auf den Grund in den Einschnitt treiben, wodurch sich der Balken 0,75 Z. in der Mitte über die waagerechte Ebene hob, und eine Art Gewölbe bildete. Eine genaue Bestim-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

det nämlich dieselben nach dem Verhältnifs ihrer Höhe bis zu einem Drittheile oder zur Hälfte der letzteren von oben herab ein, und treibt einen Keil von hartem Holze in den Einschnitt bis auf den Boden mit Gewalt ein, bis die Balken in ihrer Mitte sich etwas über die horizontale Ebene erheben. In den von Camüs erwähnten Versuchen wurde die Tragkraft der bis zu $\frac{1}{3}^{\text{tel}}$ ihrer Höhe eingeschittenen Balken um $\frac{1}{19}^{\text{tel}}$, der bis zur Hälfte eingeschnittenen um $\frac{1}{29}^{\text{stel}}$ und selbst der bis zu $\frac{3}{4}$ eingeschnittenen um $\frac{1}{87}^{\text{stel}}$ vermehrt.

11. In der Regel sind alle Körper mehr oder weniger elastisch, und werden sich daher unter der drückenden Last erst biegen, ehe sie zerbrechen. Dieses Biegen ist aber mit einem Herabsinken der gedrückten Theile verbunden, wozu eine gewisse Zeit erfordert wird. Hört dann der Druck der Last früher auf, oder geht derselbe zu einer andern Stelle über, ehe der tragende Theil so tief herabgesunken ist, dafs seine Fibern zerreifsen, so wird er über seine Tragkraft beschwert werden können. Anwendungen hiervon giebt das Laufen über dünne Bretter, über Eis u. s. w. [1].

12. Bei der praktischen Anwendung der mitgetheilten Untersuchungen über die relative Festigkeit kommt das eigene Gewicht der Körper noch weit mehr in Betrachtung, als bei der absoluten Festigkeit, und mufs in der Regel jederzeit mit in Rechnung genommen werden. Indem dasselbe aber in allen untersuchten Fällen zugleich mit dem getragenen Gewichte die verschiedenen, auf die eine oder die andere Weise geformten und belasteten Körper gleichfalls belastet, in den Formeln aber W die ganze Last bezeichnet, welche die Körper tragen können, so mufs es allezeit schon in diefer Gröfse mit begriffen seyn. Nennt man also das eigene Gewicht der verschiedenen Körper w; dasjenige aber, womit sie belastet sind w′, und berücksichtigt, dafs das eigene Gewicht der Körper allezeit über die ganze Länge derselben verbreitet ist, so ist für diejenigen For-

---

mung der Vermehrung seiner Tragkraft war nicht wohl zu erhalten, doch schwankte derselbe nachher nicht mehr beim Schlagen oder Springen auf denselben.

1 Eine gründliche Untersuchung dieser Aufgabe von Langsdorf findet sich in Münchener Denksch. 1811.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

meln, in welchen auch das getragene Gewicht über die ganze Länge der Körper verbreitet angenommen wurde, $w' + w = W$, in denjenigen Fällen aber, wo die Last am Ende oder in der Mitte drückt, $\frac{2w' + w}{2} = W$. Ist aber in allen angegebenen Formeln $w' = 0$, so ist der Körper so beschaffen, dafs er genau sein eigenes Gewicht trägt, und es läfst sich aus dem zugehörigen Werthe von W bei jeder der angegebenen Gleichungen die Länge, oder die Breite oder die Höhe finden, welche ein Körper haben mufs, um sein eigenes Gewicht zu tragen. Um dieses nur an einem Beispiele zu zeigen, werde die Länge einer an beiden Enden aufliegenden Stange von Gufseisen, von einem Quadratzoll Querschnitt, gesucht, welche ihre eigene Last ohne bleibend gebogen zu werden, zu tragen vermag. Es ist nach der unter N^ro. 1. angegebenen Formel $W = \frac{2 f b h^2}{3 l}$, also $\frac{w}{2} = W$ gesetzt ist $w = \frac{4 f b h^2}{3 l}$. Der Werth von w wird aber gefunden, wenn l bekannt ist. Wiegt nämlich die Länge eines Zolles des gegebenen Körpers m Pfunde, so ist $w = mb$, welches substituirt, auf beiden Seiten die Gleichung mit l multiplicirt und mit m dividirt giebt

$$l^2 = \frac{4 f b h^2}{3 m}.$$

Es ist aber das Gewicht eines rheinländischen Kub. Zolles Gufseisen in Berliner Pfunden 0,274 . . nahe genau. Substituirt man also diesen Werth für m, und den in der Tabelle enthaltenen für f, so wird

$$l^2 = \frac{4 \times 15743}{3 \times 0{,}274} = 276{,}8 \text{ Z. oder } 23{,}1 \text{ F.}$$

Zur gröfseren Bequemlichkeit und zur Erleichterung der Rechnung bei der praktischen Anwendung dieser Formeln ist in der oben mitgetheilten Tabelle der Werth von m, oder das Gewicht eines rheinländischen Würfelzolles der am meisten vorkommenden Körper in berliner Pfunden nach Tredgold's Angaben reducirt in mindestens für die praktische Anwendung hinlänglich genähertem Werthe hinzugefügt. In sehr vielen, wo nicht den meisten Fällen, namentlich beim Bauen, sind von den zu ver-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wendenden Balken die Gröfsen b, h und l entweder genau oder in sehr genäherten Werthen bekannt, und es wird dann ihre Tragkraft gesucht. Dann ist blofs erforderlich, vermittelst der in der Tabelle angegebenen Werthe von m das eigene Gewicht der Körper = w, vermittelst der Formel aber den Werth von W zu suchen, woraus dann leicht W — w = W′ oder diejenige Last gefunden werden kann, womit die Balken sicher beschwert werden dürfen.

Dafs endlich die Tragkraft der Balken, Stäbe u. dgl. noch bedeutend erhöhet werde, wenn man ohne Vermehrung ihrer Masse dieser verschiedene Formen giebt, wie diese z. B. bei Waagebalken nach Hurter und andern Künstlern, oder namentlich zu den Balancieren oder den Bäumen der Dampfmaschinen gewählt zu werden pflegen, liegt in der Natur der Sache, genaue Berechnungen für jede einzelne Form aber liegen aufser dem Bereiche dieses Werkes.

3. Rückwirkende Festigkeit.

Man versteht unter rückwirkender, oder nach Girard negativ absoluter, Festigkeit diejenige Kraft, welche die Körper einer sie zusammendrückenden oder zerdrückenden Last entgegensetzen. Der Ausdruck: *rückwirkende Festigkeit* bezeichnet diesen Begriff genau, und der andere, nämlich *negativ absolute*, auch für diejenigen Fälle, in denen ein gegen seinen Durchmesser verhältnifsmäfsig langer Körper durch eine in der Richtung seiner Längenaxe wirkende Kraft gedrückt wird. Es giebt zwei vorzügliche Aeufserungen der rückwirkenden Festigkeit, hauptsächlich in Rücksicht auf die praktische Anwendung, nämlich zuerst wenn eine Säule oder ein Prisma aufrecht steht, und eine Last trägt, dann das Gewicht zu finden, welches, ohne Biegung und demnächst Zerbrechung zu bewirken, getragen werden kann, wobei die Länge des Körpers sehr in Betrachtung kommt; und zweitens wenn ein Körper ohne bedeutende Länge, z. B. ein Würfel gedrückt wird, die Last zu finden, welche er ohne Zerstörung seiner Cohärenz zu tragen vermag. Wir untersuchen zuvörderst das Erstere.

A. Das Problem über die rückwirkende Festigkeit der Körper, oder über die Last, welche gerade, auf einem horizontalen Boden stehende Säulen oder prismatische Körper zu tra-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gen vermögen, ehe sie sich biegen, ist zuerst v. L. Euler[1] theoretisch untersucht, und in Verbindung, damit auch die wissentschaftlich interessante Frage beantwortet, wie hoch eine Säule von gegebener Dicke seyn darf, bis sie durch ihre eigene Last gebogen wird. Eine Anwendung der gefundenen Formeln auf die von Musschenbroeck angestellten Versuche zeigte die Richtigkeit derselben. Die Arbeiten beider Vorgänger benutzte Eytelwein[2], und giebt die Formeln zur Berechnung der Gewichte, welche Säulen von verschiedenen Körpern nach ihrer Gestalt und Länge zu tragen vermögen. L. Eulers gehaltreiche Abhandlung findet man in vielen, namentlich der oben genannten, Werke über die relative Festigkeit der Körper benutzt. Indem aber eine ausführliche Erörterung dieses Gegenstandes für unsern Zweck zu viel Raum erfordern würde, so wird es genügen, die mit den Eulerschen im Wesentlichen übereinstimmenden Formeln aus Tredgold mitzutheilen, und für die praktische Anwendung brauchbar darzustellen.

Es liegt in der Natur der Sache, dafs die rückwirkende Festigkeit dem Querschnitte des Körpers und seiner Steifheit directe, seiner Länge aber umgekehrt proportional seyn mufs, wonach also

$$Q = \frac{k\,m}{n^r}$$

als die allgemeine Gleichung für dieselbe angesehen werden kann. Es ist indefs nicht einerlei, ob die zusammendrückende Last auf die Axe der Säule selbst drückt, oder in einem gewissen Abstande von derselben. Nehmen wir also hierauf Rücksicht, behalten wir ferner die oben gewählten Bedeutungen von W, b, h, l und f bei (h in derjenigen Richtung genommen, in welcher die Biegung erfolgen kann), und nennen den Abstand des gedrückten Punctes von der Axe, gleichfalls in rheinländischen Zollen, = a, denjenigen Theil der Länge aber, um welchen ein Prisma, dessen Querschnitt ein Quadratzoll ist, seine Länge als Einheit genommen, ausgedehnt wird, wenn es mit einer Last = f beschwert ist, = e, so ist für ein rechtwinkliches Prisma

$$W = \frac{f\,b\,h^2}{h + 6a + \frac{6\,l^2 e}{4h}} = \frac{f\,b\,h^3}{h^2 + 6\,a\,h + 1{,}5\,l^2 e}$$

1 Acta Acad. Pet. II. P. I. p. 121.
2 a. a. O. p. 409. ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und wenn $a = 0$ ist, oder der Druck die Axe selbst trifft, wie in vielen Fällen angenommen werden kann, so ist

$$W = \frac{f\,b\,h^3}{h^2 + 1{,}5\,l^2 e};$$

oder wenn man von einer in der praktischen Anwendung doch unerreichbaren Genauigkeit abstrahirt, insbesondere also mit Rücksicht auf diejenigen Fälle, in denen Pfeiler aufliegende Balken oder Gewölbbogen tragen sollen, wobei man in genähertem Werthe annehmen kann, dafs der stärkste Druck den Rand der oberen Durchschnittsfläche der Säule trifft, in welchem Falle $a = \frac{1}{2} h$ ist, wird

$$W = \frac{f\,b\,h^3}{4\,h^2 + 1{,}5\,l^2 e}$$

bei einem Cylinder, vom Durchmesser d, dessen Stärke gegen die einer quadratischen Säule, wenn sein Durchmesser der Seite eines Querschnittes der lezteren gleich ist, sich nahe genau wie 1 : 1,6 verhält, ist auf gleiche Weise in sehr genäherten Werthen:

$$W = \frac{f\,d^4}{1{,}6\,(d^2 + 6da + 1{,}5\,l^2 e)}$$

desgleichen für $a = 0$

$$W = \frac{f\,d^4}{1{,}6\,d^2 + 2{,}4\,l^2 e}$$

und für $a = \frac{1}{2} d$

$$W = \frac{f\,d^4}{6{,}4\,d^2 + 2{,}4\,l^2 e}.$$

In diesen Formeln werden die Gröfsen b, h, l und d in jedem einzelnen Falle der praktischen Anwendung gegeben, f aber kann aus der oben mitgetheilten Tabelle, und e aus der unten folgenden entnommen werden. Auf das eigene Gewicht der Säulen Rücksicht zu nehmen ist im Allgemeinen unnöthig. Sollte es aber geschehen, so müfste man annehmen, dafs die Biegung der Säulen durch ihre eigene Last in der Mitte bewirkt würde, und dafs demnach die Hälfte ihres Gewichtes auf ihre halbe Länge wirkte. Nach der oben gewählten Bezeichnung von w und w′ würde dann gleichfalls $\frac{2w' + w}{2} = W$ seyn, die Auflösung selbst

aber auf sehr verwickelte Formeln führen. Nennt man ferner, wie oben, m das Gewicht eines zölligen Würfels des zu berechnenden Körpers, q aber den Flächeninhalt des Querschnittes der Säule in Quadratzollen, so wäre $w = \frac{1}{2} l m q$, und wollte man hiernach für $w' = 0$ die Höhe einer Säule finden, welche gerade stark genug wäre, ihr eigenes Gewicht zu tragen, so würde dieses auf die kubische Gleichung führen

$$l^3 + 10{,}66 \ldots \frac{d^2}{e} l = \frac{f d^4}{0{,}3 e m q}.$$

Versuche über die rückwirkende Festigkeit längerer Säulen sind aufser von Musschenbroek noch angestellt durch Reynolds [1], Navier, Rondelet und Düleau, und in den oben angegebenen Werken derselben beschrieben.

B. Versuche über das Gewicht, wodurch Körper von nicht grofser Länge zerdrückt werden, sind verhältnifsmäfsig nur wenige angestellt. Ueber Gufseisen hat Reynolds [2] einige bekannt gemacht, noch mehrere aber stellte G. Rennie [3] an, welche indefs keineswegs zur Begründung eines allgemeinen Gesetzes genügen. Die von ihm erhaltenen Resultate, nämlich die Zahl der Pfunde, wodurch ein Würfelzoll zerdrückt wird, auch hierbei auf rheinländisches Mafs und Berliner Gewicht reducirt, sind in der nachfolgenden Tabelle unter c aufgeführt, die Bedeutung von e aber ist oben angegeben.

Substanzen	e	c
Schmiedeeisen .	0,00071430	—
Gufseisen .	0,00082226	95719
Glockenspeise .	0,00104167	—
Messing . .	0,00075010	—
Zink . .	0,00023809	—
Zinn . .	0,00062500	—
Blei . .	0,00208334	—
Fischbein . .	0,00684931	—
Eiche, engl. geradfibrige,	0,00232556	—

1 Banks on the Power of Machines. p. 89.

2 Edinb. Encycl. art. Bridge. p. 544. Nicholsons J. XXXV. 4. Genauer bei Tredgold a. a. O. p. 93.

3 Phil. Trans. 1818. 1. Phil. Mag. LIII. 173.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Substanzen	e	c
Mahagoni, von Honduras,	0,00238095	—
Fichte, gelbe amerikanische,	0,00241304	—
Tanne, rothe, .	0,00212766	—
— weifse, .	0,00198412	—
Lerchenbaum .	0,00192308	—
Esche . .	0,00215517	—
Buche . .	0,00175439	—
Ulme . .	0,00241546	—
Kalkstein . .	—	515,0
Gebrannter Mauerstein .	—	578,4
Granit . .	—	11229
Marmor . .	—	6237
Porphyr (nach Geauthy)	—	36608
Mauerstein, Portland stone	—	3838
— Craigleith stone		5650
— Dundee stone		6824

Unter diesen Angaben ist die von Geauthy ohne Zweifel etwas zu grofs, zugleich aber wären umfassende genaue Versuche gewifs sehr wünschenswerth. Sollen die unter c mitgetheilten Gröfsen auf englische Zolle und Pfunde reducirt werden, so geschieht dieses durch Multiplication mit 0,97159, die Reduction auf Pariser Zolle und Pfunde durch Multiplication mit 1,02118, auf Centimeter und Kilogramme aber mit 0,063787.

Noch könnte hier die Festigkeit der Körper gegen Drehung betrachtet werden. Allein diese verdient, hauptsächlich wegen ihrer Anwendung, bei der Drehwaage eine besondere Untersuchung [1]. *M.*

Collectivglas.

Sammelglas; *vitrum colligens;* verre collective. Eigentlich ist jedes convexe Glas, welches die Strahlen näher zusammenbringt, ein Collectivglas; man versteht darunter aber vorzugsweise ein solches, das die durch ein anderes Glas schon convergent gemachten Strahlen noch stärker convergirend macht, und in einen nähern Brennpunct vereiniget [2] *B.*

1 S. *Drehung.*

2 Vergl. *Brennglas.* I. 1205. u. *Fernrohr.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Collector.

Collector der Elektricität, Elektricitätssammler; *Collector*; Collecteur; *Collector*.

Diesen Namen führt ein von Cavallo erfundenes, auf das Princip der elektrischen Atmosphärenwirkung und der davon abhängigen elektrischen Vertheilung gegründetes Instrument zur Entdeckung der sonst unmerklichen Grade von Elektricität durch Sammlung und Verdichtung derselben, das im Grunde nichts anders als eine Modification des Volta'schen Condensators ist.

Bennet und Cavallo bemerkten bald nach Erfindung des Elektricitäts-Verdopplers oder Duplicators [1], dafs wenn man die Operation mit ihm vornimmt, auch ohne zuvor Elektricität hinzuzuführen, dieses Instrument dennoch stets Elektricität zeigt. Bennet stellte einige schätzbare Versuche an, um die Ursache dieser gleichsam von selbst sich erzeugenden Elektricität und Mittel gegen die daraus entspringende Unzuverläfsigkeit beim Gebrauche des Duplicators aufzufinden, und Cavallo legte der Societät der Wissenschaften zu London im Jahre 1788 die Beschreibung eines neuen Instruments vor, welches er einen *Collector* oder *Elektricitätssammler* nannte und das seiner Versicherung nach jener Unvollkommenheit nicht unterworfen seyn sollte.

Fig. 47 und 48 Die beiden perspectivischen Zeichnungen stellen das Instrument dar, die eine in dem Zustande, die Elektricität zu sammeln, die andere in dem Zustande, die gesammelte Elektricität bemerkbar zu machen. Die nämlichen Buchstaben bezeichnen dieselbigen Theile in beiden Figuren; a b c d ist eine ebene Zinnplatte, 13″ lang und 8″ breit. An den kurzen Seitenrändern sind zwei zinnerne Röhren a d und b c angelöthet, die an beiden Enden offen sind; d e und c f sind zwei Glasfüfse, die mit Siegellack durch Hülfe der Wärme (nicht des Weingeistes, welches nur eine unvollkommene Isolirung gewährt) überzogen sind. Sie sind in die unteren Oeffnungen der zinnernen Röhren und eben so in den hölzernen Untersatz der Ma-

1 S. *Duplicator*.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

schine bei e und f eingekittet, dergestalt, dafs die Zinnplatte durch die Glasröhren vertical getragen wird, und völlig isolirt ist; g h i l q r und n o p v sind zwei hölzerne Rahmen, welche an das hölzerne Bodenstück befestigt sind, und durch Hülfe messingener Scharniere k, m entweder parallel mit der zinnernen Platte gestellt, oder geöffnet und auf das Bodenstück gelegt werden können. Ueber die innere Seite der Rahmen wird von der Mitte ihrer Höhe, wo der untere Rand der Zinnplatte gegenüber steht, Stanniol x, y mit aller Sorgfalt aufgeklebt, dafs er vollkommen eben anliege. Wenn die Rahmen vertical stehen, so berühren sie die Zinnplatte nicht, sondern stehen ungefähr 0″,2 davon ab. Sie sind auch etwas schmäler als die Zinnplatte, um die zinnernen Röhren a d, b c nicht zu berühren. In der Mitte des Obertheiles jedes Rahmens befindet sich ein kleines hölzernes Brett s und t mit einer messingenen Klammer, durch welche die Rahmen in der Höhe befestigt werden, und welche zugleich verhindert, dafs sie der Zinnplatte nicht zu nahe kommen können. Man sieht leicht, dafs wenn die Rahmen vertical gerichtet sind, die Flächen des Stanniols x, y gleichlaufend und parallel mit der Zinnplatte sind.

Wenn das Instrument gebraucht werden soll, so stellt man es auf einen Tisch oder einen andern bequemen Ort. Man stellt irgend ein empfindliches Elektrometer, wie das *Bennet'sche* oder *Bohnenberger'sche*, daneben, und bringt es durch einen Metalldraht mit einer von den zinnernen Röhren a d, b c in leitende Verbindung. Man veranstaltet eine andere leitende Verbindung zwischen der Zinnplatte und dem Elektricitätsquell, dessen Elektricität man in der Zinnplatte a b c d sammeln und verdichten will [1]. Nachdem diese Verbindung nach den Umständen mehr oder weniger lange bestanden hat, hebt man die Verbindung auf, und legt die Seitenrahmen einen nach dem andern nieder, worauf dann das Elektrometer durch die Divergenz der Goldblättchen, oder, bei Anwendung des Bohnenberger'schen durch die Bewegung nach der einen oder andern Seite Elektricität anzeigen wird, auch wenn ihre ursprüngliche Spannung noch so gering war, wenn nur ein hinlänglicher Vor-

---

1 Vergl. *Condensator*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

rath von Elektricität von dem Elektricitätsquell aus, den man prüft, hinzuströmen konnte. Sollte jedoch die Zinnplatte des Collectors keine Elektricität durch das Elektrometer verrathen, so kann man einen kleinern Collector, nämlich einen solchen, dessen Zinnplatte ohngefähr 4 Quadratzolle hat, mit der Zinnplatte des gröfseren, worin man zuvor auf die angegebene Weise die Elektricität angesammelt hat, in Berührung bringen, während blofs die Seitenrahmen des Letzteren angelegt sind. Wenn alsdann der kleine Collector von dem gröfseren entfernt wird, seine Seitenrahmen nun erst niedergelegt werden, und seine Zinnplatte mit einem empfindlichen Elektrometer in Berührung kommt, so wird dieses dann in manchen Fällen noch deutliche Spuren von Elektricität verrathen, und eine am gröfseren Collector zwar nur sehr schwach wahrgenommene Elektricität wird jetzt sehr verstärkt erscheinen.

Das Princip des Collectors ist ganz übereinstimmend mit demjenigen des Condensators. Der Collector ist nämlich im Wesentlichen nichts anderes als ein Condensator, bei welchem statt einer Schicht von Harzfirnifs, wie sie bei den gewöhnlichen Condensatoren angewandt wird, um den Uebergang der Elektricität von der Collector-Platte nach der gegenüberstehenden Platte zu verhindern, und blofs die vertheilende Wirkung eintreten zu lassen, eine dünne Luftschicht zu Hülfe genommen ist, welche Lichtenberg auf eine etwas andere Weise schon früher in Vorschlag gebracht hatte. Doch scheint eine Entfernung von 0″,2 zwischen der mittleren Zinnplatte und den beiden Seitenplatten zu grofs, und die condensirende Wirkung möchte bei einer solchen Distanz kaum eine funfzigfache Erhöhung der ursprünglichen Spannung der Elektricität herbeiführen, wenn auch die Elektricität aus einem unerschöpflichen Quell hinzuströmte. Indessen könnte man leicht bei dem Collector die Einrichtung so veranstalten, dafs die Seitenrahmen etwa durch eine gezahnte Stange der mittleren Platte beliebig selbst bis auf 0,1 einer Linie genähert, und die Condensation von verschiedener Stärke erhalten werden könnte. Immer wird es aber in der Ausführung grofse Schwierigkeiten haben, den vollkommenen Parallelismus der Platten, worauf es doch hierbei wesentlich ankommt, zu erhalten. Leicht werden sich solche hölzerne Rahmen durch den Einflufs der Feuchtigkeit und

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Trockenheit werfen, womit von selbst jener Parallelismus aufhört, wenn er auch bei der ersten Einrichtung statt fand. Uebrigens gewährt der Collector Cavallo's den Vorzug vor dem gewöhnlichen Condensator mit einer einzelnen, der Collectorplatte gegenüberstehenden Scheibe, dafs bei übrigens gleich condensirender Kraft *der einzelnen Platte* die doppelte Wirkung hervorgebracht wird, weil jede Platte oder jeder Rahmen seiner Seits ein gleiches Quantum Elektricität bindet, das folglich beim Zurückschlagen der beiden Rahmen zu gleicher Zeit in Freiheit gesetzt, die doppelte Spannung am Elektrometer geben mufs, vorausgesetzt, dafs die Zinnplatte ihre Elektricität aus einem unerschöpflichen Elektricitätsquell erhält, oder wenigstens einen solchen, der in Beziehung auf die gegebene Capacität der Zinnplatte (abhängig von der Gröfse und der condensirenden Kraft derselben) hinlänglich viele Elektricität hergeben kann, ohne dafs die elektrische Spannung des Körpers, der die Elektricität hergiebt, merklich abgenommen hätte.

Cavallo erläutert die Wirkung und den Gebrauch dieses Instruments durch einige Versuche, welche auch zur Erläuterung der Wirkungsart des Condensators dienen [1]. *P.*

Collimation.

Collimatio; Collimation; *Collimation;* (von *collimare* oder *collineare*, nach etwas zielen; eigentlich: das Zusammenfallen zweier Linien.) So heifst an einem Winkelmesser die Uebereinstimmung der Angabe der Eintheilung mit der wirklichen Gröfse des gemessenen Winkels. Sie kann nur da in Betracht kommen, wo die Visirlinie auf eine andere, als Normalrichtung angenommene, Linie bezogen wird, welche leztere auf dem Instrumente mit dem Anfangspuncte der Theilung zusammenfallen mufs. Bei den Höhenmessungen mit Quadranten und Kreisen ist dieses die *Horizontallinie,* bei den Zenithdistanzen die *Verticallinie;* bei Spiegelsextanten ist es die Richtung

---

1 Vergl. *Condensator.* Man findet diesen Apparat beschrieben in Philos. Transact. LXXVIII. P. II. Daraus übersetzt in Grens J. I. 275. u. f. Vergl. G. IX. 121.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

des kleinen Spiegels, mit welcher diejenige des grofsen verglichen wird. Jede Winkelmessung erfordert zwei Visirlinien; bei terrestrischen Winkelmessungen wird das Fernrohr durch zwei abgesonderte Beobachtungen erst an die Richtung der Einen, dann in die der Andern gebracht; der Unterschied beider Richtungen auf der Eintheilung giebt die Gröfse des Winkels zu erkennen. Hier kann also von keiner Untersuchung der Collimation die Rede seyn. Anders verhält es sich bei den erwähnten zusammengesetzten Beobachtungen, bei welchen es nur einer einzigen Visirung bedarf, weil die andere, als durch die Einrichtung oder Stellung des Instruments bereits gegeben, angenommen wird. Fällt die Richtung des Fernrohres mit dieser zusammen, so ist der Winkel Null, und der Anfangspunct des Vernier mufs sich auf dem Nullpuncte der Eintheilung befinden. Ist dieses nicht der Fall, so hat das Instrument einen *Collimationsfehler* (Erreur de Collimation), und es wird alle mit demselben gemessenen Winkel um ein gewisses Quantum zu grofs oder zu klein angeben.

Die Bestimmung des Collimationsfehlers setzt also die Kenntnifs des wahren Winkels (der Höhe oder Zenithdistanz) voraus, mit welcher die Angabe der Vernier verglichen werden mufs. Hierzu giebt es zweierlei Wege: Das Umwenden der Instrumente und die Höhenmessung mit dem künstlichen Horizonte. Gesetzt man habe mit einem Kreise die Zenithdistanz AQ eines Sterns beobachtet in derjenigen Stellung, da die Eintheilung gegen Osten gekehrt war. Wendet man nun das Instrument entweder um die verticale Axe P⌓ oder um die horizontale HO um 180°, so dafs die Eintheilung nach Westen zu stehen kommt, so wird man das Fernrohr aus der Richtung Aa in die Lage Bb bringen müssen, um auf den nämlichen Stern zu visiren, und die neue Zenithdistanz wird dem Bogen BQ gleich seyn. Die Alhidade hat mithin den Bogen AB durchlaufen, welcher die doppelte Zenithdistanz ausmacht. Der wahre Winkel ist mithin $= \frac{1}{2}$ AB, mit welchem die abgelesenen Winkel AQ und BQ verglichen werden müssen. Zeigt das Instrument den Winkel AQ gröfser als $\frac{1}{2}$ AB, so mufs BQ um eben so viel kleiner als $\frac{1}{2}$ AB seyn, und $\frac{AQ - BQ}{2}$ ist der Collimations-

Fig. 49

Fig. 50

fehler des Kreises, — für die Winkel bei ostwärts sehendem Limbus, + für diejenigen in der entgegengesetzten Stellung. Ob die Wendung um die verticale Axe P Q oder um die horizontale H O geschehe, ist gleichgültig, und hängt von der Einrichtung des Instrumentes ab. Die letztere Methode, bei den französischen *Bordakreisen* und bei den kleinen Quadranten gebräuchlich, ist ein eigentliches *Umkehren* des Instruments und heifst Rectification par *renversement*. Die Wendung um die verticale Axe hingegen (rectification par *retournement*) ist auch bei gröfsern Quadranten, Mauerquadranten, grofsen Meridiankreisen, den *Bohnenbergerschen* und *Reichenbachschen* Wiederholungskreisen, und bei den Zenithsectoren anwendbar. Um an Quadranten auch bei umgekehrter Lage noch kleine Zenithdistanzen messen zu können, wurde die Theilung noch jenseit des Punctes Q um einige Grade fortgeführt. Bei grofsen Werkzeugen dieser Art konnte die Umwendung wegen mancherlei Schwierigkeiten nur selten, oft nur halbjährlich vorgenommen werden, auch bei den Kleinern wartete man gewöhnlich die folgende Culmination ab. Da aber selbst bei einem täglichen Umwenden (geschweige denn in einer Periode von Wochen und Monaten) leicht zufällige Störungen das Instrument verrücken können, so schlägt Littrow vor [1], bei Kreisen, die sich leicht und genau umdrehen lassen, die Collimation mit Hülfe des Polarsterns zu bestimmen, indem man denselben sogleich nach einander in beiden Lagen beobachtet. Bei der langsamen Bewegung dieser Sterne kann man beide Höhen leicht auf die Mittelzeit der Beobachtungen reduciren, so dafs sie als gleichzeitige Messungen erscheinen, und ihr Unterschied giebt den Collimationsfehler. Gesetzt, es seyen drei Beobachtungen in der einen Lage des Instruments, und gleich nachher drei andere in der andern Lage gemacht worden; das arithmetische Mittel aller Beobachtungsmomente sey T, und dT bezeichne die Abstände jeder einzelnen Beobachtung von dieser Mittelzeit. Zieht man von T die gerade Aufsteigung des Polarsterns ab, so erhält man seinen Stundenwinkel t. Mit

1 Schumacher's Astron. Nachr. I. 113.

diesem, seiner Polardistanz p, und der Breite φ findet man die Höhenänderung m für 1 Zeitminute durch folgende Formel:

$$m = 900. \text{ Sin p. Sin t} \pm 900. \text{ Sin p. Sin t} \times \text{Sin p. Cos t. Tang. } \varphi;$$

das Zeichen + gilt für die Stundenwinkel von 18^h bis 24^h, und von 0^h bis 6^h; — für diejenigen von 6^h bis 18^h. Die Werthe des erstern Gliedes gehen nicht über 26″; die des Letztern bei 40° Breite nicht über 0,″30; bei 60° nicht über 0,″60. Indem man nun die in Minuten und ihren Decimaltheilen ausgedrückten Zeitabstände d T mit m multiplicirt, erhält man die Verbesserung jeder einzelnen Höhe.

Bei grofsen und festen Instrumenten, wie z. B. bei Mauerquadranten kann das Umwenden nur selten und meist nicht ohne nachtheilige Erschütterungen und Dehnungen des Instrumentes vorgenommen werden. Man nahm daher ein Instrument von eben so grofsem Radius, aber kürzerm Gradbogen, den sogenannten *Zenithsector* zu Hülfe, der an einer verticalen Axe befestigt, sich leicht umwenden liefs. Mit diesem beobachtete man in beiden Lagen einige Sterne nahe am Zenith, und verglich mit dem Resultat dieser Zenithdistanzen die Angaben des auf eben diese Sterne gerichteten Fernrohrs am Quadranten.

Im J. 1809 gab Bessel [1] eine andere Methode an, die *wahre Höhe* eines Gestirns auch ohne Zenithsector zu finden, um dann mit dieser die Angabe des Quadranten zu prüfen. Es ist die nämliche, welche man seither auf den Sternwarten von Göttingen und Greenwich angewandt hat, um an grofsen Meridiankreisen mit Beseitigung des Collimationsfehlers und der schwierigen Einstellung der Wasserwaage sehr genaue Höhenbestimmungen zu erhalten. Sie besteht in der Anwendung eines künstlichen Horizonts, namentlich einer hinlänglich breiten Wasser- oder Quecksilberfläche. In diesem horizontalen Spiegel erblickt der Beobachter das Bild des Gestirnes eben so viele Grade *unter* dem Horizonte, als es ihm directe gesehen *über* demselben erscheint: der Winkel zwischen diesen beiden Objecten ist die Summe ihrer Elevation und Degression; mithin genau der doppelten Höhe gleich. Da der Quadrant keine De-

---

1 Bode Astron. Jahrb. f. 1812. p. 148. und Monatl. Corresp. XX. p. 87.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gressionen zu messen erlaubte, so schlug Bessel vor, am Fernrohr desselben von dem Objectiv einen vorwärts geneigten Planspiegel zu befestigen, der mit der Axe des Fernrohrs einen Winkel von etwa $22\frac{1}{2}$ Graden bildete, und auf der Ebene des Quadranten senkrecht stand. Um mit diesem Apparate einen Stern zu beobachten, der in 45° Höhe stand, mufste man das Fernrohr auf 67°,5 Höhe stellen, wenn man seinen Erhöhungswinkel, und auf 22°,5, wenn man die Degression des Bildes im künstlichen Horizonte bestimmen wollte. Der halbe Unterschied beider Messungen gab die wahre Höhe des Sterns, und diese verglichen mit der Angabe des Instruments bei der Beobachtung ohne den küstlichen Horizont, zeigte die Verbesserung aller übrigen mit dieser Einrichtung gemessenen Höhen oder Zenithdistanzen. Da die beiden Beobachtungen nicht im nämlichen Momente angestellt werden können, so erhält man, wenn der Quadrant im Meridian steht, die wahre Zenithdistanz Z durch folgende Formel, in welcher z' die aus dem Horizonte, z die direct mit dem Spiegel beobachtete Distanz, t' der Stundenwinkel der erstern, t derjenigen der andern Beobachtung und δ die Declination des Strens bezeichnet:

$$Z = 90° - \tfrac{1}{2}(z' - z) - \tfrac{1}{4} \sin. 1'' (t'^2 + t^2) \cos. \delta . \sin. \delta .$$

Ein kleiner Fehler in der Lage des Spiegels gegen die Ebene des Quadranten ist, wie Bessel zeigt, von geringem Einflufs. Der Winkel, welchen er mit der Axe des Fernrohrs bildet, ist willkührlich, und kann absichtlich verändert werden, um bei der directen Beobachtung die Alhidade auf andere Stellen des Quadranten zu bringen, und so die Fehler einzelner Theilstriche zu prüfen.

Beim Spiegelsextanten und den Spiegelkreisen mufs der Index des Vernier auf Null stehen, wenn beide Spiegel einander parallel sind. Alsdann fällt das reflectirte Bild mit dem directe gesehenen zusammen, und man sieht nur Ein Bild. Die Entfernung dieses Obiectes mufs aber über 5000 Fufs betragen, damit nicht die Distanz der beiden Spiegel, die 2 bis 3 Zolle beträgt, eine merkbare Parallaxe veranlasse. Gewöhnlich bedient man sich der Sonne zu dieser Prüfung des Nullpunctes, und zwar nicht durch volle Bedeckung der beiden Bilder, sondern, indem man zu beiden Seiten des Nullpuncts den Durchmesser der Sonne mifst: der halbe Unterschied beider Angaben

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

giebt den Collimationsfehler oder Indexfehler des Sextanten. Man findet an einigen ältern Instrumenten dieser Art eine Einrichtung, um durch Drehung des kleinen Spiegels den Indexfehler ganz aufzuheben. Allein dieses Verfahren ist fehlerhaft, indem dadurch andere Strahlen, als diejenigen, welche von der *Mitte* des grofsen Spiegels ausgehen, in das Fernrohr reflectirt werden. Besser wäre es, den grofsen Spiegel ein wenig drehbar zu machen. Allein alle diese Künsteleien vermehren nur die Wandelbarkeit des Instruments, und es ist rathsamer, einen gröfsern beständigen Indexfehler in Rechnung zu bringen, als die Winkel durch eine unsichere von + zu — schwankende Correction unzuverlässig zu machen. Die Veränderlichkeit des Indexfehlers, über welche verschiedene Beobachter (unter Andern Rüppell [1]) Klage geführt haben, rührt hauptsächlich von mangelhafter Befestigung kleiner Schrauben und den Schwankungen des Fernrohrträgers her, und ein solid gearbeiteter, gut behandelter Sextant kann Jahre lang seinen Indexfehler bis auf wenige Secunden unverändert erhalten. Bei Spiegelkreisen, so wie auch bei den oben erwähnten Wiederholungskreisen vermeidet man die Bestimmung des Collimationsfehlers dadurch, dafs man durch abwechselndes Umwenden des Instruments den Winkel bald vorwärts bald rückwärts mifst, wodurch jener Fehler in der Lage des Index sich gegenseitig aufhebt.

Zufolge einer kurzen Nachricht [2] hat neulich Kater unter dem Namen *Floating Collimator* ein Werkzeug vorgeschlagen, die Collimation der Kreise zu bestimmen. Er vereinigt in demselben die von Gauss gemachte Bemerkung, dafs man das Fadennetz eines Fernrohrs durch das Objectiv desselben mit einem andern Fernrohre sehen kann, mit der Eigenschaft der schwimmenden Körper, auf einer Flüssigkeit sich immer, in jeder Lage, unter dem nämlichen Neigungswinkel einzusenken. Sein *Collimator* ist demzufolge ein Fernrohr auf einem länglichen Stück Eisen befestigt, das auf Quecksilber schwimmt, und hinreichend schwer ist, um den kleinern Zitterungen zu widerstehen. Er wird auf einem Gestelle bis zur Höhe des Fernrohrs

1 Corresp. Astron. IX. p. 37.
2 Corresp. Astron. XII. 89.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

am Kreise, dessen Collimation man ausmitteln will, erhoben, und demselben in zwei entgegengesetzten Richtungen gegenüber gestellt. Mit unverrücktem Kreise mifst man sodann die Zenithdistanzen des Fadenkreuzes im Collimator in beiden Stellungen: ihr halber Unterschied giebt den Collimationsfehler. Die Resultate sollen sehr sicher und genau seyn. *H.*

Commutationswinkel.

Commutatio; Angle de Commutation; *Angle of Commutation.* Wenn man sich den Ort eines Planeten auf die Ekliptik projicirt denkt und von diesem projicirten Orte eine gerade Linie nach der Sonne zieht, so heifst der Winkel, den diese mit dem Radius Vector der Erde macht, der Commutationswinkel. Dieser ist also gleich dem Unterschiede der heliocentrischen Länge der Erde und des Planeten. *B.*

Comparateur.

Ein Vergleicher lineärer Mafse. Die im Anfange dieses Jahrhunderts in Frankreich versuchte Einführung neuer Mafse und Gewichte, die Berichtigung und genauere Bestimmung der bestehenden in andern Ländern, und die Vergleichung der Längenmafse zum Behuf geodätischer Arbeiten, machten ein Instrument nothwendig, durch welches solche Mafse mit aller nur erreichbaren Genauigkeit unter sich verglichen werden konnten. Hierzu dienen alle diejenigen Mittel, welche zur Messung kleiner Verlängerungen bei den pyrometrischen Untersuchungen zur Sprache kamen [1]; vorzüglich *Fühlhebel*, *Mikrometerschrauben*, und *Mikroskope*. Zugleich ist hierbei die Art zu berücksichtigen, nach welcher ein Mafs gegeben wird. Ein Längenmafs kann nämlich die *ganze Länge* eines Stabes einnehmen, so dafs seine Endkanten die Grenzen des Mafses sind; es kann aber auch *auf* einem Stabe durch feine Puncte oder Striche bezeichnet werden. Die Franzosen nennen das Erstere *étalon à bouts;* das Letztere *étalon à traits.* Jene waren früher von allgemei-

1 S. *Ausdehnung.*

Fig. 51 nerem Gebrauch. Der Stab AA′ wurde genau in einem andern Stab BB′b eingepafst, dessen Enden unter einem rechten Winkel scharf umgebogen waren. Beide Lineale waren genau von gleicher Dicke, so dafs ihre Berührung bei cd eine scharfe Linie bildete. Die Schwierigkeit, solche Stäbe auf die erforderliche Länge und nach allen Seiten ganz winkelrecht auszugleichen, die Klemmung und Federung, die bei diesem Einpassungssysteme unvermeidlich sind, und die leicht mögliche Verletzung der scharfen Enden scheinen der Methode, durch feine Striche die Grenzen eines Mafses zu bezeichnen, einige wesentliche Vorzüge einzuräumen.

Das erste Werkzeug, zur Vergleichung der Mafse, wurde von Lenoir, im J. 1792, verfertigt. Es bestand aus einem starken messingenen Lineal von 13 Fufs Länge, mit einem Schieber, auf welchem Zehntausendtheile der Toise (etwa $\frac{1}{12}$ Linie) gezogen waren. Mit Hülfe von Verniers, die in verschiedenen Zwischenräumen am grofsen Lineal angebracht waren, konnte man noch Zehntheile jener Eintheilung oder $\frac{1}{100000}$ der Toise (etwa $\frac{1}{110}$ Lin.) ablesen, und die Schärfe der Striche erlaubte noch Millionthеile durch Schätzung zu bestimmen. Mit diesem Instrumente hatten Borda und Lavoisier die Länge der Kupfer- und Platinstäbe, die sowohl zur Basismessung als für die Bestimmung des Secundenpendels dienten, bestimmt. Die Einführung des metrischen Systems, im J. 1802, machte noch eine gröfsere Genauigkeit wünschbar, und Lenoir erreichte diese durch Anbringung eines Fühlhebels, dessen kürzerer Schenkel den eben erwähnten Schieber berührte, während dem der längere auf einem in 100 Theile getheilten Kreisbogen, vermittelst eines Verniers, Millionthеile der Toise angab. Die Axe dieses Hebels war vertical, und ging zwischen zwei Spitzen; eine starke Feder drückte den längern Hebel auf den Anfang des Sectors zurück [1]. Später verfertigte Lenoir noch ein zweites Instrument dieser Art, das eine Genauigkeit von $\frac{1}{2000}$ Lin. gab, und welches ihm bei Gelegenheit einer öffentlichen Ausstellung die goldene Medaille erwarb.

---

1 S. die Beschreibung und Abbildung dieses Comparateurs in der Base du Système métrique III. 447. u. Bibl. Britan. XIX. 301.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ungefähr um die nämliche Zeit brachte Pictet einen andern Vergleicher aus London nach Paris, den man einen *Dioptrischen Stangencirkel* nannte, weil er zwei parallel stehende Mikroskope enthielt, die an einem messingenen Stabe vermittelst Hülsen, wie die Spitzen eines Stangencirkels verschieblich waren. Im Brennpuncte der Mikroskope befand sich ein Querfaden, welcher durch eine Mikrometerschraube verschoben werden konnte, die $\frac{1}{10000}$ des englischen Zolles, (etwa $\frac{1}{900}$ der Par. Linie) angab. Mit diesem Werkzeuge bestimmte damals Prony das Verhältnifs des Meters zum Englischen Fufs, und zur Toise von Peru, übereinstimmend mit den Angaben des Comparateurs von Lenoir.

Mehrere Jahre später gab Prony [1] ein Instrument an, bei welchem nur ein Mikroskop nebst einer feinen auf Glas geritzten Scale gebraucht wird, die Hunderttheile von Millimetern angiebt. An dem einen Ende eines Messingstabes befindet sich ein festes Anhaltstück von Stahl, mit welchem die Endkante des zu vergleichenden Mafses in Berührung gebracht wird; am andern Ende ist das Glasmikrometer befestigt, auf welches die Axe des Mikroskops gerichtet ist. Der Träger des Mikroskops läfst sich durch eine Schraube nach der Richtung des Stabes verschieben, um den Kreuzfaden im Brennpuncte des Objectivs auf den Anfangsstrich des Mafsstabes richten zu können. Man legt alsdann das Urmafs auf den Stab, stemmt es gegen den Pfosten am Ende desselben, und bringt den Querfaden des Miskroskops auf den Theilstrich, der die Grenze des Mafses bezeichnet. Nach Hinwegnahme desselben bemerkt man die Stelle des Querfadens in dem Glasmikrometer, welches zwischen dem Objectiv und dem Erleuchtungsspiegel sich befindet. Das zweite Mafs, auf die nämliche Weise hingelegt, wird, wenn es mit dem Erstern nicht übereinstimmend ist, eine Verschiebung des Mikroskops nöthig machen, und diese wird nach Hinwegnahme des Mafses die Zahl von Hunderttheilen eines Millimeters auf der Glasscale angeben, um welche der Querfaden des Mikroskops versetzt werden mufste. Prony rühmt die Wohlfeilheit und Tragbarkeit dieses Apparats, der

1 S. die höchst undeutliche Beschreibung aus einer Engl. Zeitschrift in G. LII. 329.

in ein Futteral von der Gröfse eines Quartbandes verpackt werden könne.

Aehnlich mit dem oben beschriebenen Vergleicher Pictets von Troughton, ist derjenige, mit welchem im J. 1818 Kater die Länge des Secundenpendels und die Gröfse zweier von Paris erhaltener Meter untersuchte [1]. Zwei Mikroskope von etwa 20maliger Vergröfserung an ein Brett von trocknem Mahagoniholz von etwa 4 F. Länge, bei 5 Z. Breite, und 3 Z. Dicke, in der gehörigen Entfernung festgeschraubt; sie trugen sich schräg durchkreuzende Spinnefäden in ihrem Brennpuncte, und der Kopf der Mikrometerschraube, durch welche diese verschoben wurden, war in 100 Theile getheilt. Versuche durch directe Ausmessung, auf einer in Zehntelzolle eingetheilten Scale, gaben 233,63 Umläufe auf den Zoll, so dafs also das Mikrometer $\frac{1}{23363}$ des Zolles, (etwa $\frac{1}{1800}$ einer Par. Linie) angab. Nachdem man durch gehörige Entfernung des Mikroskops vom Object jede optische Parallaxe beseitigt hatte, gaben verschiedene Einstellungen des Fadenkreuzes, auf eine unterlegte feine Linie, immer das nämliche Resultat, so dafs man gewifs war, die durchs Mikrometer angegebene Grenze der Genauigkeit zu erreichen. Endlich wurden die Gänge der Schraube untersucht, indem man die unter das Mikroskop gelegte Distanz zweier Linien (von etwa $\frac{1}{4}$ Lin.) mit 20 verschiedenen Stellen der Schraube mafs. Die Gröfse der Gänge war, wie dieses meistens der Fall ist, allerdings zunehmend, doch so, dafs auf etwa 50 Gänge die Ungleichheit nur $\frac{1}{100}$ eines Ganges betrug. Der zu vergleichenden Meter waren zwei; ein Mètre à bouts aus Eisen, und ein Mètre à traits aus Platin, beide mit dem Namen des Verfertigers Fortin. Das Erstere hielt 39,37076 engl. Zolle nach Shuckburgh's Scale gemessen, das Letztere 39,37081 bei 0° Wärme. Sechszehn Jahre früher hatte Prony die Länge des Mètre nach dem von Pictet gebrachten Etalon, das eine Copie desjenigen von Shuckburgh seyn sollte, zu 39,3827 Engl. Zollen bestimmt.

Den hier gelieferten Beschreibungen zufolge, scheint der engl. Comparateur mit zwei Mikroskopen, von denen das eine

---

1 Philos. Transact. for 1818. p. 49 u. 103. im Auszuge in d. Bibl. Univers. X. 1.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

einen *beweglichen* Faden mit möglichst feiner Mikrometerschraube enthalten mufs, das vorzüglichere Instrument zu seyn. Er ist auf beide Arten der Mafsbegrenzung, (mit Strichen oder durch Kanten) anwendbar, dahingegen der Fühlhebel nur bei der Letztern gebraucht werden kann. Sollte die Messung der Kanten, durchs Mikroskop, einige Schwierigkeit darbieten, so läfst sich diese leicht beseitigen, wenn man nach Kater ein eben so scharfkantiges Metallstück von gleicher Dicke an das Ende des Stabes andrückt, da dann die feine Fuge als ein Strich erscheint. Wesentlich ist beim Gebrauch dieses Instruments die Entfernung aller Parallaxe. Diese erreicht man dadurch, dafs man den Abstand des Objects vom Mikroskop so lange verändert, bis ein Punct desselben immer vom Faden bedeckt bleibt, wenn man auch das Auge vor dem Ocular hin und her bewegt. Wie man nach Prony mit einem einzigen Mikroskop die Distanz zweier Endstriche eines Mafses messen könne, ist wenigstens aus der gegebenen Beschreibung nicht deutlich zu ersehen [1]. *H.*

Compafs.

Boussole; *Pyxis nautica*, *Versorium;* Boussole; *Compafs.* Die horizontal schwebende Magnetnadel in einem Kästchen eingeschlossen, und mit einer Kreiseintheilung versehen. Er dient um die Abweichung irgend einer Richtung von derjenigen des magnetischen Meridians anzugeben, und ist durch diese Eigenschaft der unentbehrliche Wegweiser der Seefahrer, und ein bequemes Werkzeug für den Landmesser geworden.

Wann, und von wem der Compafs erfunden worden sey, ist unbekannt. Fauchet [2] führt einige Verse aus dem Roman von der Rose des Gujot de Provins an, eines Dichters, der im Jahre 1181 am Hoflager Kaiser Friedrichs I. zu Mainz sich befand, in welchem des Magnets, unter dem auffallenden Namen *Marinette*, „als eines häfslichen schwarzen Steines gedacht „wird, an den das Eisen sich gern anlege.“ Gemeiniglich legt

1 Die einfachste Einrichtung solcher mikrometrischen Mikroskope sehe man im Art. *Mikrometer*.

2 in s. antiquités: Origine de la langue et poésie française.

man die erste Erfindung dem Flavio Gioja, einem Neapolitaner zu, der ums Jahr 1302 lebte; wirklich soll sein Geburtsort einen Compaſs im Wappen führen. Er theilte seinen Compaſs in acht Striche. Gilbert jedoch behauptet, der Venetianer Marco Polo habe den Compaſs aus China gebracht; und wirklich bedienten sich früher die Venetianer der nämlichen Einrichtung, wie vordem die Chinesen, nämlich den Magnet auf einem Stück Kork schwimmen zu lassen. Nach Fournier [1] soll der Name *Calamita*, der sonst dem Magnet beigelegt wird, einen grünen Frosch bezeichnen, weil man schon im 12ten Jahrhundert den Magnet auf Kork oder Strohhalmen auf dem Wasser schwimmen lieſs. Die Chinesen theilen ihren Compaſs in 24, die Japaner in 12 Theile. Der Aufschwung, den die Schifffahrt gegen das Ende des sechszehnten Jahrhunderts erhielt, brachte auch diesem Gegenstande bedeutende Verbesserungen. Besonders trug dazu die Entdeckung der magnetischen Abweichung, und die, auf den Glauben an ihre Unveränderlichkeit gegründete Hoffnung, durch sie die Längen zur See zu finden, wesentlich bei [2]. Doch wurden schon damals, im 16ten Jahrhundert, die Compasse nicht blos nach *Strichen* oder *Rhumben*, sondern nach Graden und halben Graden eingetheilt, und mit Dioptern versehen; auch beobachtete man, gröſserer Genauigkeit wegen, zugleich mit mehreren Compassen [3]. Mehrere Nationen machen Anspruch auf die Ehre, an dieser wichtigen Entdeckung etwas gethan oder verbessert zu haben. Die Italiäner rühmen sich der Erfindung, die Engländer haben die schwebende Aufhängung des Seecompasses angegeben, von den Holländern kommen die bequemen Namen der Weltgegenden auf der Windrose her, und Franzosen wollen wenigstens die Lilie, welche man dem Nordstriche beisetzt, gegeben haben.

---

1 Hydrographie 2de Ed. p. 399.

2 S. *Abweichung*.

3 Siehe die Bemerkungen in dem Routier aux Indes Orientales, des Portugiesischen Piloten Alexis da Motta vom Jahr 1575, und in der Reise des General Beaulieu nach Ostindien, im Jahr 1620, der mit sechs Compassen beobachtete. Thevenot, Relation de divers voyages curieux, qui n'ont point été publiés. Paris. 1672. fol. Vol. II.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Einrichtung des Compasses.

Je nach den verschiedenen Anwendungen ist die äufsere Einrichtung des Compasses verschiedenen Veränderungen unterworfen. Man unterscheidet nämlich den Schiffscompafs, den Azimuthalcompafs, den Compafs der Ingenieure, und denjenigen der Bergleute. Bei allen ist *die Nadel* in ihrer Mitte mit einem Hütchen versehen, welches auf der Spitze eines aufrechten Stiftes, den man zuweilen den Gnomon heifst, schwebt. Die innere Höhlung dieses Hütchens ist meist konoidisch, um eine allzustarke Excentricität der Nadel zu verhindern; und der Unterstützungspunct kommt ein wenig über der Ebene der Nadel zu liegen. Einzig die Chinesen bringen die Nadel, die freilich meistens nur in einem Stück Stahldraht besteht, oberhalb des Hütchens an. Das Hütchen selbst ist entweder von hart- Fig.
geschlagenem Messing, oder von Achat. Die Erstern werden 52.
häufig von der Gnomonspitze zerkratzt, die Letztern stumpfen diese Spitze allmälig selbst ab: es ist daher nöthig, von Zeit zu Zeit den einen oder andern Theil nachzubessern, wenn die Empfindlichkeit des Instruments sich nicht verringern soll. Wie beim Ingenieurcompafs beides vermieden werden könne, wird unten gezeigt werden.

Der gewöhnliche *Schiffscompafs*, *Steuercompafs*, *binnack-compas* ist in einem viereckigen hölzernen Kasten eingeschlossen, der oben mit einem Glasdeckel versehen ist. Wegen der starken Schwingungen des Schiffes, ist es nöthig, die Nadel mit einem cylindrischen Gehäuse von Kupfer zu umgeben, das nach Art der Cardanischen Lampe, zwischen zwei Ringen, aufgehängt ist. Der äussere Ring bewegt Fig.
sich an den zwei, im Kasten befestigten Stiften, um die Axe 53.
A B; der innere, welcher den Compafs selbst umschliefst, um die winkelrechte Axe E D. Man hat auch sogenannte Sturmcompasse, bei welchen das cylindrische Gehäuse beträchtlich länger, und unten mit Blei beschwert ist, um langsamere Schwingungen zu machen. Bei allen Schiffscompassen ist die Nadel durch eine kreisförmige Papierscheibe bedeckt, welche die *Windrose* heifst. Damit diese nicht durch die Sonne, oder Fig.
Feuchtigkeit sich krümme, wird sie auf ein Stück Russisches 54.
Marienglas geklebt, das auch von der untern Seite mit Papier

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

belegt wird. Diese Windrose trägt am äuſsersten Rande die gewöhnliche Theilung von 360 Graden; innerhalb dieser aber, die durch fortgesetzte Halbirung des Kreisbogens entstandenen 32 Abtheilungen, oder Rhumben, Striche, deren jeder $11\frac{1}{4}$ Grade faſst, und die in der Anwendung oft auch noch halbirt werden. Sie werden durch bestimmte Zeichnungen und Benennungen unterschieden, welche aus den Namen der vier Hauptpuncte des Horizonts, Nord, Süd, Ost und West, zusammengesetzt werden. Dabei ist zu bemerken, daſs man immer von den Endpuncten des Meridians, von Nord und Süd ausgehend, nach Osten und Westen hinzählt. So heiſst der Rhumb, welcher zwischen Nord und Ost in der Mitte liegt (45° von Norden ab) Nordost[1]. (N. O.) Die Mitte zwischen diesem und Nord, ($22\frac{1}{2}$° von Nord) Nordnordost (N. N. O.); die folgende Halbirung ($11\frac{1}{4}$° von Nord) gibt Nord in Osten (N. i. O.); entsprechend heiſst der Winkel zwischen Ost und Nordost ($67\frac{1}{2}$° v. Nord) Ostnordost (O. N. O.) und der folgende ($78\frac{3}{4}$° von Norden abstehend) Ost in Norden (O. i. N.). Werden halbe Striche berücksichtigt, so fügt man, der angegebenen Bezeichnung nach, denjenigen Namen der vier Hauptgegenden bei, nach welchem jene hinweist; z. B. für den Rhumb von $50\frac{5}{8}$° sagt man Nordost zum Osten, halb Nord. (N. O. z. O. $\frac{1}{2}$ N.); für $34°\frac{3}{8}$ (O. z. N. $\frac{1}{2}$ N.); für $5\frac{1}{8}$ (N. $\frac{1}{2}$ O.). Dieser Anordnung gemäſs zählt und benennt man auch die Striche von Norden nach Westen, und ebenso von Süden nach Osten und Westen. In dem Gehäuse des Compasses ist auf der Seite vom Centrum zum Vordertheil des Schiffes hin, auf weiſsem Grunde, ein verticaler schwarzer Strich angebracht; und mit diesem hat der Steuermann beständig den ihm aufgegebnen Strich in Berührung zu halten. Man hat auch Compasse, an welchen der Boden des Gehäuses von Glas, und die Windrose unterhalb aufgeklebt ist; der Compaſs hängt an der Decke der Cajüte des Capitains, und zeigt diesem, ob richtig gesteuert wird.

---

1 Die unnöthige Einführung des Buchstabens O, oder Ou, für West im Französischen, und der Gebrauch des nämlichen Buchstabens O für Ost im Deutschen, kann selbst bei Aufzeichnung meteorologischer Beobachtungen Undeutlichkeiten veranlassen. Es wäre zu wünschen, daſs man sich über eine gleichartige Bezeichnung z. B. die Englische E. W. S. N. vereinigte.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ungleich sorgfältiger ist der *Azimuthalcompafs* aus- Fig. 55.
gerüstet. Er steht auf einem Stativ mit drei Füfsen; und ist ebenfalls zwischen zwei Ringen aufgehängt. Am obern Rande seines kupfernen Gehäuses sind zwei Absehen V V′ angebracht, mit welchen nach der Sonne visirt wird [1]. Die Nadel trägt keine Windrose, sondern einen möglichst leichten versilberten Kreis von Messing, der in einzelne Grade eingetheilt ist. Seitwärts bei d ist ein Drücker angebracht, mit welchem der Beobachter diesen Kreis feststellt, indem er den cylindrischen Streifen, der unten bei c in einem Gelenke geht, an denselben andrückt; eine Methode, welche ganz dazu gemacht ist, durch das Seitwärtsrutschen der nicht ganz leichten Nadel auf der Gnomonspitze die Schärfe der letztern abzuschleifen.

Unschädlicher, und doch zureichend möchte folgende Construction seyn: A a ist der Gnomonstift, der bis nach a genau Fig. 56.
cylindrisch, und glatt polirt ist. Er ist von der messingenen Hülse F umgeben, die durch ihr Gewicht beständig auf dem Hebel D E ruht, welcher durch den Pflock C gegen tieferes Sinken geschützt ist. Der Rand der untern Oeffnung des Hütchens H ist kugelförmig abgeschliffen, nach einem Radius, dessen Centrum im Berührungspunct mit der Gnomonspitze sich befinden würde. Von demselben Centrum ist auch die obere sphärische Fläche des Hütchens gebildet, so dafs dieses auch bei den stärksten Schwankungen niemals an den concaven, nach dem nämlichen Radius, geformten Wölbungen der nahen Stücke F und B anstofsen kann. Das Stück B läfst sich vermittelst des Schräubchens m in dem Cylinder M feststellen, welcher entweder in das durchbohrte Deckglas des Gehäuses festgeschraubt, oder besser noch, in einer oben über gehenden Querstange solid befestigt ist. Will man nun die Nadel abstellen, so bedarf es nur eines kurzen Druckes am Hebel D E, des unterhalb des Zapfens Z angebracht ist, um vermittelst der Hülse F das Hütchen H an die Schale von B festzudrücken. Die Grade ab-

---

1 Capt. Kater hat vorgeschlagen, statt des Fadens der einen Diopter einen cylindrischen Glasstreifen einzusetzen, von derjenigen Krümmung, dafs das Sonnenbild, auf der andern, als eine helle feine Focallinie sich entwerfe. Diese Diopter würde alsdann nur für Sonnenbeobachtungen taugen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zulesen, möchte auch bei dieser Gattung von Compassen die von Kater vorgeschlagne Methode die beste seyn, indem man vor der Oculardiopter einen um 45° geneigten Spiegel anbringt, und durch ein convexes Ocular die erforderliche Deutlichkeit bewirkt. Auch hat es keine Schwierigkeit, seitwärts bei N einen versilberten Kugelstreifen zu befestigen, durch dessen Mitte eine feine verticale Linie gezogen ist, und der, ohne den Gradbogen zu berühren, doch demselben so nahe gerückt ist, daſs bei einiger Sorgfalt keine Parallaxe entstehen kann. Bei S ist auswendig am Gehäuse ein Schieber angebracht, welcher den Hebel E D herabdrückt, um wenn der Compaſs nicht gebraucht wird, die Nadel von der Gnomonspitze abzuheben.

Der *Compaſs zum Aufnehmen*; (Boussole d'arpenteur; *Military compas*) unterscheidet sich von dem vorigen dadurch, daſs die Eintheilung nicht an der Nadel, sondern am Gehäuse befestigt ist. Ein feiner Strich an beibeiden Enden der Nadel schneidet die Grade ab. Diese Einrichtung findet auch bei einigen Theodolithen statt, an welchen die Boussole meist unnützer Weise angebracht ist, und die Anwendung stählerner Schrauben und Zapfen unzulässig macht. Der Compaſs ist ebenfalls mit Dioptern, oder einem Fernrohr versehen; das Gehäuse ist niedrig; die freie Aufhängung fällt weg; nur das Stativ bleibt. Die Eintheilung geht hier unabgebrochen von Nord über Osten von 0° bis 360° fort. Eine besondere Verbesserung hat hier der Compaſs durch die von Kater vorgeschlagene Einrichtung [1] erhalten, vermöge welcher der Beobachter das Object und die Eintheilung zugleich sieht, so daſs er des Statives, so wie des Gehülfen entrathen kann.

Bei allen diesen Compassen wird wegen der stärkern Erschütterung des Landtransportes die Nadel durch einen Hebel von der Spitze abgehalten, der, wenn man beobachten will, ausgelöst wird. Meistens fällt bei dieser Operation die Nadel mit einer Geschwindigkeit nieder, welche die Spitze abstumpft. Die innere Höhlung des Hütchens ist zur Vermeidung der Ek-

---

1 Statt des Spiegels und der Linse hat der Opticus Schmalkalder ein rechtwinklichtes dreiseitiges Prisma angebracht, dessen eine Kathetenfläche convex geschliffen ist. S. Fig. 57.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

centricität so enge, dafs eine nachtheilige Seitenreibung an der Spitze kaum zu vermeiden ist. Schon lange ist daher der Compafs als ein sehr unzuverlässiges Hülfsmittel zum Aufnehmen angesehen, und manche Unregelmäfsigkeit, die vielleicht von örtlichen Anziehungen, z. B. auf dem Schiffe von den nahen Eisenmassen [1] herrührte, mit vieler Wahrscheinlichkeit dem Instrumente selbst zugeschrieben worden. Durch folgende Construction wird diesen Mängeln abgeholfen.

AB ist eine Dose von reinem Messing oder Kupfer, V und V′ sind die beiden Dioptern, die erstere mit einem gläsernen Prisma P versehen. Beide lassen sich zur bequemern Einpackung niederklappen; die Oculardiopter V ist aufwärts verschiebbar, um das vergröfsernde Prisma so zu stellen, dafs man die Eintheilung auf dem getheilten Kreise deutlich sieht. In dem Boden der Dose ist der genau cylindrische, oben fein zugespitzte stählerne Gnomon G eingeschraubt. An ihm gleitet die messingne Hülse ohne Reibung oder Schlotterung auf und nieder. Sie ist oben konisch abgedreht, und hat noch einen horizontalen Ansatz, auf den das Hütchen H der Nadel genau sich aufpafst. Der durch eine Schlitze in der Seitenwand der Dose herausragende Hebel DE führt vermittelst des Stiftes s die Hülse am Gnomon auf und nieder: eine starke silberne Feder K drängt ihn beständig aufwärts, so dafs die Nadel immer ausgelöst ist. Während der Beobachtung drückt man bei E den Hebel sanft niederwärts, wodurch das Hütchen mit der Spitze in Berührung kommt. Die inwendige Fläche des Hütchens ist von glashartem Stahl, oder Achat, nur wenig concav, und auf das feinste polirt. Eine leise Bewegung des Fingers am Hebel bei E reicht hin, jeden Augenblick die Nadel in ihrem wahren Centrum aufzusetzen, wenn die Fläche des Hütchens auf der Spitze sich etwas verschoben haben sollte. Besonders vortheilhaft ist diese Einrichtung, um beim Beobachten die Nadel bald zur Ruhe zu bringen. Man darf nämlich nur in der Mitte einer Schwingung den Hebel loslassen, und dann sanft wieder niederdrücken, um kleinere, bald aufhörende Schwingungen der Nadel zu erhalten. Ein kleiner Schieber bei B dient, theils um den

Fig. 58. Fig. 57. Fig. 59. Fig. 60. Fig. 59 u. 60.

---

1 S. *Ablenkung*.

Hebel niederzuhalten, wenn man die Boussole auf eine feststehende Unterlage gesetzt hat, oder auch beim Transport denselben beständig aufwärts zu drücken. Das übrige ist, wie bei den meisten Schmalkalder'schen Boussolen. Die Visirlinie bildet mit der Richtung des Hebels einen rechten Winkel, und das Prisma befindet sich links vom Hebel, so dafs sein Ende E von der rechten Hand berührt werden kann.

Die Gradeintheilung ist nicht gezeichnet, sondern der Abdruck einer auf der Theilmaschine eingetheilten Kupferplatte; nicht zur Bequemlichkeit des Künstlers, sondern, weil die Striche feiner und gleicher werden. Der Abdruck ist auf starkem sogenannten Bristol-Papier gemacht, das vorher glacirt, d. h. mit stark gummirtem glänzendem Kreidegrund überzogen wurde, so dafs es beim Abdrucken nicht befeuchtet werden mufs, also auch, wie die Versuche gezeigt haben, nachher nicht im Mindesten sich verzieht. Die (verkehrt gezeichneten) Zahlen auf dem getheilten Kreise gehen von der Linken zur Rechten fort. Dafs auch hier jeder Bestandtheil der messingenen Boussole sorgfältig an einer empfindlichen Compafsnadel geprüft werden müsse, ist wohl kaum nöthig, zu erinnern.

Ein solcher Compafs, nur von drei Zollen Durchmesser, giebt einen Winkel bis auf etwa 5 bis 10 Minuten an. Für die Bestimmung der magnetischen Abweichung dürften die Dimensionen wohl aufs Doppelte getrieben, und wenn man will, statt der Dioptern ein Fernrohr angewendet werden. Dannzumal aber mufs man das Instrument auf ein Stativ setzen. Auch einem Beobachter zur See sollte diese vergröfserte Boussole [1] statt des gewöhnlichen Azimuthalcompasses gute Dienste leisten, indem er mit derselben diejenige Stelle auf dem Schiff aufsuchen könnte, welche den Störungen des Schiffeisens am wenigsten ausgesetzt wäre. Nach Capt. Claverings Versuchen auf dem Schiffe Griper [2] hat zwar ein Compafs, im Mastkorbe aufgestellt, noch Fehler, die bis auf 18 Grade gingen; allein es möchte

---

1 Begreiflich mufs für diesen Zweck die Höhlung des Hütchens nicht so flach seyn, wie für den Gebrauch auf dem Lande; doch immer bedeutend weniger concav, als bei den bisherigen Boussolen.

2 Vergl. *Ablenkung*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wohl eine Stelle in mittlerer Höhe, z. B. in den Wandtauen, von örtlichen Anziehungen noch entfernter seyn.

Um die Ingenieur-Boussole zum *Repetiren* einzurichten, bedarf es nur einer beweglichen Diopter, welche zwischen einem, im magnetischen Nord befindlichen Gegenstand, und dem Object, dessen magnetisches Azimuth man bestimmen will, hin- und hergedreht wird. Man bringt zu diesem Ende eine zweite ekcentrische Diopter unterwärts an der Dose an, welche um ein Centrum sich dreht, und mit der obern Diopter übereingestellt werden kann; oder man macht diese obere Diopter selbst beweglich, indem man auf dem über dem Deckglase eingestrengten Ring einen durchbrochenen Steg befestigt, und in dessen Mitte die Centrumbewegung anbringt. Man richtet nun den Compafs und seine Dioptern so, dafs er genau auf Null zeigt, und jene nach dem magnetischen Nord gerichtet sind, und bemerkt sich einen kenntlichen Gegenstand in dieser Richtung, oder pflanzt, in Ermangelung desselben, einen weifsen Stab in hinreichender Entfernung daselbst auf. Nun dreht man die ganze Boussole, mit unverrückter Diopter, nach der rechten Hand um, bis man den zu bestimmenden Gegenstand in der beweglichen Diopter erblickt. Sobald man den Faden auf das Object eingestellt hat, führt man bei unverrückter Boussole die bewegliche Diopter auf die Marke zur Linken im Norden zurück. Mit diesen Wechselbewegungen wird nach Belieben fortgefahren, wobei man nur im Sinne behalten mufs, dafs bei der Drehung *zur Rechten die ganze Boussole*, und wenn man *links* dreht, nur die *bewegliche Diopter allein*, bewegt werden müsse. Nach der letzten Beobachtung rechts, liest man durchs Prisma, oder bei der gewöhnlichen Boussole durch eine bei der Oculardiopter angebrachte Loupe die Grade und Zehntelgrade der Eintheilung ab, und dividirt sie durch die Zahl der auf den Gegenstand gemachten Beobachtungen. Da man die Stellung der Compafsnadel nur bei der ersten und letzten Beobachtung in Acht zu nehmen hat, so geht die Operation sehr schnell von statten. Dafs hierbei das Instrument auf einem Stativ sich befinden müsse, bedarf keiner Erinnerung. Diese Boussole eignet sich vorzüglich zur Bestimmung der magnetischen Abweichung auf Landreisen, indem man entweder auf einen Gegenstand visirt, dessen astronomisches Azimuth man auf anderm Wege aus-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gemittelt hat, oder auch wohl mit Zuziehung der wahren Zeit das magnetische Azimuth der Sonne selbst beobachtet. Bringt man (nach Katers Vorschlage) statt des Prisma eine Loupe mit geneigtem Spiegel an, so läſst sich auch eine Art Fernrohr mit diesem Apparat verbinden.

Der Compaſs der Bergleute, der *Markscheidercompaſs* unterscheidet sich, von dem bisher angeführten, einzig dadurch, daſs er nicht in Striche oder Grade, sondern in *Stunden* eingetheilt ist; man zählt nämlich von Norden nach Süden zwölf Stunden, und eben diese Eintheilung kehrt von Süden nach Norden zurück; nur in Ungarn soll man nach Delius [1] bis vier und zwanzig zählen, so daſs dort 13, 14 u. s. w. zu stehen kommt, wo wir 1, 2 u. s. w. setzen. Jede dieser Stunden wird noch in acht Theile getheilt, von denen man noch Dritttheile zu schätzen sucht. Eine Stunde beträgt mithin 15 Grade, und jeder Theil 1° 52′,5. Die Schweden theilen ihre Grubencompasse in gewöhnliche Grade ein, die sie von den Endpuncten des Meridians nach Ost und West bis auf 90° zählen; ähnlich dem Schiffscompaſs [2].

Weil die Abweichung der Magnetnadel in vielen Gegenden der Erde noch nicht genau bestimmt ist, ihre Kraft in einigen nördlichen Regionen fast verschwindet und dann auch Barlow's Platte ihre Wirkung versagt, so hat man neuerdings einen Compaſs erfunden, bei welchen die Richtung der Magnetnadel durch unveränderliche Erscheinungen am Himmel controlirt wird, und einen solchem 1824 der Nordpolexpedition zur Probe mitgegeben. George Graydon, der Erfinder desselben, nennt ihn *Celestial Compass, adaptet for ascertaining the Deviation of Magnetic Needle, by simple Inspection, in any Part of the World; for finding the Latitude when the Horizon is obscured; and for steering Ships without Magnetic Aid* [3]. Die allerdings etwas complicirte Construction dieses interessanten Apparates ist folgende: AB ist ein Zifferblatt, auf eine hohle metallene Halbkugel C geschroben, welche auf zwei

Fig. 61.

---

1 Casp. Trg. Delius Anleitung zur Bergbaukunst. Wien, 1806. 4.

2 S. Lempe's Markscheidekunst. 1782. 8. pag. 94.

3 Phil. Mag. LXV. p. 358. Es wird hier angegeben, daſs diese Compasse bei Warre and Brothers, 13, Austin Friars zu haben sind.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Axen c, c in dem metallenen Ringe DD ruhet. Letzterer ist gleichfalls auf den Axen d, d beweglich, welche durch die Träger E, E getragen werden, deren Füfse auf der metallenen Platte F G festgeschroben sind, und diese ist wieder um eine Axe im Mittelpuncte des Standbrettes H I beweglich. Die bewegliche Platte F G zeigt die Cardinalpuncte, und ist aufserdem am äufsern Rande in Grade getheilt, auch bei I mit einem auf dem Standbrette festsitzenden Nonius versehen. An den Zapfen c und c hängt vermittelst zweier gespaltener Arme, deren einer M sichtbar ist, die schwere Metallplatte K L beträchtlich unter dem Schwerpuncte des halbkugelförmigen Gefäfses C, so dafs dieses, und namentlich das Zifferblatt desselben, stets in horizontaler Lage erhalten wird. Auf diese Platte ist der Arm K vertical aufgeschraubt, mit einem Nonius k an seinem oberen Ende, vermittelst dessen sich Theile der Grade des getheilten Quadranten g h an dem Gefäfse C ablesen lassen, wenn dasselbe vermittelst der Mikrometerschraube n, welche in einen Schraubengang eingreift, in die Höhe geschroben wird. In einem Rahmen, an der unteren Fläche der Platte K L, befinden sich zwei Planspiegel m m, welche einen ausspringenden Winkel mit einander bilden, und dazu dienen, um das Instrument horizontal zu stellen, indem die Bilder von zwei im Horizonte befindlichen Gegenständen durch die Reflection in eine horizontale Ebene, oder in eine mit den Rändern der Spiegel parallele Linie fallen müssen; die horizontale Lage der Platte K L wird aber durch das Anziehen oder Lösen der Schrauben an den Axen bewirkt, auf welchen das halbkugelförmige Gefäfs im Ringe D aufgehangen ist. Letzteres hat aufserdem ein Gegengewicht im Innern, vermöge dessen der Schwerpunct desselben sehr nahe in den Mittelpunct der Kugel fällt, wovon es einen Theil ausmacht, und wird aufserdem durch die Kugel Z so balancirt, dafs eine Bewegung um die Zapfen c c seinen Schwerpunct nicht merklich verrückt.

Will man mit diesem Compafs die Abweichung der Magnetnadel finden, so läfst man das gerade Sonnenlicht entweder durch die Kreuzfäden oder durch eine Linse im Brettchen O gegen die mit einem Kreuze versehene elfenbeinerne Fläche P fallen, und indem der Schatten der Kreuzfäden oder der Brennpunct der Linse auf den Durchschnittspunct der beiden Linien

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

auf der elfenbeinernen Fläche P fallen muſs, so wird die Richtung hierdurch angegeben. Das Zifferblatt auf C ist nämlich in 24 Stunden oder 360 Grade getheilt und mit einem Stunden- oder Index-Arme E versehen, dessen eines Ende als Nonius getheilt ist, um die Grade auf dem Zifferblatte abzulesen. Im Centro des Zifferblattes ruhet der Rahmen P auf einer Säule, und trägt die elfenbeinerne Platte q mit Kreuzschnitten oder Kreuzfäden, am Ende auf dem Index-Arme E aber ist die Säule o errichtet, in welcher die Stange s verschiebbar ist, welche den erwähnten Rahmen O trägt, und nach den Tangenten der Winkel getheilt ist, welche der Durchschnittspunct der Fäden im Rahmen O bei seiner Erhebung oder Herabdrückung mit dem Intersectionspuncte der Kreuzfäden auf der Scheibe q bildet, zu deren feinerer Ablesung ein Nonius auf der Auſsenseite der Säule o bei v und die Mikrometerschraube t dient. Für die Sanftheit bei dieser Bewegung ist durch eine Klemmschraube gesorgt. Denkt man sich das Instrument auf dem Schiffe so festgeschroben, daſs die Linie I H mit dem Kiele des Schiffes parallel läuft, und wird dann der Bogen g h so weit erhoben, daſs seine Grade der Polhöhe gleich sind, so liegt die Fläche des Zifferblattes in der Ebene des Aequators. Man stellt dann den Index-Arm auf wahre Sonnenzeit, erhebt den Stab s zur Tangente der Sonnenhöhe für diese Zeit, und drehet die Platte F G so lange, bis der Schatten der Kreuzfäden von O aus den Durchschnittspunct der Kreuzfäden in p fällt; so ist die Linie F G und der Zeiger A im astronomischen Meridian, und die Magnetnadel zeigt ihre Abweichung so wie der Nonius bei I die Richtung des Schiffes.

Man kann ferner den Index-Arm E mit einem Uhrwerke versehen, welches denselben in 24 Stunden einmal um seine Axe drehet, und wenn dann der Nonius I auf diejenigen Grade gestellt wird, welche der Richtung des Schiffes correspondiren, so darf der Steuermann das Schiff nur so richten, daſs der Schatten der Kreuzfäden auf den Durchschnittspunct der Linien auf q fällt. Statt der elfenbeinernen Platte kann in diesem Falle auch eine matte Glasscheibe genommen werden, wenn der Steuermann hinter derselben das Bild sehen will. Dieser Gebrauch des Instrumentes ist vorzüglich in den nördlichen Gegenden zu empfehlen, wo die Sonne nicht untergeht. Daſs man bei genauer Kenntniſs der Abweichung der Magnetnadel vermittelst

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dieses Instrumentes die Polhöhe und auch die wahre Zeit finden könne, ergiebt sich von selbst.

Bei allen genauern Compassen, namentlich bei denen, die zur Messung der magnetischen Abweichungen bestimmt sind, ist es wesentlich, sich zu überzeugen, ob die magnetische Axe der Nadel mit der, durch ihre Mitte gezogenen, Linie (ihrer geometrischen Axe) zusammenfalle. Dieses erfährt man dadurch, dafs man die Nadel so umkehrt, dafs ihre obere Fläche nach unten zu liegen kommt. Ist die Richtung ihrer Kanten, oder diejenige der auf ihr gezogenen Längenstriche in beiden Lagen die nämliche, so hat die Nadel keinen Collimationsfehler. Wäre dieses nicht der Fall, so müssen entweder jene Striche geändert, oder alle Angaben des Compasses um den halben Unterschied der beiden Richtungen verbessert werden. Ist die Boussole zum Reguliren eingerichtet, so suche man das Vielfache eines magnetischen Azimuths in beiderlei Lagen der Nadel; die Differenz der beiden Angaben giebt das Vielfache des Collimationsfehlers, mithin diesen selbst mit grofser Genauigkeit. Wo diese Einrichtung fehlt, kann nach Gerling [1] folgendes Verfahren angewandt werden: Man legt den Compafs auf ein Brettchen, das mit Dioptern versehen ist, und in horizontaler Richtung umgedreht werden kann, giebt ihm die Lage, dafs die Nadel auf den Nullpunct der Theilung weist, und bemerkt durch die Diopter einen kenntlichen Gegenstand. Dreht man nun das Brettchen auf ein Object zur Rechten, so giebt die Magnetnadel desselben magnetisches Azimuth an. Die Diopter des Brettchens wird sodann wieder auf den ersten Gegenstand zurückgeführt, die Boussole selbst aber so viel links gedreht, dafs die Nadel auf die eben abgelesene Stelle der Theilung weise. Bewegt man das Brettchen auf den zweiten Gegenstand, so zeigt die Nadel die doppelten Winkel. Indem man auf diese Weise in der ersten Visirlinie die Nadel immer auf den zuvor abgelesenen Punct der Eintheilung einstellt, erhält man das Vielfache des magnetischen Azimuths mit ziemlicher Genauigkeit, und durch die Beobachtung mit der umgewendeten Nadel auch das Vielfache

1 In den Schriften der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg. 1823. 8. I. pag. 17.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

des Collimationsfehlers. Am besten ist es, wenn der Künstler selbst die Berichtigung übernimmt, welche er durch Prüfung seiner Compasse nach einem Gegenstand, dessen magnetisches Azimuth er genau bestimmt hat, mit Berücksichtigung der stündlichen Aenderungen der Abweichung leicht bewerkstelligen kann.

Noch haben wir von den Compafsnadeln selbst, ihrer besten Gestalt und Härtung zu sprechen. Der Mangel an bestimmten und genauen Versuchen hatte früher, und selbst auch in den neuesten Zeiten sehr verschiedene Gestalten hervorgebracht, und beinahe scheint es, als wenn eine der ältesten Formen heut zu Tage den Uebrigen vorgezogen werden sollte. Man hatte nämlich zwei Stücke Stahldraht in der Mitte unter einem stumpfen Winkel gebogen, während dem ihre Enden vereinigt, einen spitzen Winkel bildeten, und die Form eines Rhombus darstellten; welche, wie wir sogleich sehen werden, verschiedene Vorzüge zu haben scheint [1]. Späterhin verfiel man auf die Idee, die Nadeln an ihren Enden schwer und dick, und nach der Mitte hin abnehmend zu machen; eine Gestalt, welche in den neuesten Zeiten abermals empfohlen ist [2]. Der um die Verfertigung künstlicher Magnete besonders verdiente Dr. Knight führte hierauf die einfache Gestalt flacher Parallelepipeden von geringer Breite und Dicke ein, welche sich auch jetzt noch als sehr brauchbar bewähren. Einige haben es vorgezogen, die Nadel in die hohe Kante zu legen, vielleicht in der Meinung, durch eine gröfsere Seitenfläche die Richtungskraft der Nadel zu vermehren, oder auch um die magnetische Axe derselben der geometrischen näher zu bringen. So schwankt man noch bis jetzt zwischen entgegengesetzten Einrichtungen hin und her, indem die einen durch die Leichtigkeit der Nadel ihre Reibung zu vermindern, die andern durch die Schwere derselben das magnetische Moment zu verstärken glauben. Die wenigen Grundsätze, die wir über die Gestalt und Härtung der Compafsnadeln besitzen, verdanken wir Coulomb, der mit Hülfe

---

1 Schon Fournier i. J. 1679 empfiehlt diese Form einer in der Mitte durchbrochenen Raute, an der die beiden stumpfwinklichten Ecken durch einen messingenen Steg verbunden sind.

2 Phil. Trans. 1819. p. 96.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

seiner Drehwage [1] viele und zweckmäfsige Versuche hierüber anstellte. Es ergiebt sich aus denselben:

1. Wenn die Nadeln, die vierzig bis funfzigfache Länge ihres Durchmessers haben, so nehmen die Momente der dirigirenden Kraft im Verhältnifs des Wachsthums der Längen zu. Sind sie *unter* der angegebenen Länge, so verhalten sich die dirigirenden Momente nahe, wie die Quadrate der Längen.

2. In zwei Nadeln von einerlei Natur, deren Dimensionen homolog sind, verhalten sich die dirigirenden Momente, wie die Cubi der homologen Dimensionen. So sind z. B. die Dimensionen einer Nadel von 1 Linie Durchmesser bei 6 Zoll Länge, und einer andern von 2 Linien Durchmesser und 12 Zoll Länge im Verhältnifs von 1 : 2; ihre magnetischen Momente aber sind wie 1 : 8.

3. In einem Parallelogramm von gleicher Länge und Dikke, aber doppelt so grofser Breite ist das magnetische Moment nicht doppelt so grofs.

4. Ein rautenförmig geschnittenes Stahlblech hatte ein gröfseres magnetisches Moment, als ein Rectangel von gleichem Gewicht, Länge und Dicke.

Diese Sätze erleiden jedoch eine besondere Modification, durch die *Reibung*, welche bei den Compafsnadeln an der Spitze des Gnomons statt findet. Auch hierüber hat Coulomb Versuche angestellt. Er fand, dafs bei sehr scharfen Spitzen und hartem, wohlpolirtem Hütchen die Reibung so ziemlich der Potenz $\frac{2}{3}$ des Gewichts [2] proportional war; dafs sie aber bei den gewönlichen, mehr oder weniger abgestumpften Spitzen im geraden Verhältnifs der Beschwerung zunahm. Es ist also nach Nr. 1. vortheilhaft, die Nadel nicht breiter, als etwa $\frac{1}{30}$ oder $\frac{1}{40}$ ihrer Länge zu machen z. B. 1 Linie auf 3 Zolle. Immerhin wird unter übrigens gleichen Umständen, eine längere Nadel ein gröfseres magnetisches Moment haben, besonders wenn

---

1 Vergl. *Drehwage.*

2 Coulomb schreibt (nach Biot Précis. de Phys. II. p. 75.) $\frac{3}{2}$ Potenz; das gäbe für doppelten Druck eine dreifache; für dreifachen Druck eine fünffache Reibung, statt dafs sie im erstern Fall um die Hälfte, im zweiten etwa um ein Theil zunimmt. Eine ähnliche Umkehrung des Ausdrucks rügt auch Ide. (System der Mechanik I. p. 294.)

man damit die oben beschriebene feinere Einstellung der Nadel verbindet, und die Länge nicht so grofs wird, dafs sich mehrere Pole in der Nadel bilden. Nur bei so harten und feinen Gnomonspitzen, und flachen, wohlpolirten, harten Hütchen, wie sie dort vorausgesetzt werden, läfst sich durch allgemeine Vergröfserung der Nadel etwas gewinnen, indem, nach Nr. 2. die magnetischen Momente gleichförmig gestalteter Nadeln mit ihrer Schwere gleichen Schritt halten.

Dafs dicke Nadeln weniger vortheilhaft sind, zeigt Biot[1] auf folgende Weise. „Wenn man, sagt er, auf eine dünne Nadel eine zweite von der nämlichen Gestalt und Gröfse auflegt, so wird die Schwere, mithin (bei Compassen von der gewöhnlichen Einrichtung) auch die Reibung verdoppelt; allein die Richtungskraft der zusammengesetzten Nadel nimmt nicht in eben dem Mafse zu, indem Theorie und Erfahrung zeigen, dafs durch die Gegenwirkung gleichnamiger Pole ein Theil ihres freien Magnetismus zerstört wird.“ Schwerlich wird eine einzige dicke Nadel so viel magnetische Kraft in sich aufnehmen, als zwei vereinte Nadeln von halber Dicke. Es ist also vortheilhafter bei Boussolen, Nadeln von geringer Dicke anzuwenden. Jene störende Gegenwirkung wird jedoch geringer, wenn man die Nadeln um einige Linien von einander entfernt, und ihre vereinte Kraft ist in diesem Fall der Summe ihrer einzelnen dirigirenden Kräfte nahe gleich; und so könnte diese Verbindung zweier dünner Nadeln allerdings einige Vortheile gewähren. Ganz neulich hat Pullmann in Woolwich einen Compafs mit drei parallelen Nadeln angegeben. Solche parallele Nadeln waren schon früher in Dänemark versucht worden, zur Zeit, als man befürchtete, das Durchbohren der Nadel möchte ihren Magnetismus schwächen. Die Bemerkung in Nr. 4. spricht ziemlich entscheidend für die rautenförmige Gestalt der Nadeln. Die eben berührte Reaction nahe liegender, gleichnamiger Magnetismen scheint diese Meinung zu unterstützen. Der Träger an einem Hufeisenmagnet trägt eben so gut, wenn er nur mit seiner scharfen Kante, als wenn er mit der ganzen Fläche den Magnet berührt. Eben dieser gegenseitigen Abstofsung wegen läfst man auch die Enden der aus Stäben zusammengesetzten

1 Precis élém. II. 77.

Magnetbündel treppenweise abnehmen, und nur einen einzigen Stab hervorragen.

Ueber die *Härtung* der Nadeln ist man noch mehr im Dunkeln, als über ihre Gestalt. Muschenbroek entschied nach seinen Versuchen für die Federhärte, welche beim Anlassen des Stahls sich durch die blaue Farbe ankündigt. Die französischen Physiker verwarfen diese ganz, und behaupteten, der glasharte, unangelassene Stahl nehme den meisten Magnetismus auf, und viele englische Künstler scheinen ebenfalls dieser Meinung zu seyn. Die Wahrheit scheint auch hier in der Mitte zu liegen. Coulomb fand, 1. dafs bei Stahlblechen der Zustand der starresten Härtung derjenige sey, in welchem sie den Magnetismus am wenigsten annehmen; 2. dafs dieser Grad des Magnetismus beinahe einerlei sey mit dem, wenn die Nadel bis zur weifsgelben Farbe angelassen ist. 3. dafs von dem Zustand der starresten Härtung der Magnetismus der Bleche zunimmt durch alle Grade des Anlassens, bis zum ganz dunkeln Roth. 4. dafs der Magnetismus hernach wieder abnimmt, je gröfser die Hitze ist, bei der der Stahl angelassen wird. Mit diesen Sätzen stimmt die Beobachtung eines in diesem Fache wohlbewanderten Physikers entscheidend überein [1]. Hansteen liefs zwei vollkommen gleiche Stahlcylinder, von $3\frac{1}{2}$ Zoll Länge, und 1 Linie Dicke mit einander härten, und den einen bis zur strohgelben Farbe anlaufen. Ihre magnetische Kraft prüfte er durch die Zahl von Secunden, in welcher jeder 100 Schwingungen vollendete. Es fand sich, dafs der harte Cylinder zu 100 Schwingungen 345, der gelbe nur 289 Secunden gebrauchte; die Intensität des erstern verhält sich also zu der des letztern, wie 1 zu 1,438, oder beinahe wie 1 zu $1\frac{1}{2}$. Vier andere Cylinder, die nach dem Härten in Leinöl gekocht wurden, vollendeten 100 Schwingungen in 250 Secunden; und zwar hatte die Dauer des Kochens keinen sichtbaren Einflufs auf ihre Empfänglichkeit für den Magnetismus, indem der eine nur 5, die andern 10, 15 und 20 Minuten lang gekocht wurden. Als sie, mit Seife bestrichen, bis zum Weifsglühen erhitzt, und in einer mit Oel übergossenen Salmiakauflösung von + 7° R. Wärme ab-

1 Poggendorfs Annalen. III. 236.

gekühlt wurden, brachten sie es (auch bis zur Sättigung magnetisirt) doch nicht unter 308 Secunden. Würden sie nach dem Glühen erst in geschmolzenem Blei, und nachher in Wasser von + 10° R. Wärme abgelöscht, so stieg jene Zahl bis 376, und nach 8 Tagen auf 412 Secunden, woraus erhellet, dafs sie allzuwenig Härte besafsen, um einen dauerhaften Magnetismus anzunehmen; die Intensität war im letztern Fall beinahe dreimal geringer, als bei der Ablöschung in kochendem Leinöl. Zugleich ergiebt sich aus diesen, und einigen spätern Versuchen, dafs Nadeln, die nicht aufs strengste gehärtet sind, ihre Kraft allmälig verlieren, indem z. B. jene vier Nadeln binnen Jahresfrist ihre Schwingungszeit von 250 Secunden auf 267, also ihre Intensität um $\frac{1}{10}$ veränderten. Es wäre jedoch, wie Hansteen bemerkt, wohl möglich, dafs diese Abnahme sich allmälig einer bestimmten Gränze näherte.

Aus dem Bisherigen ergeben sich für die vortheilhafteste Construction der Compafsnadeln folgende Erfahrungssätze:

1. Die Breite der Nadel mufs etwa $\frac{1}{40}$ ihrer Länge betragen. 2. Ihre Dicke mag etwa $\frac{1}{4}$ ihrer Breite halten. 3. Sie soll nach den Enden spitz auslaufen. 4. sie soll vollkommen gehärtet, und bis zur strohgelben Farbe angelassen, oder besser noch, aus der Weifsglühhitze in siedendem Leinöl abgelöscht werden. Einige Künstler begnügen sich, die Nadel glashart zu machen, und sie dann in der Mitte, welche des Hütchens wegen gemeiniglich etwas breiter ist, bis zur blauen Farbe anzulassen. Die beste Art, die Nadel zu magnetisiren, wird im Art. *Magnet* mitgetheilt werden. Nicht zu vergessen ist, dafs in Folge der magnetischen Neigung auf der Nordhälfte der Erdkugel das Nordende, auf der südlichen das Südende schwerer ist. Man mufs daher jede Nadel mit einem kleinen messingenen Laufgewichte beschweren, das längs derselben verschoben werden kann. Bei Compassen, die keine bedeutende Ortsveränderung erfahren, genügt es, durch ein Paar Tropfen Siegellack das Gleichgewicht herzustellen.

Vor einigen Jahren wurde viel Aufhebens von einer angeblichen Methode gemacht, die Magnetnadel gegen die Einflüsse eisenhaltiger Gebirgsmassen, oder auch des Eisenwerkes in den Schiffen zu verwahren. Ein Venetianischer Ingenieur, Scaramella, glaubte im J. 1815 dieses durch eine runde Dose von

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

weichem Eisen bewerkstelligt zu haben, in welche er die Magnetnadel einschloſs. Er theilte seine Erfindung dem Nationalinstitut in Mailand mit, welches dieselbe durch drei Astronomen der Sternwarte prüfen lieſs. Sie gebrauchten hierzu einen starken Magnet, der sein sechszehenfaches Gewicht trug: er zog die Dose an, aber nicht die Nadel. Daſs das weiche Eisen, als ein Conductor der magnetischen Flüssigkeit, eine magnetische Localwirkung zerstreuen könne, indem es sie auf seiner ganzen Oberfläche verbreitet, leidet keinen Zweifel. Aber immerhin werden auch verschiedene Intensitäten und Polaritäten sich zeigen, und selbst im gewöhnlichen Zustande, ohne Einwirkung eines Magnetes, wird durch die Wirkung des Erdmagnetismus [1] die nach Norden gekehrte Seite dieser eisernen Boussole einen nördlichen, die südliche einen südlichen Magnetismus erhalten, so daſs, auch angenommen, daſs in der Masse, Rundung und Reinheit der eisernen Dose, keine Ungleichheit statt finde, dennoch wenigstens die Intensität der Nadel durch diese Einrichtung geschwächt werden müſste. Wirklich haben die Versuche, welche zu München in der Werkstätte von Utzschneider, und zu Copenhagen mit solchen Dosen gemacht wurden, keine genügende Resultate gegeben. Aehnliche Urtheile sind auch seither über die sogenannten *Insulating compasses* des englischen Künstlers Jennings ergangen [2]. *H.*

Compensation.

Ein Wort, das in den meisten Europäischen Sprachen aufgenommen ist, und eine Vorrichtung bezeichnet, durch welche man den Ausdehnungen, die alle Körper durch die Wärme erleiden, entgegenwirkt. Einige Schriftsteller nennen auch in der Optik *achromatische Compensation*, die Wegschaffung der Farben des Crownglases durch das Flintglas. Vorzüglich aber gehört dieser Gegenstand der in den neuern Zeiten so sehr vervollkommneten Uhrmacherkunst an, und bezeichnet in derselben eine am Uhr-Pendel, und eben so an der Unruhe der Taschenuhren angebrachte Vorrichtung, um die durch die Wirkung der Ausdehnung gestörte Gleichheit der

---

1 S. *Ablenkung*.

2 Vergl. v. Zach's Corresp. Astron. II. 580. III. 177.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dauer der Schwingungen (*den Isochronismus*) wieder herzustellen.

Theorie und Erfahrung lehren, dafs ein Pendel desto langsamer schwingt, je länger es ist, und umgekehrt [1]. Durch die Wärme wird die Pendelstange, von welcher Substanz sie auch seyn mag, verlängert, und die Uhr geht langsamer. Denn, wenn jede Schwingung auch nur um 0,001 einer Secunde länger dauerte, als vorher, so wird die Uhr doch in 24 Stunden, um nahe $1\frac{1}{2}$ Minuten zurückbleiben. Ein Hunderttheil einer Pariser Linie, Aenderung der Pendellänge, entspricht sehr nahe einer Secunde Aenderung des Ganges, und da das Eisen für 10° Réaum. um $\frac{0,00117}{8} = 0,000146$ sich ausdehnt, so wird eine Pendelstange von 440,5 Lin. für eben diese Erwärmung um 0,064 Linien sich verlängern, so dafs diese Uhr in 24 Stunden etwa $6\frac{1}{2}$ Secunden verliert: ist die Pendelstange von Messing, so wird die Verspätung $\frac{5}{3}$ mehr, oder $10\frac{1}{2}$ Secunden betragen. Da wegen der ungleichen Ausdehnung der Instrumente, Zitterungen der Luft, Erzeugung von Wasserdunst etc., die Sternwarten nicht geheizt werden dürfen, so sind gerade diejenigen Uhren, bei welchen es auf gleichförmigen Gang am meisten ankommt, diesem Wechsel der Temperatur, der in kalten Klimaten vom Sommer zum Winter leicht 40 bis 50 Grade betragen kann, mehr ausgesetzt, als die in Wohnzimmern stehenden gewöhnlichen Uhren. Es war also ein unausweichliches Bedürfnifs der neuern praktischen Astronomie, ein Mittel zu finden, wie man dieser Verlängerung der Pendelstange entgegenwirken, und das Centrum der Linse immer in einerlei Entfernung vom Aufhängepunct erhalten könne.

Der Erste, der mit diesem Gegenstande sich beschäftigte, war der Uhrmacher Graham, im Jahr 1715 [2]; er hatte die glückliche Idee, nicht etwa einen Körper von geringer oder gar keiner Ausdehnung zu suchen, sondern vielmehr die Ausdehnung des Eisens durch die noch stärkere eines andern Metalles

---

1 Vergl. *Pendel.*

2 The philos. transact. abridged by M. Reid and John Gray. Vol. VI. part. I. p. 277.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

unwirksam zu machen, und so durch Entgegensetzung zweier Fehler das Richtige zu erreichen; ein Verfahren, das, wo es nur immer anzuwenden ist, in praktischen Dingen die besten Dienste leistet, weil es uns leichter wird, Fehler durch Fehler aufzuheben, als etwas an sich Vollkommenes zuwege zu bringen. Dabei ist merkwürdig, dafs seine Methode der Compensirung nach einer Vernachlässigung von etwa 100 Jahren gerade jetzt wieder hervorgezogen, und mit gutem Erfolge benutzt worden ist. Graham ging von der Idee aus, die 20 Jahre später den durch seine Verbesserungen der Chronometer berühmten Harrison auf das Rostpendel brachte; nämlich durch ein Metall von stärkerer Ausdehnung die Verlängerung der eisernen Pendelstange aufzuheben. Bei näherer Untersuchung ergab sich ihm ein so geringer Unterschied der Ausdehnung bei den verschiedenen Metallen, dafs er die Sache als unthunlich aufgab.

Ein Nivellirinstrument, das bei ihm im Jahre 1721 bestellt wurde, veranlafste ihn unter andern, das Quecksilber für diesen Zweck zu probiren; und obwohl es sich dazu ganz untauglich erwies, so fiel ihm dabei die an einer so dichten Flüssigkeit ganz unerwartete grofse Ausdehnung durch die Wärme auf, und erweckte auch sogleich in ihm die Idee, sie für das Pendel zu benutzen. Beim ersten Versuche war die Quecksilbersäule zu lang, beim zweiten zu kurz, und erst im Juni 1722 erhielt er einen Glascylinder von passender Länge, der den Gang seiner Uhr, die er durch ein Passageninstrument prüfte, so verbesserte, dafs ihre Abweichung nur den sechsten oder achten Theil von den Fehlern einer an der nämlichen Wand aufgehängten, sonst gut gearbeiteten Uhr betrug. Im Juli 1723 versah er das Pendel einer andern Uhr mit einem inwendig gefirnifsten Cylinder aus Messing, vermuthlich um durch einen metallischen Wärmeleiter die Mittheilung der Temperatur an das Quecksilber zu beschleunigen.

Noch ehe Graham seine Erfindung öffentlich bekannt gemacht hatte, versuchte seinerseits Harrison, wohl ohne von jenen Vorschlägen etwas zu wissen, durch Zusammensetzung von Messing und Stahlstangen eine genügende Compensation zu bewirken. Sein Apparat heifst das *Rotspendel*, (Engl. *Gridiron Pendulum*) und ist seither fast allgemein bei genauern Uhren angebracht worden. Nachdem im Jahr 1754

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

durch Smeaton's Versuche die bedeutende Ausdehnung des Zinkes bekannt geworden war, verliefsen die englischen Künstler in den zwei letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts die mühsame Construction des Rostes aus Messingstäben, und brachten mit Hülfe des Zinks eine weit einfachere und solidere Compensation zuwege, welche jedoch erst in der neuesten Zeit durch Breguet in Frankreich bekannt geworden zu seyn scheint.

Im Jahre 1738 trat der durch genaue Versuche über die Ausdehnung der Metalle bekannte Uhrmacher John Ellicot mit einem Pendel auf [1], an welchem er die Compensation durch zwei Stangen von Stahl und Messing bewerkstelligte, deren relative Verlängerung durch ein angebrachtes Hebelwerk die Linse des Pendels höher hob. Aehnliche Vorrichtungen beschreibt Cassini [2], und giebt die Mafse für solche Hebelwerke mit angehängten Demonstrationen. Merkwürdig ist, dafs später Graham selbst Uhren mit Rostpendeln nach Harrison's Art verfertigte, an welchen die Stahl- und Messingdrähte verlängert werden konnten, um die Compensation zu berichtigen.

Inzwischen hatte Harrison die tragbaren Uhren zu gröfserer Vollkommenheit gebracht [3], und bei diesen die Compensation der Unruhe durch die Krümmung einer aus Stahl und Messing bestehenden Feder bewirkt. Diese Idee wurde in der neuesten Zeit, von einem Pariser Künstler, Martin, benutzt, um durch Hebung zweier, zu beiden Seiten des Pendels angebrachten Kugeln die Erhöhung des gemeinschaftlichen Schwerpunctes zu bewirken. Wir können dem Angeführten zufolge die Beschreibung der Compensationen auf vier verschiedene Constructionen bringen; nämlich 1. das Quecksilberpendel, 2. das Rostpendel, 3. das Pendel mit Hebelwerk, und 4. das Pendel mit thermometrischen Federn.

Fig. 62.

1. Das Quecksilberpendel

besteht aus einer eisernen Pendelstange a b von 2 bis 3 Linien Durchmesser, in welche von b bis s ein etwas feiner Schraubengang geschnitten ist. Dieser wird durch das obere Stück f g eines eisernen oder messingenen Rahmens f g o q gesteckt, der da, wo

1 Philos. transact. Vol. 47. Years. 1751. und 1752. p. 479.
2 Hist. de l'Acad. 1741.
3 Vergl. *Chronometer*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Schraube durchgeht, eine kleine Verstärkung erhalten hat. Seine Schenkel sind unten an einen messingenen Teller oder Ring o q festgenietet, welcher inwendig etwas eingesenkt ist, um den Glascylinder c c c c aufzunehmen. In diesen tritt oben ein messingener, gefirnister Deckel h i ein, dessen breiter Rand bei h und i eingeschnitten ist, um dort den Rahmen zu umfassen, wodurch der Deckel sowohl als der Glascylinder eine festere Stellung erhält. Bei e befindet sich eine eingetheilte mikrometrische Schraubenmutter, welche den Rahmen und das Gefäfs trägt, und den Gang der Uhr regulirt. Um das Gefäfs mit der Pendelstange desto fester zu verbinden, ist oberhalb bei d eine Gegenschraube angebracht.

Die Theorie dieses Pendels ist einfach. Da der Schwingungspunct p des Pendels sich nahe in der Mitte des Quecksilbercylinders, oder auf seiner halben Höhe befindet, so mufs dieser Punct um so viel erhoben werden, als die Verlängerung der eisernen Pendelstange und des ganzen Rahmens beträgt: mithin mufs der *ganze* Quecksilber-Cylinder so hoch seyn, dafs seine Ausdehnung das Doppelte jener Verlängerung ausmacht, oder, wenn l die Länge des eisernen Pendels, e die specifische Ausdehnung des Eisens, q den halben Quecksilbercylinder, und m die Ausdehnung des letztern Metalles bezeichnet, so mufs $l e = q m$ seyn. Man erhält hieraus $m : e = l : q$; d. h. für gleiche absolute Verlängerungen verhalten sich die Längen der Körper selbst umgekehrt, wie ihre specifischen Ausdehnungen. Nun aber ist die ganze Länge des wirklichen Pendels $= l + q$; und so hat man $m : e = l + q : q$, oder $m - e : e = l + q - q : q$; daraus $q = \frac{e\,l}{m - e}$. Setzen wir [1] für Eisen den Werth e im Mittel $= 117$ und für Quecksilber mit Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases $m = 1750$ Hunderttausendtel der Länge, oder $m : e = 15 : 1$, so ist $\frac{e}{m - e} = \frac{1}{14}$; und daraus wenn man $l = 36{,}7$ Par. Zolle annimmt, $q = \frac{1}{14}\, l = 2{,}62$; mithin erfordert dieses eine Quecksilbersäule von 5,24 Zollen

---

1 S. *Ausdehnung*. Th. I. p. 582 u. 600.

Höhe. Giebt man dem Glascylinder eine Weite von 2 Zollen, so wird der Inhalt = 16,4 Kubikzollen, und das Gewicht etwa 9 Pfunde.

Die Vorzüge dieser Compensation sind nicht zu verkennen. Die Ausführung ist leicht, also nicht kostbar, und selbst der Werth des Quecksilbers, der überdem unverändert bleibt, reicht nicht an die Kosten der andern Constructionen. Die Berichtigung hat keine Schwierigkeit, wenn man vorher durch Rechnung oder Versuch bestimmt hat, wie viel Quecksilber (am Gewicht) der Höhe eines Schraubenganges der Abgleichungsschraube gleich komme. Die Wirkung des compensirenden Stoffes ist frei und unaufgehalten, rückt nicht stofsweise vorwärts, und bleibt sich immer gleich.

Allerdings möchte man den Zweifel erheben, ob eine so bedeutende in Glas eingeschlossene Quecksilbermasse die Temperatur so schnell annehme, als die dünne freischwebende Eisenstange. Allein einerseits kann im verschlossenen Uhrkasten die Wärmeänderung nie so schnell vor sich gehen; andererseits hält es nicht schwer, auch die Pendelstange durch Einschliefsen in eine Barometerröhre auf gleiche Weise gegen eine schnellere Wärmemittheilung zu verwahren, oder auch das Quecksilbergefäfs aus Eisen, gegofsnem oder geschmiedetem, zu verfertigen. Ein solches Pendel ganz aus Eisen würde sich besonders für Reisependeluhren eignen. Zufolge einer Nachricht von Zahrtman hat ein Pariser Künstler, Pecqueur den Boden des Glascylinders durchbohrt, und durch die Oeffnung eine, an beiden Enden offene, eiserne Röhre gesteckt, so dafs das Quecksilber sich nur in dem ringförmigen Zwischenraume zweier concentrischen Cylinder befindet.

Sollte die Verfertigung eines hinreichend weiten eisernen Gefäfses Schwierigkeiten verursachen, so kann man sich auf folgende Weise helfen. Man nehme einen Flintenlauf, etwa von der dreifachen Länge der sonst erforderlichen Quecksilbersäule, fülle denselben mit diesem Metalle, so wird der Schwerpunct dieses Quecksilbercylinders dreimal so hoch steigen, als bei jenem. Steckt man an das untere Ende dieses gefüllten Flintenlaufes eine Linse aus Blei, von dreifachem Gewicht desselben, so wird der gemeinschaftliche Schwerpunct beider Massen um $\frac{1}{4}$ des Abstandes beider Schwerpuncte über dem Cen-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

trum der Linse sich befinden (daher das Pendel oberhalb um diese Quantität zu verlängern ist), und seine Verrückung durch die Wärme wird nur $\frac{1}{5}$ der wahren Veränderung desselben im Quecksilber betragen.

2. Rostpendel.

Wir betrachten hier vorzugsweise die *Zinkcompensation*, nicht nur, weil sie den Begriff der Sache einfacher und klarer darstellt, als diejenige durch Messing, sondern weil sie auch in der Ausführung einfacher, und leichter zu verfertigen ist. Es sey AP = l die Länge der Eisenstange vom Aufhängepunct A bis zum Centrum der Linse P, so muſs die compensirende Zinkstange offenbar so lang seyn, daſs ihre Verlängerung durch eine gewisse Wärme derjenigen der Eisenstange gleich sey. Sie kann also in dem Maſse kürzer seyn, als ihre Ausdehnung stärker ist, als die des Eisens. Mithin hat man, wenn l die Länge der Eisenstange, x die der Zinkstange, z und e die relativen Ausdehnungen der beiden Metalle bezeichnen, $l : x = z : e$, also $x = \frac{el}{z}$; die Zinkstange BC ist aufwärts gerichtet; es wird also eine eben so lange Eisenstange CD erfordert, welche wie die erste niederwärts geht. Da aber auch diese sich ausdehnt, so muſs die Zinkstange einer Eisenstange von AP + CD oder $l + x$ entgegen wirken können, mithin länger gemacht werden. Man erhält hieraus einen verbesserten Werth von $x = x'$, indem $z : e = (l + x) : x'$, also $x' = \frac{e}{z} \times l + \frac{e}{z} \times \frac{e}{z} l$, oder, wenn man $\frac{e}{z} = m$ setzt, $x' = l(m + m^2)$. Allein eben dieser vergröſserte Werth von x zieht auch eine gleiche Verlängerung der herabgehenden Eisenstange nach sich, wodurch eine dritte Bestimmung der Zinkstange x'' erforderlich wird, indem die vorige nochmals in dem Verhältniſs von $\frac{e}{z} = m$ vergröſsert werden muſs. Dieses gibt $x'' = l(m + m^2 + m^3)$. Man sieht, daſs dieses zu einer geometrischen Reihe führt, deren Summe $= \frac{m}{m - 1}$ ist. Dieses gibt überhaupt $X = l \times (\frac{e}{z} : \frac{e}{z} - 1)$ und wenn man mit z multiplicirt, $X = l \times \frac{e}{z - e}$.

Fig. 63.

Nach den Bestimmungen über die lineare Ausdeh-

nung der Metalle [1] können wir e, im Mittel = 117, und für gegossenen Zink z = 296 Hunderttausendtheile der Länge setzen; dieses Verhältnifs ist von $3\frac{1}{2} : 9$ nicht sehr verschieden; und somit wird die gesuchte Länge der Zinkstange

$$= l \frac{3,5}{9-3,5} = \frac{3,5}{5,5} l = \frac{7}{11} l = \frac{7}{11} \times (36,7 + 2,8) = 25 \text{ Zoll.}$$

Wählt man statt des Zinks ein Metall von geringerer Ausdehnung, z. B. Messing, dessen Expansion etwa auf 0,00190 zu setzen ist, so dafs dieselbe zu derjenigen des Eisens sich wie 8 : 5 verhält, so hat man $x = \frac{5}{8-5} l = \frac{5}{3} l$. Die Messingstange müfste demnach um $\frac{2}{3}$ länger seyn, als das Pendel selbst, was unthunlich ist. Man vertheilt daher die $\frac{5}{3}$ auf zwei gleiche Systeme, die man so verbindet, dafs ihre Wirkungen addirt werden, so dafs man jeder der zwei aufsteigenden Messingstangen die Länge von $\frac{2\frac{1}{2}}{3}$ giebt. Man erhält hieraus den allgemeinen Satz für die Compensation: „Die Summe der Längen „der verticalen Stäbe des gegebenen Metalls verhält sich zur „Gesammtlänge der verticalen Stäbe des compensirenden Me„talls umgekehrt, wie ihre linearen Ausdehnungen."

Fig. 64.

Der Symmetrie und Festigkeit wegen ist man genöthigt, die Stangen zu verdoppeln, und sie zu beiden Seiten der Pendelstange gleichmäfsig anzubringen. Man läfst also von dem untern Stege der Pendelstange p e die zwei Zinkstangen a b und c d heraufgehen, welche an dem Stege b d die Eisenstange e g tragen. Man kann auch mit einer einzigen Zinkstange die Compensation bewirken [2]. Die Pendelstange p c ist in dem messingenen Stege a b in der Mitte befestigt; von den Enden desselben a und b senken sich die 3 Lin. dicken Eisendrähte a d und b e herunter, welche den Steg d e tragen. Aus der Mitte f des Letztern steigt die etwa 7 Lin. dicke Zinkstange f g auf, an welcher der Steg h i befestigt ist. Dieser ist von der nämlichen Länge, wie a b, um die Stangen a d und b e durch-

Fig. 65.

Fig. 66.

---

1 S. dieses Wörterbuch T. I. p. 583. und 585.

2 Diese Einrichtung ist, wie auch die oben erwähnte des Quecksilberpendels von Repsold in Hamburg.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

zulassen, und so das Schwanken der Zinkstange zu verhüten. Von ihm hängen die Eisendrähte h k und i l herab, welche durch den Steg d e frei, doch ohne Schlotterung durchgehen, und unten im Steg k l verbunden sind, aus dessen Mitte die Stange m o heruntergeht. Sollte man es nicht zu schwierig finden, eine Zinkstange der Länge nach zu durchbohren, oder eine so enge Röhre zu giefsen, so könnte man die Pendelstange durch die Zinkstange stecken, und die letztere mit einem Flintenlauf umgeben [1].

Diese sehr nahe liegende Idee empfiehlt vorzüglich Herapath [2], und die Construction des von ihm angegebenen Pendels ist so einfach und zweckmäfsig, dafs sie hier eine kurze Erwähnung verdient. Das Pendel ist, wie gewöhnlich, an einem Stücke einer Uhrfeder A, von 3 engl. Zollen Länge aufgehangen, und an dieser die eiserne Pendelstange B, 27,92 Z. lang befestigt. Auf einer Scheibe an ihrem unteren Ende ruhet die Röhre von Zink C, gleichfalls 27,92 Z. lang, an deren oberes Ende eine Schraube zur Regulirung der Compensation geschnitten ist. Ueber diesen hohlen Cylinder von Zink wird die äufserste eiserne Röhre D geschoben, welche unten bei E′ in das eiserne Stück geschraubt ist, an dessen Stange die Linse bei G in ihrem Mittelpuncte festsitzt, und die Schrauben am Ende einer Röhre F dient dazu, die Linse höher zu schrauben; oben bei E aber wird die eiserne Stange D durch eine Mutterschraube gehalten, welche sich auf der männlichen Schraube der Zinkstange zur Regulirung der Compensation auf und nieder schrauben läfst. Die Berechnung der Längen der einzelnen Theile, und der diesen zugehörigen Compensation ist nach Herapath folgende. Er nimmt die Ausdehnung des Eisens für 1° F. = 0,000006937, der Stahlfeder = 0,00000761 und des Zinkes = 0,00001672 der Einheit an. Hiernach beträgt die Ausdehnung Fig. 67.

---

1 Der Architekt Zechini Leonelli schlägt vor, die in der eisernen Röhre verschlossene Zinkröhre aus zwei in einander geschraubten Stükken zu verfertigen, um nach Belieben sie verlängern zu können. S. die Jahrbücher d. polytechn. Instituts in Wien. VI. p. 53.

2 Philos. Mag. LXV. 374.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

von 3 Z. Stahlfeder . .	0,000022830
von 27,92 Z. Eisen . .	0,000193542
und noch von 36,13929 Z. Eisen	0,000250600
zusammen	0,000466972;

die Ausdehnung von 27,92 Z. Zink aber beträgt 0,000466822, welche somit jene genau compensirt [1].

Dafs bey allen Rostpendeln das Gewicht des Rostes selbst je nach seinem Verhältnifs zu demjenigen der Linse den Schwingungspunct des Pendels erhöhe, mithin dasselbe verlängere, bedarf keiner Erinnerung.

4. Compensation durch Hebelwerk.

Die Unzulänglichkeit des Messings für eine einfache Compensirung brachte schon frühe die Uhrmacher auf den Gedanken, jene unzureichende Wirkung des Messings vermittelst eines Hebelwerks zu vergröfsern, und so die Linse in gehörigem Mafse zu erheben. Diese Einrichtung bot neben ziemlicher Solidität auch den Vortheil dar, dafs man durch Verlängerung oder Verkürzung der Hebel die Compensation leicht reguliren konnte, was bei den Rostpendeln schwieriger war. Ellicot's Construction scheint noch jetzt eine der vorzüglichsten zu seyn; a b c d e f ist ein breiter, nicht allzudicker Streif aus Eisen oder Stahl: unten in der Oeffnung der Linse ist er noch etwas breiter, so dafs auf dieser Fläche die Centra der Hebel o und p befestigt werden können. Diese Hebel treten dann gegen die Mitte zusammen, und auf sie drückt das untere Ende der steifen Messingstange A B C, welche auf dem Eisenstabe a b durch Schraubenköpfe so angehalten wird, dafs sie zwar der Länge nach sich bewegen, aber nicht ausbiegen kann. Diese Linse selbst ruht auf dem längern Arme jener beiden Hebel vermittelst der Köpfe r und s, welche durch die Drehung der eingetheilten, in die messingene Linse eingepafsten Scheiben m und n

Fig. 68.

---

1 Da sich das Zink so sehr gut zu Blech walzen und auch zu Draht ziehen läfst, wie Altmütter bei G. LVIII. 463. gezeigt hat, so ist es fraglich, ob sich dasselbe nicht auf gleiche Weise als Messing zum Behuf dieser sehr zweckmäfsigen Pendel über einen Dorn zu Röhren ziehen liefse. Die Ausdehnung solches Zinks müfste dann genau untersucht werden, und es würde die Verfertigung der Compensationspendel nach dieser Angabe eben so leicht als sicher seyn.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dem Centrum der Hebel genähert oder von demselben entfernt werden können, so dafs man die Compensation nach Belieben reguliren kann. An den Köpfen r und s ist ein feiner Schraubengang angedreht, der sich ebenfalls auf den Hebeln o und p eingeschnitten findet. So wie sich nun die Messingstange A B C mehr ausdehnt, als der eiserne Pendelstab a b c d e, so wird sie durch den Druck auf die Hebel o und p die Linse in gehörigen Mafse heben, und so die Compensirung bewirken. Um die Centra der Hebel von allzuschwerem Druck zu befreien, ist unten bei f die Feder g g aufgeschraubt, welche den gröfsten Theil der Linse trägt. Die Regulirung des mittlern Ganges mufs entweder durch ein Laufgewicht längs der Pendelstange, oder oberhalb durch Versetzung der Klammer, welche die Feder an der das Pendel hängt, umschliefst, und seinen obern Endpunct bestimmt, bewirkt werden [1].

Weniger elegant ist eine zweite Construction, bei welcher das Hebelwerk aufserhalb der Linse angebracht wird. Von der Pendelstange a b aus gehen divergirend die zwei eisernen Arme b c und b d, an deren unterm Ende die Centra der Hebel p f und p h sich befinden. Der kürzere Arm derselben wird durch eine an b befestigte Messingstange (auf der einen Seite e f, auf der andern g h) niedergedrückt, wodurch das, in der Linse verschiebliche Stück p in die Höhe steigt, und auf der unten angebrachten Schraubenmutter m, die zur Regulirung des Ganges dient, die Linse erhebt. Die Hebel sind an ihrem kürzern Ende bei c f und d h durch die Schrauben q und r stellbar. Diese Einrichtung erfordert ein breites Gehäuse; auch ist es schwieriger die Messingstangen gegen das Einbiegen zu schützen, weil sie weiter von der Eisenstange entfernt sind, als bei Ellicot, bei dessen Pendel man statt des Messingstabs eine cylindrische, die runde Pendelstange gut umschliefsende Röhre anbringen kann. Fig. 69.

---

1 Der Uhrmacher Ign. Berlinger in Wien hat, ohne es zu wissen, Ellicot's Idee genau wiederholt, mit dem einzigen Unterschiede, dafs er die Messingstange zwischen zwei Eisenstangen herabgehen läfst, und das Hebelwerk aufserhalb der Linse anbringt. Jahrb. d. polytechn. Instituts in Wien. VI. p. 38.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

4. Compensation durch die Biegung thermometrischer Federn.

Das Bedürfnifs einer genauen Compensirung bei Chronometern und die Unmöglichkeit, die Compensation durch Stangen bei diesen Werkzeugen anzubringen, brachte den erfinderischen Harrison auf die Idee, eine Feder von Stahl und Messing zusammen zu nieten, welche wegen der ungleichen Ausdehnung und Zusammenziehung beider Metalle sich bald nach der einen, bald nach der andern Seite krümmen, weil das längere Metall sich stets auf der convexen Seite des Krümmungsbogens befinden mufs. Die Wirkung dieser Vorrichtung ist beträchtlich. Nimmt man der Einfachheit wegen die erhaltenen Krümmungen für Kreisbogen an, so ergiebt sich: 1. dafs sie, so lange die Aenderungen nicht bedeutend sind, mit dem Ueberschufs des einen Metalles über das andere so ziemlich gleichen Schritt halten. 2. Dafs sie bei gleicher Temperatur desto stärker werden, je mehr die beiden Metallstreifen einander genähert sind. Dicke Streifen sind daher blofs da zu empfehlen, wo man nur eine geringe Biegung, und dagegen mehr Festigkeit verlangt; denn auch die Steifigkeit derselben leistet den Wirkungen der Ausdehnung merklichen Widerstand. Auf diese, wie wir unten sehen werden, vorzüglich bei Chronometern anwendbare Eigenschaft solcher Doppelstreifen gründete Martin die von ihm in Anwendung gebrachte Compensation: a und b sind zwei Kugeln, welche an die in eine Schraube ausgehenden Enden der Doppelfeder e e m m gesteckt sind. Diese ist für eine angenommene mittlere Temperatur geradlinig. Bei steigender Temperatur dehnt sich der untere messingene Streif m m stärker aus, als der obere eiserne e e, die Feder wird mithin nach oben concav, und die Kugeln steigen aufwärts. In der Kälte zieht sich das Messing mehr zusammen, als das Eisen, und die Kugeln sinken so viel unter die Mittellinie, als die Verkürzung der eisernen Pendelstange es nöthig macht. Man hat hier drei Berichtigungen der Compensation: 1. kann man durch dünnes Feilen der Feder ihre Bewegung vermehren; 2. durch das Hin und Herschrauben der Kugeln ihren durchlaufenen Weg modificiren; 3. durch das Gewicht der Kugeln selbst ihr statisches Moment im Verhältnifs zur Linse P, mithin ihren Einflufs auf die Erhöhung des Schwingungspunctes verändern. Auch hat diese Einrichtung

Fig. 70.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

den Vortheil, dafs sie für sich bestehend ist, mithin an jedem bereits fertigen Pendel angebracht werden kann.

Sehr oft schon ist auch das Ersatzmittel einer eigentlichen metallischen Compensation angerathen worden, die Pendelstangen aus Holz zu verfertigen: man empfiehlt dazu besonders das geradfaserichte Tannenholz, welches man noch, um es gegen die Feuchtigkeit unempfindlicher zu machen, in Oel kochte, oder nachdem es im Ofen getrocknet war, stark mit Firnifs überzog. Es läfst sich nicht leugnen, dafs mit einem solchen Pendel eine Uhr bedeutend richtiger geht, als mit einem aus Eisen oder Stahl. Dennoch scheint es schwer zu seyn, der Feuchtigkeit, besonders in den Fugen der Verbindung mit den unentbehrlichen Metallstücken allen Zutritt zu verwehren, und dann übt auch die Wärme einen merklichen Einflufs aus, indem sie das Holz verkürzt, während dem die Kälte es verlängert. Man hat daher die Regel gegeben, den siebenten Theil der Pendellänge von Messing zu machen. Gleichwohl sind solche Uhren nur auf ein Paar Secunden genau, und taugen also in der praktischen Astronomie nur für *Zähler*. Das Schlimmste ist, dafs man für die Anomalien dieses Pendels keine Rechnung tragen kann, weil sie der Wärme und Feuchtigkeit allzulangsam folgen, um irgend ein sicheres Verhältnifs zwischen Ursache und Wirkung möglich zu machen. Nach Versuchen des oben erwähnten Ignaz Berlinger wurde ein Pendel, das man von $+ 4°$ R. bis auf $30°$ R. erwärmte, um $\frac{1}{10}$ Linie verkürzt. Als es nachher noch zwei Stunden lang einer Hitze von $52°$ R. ausgesetzt wurde, zog es sich um $\frac{1}{4}$ Linie zusammen; allein es bedurfte, als der Kasten dem Luftzuge wieder geöffnet wurde, mehr als 42 Stunden, um seine ursprüngliche Lage wieder anzunehmen [1].

Noch sind hier diejenigen Vorrichtungen zu erwähnen, welche nicht an der Pendelstange selbst angebracht werden, sondern bei welchen der Biegungspunct der dünnen Stahlfeder, an welcher das Pendel aufgehängt wird, verrückt, und so die Länge des Pendels auf ein beständiges Mafs zurückgeführt wird. Eine der einfachsten ist folgende: Man befestigt das Stück a, Fig 71.

1 Jahrbücher des polytechn. Instituts in Wien. Bd. VI. p. 37.

welches die Aufhängefeder einklemmt, nicht wie gewöhnlich am hintern Boden des Uhrwerks, sondern an dem einen Ende eines kleinen Hebels a c b, dessen anderes Ende mit einer Stange b d zusammenhängt, die bei d in der nämlichen Wand befestigt ist, welche oben die Uhr selbst trägt. Durch Veränderung des Hebelarmes b c, und durch die Länge der Stange selbst, je nach der Ausdehnung des gewählten Metalles läfst sich diese Compensation berichtigen; doch wird man hierbei immer noch mit den Dehnungen der Wand selbst zu thun haben, von denen keine Substanz, weder Holz noch Stein, ganz freizusprechen ist. Es fällt in die Augen, dafs diese Verschiebung des Aufhängepunctes, durch andere Mittel, namentlich durch die oben in Nr. 4 erwähnten Federn aus zweierlei Metall gar wohl bewerkstelligt werden könne. Diese Art der Compensirung hat den Vortheil, dafs sie den Biegungen und Klemmungen der Stangen, und dem beständigen Druck der Linse nicht ausgesetzt ist, dagegen ist sie wegen der ungleichen Biegsamkeit der Aufhängefeder in verschiedenen Stellen, und wegen der ungleichen Abschneidung ihres Biegungspunctes bei den leicht möglichen Schwankungen der Klammer selbst, doch keineswegs den zuverlässigen Methoden beizuzählen.

Noch ist zu bemerken, dafs bei Berechnung der Compensationen auch noch die halbe Höhe der Linse berücksichtigt werden mufs. Je nachdem die Linse aus Blei, Messing oder Eisen besteht, wird ihr Schwerpunct im Verhältnifs der Ausdehnung höher gehoben, als er durch die Verlängerung der gewöhnlich etwa 3 Zoll langen eisernen Schraube am Pendel sinkt. Ist die Linse aus Gufseisen, so fällt diese Bedenklichkeit weg; beim Blei und Messing hingegen tritt eine eigentliche Verkürzung, eine Uebercompensirung ein. Verschiedene Künstler bringen deswegen die Stellschraube der Linse in ihrer Mitte selbst an.

Compensation bei Chronometern.

Die Unruhe der tragbaren Uhren ist eine Art Schwungrad, das durch die Spiralfeder in eine Wechselbewegung versetzt wird. Die Schnelligkeit seiner Schwingungen hängt ab von der Kraft der Spiralfeder, und von der Last der Unruhe selbst, namentlich von ihrem Trägheitsmoment. Durch die Wirkung der Wär-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

me wird die Feder verlängert, wodurch sie an Kraft verliert, so dafs sie die Unruhe nicht mehr mit der nämlichen Schnelligkeit zu bewegen vermag. Man begegnet diesem Mangel durch die Verminderung des Trägheitsmomentes, indem man am Stege der Unruhe eine halbkreisförmig gebogene Doppelfeder aus Stahl und Messing, oder Platin und Silber anbringt, an deren Ende sich ein Gewicht befindet, das durch die in der Wärme erfolgende stärkere Krümmung dieser Feder dem Centrum der Unruhe mehr genähert wird. Die Figuren geben eine deutliche Vorstellung dieser beiden Constructionen. In der letztern wird, um die Compensation zu verstärken, der S förmig geschweifte Stahlstreifen auf der convexen Seite von c bis d, und von d bis m mit Messing belegt. Giebt man den Massen M und M′ ein bedeutendes Uebergewicht über die zur Regulirung des mittlern Ganges bestimmten Gewichte A und A′, so dürfte auch ein einziger Quadrant einer solchen Doppelfeder genügen. Fig. 72 und 73. Fig. 72.

Die Compensation der Ausdehnungen durch die Wärme kann auch in andern Fällen, wo es unveränderliche Längen erfordert, bei Gestellen, Mafsstäben, Messstangen ihre Anwendung finden. So wurde z. B. de Lüc zu seinen pyrometrischen Versuchen über die Ausdehnung des Glases [1] durch den Wunsch veranlafst, ein unveränderliches Stativ für sein Hygrometer zu finden. In den meisten Fällen jedoch ist es besser, solche Geräthschaften aus Stoffen zu verfertigen, die keiner bedeutenden Ausdehnung unterworfen sind, und für die unvermeidlichen Verlängerungen nach der Temperatur Rechnung zu tragen. *H.*

Compressibilität.

Zusammendrückbarkeit; *Compressibilitas; compressionis capacitas;* Compressibilité; *Compressibility, compressibleness;* nennt man diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge deren sie durch die Einwirkung mechanischer Gewalt in einen geringeren Raum zusammengeprefst werden können, als den sie vorher einnahmen. Nimmt man die Sache in dieser Allgemeinheit, so giebt es kei-

1 Th. I. dieses Wörterbuchs. pag. 565. und 576.

nen Körper, welcher nicht compressibel genannt werden müfste, denn da alle Körper durch Wärme ausgedehnt werden [1], so ist ihr Volumen allezeit durch ihre Temperatur bedingt. Nun ist zwar die Gewalt, womit sich die Körper ausdehnen, sehr grofs, aber nicht unendlich, und wird daher eine zusammendrückende Kraft angewandt, welche gröfser ist als diejenige, womit sie sich durch vermehrte Wärme ausdehnen, so müssen sie hierdurch nothwendig zusammengedrückt werden, und sind somit alle compressibel, oder die Eigenschaft der Compressibilität ist nach diesen Gründen eine *allgemeine*, *allen Körpern zukommende*. Die hierbei gleichfalls aufgeworfene Frage, nämlich, ob die Materie an sich, also auch ihre kleinsten Elemente oder Atome compressibel sind, kann man entweder zurückweisen, insofern die Naturforschung uns noch nicht über die Beschaffenheit der Atome belehrt hat, oder man kann sie verneinen in Gemäfsheit derjenigen Vorstellungen, welche wir uns von den Elementen der Körper machen müssen, insofern auf diese nur die *absoluten* Eigenschaften der Materie, keineswegs aber die *relativen* der Körper, worunter auch die Compressibilität gehört, ausgedehnt werden können.

Der Grad der Compressibilität der verschiedenen Körper ist sehr verschieden. Am meisten lassen sich die elastisch flüssigen oder expansibelen, weit weniger die tropfbar flüssigen und in sehr ungleichen Graden die festen zusammendrücken. Die beiden ersteren nehmen aufserdem, sobald die comprimirende Gewalt aufhört, ihren früheren gröfseren Raum wieder ein, und heifsen deswegen, wenn sie sich in jeden beliebigen, der comprimirenden Gewalt umgekehrt proportionalen Raum ausdehnen, *elastische*, oder besser *expansibele* Flüssigkeiten [2] (*Expansibilien*), wenn sie aber nach aufhörendem äufserem Drucke und bei unveränderter Temperatur genau ihr früheres Volumen wieder annehmen, *elastisch*, welche Eigenschaft der Elasticität auch den festen Körpern unter gewissen Bedingungen allgemein zukommt. Beide Eigenschaften werden am gehörigen Orte untersucht, und daher hier am besten

---

1 S. Th. I. p. 557.
2 Vergl. *Elasticität*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

übergangen, obgleich bei den expansibelen Flüssigkeiten auf ihre Compressibilität, oder vielmehr auf den Grad und die Stärke ihrer *Compression*, ihrer *Zusammendrückung* jederzeit Rücksicht genommen werden mufs. Versteht man aber unter Compressibilität diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge welcher sie in einen geringeren Raum zusammengeprefst werden können, und in diesem auch bei nachlassendem Drucke ganz oder zum Theil verharren, welches die richtige Bestimmung ist, insofern die *Compressibilität* von der *Elasticität* unterschieden werden mufs, so kommt diese nur den festen Körpern zu. Im Allgemeinen ist dieselbe eine Folge der lockerern Zusammenfügung der Bestandtheile. Bei vielen Körpern ist dieses sehr auffallend, z. B. bei den Hölzern, beim Leder, beim Papier, bei der Pappe, gefilzten Körpern, gewebten Zeugen u. dgl. m. Alle diese lassen sich mechanisch bedeutend zusammendrücken, indem ihre Theile einander näher gebracht, und sie selbst dadurch dichter und fester werden. Weniger auffallend, aber auf dem nämlichen Grunde beruhend, ist dieses bei den Metallen, welche indefs gleichfalls durch Drahtziehen, Hämmern, Pressen z. B. beim Münzen, Walzen u. s. w. entweder im Ganzen oder zunächst der Oberfläche mehr oder minder zusammengeprefst werden, und ihr früheres Volumen meistens erst durch Erhitzung wieder annehmen. Zuweilen ist die Zusammendrückung nur scheinbar, z. B. beim Elfenbein, dem Blei u. a. m., indem die Theile zwar nach einer Dimension einander näher gebracht werden, nach einer andern aber zugleich sich weiter entfernen. Glas, noch zähe durch Hitze, fand Graf Bucquoi [1] durch die heftigsten Schläge mit dem Rammklotze nicht compressibel, und hält es daher auch in diesem Zustande für elastisch.

Hiernach können wir also vorzugsweise nur den Metallen Compressibilität zuschreiben, und diese ihre Eigenschaft ist auch allgemein bekannt. Minder ist dieses der Fall bei den Holzarten, obgleich diese ohne Ausnahme in einem noch weit höheren Grade compressibel genannt werden können, indem sie sich sowohl nach der Länge als auch nach der Quere ihrer Fibern

---

1 G. XLIII. 98.

bedeutend zusammendrücken lassen. Werden hölzerne Cylinder oder Säulen nach der Länge ihrer Fibern einige Minuten unter einer starken Presse zusammengedrückt, und unmittelbar ins Wasser geworfen, so sinken sie unter. Dauert die Zusammendrückung längere Zeit, so kommen die Hölzer überhaupt nicht wieder zu ihrem früheren Volumen zurück, aufser wenn dieses durch Zutritt von Feuchtigkeit geschieht [1]. Auch Kork läfst sich so stark zusammendrücken, dafs er specifisch schwerer wird als das Wasser [2], wenn der Druck ihn von allen Seiten trifft. Legt man in ein dickes Glasgefäfs mit einer Compressionspumpe eine Korkkugel, und comprimirt die Luft darin durch schnelle und starke Stöfse, so wird sich die Kugel selbst zu weniger als ein Drittheil ihres Volumens zusammenziehen, beim Entweichen der Luft aber ihr früheres Volumen wieder erhalten. Ist das Gefäfs zum Theil mit Wasser gefüllt, worauf der Kork schwimmt, so wird zwar etwas Wasser in denselben dringen, dennoch aber sein Umfang auf gleiche Weise abnehmen, und er zu Boden sinken. Hiervon leitet Leslie die Erscheinung ab, dafs eine mit Luft gefüllte und gut verkorkte Flasche, wenn sie 20 bis 30 Lachter tief in die See gesenkt wird, nach dem Herausziehen mit Wasser gefüllt ist, welches nicht durch die Poren des Korkes, sondern neben demselben eindringt, so dafs die Flasche zugleich verkorkt bleibt.

Die Compression, welche das Holz beim enormen Drucke des Wassers erleidet, gehört unter die auffallendsten Erscheinungen. Wenn Stücke Eichen, Eschen, Ulmen oder sonstiges Holz bis zur Tiefe von 1000 Faden in die See gesenkt und wieder heraufgezogen werden, so hat man gefunden, dafs sie 0,8 ihres Gewichtes an Wasser enthalten, und im Wasser wie Steine untersinken. Daher schwimmen die Stücke der Schiffe, welche am Ufer zertrümmert sind, oben auf, wenn aber Schiffe im Ocean sinken, so wird das Holz so dicht, dafs es nie wieder in die Höhe kommt [3]. *M.*

---

1 Vergl. *Ausdehnung* I. 555.

2 Leslie Elements of Natural Philos. Edinb. 1823. 8. I. 26.

3 W. Scoresby Account of the Arctic Regions. cet. Edinb. 1820. II Vol. 8. I. 191 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Compressionsmaschine.

Compressionspumpe, Condensationspumpe, oder Condensationsmaschine; *Machina condensatoria;* Machine de compression ou de condensation; *Condensing engine.*

So kann im Allgemeinen jede Maschine genannt werden, womit man Körper comprimirt oder zusammendrückt. Dahin gehören also namentlich die Druckwerke der Feuerspritzen und der verschiedenen hydraulischen Maschinen, die Pressen, Walzenwerke u. dgl. m. Zunächst aber verstand man ehemals hierunter diejenigen Maschinen, mit welchen man im Gegensatze gegen die exantlirenden Luftpumpen die Luft verdichtete. Neuerdings hat man inzwischen die Entdeckung gemacht, dafs verschiedene expansibele Flüssigkeiten durch starke Compression tropfbar flüssig werden, und auch die tropfbaren Flüssigkeiten durch sehr starken Druck gewisse Veränderungen erleiden, vorzüglich wenn hiermit zugleich Erhöhung der Temperatur verbunden werden kann. Es ist daher für die Erweiterung der Wissenschaft allerdings von Wichtigkeit, Maschinen zu besitzen, durch welche gegen die zu untersuchenden Körper eine sehr grofse Compression ausgeübt werden kann. Um daher dasjenige, was in dieser Hinsicht bisher geschehen ist und noch geschehen kann, besser zu übersehen, mag folgende Darstellung dienen.

1. Compressionsmaschinen für Luft und Gasarten.

Soll die Compression der Luft nur bis höchstens auf etwa 10 Atmosphären gebracht werden, so kann man sich hierzu der gewöhnlichen Condensationspumpen bedienen. Für sehr geringe Verdichtungen, etwa 2 Atmosphären hat man die Luftpumpen eingerichtet, indem man da, wo die exantlirte Luft entweicht, einen Teller anbringt, eine Campane darauf festdrükt, und die durch die Oeffnung des gewöhnlichen freien Tellers eingesogene Luft unter derselben verdichtet. Bei Hahnluftpumpen darf man nur die Hähne umdrehen, um die Maschine, statt zur Exantlirung, zur Compression einzurichten. In-

dafs schliefsen die Emboli den Luftpumpen selten dicht genug, um damit zu comprimiren, und die Anwendung derselben für diesen Zweck kann ihrer Genauigkeit leicht nachtheilig werden, weswegen dieses ein für allemal verwerflich ist.

Eine eigene Compressionsmaschine oder Condensationspumpe hat Hawkbee [1] gebraucht, eine oben und unten in Messing gefafste Glaskugel, auf welche eine gewöhnliche Condensationspumpe geschroben, und hiermit die Luft in jener verdichtet wird [2]. Mehr noch beachtet, und allgemeiner gebraucht ist die durch Nollet [3] vorgeschlagene Maschine. Sie ist aus der Zeichnung völlig klar, aus welcher sich ergiebt, dafs dem Hahn E der Vorzug vor Hawksbee's Blasenventile gegeben ist. A D ist der Pumpenstiefel von Messing, D C ein Rohr von demselben Metall, und die Kugel wird aufgeschroben; eine für die meisten Versuche zu beschränkte Einrichtung.

Fig. 74.

Wegen der Unbequemlichkeit des steten Umdrehens eines *Guerickschen* Hahns kehrte Winkler [4] wieder zu den Ventilen zurück, und zwar zu den Blasenventilen. Soll die Verdichtung nicht stark werden, so ist diese Einrichtung ohne Zweifel die beste, aber es ist zu bezweifeln, dafs man hiermit weiter, als bis zum höchstens vierfachen atmosphärischen Drucke gelangen könne. Am schönsten sind diese Maschinen ausgeführt durch Haas und Hurter, und ihre Einrichtung ist im Wesentlichen folgende. Auf einem Tischchen sind die beiden Säulen G, G befestigt, zwischen denen sich ein eben geschliffener messingner Teller befindet. Auf diesen wird die sehr starke, oben und unten genau eben geschliffene Campane, nachdem auf ihren oberen und unteren Rand etwas Pomade aufgestrichen ist, aufgesetzt, oben auf dieselbe das gleichfalls flach geschliffene massive Messingstück gelegt, durch welches in einer Lederbüchse der Draht P L luftdicht beweglich ist, und

Fig. 75.

---

1 Course of Mech. Opt. cet. Experiments. p. 17. Vergl. Wolf nützl. Vers. III. Cap. 1.

2 Eine dieser ähnliche Compressionsmaschine, welche sich noch in einigen Cabinetten findet, einen messingenen Cylinder mit zwei Glasscheiben an den Flächen beschreibt s'Gravesande Phys. El. II. 610.

3 Art des Expériences III. 10.

4 Anfangsgr. d. Phys. Leipz. 1754. 8. p. 130.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

durch den hölzernen Querbalken D vermittelst der Schrauben K, K festangedrückt. Aus der Mitte des Tellers führt ein Canal zum Boden der Compressionspumpe F X, worin sich ein Blasenventil befindet, und bei welcher die Kolbenstange mit der Handhabe Q nebst dem aufgeschraubten Deckel W, um den aufgezogenen Embolus zurückzuhalten, damit er nicht ganz herausgeht, und dem Löchelchen bei *a* zum Eindringen der Luft nach dem Aufziehen des Embolus für sich deutlich sind. Die schräge Richtung der Pumpe erleichtert sehr die Arbeit des Comprimirens. Bei B ist eine Schraube, welche geöffnet wird, wenn man die comprimirte Luft unter der Campane wieder entweichen lassen will. Endlich ist mit dem, vom Teller zum Boden der Compressionspumpe führenden Canale das messingne Stück R, mit der eingekitteten, auf einer elfenbeinernen Scale liegenden starken Glasröhre S, verbunden, in welcher lezteren sich eine bis zum Null der Scale reichende Quecksilbersäule befindet. Indem dann die Luft unter der Campane comprimirt wird, drückt sie zugleich gegen die Quecksilbersäule, und man schliefst aus dem verminderten Raume, welchen die zusammengedrückte Luft in der Röhre einnimmt, nach dem *mariotteschen Gesetze* auf den Grad der Verdichtung. Diese Art der *Compressionsmesser* ist die einfachste, sicherste und am meisten gebräuchliche.

Auch andere Künstler haben diese Arten von Compressionspumpen mit unbedeutenden Veränderungen ausgeführt. Dahin gehören z. B. die von Greppin und Billiaux nach Art der Nolletschen Luftpumpe verfertigte [1], die von Dümotiez der zweistiefeligen Luftpumpe nachgebildete [2] u. a. m. Weil indefs die Blasenventile bei sehr starkem Drucke zerreifsen und ohnehin leicht ungenau schliefsen, so ist es am rathsamsten für die Compression der Luft überhaupt, Kegelventile anzuwenden, wie sie bei den einfachen und im Allgemeinen zweckmäfsigsten *Compressionspumpen der Windbüchsen* allgemein gebräuchlich sind. Sie bestehen aus einem eisernen Stiefel C C, in welchen die zur Aufnahme der verdichteten Luft bestimmte Fig. 76.

1 J. de Ph. XIX. 438.
2 Ebend. XXXI. 431.

Kugel B vermittelst einer starken Schraube geschroben ist. Die Kugel, oder bei einigen Windbüchsen der Kolben, mufs von Eisen seyn, oder von getriebenem Kupfer, und im letzteren Falle fast 0,5 P. Z. Metallstärke haltend. Bei d d, wo beide Hälften zusammengeschroben und dann hart gelöthet werden, mufs die Metallstärke nahe 1 Z. betragen. Die Compressionspumpe ist im Mittel 2 bis 2,5 F. lang und nur 0,5 Z. inwendig weit, wie denn nach aërostatischen Gesetzen die Compression so viel weiter getrieben werden kann, je enger die Pumpe ist. An der Handhabe A befindet sich die eiserne Stange a a mit dem Embolus β, welcher aus Scheiben von Sohlenleder, zwischen zwei eisernen Platten festgeschroben und abgedrehet besteht. Er mufs anfangs sehr compress in dem Stiefel beweglich, hinlänglich lang und mit Oel getränkt seyn, welches am besten in die Scheiben dringt, wenn man sie anfänglich mit warmen Wasser durchnäfst und dann mit Pomade aus geschmolzenem Wachs und Oel tränkt. Das obere eiserne Stück der Kugel e e hat eine conische Oeffnung und darin das eingeschliffene, oder auch wohl mit einer feinen ledernen Kappe überzogene Kegelventil α, welches anfänglich durch die Spiralfeder β verschlossen wird, nachher aber wegen des starken Luftdruckes von selbst genugsam angedrückt wird. Oben im Stiefel bei g befindet sich ein kleines Löchelchen, so hoch, dafs es bei aufgezogenem Embolus gerade unter demselben ist, durch welches die Luft oder das Gas, letzteres aus einer Thierblase oder einer sonstigen Vorrichtung eingesogen, zum Comprimirtwerden eindringt. Bei den Tyroler und den in Wien verfertigten *Windbüchsen* soll der Embolus der Compressionspumpen blofs aus einer einzigen Scheibe sehr dicken Sohlenleders β β bestehen, welches unten an die Stange a a geschroben mit Gewalt in den Stiefel geprefst wird, so dafs es nach Unten eine concav gewölbte Fläche bildet, und weil es des engen Raumes wegen nicht wieder eben werden kann, der am stärksten comprimirten Luft keinen Ausweg verstattet. Ich kenne indefs diese Einrichtung nur aus mündlich mitgetheilten Beschreibungen.

Fig. 77.

Unter diese Art von Compressionspumpen gehört auch diejenige, welche Cuthberson für Thomas Northmore verfertig-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

te [1], um die Veränderungen zu untersuchen, welche Gasgemische durch starke Compression erleiden. Sie hat indefs nichts ausgezeichnet Eigenthümliches, indem sie blofs aus einer gewöhnlichen Compressionsröhre mit einem angeschrobenen Verbindungsstücke besteht, um an dieses wieder den erforderlichen Glasrecipienten zu schrauben. In dem Verbindungsrohre befindet sich ein durch eine Feder niedergedrücktes Kegelventil und eine seitwärts angeschrobene Verbindungsröhre mit einem Hahne und einer Blase, um die erforderlichen Gasarten zuzuführen. Der Glasrecipient hatte aber nur 0,5 Z. Glasesdicke, und die gröfste Verdichtung ging daher nur bis zur achtzehnfachen atmosphärischen.

Wenn man annimmt, dafs beim Comprimiren weder neben dem Embolus noch durch die Schrauben und Ventile überall keine Luft entweicht, so läfst sich der Grad der Verdichtung leicht finden. Heifst nämlich die Dichtigkeit der comprimirten expansibelen Flüssigkeiten d, die der äufsern Luft $= 1$ gesetzt, der Inhalt des Gefäfses, worin die Luft comprimirt wird $= V$, des Stiefels nach Abzug des Raumes, welchen der Embolus einnimmt $= v$, die Zahl der Kolbenstöfse $= n$, so ist:

$$d = \frac{V + nv}{V};$$

wonach d für einen unendlichen Werth von n gleichfalls unendlich werden müfste, wenn das mariottesche Gesetz absolut gültig und die Sache überhaupt ausführbar wäre. Besser mifst man, so weit dieses Gesetz gewifs gültig ist, den Grad der Verdichtung vermittelst des oben angegebenen *Compressionsmessers* R S. Nur in sehr seltenen Fällen dürfte man daher veranlafst werden, von dem durch Seaward [2] angegebenen, der sogenannten Birnprobe ähnlichen Apparate Gebrauch zu machen. Dieser besteht aus einem eisernen oder gläsernen Gefäfse A mit Quecksilber, welches anfänglich durch die Röhre a eingefüllt werden kann, so lange die Röhre c c bei d noch offen ist, bis dasselbe ihre Mündung bei f sperret. Schraubt man nachher die Schraube bei d fest, setzt den Apparat unter die Campane, welche die comprimirte Luft enthält, so dringt

Fig. 75.

Fig. 78.

1 G. XXX. 283.

2 Phil. Mag. and Journ. 1824. Jan. p. 36.

diese durch a, treibt das Quecksilber durch die Röhre b in den Raum B, und die Höhe, bis zu welcher dasselbe in der Röhre c c aufsteigt, zeigt den Grad der Verdichtung. Dafs dieses erst neuerdings erfundene Instrument einem einfachen *Manometer* [1] nachsteht, lehrt der Augenschein, und es verdient also nicht unter die physikalischen Apparate aufgenommen zu werden. So lange übrigens die Verdichtung nicht über diejenige Grenze hinausgeht, für welche das Mariottesche Gesetz noch als gültig erwiesen ist, kann die Stärke der Condensation vermittelst des Manometers gemessen werden. Wäre es aber möglich, dieselbe bis auf hundert und mehrere hundert Atmosphären zu treiben, so würde uns bis jetzt noch das Mittel fehlen, diese genau zu messen, so wichtig es auch für verschiedene, in den neuesten Zeiten theils angestellte theils vorgeschlagene Versuche seyn würde, die Verdichtung genau bestimmen zu können.

Die Condensations- oder Compressionspumpen haben einen sehr eingeschränkten Gebrauch, wie man denn überhaupt die comprimirte Luft weit weniger als die verdünnte anwendet. Oft wird dieselbe angewandt im Windkessel der Feuerspritzen und bei sonstigen hydraulischen Maschinen, bei den verschiedenen Arten der Gebläse u. s. w. Als blofse Spielwerke sind die Heronsbälle und ähnliche Apparate zu betrachten, vermittelst derer man das Wasser durch verdichtete Luft aus feinen Röhrchen springen läfst, wie ein solcher nach der gewöhnlichen Construction aus der blofsen Zeichnung hinlänglich klar ist, und leicht auf mannigfaltige Weise, theils rücksichtlich des Gefäfses A, worin sich das Wasser und die comprimirte Luft befindet, theils hinsichtlich des Spritzen-Rohres b und seiner verschiedenen und vielfach gestalteten Oeffnungen abgeändert werden kann [2].

Fig. 79.

2. Compressionsmaschinen für Wasser.

Unter die Compressionsmaschinen können auch diejenigen Apparate gerechnet werden, deren man sich bedient hat, um die

1 Vergl. *Manometer*.

2 Ueber den Einflufs der verdichteten Luft auf organische Wesen, auf die Stärke des Schalles, des Verbrennens u. s. w. wird an den geeigneten Stellen gehandelt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Elasticität des Wassers zu erforschen. Die Mitglieder der *Academia del Cimento* bedienten sich zuerst der Kugeln, die sie anfangs von Glas, nachher von Kupfer mit gläsernen Röhren machten, erkälteten das Wasser darin und dehnten es dann durch Wärme aus, wobei die Röhren oder die Kugeln zerbrachen. Auch durch die Dämpfe des Wassers suchten sie das Wasser zu comprimiren, eine Vorrichtung, welche spärter v. Edelkranz wieder in Vorschlag gebracht hat [1]. Nachher füllten sie das Wasser in starke gläserne Röhren, worin eine engere lange Röhre so gesenkt war, dafs Quecksilber unter das Wasser trat, ohne dafs letzteres oben entweichen konnte, und drückten es auf diese Weise durch eine vier Ellen hohe Quecksilbersäule, ohne Verminderung des Volumens wahrzunehmen. Endlich schlossen sie dasselbe in silberne Kugeln ein, schroben diese mit einem Deckel zu und verlötheten diesen, hämmerten sie dann zusammen, wodurch das Wasser, wie sie meinten, die Poros des Metalles zu durchdringen gezwungen wurde [2]. Schon Baco von Verulam hatte diesen Versuch mit bleiernen Kugeln in der Art angestellt, dafs er sie mit Wasser füllte, dann zuschmolz und zwischen einem Schraubstocke platt prefste, wobei ihm gleichfalls das Wasser durch die Poren des Bleies zu dringen schien [3]. Musschenbroek wiederholte dieses Experiment mit bleiernen und zinnernen Kugeln, und erhielt ein gleiches Resultat [4], zeigte auch sehr richtig, dafs das von Honoratus Fabry und Boyle [5] beobachtete fontainenartige Herausspringen des Wassers aus solchen Kugeln nach der Erzeugung einer kleinen Oeffnung eine Folge der Elasticität des Metalles, aber nicht des Wassers sey. Du Hamel [6] nahm eine blofse Compressionspumpe, um mit dem Stempel derselben das Wasser zusammenzudrücken.

In England bediente man sich, um zu zeigen, dafs das

---

1 Pfaff und Friedländers J. St. V. p. 76.

2 Musschenbroek Tent. Exper. cet. II. 59. Vergl. Saggi di naturali Experienze, fatte nell' Academia di Cimento cet. 1661. fol. p. 197.

3 Opera omn. transl. op. S. I. Arnoldi. Lips. 1694. fol. p. 890.

4 a. a. O. p. 65.

5 Vergl. Boyle Opp. Var. Genevae 1677. 4. exp. XX.

6 Philosophia Vetus et Nova. Par. 1681. 4. Lib. III. cap. 4.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wasser nicht compressibel sey, zinnener Kugeln mit einem dikken Aufsatze, worin eine weibliche Schraube geschnitten war. Die Kugel wurde mit Wasser gefüllt, dann eine eiserne männliche Schraube hineingeschroben, worauf das Wasser tropfenweise durch das Metall drang oder in sehr feinen Strahlen herausspritzte. Eine solche erhielt Hollmann von Shaw in England, und leitete das Durchdringen des Wassers von der Porosität des Metalles her [1], Lichtenberg aber erklärte dasselbe in seinen Vorlesungen richtiger aus einem Zerreifsen desselben. Fontana [2] bediente sich zur Compression des Wassers eines hohlen metallenen Cylinders mit einem viereckten Aufsatze von starken Glasplatten. Hierin stand ein Gefäfs mit Wasser, welches in ein Haarröhrchen endete; die Luft um dasselbe wurde durch eine gemeine Compressionspumpe verdichtet, und es sank das Wasser in dem durch die Glasplatten gesehenen Haarröhrchen. Eines ähnlichen Apparates bediente sich Canton, um die Compressibilität verschiedener Flüssigkeiten zu untersuchen, nämlich einer Kugel mit einem langen und engen Rohre, deren Inhaltsverhältnifs genau untersucht war. Diese füllte er mit den zu untersuchenden Flüssigkeiten, brachte sie dann zuerst unter eine Luftpumpe, dann eine Condensationspumpe, und mafs, wie viel sie sich durch Entfernung des Luftdruckes ausdehnten, demnächst aber durch den einfachen und doppelten Luftdruck zusammengedrückt wurden [3].

Diese letzteren Vorrichtungen sind für ihren Zweck ohne Widerrede die vorzüglichern, und verdienen vor verschiedenen andern den Vorzug. Dahin gehört vorzüglich die durch Hamberger [4] und Nollet [5] gebrauchte Glasröhre, welche nach Art der Mariotteschen gekrümmt war, aber im kürzeren Schenkel Wasser statt Luft, und im längeren das zusammendrückende Quecksilber enthielt, wobei es in die Augen fallend ist, dafs die geringe Elasticität des Wassers wegen der gröfseren des Glases nicht genau beobachtet werden kann. Eben diesem Fehler un-

---

1 Sylloge Comment. Gott. 1762. 4. p. 34.
2 Journ. des Sçavans. 1777. Juillet.
3 Phil. Trans. 1762. p. 640. 1764. p. 261. Hamb. Mag. XII. 360.
4 Elementa Physices. p. 171.
5 Leçons de Phys. I. 122.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

terliegt auch diejenige Compressionsmaschine, wodurch Abich seine bekannten Versuche angestellt hat [1]. Sie besteht aus dem messingenen Stiefel CCCC welcher oben und unten enger, in der Mitte weiter ausgebohrt ist. Oben befindet sich die eiserne Fassung PQRS, durch welche die Stange T geht, unten mit 12 in Fett gekochten ledernen Scheiben versehen, deren Schliefsung, wenn sie durch die eiserne Platte $\alpha\beta$ zusammengeschroben waren, einen solchen Grad der Genauigkeit erreichte, dafs zur blofsen Ueberwindung der Reibung 80 ℔ Kraft erfordert wurden. Indem daher hierdurch auch die Luft comprimirt werden mufste, war unten das eiserne, mit Leder umgebene Kegelventil n angebracht, welches vermittelst der aufliegenden eisernen Scheibe uu und der Schraube v festgeschroben wurde, nachdem die Maschine umgekehrt, und von unten mit Wasser gefüllt war. Auf das obere Ende der Stange T drückte anfangs eine Schraube, nachher der leichteren Rechnung wegen ein Hebelarm mit einem Gewichte an seinem Ende, und aus der Tiefe, bis wie weit der Embolus niedergedrückt werden konnte, und dem Inhalte des Stiefels wurde die Stärke der Zusammendrückung durch ein gegebenes Gewicht berechnet. Man sieht bald, dafs wegen der Elasticität des messingnen Stiefels und des, wenn auch noch so geringen Eindringens von Wasser zwischen den Embolus die Compression des Wassers nie genau gefunden werden kann. Eben diesem Fehler unterliegt die durch C. H. Pfaff [2] vorgeschlagene Compressionsmaschine, welche aus einer gläsernen Flasche A und einem damit verbundenen langen Rohre B besteht. Wird die erstere mit Wasser gefüllt, auf welches eine in dem letzteren befindliche Quecksilbersäule von veränderlicher Höhe drückt, so wird das Wasser comprimirt. Verschliefst man demnächst den Hahn b und öffnet den Hahn a, so steigt das Wasser im Haarröhrchen C um so viel, als seine Zusammendrückung beträgt [3].

Fig. 80.

Fig. 81.

---

1 Ueber d. Elasticität des Wassers u. s. w. von E. A. W. Zimmermann. Leipz. 1779. 8.

2 G. LXXII. 161.

3 Der Apparat, obgleich in seiner jetzigen Einrichtung aus dem angegebenen Grunde unbrauchbar, ist deswegen aufgenommen, weil er sich vielleicht so abändern läfst, dafs die Elasticität des Gefäfses A von

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Dem hier gerügten Fehler unterliegen die beiden folgenden Apparate nicht.

Perkins *Piezometer* [1] besteht aus einem wasserdichten metallenen hohlen Cylinder A, auf welchen der Deckel C festgeschroben wird. In dem letzteren bewegt sich wasserdicht der Cylinder D, dessen verhältnifsmäfsige Gröfse gegen den Inhalt des hohlen Cylinders bekannt seyn mufs. Durch einen starken äufseren Druck wird dieser Cylinder in den gröfseren, mit Wasser gefüllten, bis zu einer Tiefe eingedrückt, welche der federnde Ring a angiebt, und hieraus die Compression berechnet. Fig. 82.

Diesen Cylinder setzte Perkins in einen Kanonenlauf mit einem Deckel, worin sich eine Compressionspumpe und ein Ventil befand, welches durch aufgehängte Gewichte, für jede Atmosphäre 1 ℔, die Stärke des Druckes angab. Ein Druck von 100 Atmosphären zeigte eine Zusammendrückung von 0,01 des Wassers, und eben dieses Resultat wurde erhalten, als Perkins das Instrument bis zu einer Tiefe von 500 fathoms (3000 F. engl.) in die See herabsenkte.

Um indefs die Reibung und Zusammendrückung des Leders um den Cylinder D in der Lederbüchse zu vermeiden, verfertigte Perkins ein anderes Instrument. Dieses besteht aus einem eisernen, in der Mitte etwas zusammengedrückten Cylinder A, in welchen die mit einem genau schliefsenden Ventile verschlossene Röhre E führt. Das Instrument wird mit Wasser gefüllt, dann in eine Wasserpresse gesetzt, und die Menge des durch einen gemessenen Druck eingedrungenen Wassers nach dem Herausnehmen durch das Gewicht bestimmt. Ein Druck von 326 Atmosphären hatte die Menge des Wassers um 0,035 vermehrt. Fig. 83.

Sehr genaue Versuche mit einem, dem Cantonschen ähnlichen Apparate, stellte Oerstedt [2] an, und nahm zur Umge-

---

keinem weiteren Einflusse bleibt, z. B. wenn man Wasser zugleich im Gefäfse A und um dasselbe zusammendrückte, den Einflufs des letzteren aber nach dem Verschliefsen des Hahnes b und vor dem Oeffnen von a aufhöbe.

1 Phil. Trans. 1820. 324. G. LXXII. 173.

2 Denkschriften der Copenhagener Soc. 1822. Annals of Phil. 1823. Jan. 53.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

bung der Röhre, worin die Compression vorgenommen wurde, gleichfalls Wasser, um dem Einwurfe zu entgehen, dafs bei jenen Versuchen durch die Compression der Luft Wärme entwikkelt sey. Indefs wird bei langsamer Compression nur wenig Wärme ausgeschieden, und diese bald wieder abgeleitet, wenn der Apparat eine Zeitlang ruhig steht; weswegen Cantons Vorrichtung in so fern vorzüglicher ist, als sie dagegen sichert, dafs sich nicht durch die Gesetze der Anziehung etwas Wasser neben dem sperrenden Quecksilber vorbeidrängt. Oerstedt's Apparat bestand aus einer starken Glasröhre ABCD auf einem hölzernen Fufse. Oben auf dieselbe war eine messingne Fassung E gekittet, und eine in diese gehende Schraube F comprimirte das Wasser in der Röhre. In dieser lezteren stand ein bleierner Cylinder d mit Drähten, welche die Scalen trugen. Das gläserne Gefäfs a, zur Messung der Compression bestimmt, war mit Wasser gefüllt, und endigte in ein feines Haarröhrchen, wovon 1 Lin. nur 0,000005501 vom Inhalte der Flasche ausmachte. Das Wasser in derselben war oben durch ein wenig Quecksilber gesperrt, um die Grenze desselben bei der Zusammendrückung genau zu bezeichnen. Neben dieser Röhre war eine andere ef mit Luft gefüllt und mit Quecksilber gesperrt, um nach dem mariotteschen Gesetze den Grad der Zusammendrückung zu messen. In wiederholten Versuchen, wobei die Compression bis zum fünffachen Drucke der Atmosphäre bei 15°,5 Temp. getrieben wurde, fand Oerstedt 1. dafs der Grad der Zusammendrückung der zusammendrückenden Kraft direct proportional ist, und 2. dafs das Gewicht einer Atmosphäre das Volumen des Wassers um 0,000047 vermindert. Aus dem ersten Satze wäre also die vollständige Elasticität des Wassers als erwiesen anzusehen [1]. Fig. 84.

3. Allgemeine Compressionsmaschinen.

Die meisten der bisher angegebenen Compressionsmaschinen lassen sich zwar sowohl zur Zusammendrückung der expansibelen als auch der tropfbaren Flüssigkeiten anwenden, indefs giebt es auch andere, welche ursprünglich für einen solchen

1 Vergl. *Elasticität.*

allgemeinen Gebrauch construirt sind, und es läfst sich aufserdem die Zahl dieser Apparate nach den einmal bestehenden Grundsätzen leicht verviefältigen. Eine solche ist die, zunächst zum Filtriren, Aussüfsen u. s. w. bestimmte, aber leicht zum allgemeinen Gebrauche einzurichtende Druckpumpe, welche Repsold verfertigt und G. Embcke beschrieben hat [1]. A B
Fig. 85. ist ein Dom von getriebenem Kupfer [2] unten luftdicht auf einen metallenen Teller geschroben, oben mit einem Ventile E versehen, wovon jeder Einschnitt zwei Atmosphären entspricht. Unter diesen werden die Gefäfse mit denjenigen Substanzen gesetzt, auf welche man den Druck der Luft oder des Wassers wirken lassen will. Die Druckpumpe H mit ihrem Mechanismus ist aus der Zeichnung kenntlich. Aufserdem aber befindet sich bei m ein Hahn, und bei c eine mit einem Ventile verschlossene Zuleitung, durch welche Luft oder Flüssigkeiten in den Zuleitungs-Canal gelangen, und vermittelst der Compressionspumpe unter den Recipienten gepreſst werden können.

Weil man in den neuesten Zeiten schon verschiedene Gasarten durch hohen Druck tropfbar flüssig gemacht hat, aufserdem aber eine sehr starke Compression höchst wahrscheinlich manche Processe der Verbindungen, Krystallisationen u. s. w. bedingt; so mufs daran gelegen seyn, die Zusammendrückung der expansibelen und tropfbaren Flüssigkeiten möglichst weit zu treiben. Eine hierzu bestimmte Maschine lasse ich gegenwärtig ausführen, und kann daher vorläufig nur die Idee angeben. Es sind hierzu bestimmt zwei allerdings schwer zu verfertigende Cylinder von Glas, 8 Z. im Durchmesser haltend, 3 Z. hoch mit einer Oeffnung von 2 Z. Dafs das Glas dieser unförmlichen Dicke ungeachtet noch hinlänglich durchsichtig geblieben ist, zeigt die Möglichkeit der Ausführung, und vielleicht lassen sich auch solche Cylinder von 6 oder gar 8 Z. Höhe verfertigen, welches ungleich besser seyn würde, als die Cylinder, nachdem sie auf beiden Seiten eben geschliffen sind, ver

---

1 Schweigg. J. XXXI. 90.

2 Für einen allgemeinen Gebrauch müfste statt dessen ein gläserner hohler Cylinder von hinlänglicher Stärke genommen werden, um die im Innern vorgehenden Veränderungen wahrnehmen zu können.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mittelst zwischenliegendem Leder und Terpentin, oder einem sonstigen Kitte aufeinander zu legen, um die gröfsere Höhe zu erhalten. Die übrige Construction ergiebt sich von selbst, und besteht darin, dafs dieser Glascylinder oben und unten hinlänglich starke, wenigstens einen Zoll dicke, fest aufgekittete und durch Schrauben gesicherte Deckel erhält, wovon der obere mit einer geeigneten Compressionspumpe versehen werden mufs, deren Embolus mit einer Schraube niedergedrückt, dem Entwurfe nach eine Compression von 500 bis 1000 Atmosphären hervorbringen soll. Der innere Raum wird dann mit Wasser gefüllt, das Gefäfs mit der zu comprimirenden Substanz hineingesetzt, und durch Hineinpressen von Wasser die Compression bewirkt, wobei vorläufig der Grad der Zusammendrückung vermittelst einer kleinen Röhre, worin die Luft durch Quecksilber gesperrt ist, nach dem Mariotteschen Gesetze gemessen werden soll. *M.*

Concavgläser.

Hohlgläser; *Vitra concava, lentes concavae;* Verres concaves; *Concave glasses, concave lenses;* sind diejenigen sphärisch geschliffenen Gläser, welche eine hohle Oberfläche darbieten. Sie können an beiden Seiten concav oder an der einen concav und an der andern eben oder gewölbt seyn. Darauf beziehen sich die Namen, concav-concav, plan-concav, concav-convex. Die beiden ersten zerstreuen allemal die Lichtstrahlen, und die leztern thun eben dieses dann, wenn die Erhabenheit einem gröfsern Durchmesser als die Höhlung zugehört [1]. *B.*

Concavspiegel. S. Hohlspiegel.

Condensator der Elektricität.

Condensator electricitatis; Condensateur de l'électricité; *Condenser.* Dies ist ein von Volta im Jahre 1783 erfundenes, höchst nützliches Werkzeug, wodurch auch die allerschwächsten Grade der natürlichen sowohl als künstlich erzeugten Elektricität merklich gemacht werden können.

1 S. *Linsengläser.*

1. Geschichtliche Untersuchnng.

Eine zufällige Beobachtung eines Liebhabers der Physik, des Marquis Bellisoni in einem Zeitpuncte, wo Volta schon mit Untersuchung der Wirkung von Leitern auf einander bei der blofsen Annäherung beschäftigt war, leitete die Aufmerksamkeit des Letzteren auf die Erhöhung der Capacität für Elektricität, welche man im Metalldeckel des Elektrophors wahrnimmt, wenn er, statt auf den Harzkuchen gesetzt zu werden, auf einen unvollkommenen Leiter gelegt wird, und veranlafste ihn, davon weitern Gebrauch zu machen. Nach der ursprünglichen Einrichtung, die Volta dem Condensator gab, bestand derselbe aus zwei Haupttheilen: 1. einer Platte von einer halbleitenden oder schlechtleitenden Materie, 2. einem Deckel oder Teller, die sogenannte Collectorplatte, in welcher die Elektricität verdichtet wird, von derselben Beschaffenheit, wie der Deckel oder die Trommel des Elektrophors, welche man mit seidenen Schnüren oder einem isolirenden Handgriffe von Glas aufheben oder niederlassen kann.

Zur *Platte des Condensators* schlug Volta insbesondere die sogenannten *Halbleiter* vor, welche sich der Natur der elektrischen Körper oder der vollkommenen Isolatoren nähern, aber doch noch einige Leitung gewähren, namentlich Platten von trockenem und reinem, vorzüglich weifsem, *Marmor* wie den von Carrara (den gefleckten fand er weniger tauglich) von Alabaster, Achat, Chalcedon, Elfenbein, doch nur, wenn es vorher scharf getrocknet war, Schildplatt, mit Leinöl getränktes, oder beinahe bis zum Rösten im Backofen erhitztes und gefirnifstes Holz, trockenes Leder, Pergament, Papier u. s. w. Die Platten von diesen Materien wurden von Volta auf Unterlagen gesetzt, durch welche sie mit dem Erdboden in vollkommener leitender Verbindung sich befanden. Doch erinnerte Volta, dafs man, statt der angegebenen *Halbleiter* zur Unterlage oder Basis des Condensators auch *vollkommen elektrische* oder *isolirende Körper* gebrauchen könne, wofern sie nur einen guten mit der Erde verbundenen Leiter zu ihrer eigenen Unterlage hätten. Dazu schlug Volta ein mit Siegellack, oder mit Taffent oder Wachstaffent, oder mit einer dünnen Schicht eines guten Firnisses überzogenes Blech, oder sonstige Metall-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

platte vor, auch Holz (wie eine Tischplatte) mit Siegellack, Firnifs oder Wachsleinwand überzogen, ölfarbene Gemälde, Sammt, oder seidne Stoffe über Mauern, Tische und dergl. gezogen, kameelhärne und sehr trockene wollene Zeuge. Dem *Teller* oder *Deckel* (der *Collector-Platte*) gab Volta die ganz gleiche Einrichtung, wie die des Deckels des Elektrophors, wobei er als die Hauptbedingung seiner zweckmäfsigen Beschaffenheit, die vollkommene Abrundung, Abwesenheit von allen Ecken und Schärfen und das genaueste Anpassen mit ganz ebener Oberfläche an die Unterlage aufstellte.

Eine noch einfachere Vorrichtung, deren sich Volta bediente, war, die Basis oder Unterlage zum Deckel oder zur Collector-Platte selbst zu machen, namentlich eine kleine recht ebene Marmor-Platte, mit Ausnahme ihrer untern Fläche, mit Stanniol zu überziehen, eben so die untere Fläche einer sonst mit Stanniol überzogenen recht ebenen Holzscheibe an ihrer untern Fläche mit einer Schicht von Siegellack oder Firnifs oder einer einfachen oder doppelten Taffentlage zu versehen, wo es dann beim Gebrauche hinreichte, sie auf irgend eine ebene Oberfläche eines mit der Erde in Verbindung stehenden Leiters z. B. eines Buchs, Tisches u. s. w. aufzusetzen, um die ganze Wirkung des Condensators zu haben.

Da bei der Anwendung einer mit einem isolirenden Ueberzuge von Firnifs, Siegellack u. dgl. versehene Unterlage leicht eine eigenthümliche Elektricität, wie beim Elektrophor, durch das Aufsetzen und Andrücken der Collector-Platte erregt werden kann, worauf Cavallo [1] aufmerksam machte, so schlug Lichtenberg zur Vermeidung der dadurch entstehenden Unsicherheit des Werkzeuges eine Luftschicht statt jenes elektrischen Ueberzuges vor, wo freilich die Basis nicht mehr elektrophorisch wirken konnte, weil der Hauptkörper, aus welchem er dann besteht, die Luft, jeden Augenblick wechselt. Lichtenberg gab hierzu folgende nähere Einrichtung an: Auf eine Metallplatte, wozu die äufsere Seite jedes flachen zinnernen Tellers gebraucht werden kann, lege man drei Stückchen Glas, so klein als man sie nur, z. B. aus zerschlagenem Fensterglase

---

1 Phil. Trans. 1788. LXXVIII. 1. ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

erhalten kann, ohngefähr in einem gleichseitigen Triangel. Je kleiner die Stückchen gemacht sind, um so besser. Lichtenberg hat sie so klein genommen, dafs sie die Gröfse des Buchstabens o von sehr kleinem Druck nicht überstiegen. Auf diese drei Puncte wird nun der Deckel des Condensators gesetzt, und übrigens wie sonst in den Versuchen mit dem Condensator verfahren. Die Absicht ist blofs eine *dünne Luftschicht* zwischen zwei Leitern zu erhalten. Gröfsere Stücken Glas, etwa von einen Quadratzoll, würden für die genauere Untersuchung alles verderben, sie würden aus dem *Condensator* einen *Elektrophor* machen, der zwar an sich sehr schwach, aber immer noch überwiegend stark für die feinen Versuche wäre, für welche das Werkzeug bestimmt ist [1]. Weit zweckmäfsiger als die kleinen Stückchen Glas sind die von J. T. Mayer vorgeschlagenen Tröpfchen Siegellack oder Schellack, welche die Spitzen eines gleichschenklichen Dreiecks bildend, auf die untere Platte getröpfelt werden, daran festsitzen und eine Luftschicht zwischen beiden Platten zurück lassen [2]. Diese Luftschicht als Mittel zur Condensation wandte dann auch Cavallo in einem mehr künstlichen Apparate an, als er von Lichtenberg vorgeschlagen war, in seinem *Collector* [3], so wie John Read und Cuthberson in ihrem sogenannten *doppelten Condensator* [4]. Bennet verband den Condensator unmittelbar mit seinem Goldblattelektrometer [5].

2. Zweckmäfsigste Einrichtung und Gebrauch des Condensators.

Wenn gleich die nützliche Erfindung Voltas von der Eigenschaft der sogenannten Halbleiter ausging, zwar die Vertheilung der Elektricität oder die Atmosphärenwirkung durch sich hindurch zuzulassen, nicht aber die Mittheilung, wenn sie nur in gehörig ebenen Flächen mit den Leitern in Berührung kom-

---

1 Anm. zu Erxlebens Anfangsgründen der Naturlehre. 6te Auflage §. 538. g.

2 Anfangsgründe der Naturlehre. Gött. 1820. p. 478.

3 S. *Collector*.

4 S. unten.

5 Phil. Trans. 1787. LXXVII. I. 52.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

men, auch Volta am häufigsten bei seinen Versuchen sich einer *Marmorplatte* bedient zu haben scheint, so ist man doch in neuern Zeiten von dieser Einrichtung abgekommen. Es ist nicht leicht, sich eine gute Marmorplatte zu diesem Behufe zu verschaffen. Volta bemerkt selbst, dafs der gefleckte Marmor hierzu nicht tauge. Auch versagen die Marmorplatten in feuchter Luft gewöhnlich ihren Dienst, und man mufs sie, da sie sehr hygrometrisch sind, vor dem Gebrauche jedesmal erwärmen, wobei man Gefahr läuft, dafs sie Risse bekommen. Andere Halbleiter sind noch weniger brauchbar. In jeder Rücksicht verdienen daher diejenigen Condensatoren den Vorzug, bei welchen eine möglichst dünne nicht leitende Schicht die condensirende Wirkung vermittelt. Man schleift zu diesem Behuf zwei Metallplatten auf das sorgfältigste von einander ab, gleichviel ob von Messing oder Kupfer (zu gewissen, namentlich galvanischen Versuchen können indessen auch Condensator-Platten von Zink und Zinn erforderlich seyn), die eine gehörige Dicke nach Mafsgabe ihres Durchmessers haben müssen, damit sie sich nicht im mindesten biegen. Zum sogenannten doppelten Condensator sind Platten nöthig, deren Durchmesser in dem Verhältnisse von wenigstens 10:1 steht, wo man dann den kleinern etwa einen Pariser Zoll im Durchmesser giebt. Beide zur vollkommensten Ebene an einander abgeschliffene Platten, werden mit einer recht dünnen Schicht Firnifs auf das gleichförmigste überzogen, so dafs der Firnifs eine recht ebene Fläche bildet. Ich finde Bernsteinfirnifs am besten, da andere Arten von Firnifs z. B. von Mastix, Copal u. a. sich zu leicht abreiben, der Bernsteinfirnifs auch vorzüglich gut isolirend ist. Es ist hier nur von Condensatoren die Rede, welche Elektricitäten von höchst schwacher Spannung, wie z. B. die Berührungs-Elektricität eines einzelnen Paars von Körpern merklich machen sollen, bei welchen die trennende Schicht des Nichtleiters nicht dünn genug seyn kann. Eine auch noch so dünne Glasscheibe zwischen den beiden Platten würde diesen Vortheil nicht gewähren, auch hängt sich zu leicht Feuchtigkeit an die Glasscheibe an, wodurch eine Mittheilung der Elektricität von einer Platte zur andern veranlafst wird. Aus dem erstern Grunde ist auch Lichtenbergs Vorschlag nicht zu empfehlen, da die Dicke auch von Stückchen vom dünnsten Fensterscheibenglas immer noch viel

zu grofs ist, auch solche Stückchen gewöhnlich von ungleicher Dicke ausfallen, endlich die Ecken und scharfen Kanten derselben zu einer Ueberführung der Elektricität von einer Metallplatte zur andern Gelegenheit geben könnten. Mir wenigstens hat es nie mit dieser Einrichtung gelingen wollen. Auch Taffent zum Ueberzuge der Platten ist nicht zu empfehlen, weil ein solcher Condensator nicht mit sich selbst vergleichbar ist, indem der mehr oder weniger starke Druck der Platten auf den Taffent ihre Entfernung und eben damit den Grad der Condensation wechseln machen kann. Eine Hauptsache ist, dafs beide Platten an der Fläche, mit welcher sie sich berühren, überfirnifst seyen. Hat nur eine der beiden den Firnifsüberzug, so läuft man, wie vorsichtig man auch die eine Platte auf die andere aufsetzen mag, doch Gefahr, dafs durch das Reiben der Metallfläche an der Firnifsfläche, oder auch wohl durch den blofsen Druck, eine eigenthümliche, gleichsam elektrophorische Elektricität erzeugt werde, welche alle Anzeigen des Condensators unsicher und zweideutig macht. Dies hat man aber nicht leicht zu befürchten, wenn beide Flächen mit demselben Firnifs überzogen sind, weil durch das Reiben gleichartiger Körper an einander nicht leicht Elektricität erregt wird. Auch kann man eben darum, wenn etwa der Firnifs zu dick und ungleichförmig auf die Platten aufgetragen seyn sollte, durch gelindes Abreiben der Platten an einander, nachdem der Firnifs gehörig getrocknet ist, die Schichten ganz eben und so dünn, als man will, machen, ohne dafs dadurch auf elektrophorische Art Elektricität erregt wird. Für den Gebrauch ist es bequem, die eine Platte, welche mit dem Erdboden in Verbindung stehen soll, und die andere an ihrer obere Fläche mit einer isolirenden Handhabe, wozu eine wohl überfirnifste Glasstange am besten pafst, zu versehen. Die Zeichnung stellt die zwei Platten vor, wie sie auf einander ruhen, wenn die Elektricität condensirt werden soll. Die Schraubenmutter der Collector-Platte A mufs auch auf die Schraube in der Mitte der Messingfassung eines Bennetschen oder Bohnenbergerschen Elektrometers passen, um nöthigenfalls darauf geschraubt werden zu können, so wie dann auch die Glasstange der Collector-Platte auf die andere Platte mufs geschraubt werden können. Will man sich des Condensators bedienen, so setzt man die Platten auf einander,

Fig. 86.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

berührt dann den Körper, dessen elektrischen Zustand man kennen lernen will, mit dem Endknöpfchen a eines metallischen Drahts, der in den Rand der obern bei dieser Anwendungsart den Dienst des Collectors versehenden Platte befestigt ist, welche Einrichtung den Vortheil gewährt, dafs man manche Körper bequemer mit der Collector-Platte in Verbindung bringen kann, und zwar unterhält man diese Verbindung nach den Umständen kürzere oder längere Zeit (von ein paar Secunden bis höchstens einige Minuten), wobei man besonders in den Fällen, wo Elektricitäten von sehr schwacher Spannung zu untersuchen sind, Sorge trägt, dafs die Collector-Platte auf die untere gut angedrückt werde, worauf man nach aufgehobener Verbindung mit dem zu untersuchenden Körper das Instrument niedersetzt, um mit aller Bequemlichkeit die Collector-Platte in die Höhe heben, und durch die Anbringung an ein Elektrometer die Elektricität derselben sowohl ihrer Stärke als ihrer Art nach, untersuchen zu können. Bei dem Aufheben der Platte ist besonders alle Sorgfalt darauf zu verwenden, die Platten in so paralleler Lage als möglich von einander zu trennen, denn würde man die Collector-Platte in schiefer Richtung aufheben, so würde sich die Elektricität derselben in dem Theile, der der untern Platte am nächsten ist, anhäufen, und ihre Anhäufung könnte daselbst einen Funken nach der untern Platte veranlassen, wodurch die Collector-Platte plötzlich entladen würde. In den meisten Fällen wird der Gebrauch des Condensators dadurch bequemer, dafs man die eine Platte auf ein Elektrometer schraubt, und diese Platte, welche nun als Collector-Platte dient, mit dem Körper oder dem Quell, dessen Elektricität man untersuchen will, durch den Metalldraht a in Verbindung setzt, während man die obere Platte, in die man die Handhabe der Collectorplatte nach der ersten Gebrauchsart eingeschraubt hat, mit dem Finger berührt, und dadurch eine Leitung nach dem Erdboden unterhält. Nach hinlänglich lange unterhaltener Verbindung der Collector-Platte mit dem Elektricitätsquell hebt man dieselbe auf, und entfernt mit der oben angegebenen Vorsicht die obere Platte, worauf die frei gewordene Elektricität der unteren Platte durch den Grad der Divergenz der Strohhälmchen oder Goldblättchen ihre Stärke und bei Anwendung eines Bohnenbergerschen Elektrometers ohne weiteres durch den Pol, nach wel- Fig. 87.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

chem das Goldblättchen sich hinbewegt, ihrer Art nach erkannt werden wird. In einzelnen Fällen kann es auch bequemer seyn, den Elektricitätsquell mit der obern Platte in Verbindung zu setzen, in welchem Falle man die untere auf das Elektrometer geschraubte Platte berührt, dann, wenn man voraussetzen darf, dafs die Ladung der obern Platte vollständig ist, den Finger wegzieht, und die obere Platte aufhebt, worauf die Strohhälmchen oder Goldblättchen mit der entgegengesetzten Elektricität von derjenigen der untersuchten Elektricitätsquelle divergiren, auch diese Elektricität dem Grade nach etwas schwächer seyn wird, als die des Elektricitätsquells selbst auf die vorige Art untersucht, sich gezeigt haben würde.

3. Theorie des Condensators.

Die Wirkung des Condensators ist diese, dafs der auf der nicht isolirten Basis stehende Deckel oder die sogenannte Collector-Platte nicht nur alle derselben mitgetheilte Electricität weit fester an sich hält, als wenn sie völlig isolirt wäre, (weswegen auch Volta seiner Abhandlung die Ueberschrift gab: *Von den beträchtlichen Vortheilen, welche eine so unvollkommene Isolirung, dafs man ihr kaum diesen Namen geben kann, vor der vollkommensten Isolirung voraus hat*), sondern auch in diesem Zustande weit mehr neue Elektricität anzunehmen fähig wird, oder nach Volta's Ausdruck, dafs sowohl die Tenacität (Anhaltungskraft) als auch die Capacität der Platte unter diesen Umständen verstärkt ist. Dies erklärt sich aus der Lehre von den elektrischen Wirkungskreisen und dem Gesetze der wechselseitigen Anziehung und Bindung der entgegengesetzten, und der Zurücklassung und dadurch erhöhten Spannung der gleichnahmigen Elektricitäten. Ein elektrisirter Körper strebt in andern Körpern, die in seine Nähe oder in seinen noch merklichen Wirkungskreis gebracht werden, eine der seinigen entgegengesetzte Elektricität hervorzubringen, oder die anziehende Wirkung seiner freien positiven oder negativen Elektricität ist lediglich auf ihren Gegensatz gerichtet, und häuft denselben gegen sich an, während sie die gleichnamige zurücktreibt. Wird daher ein isolirter Körper, der auf eben die Art und eben so stark elektrisirt ist, in den Wirkungskreis jenes ersteren gebracht, so wird seine Elektricität mit verstärkter Kraft heraus-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zugehen streben, weil zur eigenen Repulsivkraft ihrer Theilchen noch diejenigen der Elektricität des andern Körpers, der schon aus der Ferne wirkt, hinzugekommen ist, seine Elektricität wird mehr Intensität oder Spannung erhalten, und in demselben Verhältnisse wird auch des Körpers Fähigkeit, mehr von dieser Elektricität anzunehmen, oder seine Capacität verringert werden, weil die Grenze für die weitere Aufnahme dann eintritt, wenn die Spannung einen hinlänglichen Grad erreicht hat, um den Widerstand der Luft zu überwinden, und mit Zunahme der Spannung daher eher eintreten mufs. Auf gleiche Weise wird der elektrisirte Körper auf jenen ihm genäherten zurückwirken. Wenn man daher zwei isolirte Metallplatten mit daran hängenden Elektrometern (z. B. mit zwei Korkkügelchen die an feinen Leinwandfäden hängen) beide entweder positiv oder negativ elektrisirt, und sie einander allmälig nähert, so werden die Elektrometer, welche durch die Divergenz der Korkkügelchen die Spannung messen, durch ihr stärkeres Auseinandergehen zeigen, dafs ihre Elektricitäten bei mehrerer Annäherung an einander immer stärker werden. Damit dieser Versuch vollkommen gelinge, mufs die Luft recht trocken und die Platten müssen wohl abgerundet seyn. Am besten sieht man diesen Erfolg, wenn man die eine Platte auf ein Strohhalmelektrometer unmittelbar geschraubt hat, bei Annäherung der andern gleichartig elecktrisirten von oben her. Wird hingegen in den Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers ein anderer eingesenkt, der auf eine jenem entgegengesetzte Art elektrisirt ist, so wird ein Theil jener entgegengesetzten Elektricität gebunden, ihre Intensität geschwächt, und der Körper fähig gemacht, noch mehr von dieser Elektricität aufzunehmen, oder seine Capacität für Elektricität wird erhöht, weil die Grenze, bei welcher die Spannung einen Grad erreicht, um den Widerstand der Luft zu überwinden, nunmehr weiter hinausgerückt ist. Der entgegengesetzte Erfolg an den Korkkügelchen, oder den Strohhälmchen, das Zusammengehen derselben, wird den augenscheinlichen Beweis davon liefern. Wenn man einen elektrisirten Körper einem mit der Erde verbundenen Leiter, z. B. dem Tisch nähert, so wird durch Vertheilung des natürlichen Antheils der Elektricität dieses Leiters oder seines 0 E. in Folge dieser Annäherung in der dem elektrisirten Körper zunächst ge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

legenen Fläche die entgegengesetzte Elektricität auftreten, welche auf die Elektricität des genäherten Körpers selbst anziehend und dadurch sie in ihrer freien Wirksamkeit nach aufsen schwächend zurückwirkt, wodurch also gleichfalls die Intensität der vorhandenen Elektricität geschwächt, die Capacität des elektrisirten Körpers für neue Elektricität dagegen erhöht wird. Wenn man z. B. die Trommel eines Elektrophors so stark elektrisirt, dafs der Zeiger eines damit verbundenen Quadranten-Elektrometers z. B. bis auf 60 Grade steigt, und man alsdann die an seidenen Schnüren gehaltene Trommel nach und nach gegen den Tisch senkt, so wird der Zeiger des Elektrometers allmälig auf 50°, 40°, 30°, u. s. w. fallen. Hebt man aber die Trommel wieder auf, so steigt das Elektrometer wieder auf den vorigen Grad, den Verlust von Elektricität abgerechnet, den indessen die Feuchtigkeit der Luft, oder andere zufällige Ursachen (z. B. unmerkliche Ecken, Schärfen) veranlafst haben können. Man setze die Trommel des Elektrophors sey positiv elektrisirt oder habe + E, so wird dieses + E bei der Annäherung an den Tisch einen Theil der in diesem Tische befindlichen — E anziehen und binden. Dadurch wird eben soviel von dem + E des Tisches frei, und da es durch den übrigen Theil des Tisches einen freien Abflufs in die Erde hat, so kann es durch seine etwaige Anhäufung jener Wirkung des + E der Trommel sich nicht entgegensetzen, welches Zurücktreiben durch das Uebergewicht des + E der Trommel zu Stande kommt. Das auf dieses Anziehen und Binden des — E des Tisches verwendete + E der Trommel kann eben darum, weil es verwendet, von jenem — E gegenseitig gebunden ist, nicht mehr auf das Elektrometer wirken, dessen Zeiger also natürlich fallen mufs. Es ist aber darum nicht verloren gegangen, und zeigt sich wieder in seiner freien Wirksamkeit, wenn die Trommel wieder vom Tische entfernt wird, weil jene wechselseitige Anziehung mit der Entfernung abnimmt. Die von dieser Wechselwirkung abhängige Zunahme der Capacität und Tenacität der Trommel in Beziehung auf die von ihr aufzunehmende und aufgenommene Elektricität wird also im Augenblicke der wirklichen Berührung am stärksten seyn, wofern nur verhütet werden kann, dafs eine wirkliche Mittheilung oder ein Uebergang der Elektricität vorgehe. Um diesen Uebergang,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

für welchen die Bedingungen um so günstiger sind, je mehr die Annäherung zunimmt, zu verhüten, mufs man sowohl den elektrisirten Körper, als auch den Leiter, dem er genähert wird, so glatt als möglich, mit Vermeidung aller hervorragenden Theile, scharfer Ecken u. s. w. machen, und entweder durch die Wahl eines Halbleiters als Unterlage, oder durch eine dünne Schicht eines Isolators einen der Intensität der Elektricität angemessenen Widerstand entgegensetzen. Ein sogenannter Halbleiter, wie z. B. eine recht trockene Marmorplatte, besitzt, bei recht glatter und ebener Oberfläche, welche mit dem elektrisirten Leiter in Berührung kommt, diese Eigenschaft, dem Uebergange einer an sich schwachen Elektricität, wie diejenige stets ist, die man durch Hülfe des Condensators merklich machen will, einen hinlänglichen Widerstand entgegenzusetzen, ohne darum die vertheilende Wirkung derselben zu verhindern, auf welcher die Erhöhung der Capacität und Tenacität des elektrisirten Körpers für Elektricität beruht. Noch sicherer wird dieser Zweck durch eine Schicht eines vollkommenen Nahtleiters erreicht, die nur hinlänglich dünn seyn mufs, um die Elektricitäten einander nahe genug zu bringen, und wenn eine Schicht Firnifs dazu genommen wird, viel dünner seyn kann, als eine Luftschicht, die bei gleicher Dünne einen viel geringeren Widerstand dem wirklichen Uebergange entgegensetzt. Die Wirkungen eines so eingerichteten Condensators sind, zumal bei schwachen Graden der Elektricität unglaublich grofs. In Absicht auf die Tenacität bemerkt Volta, dafs die Elektricität des Deckels, die sich in der Luft binnen wenig Minuten zerstreuen würde, sich auf der Platte des Condensators mehrere Stunden lang erhalte, ja sogar durch die Berührung mit Leitern nicht weggenommen werde. Er konnte an die Collector-Platte des Condensators den Finger oder ein Metallstäbchen 30 Secunden lang anhalten, oder mit einem Schlüssel 50 bis 60 mal daran schlagen, ohne ihr alle Elektricität zu entziehen. Der Deckel gab vielmehr nach dem Aufziehen noch einen beträchtlichen Funken. Da man gewöhnlich das Isoliren als das einzige Mittel zur Erhaltung der mitgetheilten Elektricität ansieht, so scheint es paradox, dafs man hier durch ein höchst unvollkommenes Isoliren mehr als durch das vollkommenste selbst ausrichtet, dafs man sogar desto mehr ausrichtet, je un-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

vollkommener die Isolirung, d. h. je genauer die Berührung mit der Unterlage, und je vollkommener die leitende Verbindung derselben mit der Erde ist. Das Räthsel löst sich aber durch die gegebene Erklärung sehr leicht auf, und es kommt nur darauf an, Vertheilung der Elektricität durch Atmosphärenwirkung von Mittheilung und Uebergang derselben zu unterscheiden, welches überhaupt der Schlüssel zu den vornehmsten Geheimnissen der Elektricitätslehre ist. Da die Elektricität sich um so leichter auch bei vollkommener Isolirung durch die, auch in der reinsten Luft schwebenden Staubtheilchen und durch die auch bei der vollkommensten Polirung nicht ganz zu beseitigenden feinen Hervorragungen zerstreut, je gröfser ihre Spannung ist, so mufs der davon abhängige Elektricitätsverlust nothwendig beim Aufliegen der elektrisirten Metall-Platte auf einer Unterlage geringer werden, weil die Spannung der Elektricität so sehr geschwächt wird, und diese grofse Tenacität hat dem Condensator auch den Namen eines *Conservators der Elektricität* verschafft.

Was die Capacität betrifft, so kann der aufgesetzte Deckel, wenn er durch den Conductor einer Maschine, oder durch eine geladene Flasche u. s. w. elektrisirt wird, weit mehr Elektricität als sonst annehmen. Er zeigt zwar, so lange er auf der untern Platte steht, wenig oder gar nichts von dieser Elektricität, hebt man ihn aber auf, so wird sie sogleich mit ihrer ganzen Stärke sichtbar. Man kann daher sehr geringe Grade der Elektricität merklich machen, weil der Deckel vermögend wird, sich durch eine, ihrer Spannung nach sehr schwache Elektricität, wenn nur ein hinlänglicher Vorräth davon vorhanden ist, zu einer viel höheren Spannung laden zu lassen. Wenn man eine Leidner Flasche entladen und durch eine zweite, auch wohl dritte Berührung allen Ueberschufs an Ladung herausgezogen hat, so ist nicht daran zu denken, dafs man aus ihr noch einen Funken erhalten sollte; wenn sie aber nur noch einen leichten Faden anzieht (welches eine gut geladene Flasche nach der Entladung und zweimaligen Berührung noch ganze Stunden und Tage lang thut), so giebt sie dem Deckel des Condensators noch genug Elektricität, um nach Aufhebung desselben noch einen merklichen Funken zu erhalten. Berührt man ihn zum zweitenmale mit dem Knopfe der Flasche, so

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

giebt er aufgezogen einen zweiten Funken, und wird endlich die Elektricität der Flasche so sehr erschöpft, dafs sie nicht einmal mehr leichte Fäden anzieht und die feinsten Goldblättchen kaum zu einiger Divergenz bringt, so kann man sie doch noch durch den Condensator bemerken, dessen Deckel nach der Berührung mit dem Knopfe der Flasche von seiner Unterlage entfernt zwar keine Funken geben, aber doch Fäden anziehen, nicht blofs die Goldblättchen, sondern selbst die Strohhalme aus einander treiben wird. Dieser Versuch dient zugleich zur Prüfung der Kraft eines Condensators und zur Messung derselben. Bei starken Graden der Elektricität vergröfsern sich die Wirkungen des Condensators nicht verhältnifsmäfsig. Denn sobald die dem Deckel mitgetheilte Elektricität so stark wird, dafs sie den schwachen Widerstand der untern Platte, wenn diese aus einem Halbleiter besteht, oder der Firnifs- oder der Luftschicht überwinden kann, so theilt sie sich derselben mit, und zerstreut sich dadurch in die Erde.

4. Mathematische Bestimmung der condensirenden Kraft der Collector-Platte. Empirische Ausmittelung derselben.

Nach dem im Allgemeinen angegebenen Principe der Wirkungsart des Condensators läfst sich nun auch die condensirende Kraft, oder das Verhältnifs, in welchem die Spannung einer der Collectorplatte mitgetheilten Elektricität aus einem unerschöpflichen Quell in dieser Platte angehäuft und verdichtet wird, durch folgende Betrachtung zur genauen Berechnung und zu einem Ausdruck durch eine Formel bringen. Die Elektricität A, welche der Collector-Platte mitgetheilt wird, neutralisirt oder bindet auf eine geringe Entfernung eine Portion —B von entgegengesetzter Elektricität in der untere Platte, die mit dem Erdboden in Verbindung ist (bei der Vorrichtung, wo die Collector-Platte auf dem Elektrometer aufgeschraubt ist, bezieht sich das — B auf die oben auf ruhende Platte, die mit dem Finger berührt wird) und hindert dieselbe zu entweichen. Diese ihrerseits bindet wieder eine Portion A′ von der Elektricität der Collector-Platte, und hebt ihre repulsive Kraft auf. Die Collector-Platte befindet sich also genau in dem Falle, als wenn sie blofs A — A′ freie Elektricität hätte, und folglich mufs

sie fortfahren sich zu laden, bis diese Quantität derjenigen gleicht, welche sie den Leitern entzogen haben würde, mit denen sie in Verbindung steht, wenn sie allein, ohne den Einflufs der untern Platte mit ihnen communicirt hätte. Es sey demnach E ihre Ladung unter diesen Umständen, so wird man an der Grenze haben $E = A - A'$. Das Verhältnifs von A zu — B und von — B zu A′ hängt von der mehr oder weniger grofsen Entfernung ab, welche zwischen den Platten statt findet. Unter allen Umständen mufs aber — B schwächer seyn als A, und zwar so, dafs wenn A +, und B — ist, die beiden Quantitäten mit einander in unmittelbare Berührung gebracht einen Ueberschufs von + geben. Denn die Anziehung der Theilchen von + A auf die Theilchen von — B mufs nothwendig in der Entfernung geringer seyn, als sie in der Berührung seyn würde. Da sie aber durch die nicht leitende Firnifsschicht hindurch — B vollkommen neutralisiren, so müssen sie durch ihre gröfsere Zahl die Schwächung ihrer Wirkung, die von der Entfernung abhängt, ausgleichen. Drückt man das Verhältnifs dieser beiden Gröfsen durch m aus, so dafs man $B = -mA$ oder $B + mA = 0$ hat, so wird m nothwendig ein ächter Bruch und kleiner als die Einheit seyn. Auf gleiche Weise nun wie A das — B durch die Dicke der isolirenden Schicht hindurch bindet, ist in A eine Portion A′ welche durch — B neutralisirt wird, und da die Art zu wirken hier ganz genau dieselbe ist, so wird das Verhältnifs der Sättigung auch ganz dasselbe seyn, so dafs also auch $A' = -mB$ oder $A' + mB = 0$ ist. Schafft man B aus dieser Gleichung vermittelst seines obigen Werthes m A hinweg, so folgt daraus $A' = m^2 A$, und folglich wird die Gleichung, welche oben für die Grenze der Ladung des Condensators gefunden wurde

$$E = (1 - m^2) A;$$ und so giebt $\frac{A}{E} = \frac{1}{1 - m^2}$ das Verhältnifs der Ladungen, welche die Collector-Platte durch ihre Berührung mit den nämlichen elektrisirten Leitern mit oder ohne den Einflufs der untern (mit dem Erdboden in Verbindung stehenden) Platte erhält. Dieses Verhältnifs ist also das Mafs der condensirenden Kraft, die sich folglich durch $\frac{1}{1 - m^2}$

ausgedrückt findet. Ist z. B. m = 0,99 d. h. binden 100 Theile Elektricität in der einen Platte 99 in der andern durch die isolirende Schicht hindurch, so wird man, wenn man für m diesen Werth setzt $\frac{1}{1-m^2} = 50$ haben, so dafs also unter dem Einflusse der untern Platte die Collector-Platte mit irgend einem unerschöpflichen Quell von Elektricität in Verbindung gesetzt 50mal mehr Elektricität aufnehmen wird, als wenn sie sich ohne diesen Einflufs damit in Verbindung befunden hätte. Zur Bestimmung der condensirenden Kraft eines solchen Instruments reducirt sich demnach alles darauf, den Bruch m auszumitteln. Zu diesem Behuf ladet man den Condensator mit irgend einer gegebenen Menge Elektricität, wobei aber beide Platten mit isolirenden Handgriffen versehen seyn müssen, und nur während der Ladung die eine Platte mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt, diese aber dann wieder aufgehoben wird, und bringt dann nach der Reihe jede der beiden Platten mit demselben Puncte ihrer Oberfläche mit einem, die Stärke der Elektricität messenden Apparate z. B. der Prüfungsscheibe der elektrischen Waage Coulombs [1] in Berührung. Dadurch erfährt man, welches an diesem Puncte das Verhältnifs der Spannung der elektrischen Schichten ist, und da die Platten von gleicher Gröfse sind, so wird dieses Verhältnifs auch zugleich das Verhältnifs der totalen Quantität ihrer Elektricitäten seyn. Nach dem obigen Verhältnisse ist nun, wenn die der Collector-Platte = A ist, die der untern Platte = — m A. Dividirt man die zweite durch die erste, so hat man m, worauf man $\frac{1}{1-m^2}$, d. h. die condensirende Kraft berechnen kann.

Man kann aber auch einfacher und ohne elektrische Waage, welche ein nicht leicht in gehöriger Vollkommenheit zu erhaltendes Instrument ist, hinreichend genug die condensirende Kraft durch *correspondirende Elektrometer* bestimmen, von denen die Grade des einen Vielfache der Grade des andern sind. Man kann sich eine solche Reihe von Elektrometern, von dem empfindlichsten Goldblattelektrometer ausgehend, leicht durch

1 S. *Drehwaage.*

Hülfe einer Volta'schen Säule und irgend eines recht gleichförmig wirkenden Condensators verschaffen, indem man die in arithmetischer Progression wachsenden Spannungen einer solchen Säule vom ersten Plattenpaare ausgehend nach der Reihe an diesen Elektrometern, die für die höheren Grade von Strohhalmen, welche an Dicke zunehmen, verfertigt sind, prüft, und den jedem höheren Grade entsprechenden Elongationswinkel mit der Zahl des Plattenpaares bezeichnet, den Elongationswinkel, der die Spannung des ersten Plattenpaars mifst, zur Einheit annehmend. Alsdann darf man blofs eine Leidner Flasche von sehr grofser Capacität anwenden, welche man durch mehrmalige Berührung so weit entladen hat, dafs sie nur noch eine Spannung behält, die ohne Condensator am empfindlichsten Goldblattelektrometer einen oder zwei Grade beträgt. Durch Ladung des Condensators wird diese Spannung wegen der sehr grofsen Capacität der Flasche nicht abnehmen, und indem man nun nach Aufhebung der Collectorplatte die Spannung derselben an einem der weniger empfindlichen Elektrometer z. B. einem Strohhalmelektrometer, dessen Scala etwa bis auf 300 oder 400 Grade des empfindlichsten Goldblattelektrometers reicht, prüft, dessen Grade in Graden des Goldblattelektrometers durch die vorhergegangene Regulirung ausdrückbar sind, so wird man dadurch das Verhältnifs der Spannung der aufgehobenen Collectorplatte zur ursprünglichen Spannung des Elektricitätsquells, und damit die condensirende Kraft kennen. Noch genauer würde diese Bestimmung, wenn man untersuchte, wie viele Plattenpaare über einander geschichtet werden müssen, um, wenn das eine Ende der aufgebauten Volta'schen Säule mit dem Erdboden in Verbindung ist, durch das andere Ende unmittelbar an einem Goldblattelektrometer dieselbe Spannung (die gleiche Divergenz der Goldblättchen) zu erhalten, die ein einzelnes Plattenpaar durch Hülfe des Condensators, dessen condensirende Kraft bestimmt werden soll, zeigt. Die Zahl dieser Plattenpaare giebt dann unmittelbar die Condensationskraft an. Damit stimmt auch im wesentlichen Bohnenbergers Anweisung überein [1], nur dafs er sich einer Säule von

---

1 G. III. 363.

Gold- und *Silberpapier* bedient, und zwar einer von etwa 1000 Plattenpaaren, welche schon eine sehr merkliche Divergenz am Goldblattelektrometer etwa von 10° hervorbringt, und dann den Condensator mit einem Stücke dieser Säule in Verbindung setzt, und abermals die Spannung untersucht. Gesetzt 20 Plattenpaare hätten eine Spannung von 16° durch Hülfe des Condensators hervorgebracht, so würde dieses auf eine 80fache condensirende Kraft deuten, denn da die Spannung jener 20 Plattenpaare 50mal geringer als der der 1000 Plattenpaare ist, so kann sie nur $\frac{1}{5}$ betragen; da nun aber der Condensator 16° zeigte, so mufs sie 80mal verstärkt worden seyn. Ich erinnere indessen, dafs ich durch trockene Säulen nicht leicht eine bedeutende Ladung in meinen Condensatoren hervorbringen konnte, und dafs bei dieser Art der Berechnung die Elektrometer vorher regulirt seyn müssen, so dafs ihre Grade ein genaues Mafs der Spannung durch ihre Gröfse im einfachen Verhältnisse derselben unmittelbar geben. Bei dieser Bestimmungsart wird vorausgesetzt, dafs die elektrische Spannung einer Volta'schen Säule in einer arithmetischen Progression mit der Zahl der Plattenpaare wachse. Meine empfindlichsten Condensatoren zeigten mir bei dieser Art der Prüfung eine 300fache condensirende Kraft, indem das Goldblattelektrometer erst in Berührung mit dem 300sten Plattenpaare einer gewöhnlichen mit Kochsalz aufgebauten Zink-Kupfersäule die gleiche Spannung zeigte, welche ein einfaches Plattenpaar durch Hülfe jener Condensatoren daran zu erkennen gab.

5. Doppelter Condensator.

Es kann die Elektricität des Condensators selbst noch durch Mittheilung an die Collector-Platte eines *zweiten kleinern Condensators* merklich gemacht werden. Eine sehr zweckmäfsige Vorrichtung hiezu hat Cuthberson angegeben. Statt in horizontaler Lage befinden sich hier die Platten bei ihrem Gebrauche in einer verticalen; a a und b b sind Messingscheiben von ungefähr 8 Zoll Durchmesser. Die Platte b b ist an die mit einer Hülse versehene Kugel von Messing e angeschraubt und wird von einem Glasstabe c getragen, dessen unteres Ende in dem hölzernen Fufse d befestigt ist. Die andere Platte a a wird von der Messingstange f, die unten mit einem Charnier, und oben Fig. 88.

mit einer Kugel, an welche die Platte angeschraubt, versehen ist, in parallerer Lage mit b b erhalten. Mittelst des Charniers läfst sich diese Platte a a zurücklegen in die Lage, wie die punctirten Linien g a, bezeichnen. Ein hervorragendes Stück am Charnier hält die Platte auf, wenn sie in die gehörige Lage parallel mit b b gekommen ist, und erhält sie in ihr. Auf der Kugel e befindet sich eine Mutterschraube, in welche sich drei Stücke für drei Hauptversuche, die man mit dem Condensator anstellen will, einschrauben lassen, ein kleiner messingener Becher, ein mit Stanniol überzogenes Stäbchen für die Luftelektricität, und ein Messingdraht, der mit einem Gelenk versehen, und bestimmt ist, die Condensatorplatte mit der Platte einer Volta'schen Säule in leitende Verbindung zu setzen. Zur gröfseren Bequemlichkeit bedient man sich eines gewöhnlichen
Fig. Goldblattelektrometers, woran der kleine Condensator ange-
89. bracht ist, dessen Scheiben 1″,5 im Durchmesser haben, deren eine an die messingne Deckplatte des Elektrometers angeschraubt ist, die andere an einen Messingstab, welcher unten auf gleiche Weise, wie am gröfsern Condensator, mit einem Charniere versehen ist, um die Scheibe niederlegen zu können, und auf dem Fufse des Elektrometers festsitzt. Beide Instrumente lassen sich einzeln und in Verbindung mit andern gebrauchen. Erfordert der Versuch (wenn nämlich der einzelne Condensator keinen merklichen Ausschlag giebt) beide Condensatoren, so werden
Fig. sie mit einander verbunden. Die feste Platte b b des gröfsern
90. Condensators mufs zu dem Ende an der Seite mit einem Messingstifte α versehen seyn, der in ein Loch am Rande der Col-
Fig. lector-Platte b b des kleinen Condensators gut pafst. Will man
91. z. B. die Elektricität, die durch einen, mit Luftentwickelung verbundenen chemischen Procefs erregt wird, untersuchen, so schraubt man das Schälchen auf die Kugel des grofsen Condensators, und setzt in dasselbe eine Glas- oder Porcellanschale mit den Materien, welche jene Luftentwickelung geben sollen, z. B. Kreide und verdünnte Schwefelsäure, und verbindet darauf beide Condensatoren. Hat das Aufbrausen begonnen, so
Fig. schlägt man die bewegliche Platte a a des grofsen Condensators
88. in die punctirte Lage zurück, und wenn viel Elektricität erzeugt ist, so divergiren jetzt schon die Goldblättchen; wo nicht, so schlägt man nun auch die eine Platte des kleinen Condensators

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zurück, wo unfehlbar in obigem Falle Spuren von Elektricität sich zeigen werden. Man kann übrigens einen solchen doppelten Condensator aus Scheiben, die mit einer dünnen Firnifsschicht überzogen sind, und in horizontaler Lage auf einander gesetzt werden, anwenden, und er hat vor dem Cuthbersonschen den Vorzug, dafs die freigewordene Elektricität der kleinen, auf das Elektrometer geschraubten Platte, gleichförmiger auf die Divergenz der Goldblättchen wirkt, während bei jener senkrechten Lage die Seitenwirkung der untern Hälfte der Scheibe, die dem Goldblättchen seitwärts gegenüber steht, wenigstens in etwas in einem entgegengesetzten Sinne thätig ist. Ein solcher Condensator mit einer Luftschicht ist aufserdem ein Werkzeug, das schon einen sehr geübten Künstler zu seiner Verfertigung erfordert.

Die Zunahme der Condensation durch einen solchen doppelten Condensator ergiebt sich übrigens leicht durch folgende Betrachtung. Das Verhältnifs der Flächen der beiden Condensatoren des kleinern und gröfsern sey $1 : m$. Es sey α die Spannung der Elektricität, welche erhöht werden soll, und die condensirende Kraft beider Condensatoren eines jeden für sich sey $n\,\alpha$. Trägt man $n\,\alpha$ auf die Collector-Platte des kleinern Condensators über, so hat man vor abgehobenem Deckel $\frac{n}{n+1}\,m\,\alpha$ und nach abgehobenem Deckel $\frac{n}{n+1}\,m\,n\,\alpha$.

6. Gebrauch des Condensators und mit demselben im allgemeinen angestellte Versuche.

Der Condensator ist vorzüglich in denjenigen Fällen zur Ausmittelung der Elektricität höchst brauchbar, wo zwar eine grofse Quantität von Elektricität vorhanden, aber die Spannung oder Intensität derselben zu schwach ist, um auch das empfindlichste Elektrometer afficiren zu können. Dies gilt ganz besonders dann, wenn der Elektricitätsquell, aus welchem eine Elektricität von so schwacher Spannung ausgeht, ein unerschöpflicher ist, und wenn der Condensator nur vollkommen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

eingerichtet ist, so kann man dieselbe wohl 300 mal verstärkt darstellen.

1. So dient der Condensator sehr vortheilhaft zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität, wenn man von dem dazu aufgestellten Conductor einen Draht bis zur Collector-Platte des Condensators führt, uud einige Minuten mit demselben in Verbindung läfst. Volta hat fast täglich und stündlich auch an den heitersten Tagen Elektricität in der Atmosphäre gefunden, die für sich allein unfähig war, auch auf die empfindlichsten Elektrometer zu wirken. Ich bediene mich hierzu eines hölzernen Stabes, der aus zwei Stücken mit einem Charniere besteht, um ihn zusammenlegen zu können, und sich mit seinem untern durchbohrten Ende, von welchem er in schiefer Richtung ausgeht, frei um einen Zapfen einer wohl überfirnifsten Kugel, die sich auf einem gut isolirenden Stative einer grofsen Glasstange befindet, drehen und in alle Richtungen bringen läfst. An dem hölzernen Stabe geht von seinem obern Ende bis nach unten ein Metalldraht, dessen zuleitende Wirkung dadurch noch vermehrt wird, dafs man an sein Ende einen brennenden Schwefelfaden bringt. Ohngeachtet die Länge des Stabs nur 8 Fufs ist, so erhalte ich, auch wenn ich ihn zum Fenster des mittlern Stockwerkes meines Hauses hinausgehen lasse, die auffallendsten Spuren von Elektricität mit Hülfe des Condensators in wenigen Secunden. Die zur Zeit eines Nordlichts sehr merkliche Luftelektricität erkannte Volta gleichfalls dadurch.

2. Vorzüglich hat man durch Hülfe des Condensators die wichtige Thatsache ausgemittelt, dafs durch die blofse Ausdünstung des Wassers Elektricität erzeugt wird, wobei die Gefäfse, aus welchen das Wasser verdunstet, mit freier negativer Elektricität geladen zurückbleiben, ein Zeichen, dafs der dabei aufsteigende Dunst positiv elektrisirt ist, woraus sich die Elektricität der Wolken [1] erklärt. Besonders auffallende Resultate erhält man, wenn das Wasser auf glühende Kohlen in einem isolirten Kohlenbecken gegossen wird, das mit der Collector-Platte in Verbindung steht, die oft so stark dadurch elektrisirt

---

1 Vergl. *Blitz.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wird, dafs man nach Aufhebung derselben Funken daraus ziehen kann, wie schon Volta im Jahre 1782 in Gemeinschaft mit mehreren englischen Physikern beobachtet hatte [1]. Hierher gehören wohl auch die Versuche über die beim Aufbrausen, z. B. bei der Entwickelung von Luftarten, besonders des Wasserstoffgases in Folge der Auflösung von Eisenfeile in verdünnter Schwefelsäure [2], des Salpetergases bei Auflösung der Kupferfeile in Salpetersäure freiwerdende Elektricität, die gleichfalls negativ ist, und wohl mehr der gleichzeitigen Ausdünstung als dem chemischen Processe an sich selbst zuzuschreiben ist, da spätere Versuche, namentlich von Davy bewiesen haben, dafs selbst durch den lebhaftesten Verbrennungsprocefs des Phosphors oder Eisens im Sauerstoffgase durch Verbindung der Schwefelsäure mit Kali und andere ähnliche Processe keine freie Elektricität zum Vorschein kommt [3].

3. Auch zur Ausmittelung der eigenthümlichen Elektricität des menschlichen Körpers, ist der Condensator ungemein brauchbar, wenn man sich auf ein Isolatorium stellt, und eine kurze Zeit mit der auf das Elektrometer aufgeschraubten Collector-Platte in Verbindung setzt, während die obere Platte mit dem Erdboden communicirt. Saussure, der diese Elektricität vorzüglich an dem durch Bewegung erhitzten menschlichen Körper wahrnahm, schrieb sie dem Reiben des Körpers an der Kleidung zu. Eine grofse Menge von Versuchen hat mir indessen das Resultat gegeben, dafs diese Elektricität ganz unabhängig von der angeführten Ursache ist, indem auch der entkleidete Körper nach vorhergegangener Ruhe deutliche Spuren von Elektricität durch Hülfe des Condensators offenbart, und zwar positive, zum Beweise, dafs sie nicht von der Ausdünstung abhängt, weil sie sonst negativ ausfallen müfste, dafs aber mancherlei Umstände, welche die Verrichtungen des Körpers afficiren, krankhafte Affectionen u. dgl. einen grofsen Einflufs auf die Elektricität des Körpers äufsern, und dieselbe nicht blofs ihrem Grade, sondern auch ihrer Qualität nach

1 J. d. P. XXII. 97. 98.
2 Volta a. a. O. p. 96. 97.
3 Gehlens Journ. V. 52.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

verändern, indem in manchen Fällen sich negative statt positiver Elektricität zeigt [1].

4. Doch die glänzendste Anwendung des Condensators fand in der Sphäre des Galvanismus statt, da nur durch seine Hülfe jene schwachen Spuren von Elektricität, welche die Körper in ihrer wechselseitigen Berührung zeigen, entdeckt werden konnten. Ihm verdankt man vorzüglich die genaue Anordnung der Körper zur elektrischen Spannungsreihe, die Ausmittelung des Gesetzes, nach welchem die Elektricität in der Volta'schen Säule wächst [2].

Ein je empfindlicheres Werkzeug der Condensator ist, um so mehr Vorsicht ist bei seinem Gebrauche nöthig, um jede Einmischung einer fremdartigen Elektricität, die von ihm selbst abhängen könnte, zu verhüten. Dies gilt namentlich in Betreff der Ausmittelung der unter 3 und 4 aufgeführten Elektricitäten, indem nämlich die etwas stärkere Berührung der Collector-Platte, besonders Stofs, Druck und noch mehr Reiben, vorzüglich mit einem ideoelektrischen Körper in den Metallen selbst Elektricität erregt, die dann beim Aufheben der mit dem Erdboden communicirenden Platte zum Vorschein kommt. Durch das blofse Schlagen mit dem Flügel seines Hutes, konnte Volta der Collector-Platte seines Condensators eine so starke Elektricität geben, dafs sie beim Aufheben von dem Halbleiter, auf welchem sie ruhte, einen bis zu einem Zoll langen (?) Funken gab.

Diese Eigenschaft des Condensators, die Elektricität in sich latent zu machen, und nachher mit ihrer im Verhältnisse seiner Condensationskraft mehr oder weniger verstärkten Intensität zu offenbaren, verschafft auch das Mittel, aus einer schwach geladenen Flasche noch mehrere Funken zu erhalten, und sie bei Entladung der elektrischen Pistole bei den eudiometrischen Versuchen mit Volta's Eudiometer zum Verpuffen des Gasgemenges zu benutzen [3]. *P.*

---

1 Vergl. Meckels deutsches Archiv für Physiologie III. 261.

2 S. *Galvanismus.*

3 Aufser der angegebenen Literatur S. Volta's Condensator der Elektricität in Leipziger Samml. zur Physik und Natur-Geschichte. III. 2tes St. Nr. 1.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Conductor. S. Elektrisirmaschine.
Consonanz. S. Ton.

Convexgläser.

Erhabne Linsengläser; *Vitra convexa*, *lentes convexae;* Verres convexes; *Convex lenses*, sind die Gläser, welche sphärisch geschliffen, die erhabene Seite nach aufsen kehren. Sie heifsen *convex-convex*, wenn beide Seiten erhaben geschliffen sind; *plan-convex*, wenn eine Seite eben, die andre erhaben ist, *concav-convex*, wenn eine Seite erhaben, die andere hohl ist, zu der letztern Art gehört auch der *Meniskus*, ein Glas, dessen Durchschnitt die Gestalt der sichelförmigen Mondscheibe hat. Die beiden ersten Arten von Gläsern sammeln die auffallenden parallelen Strahlen in einen Brennpunct, auch bei dem Meniskus findet dies statt und bei alle denjenigen concav-convexen Gläsern, deren convexe Oberfläche einem kleinern Durchmesser als die concave zugehört [1]. *B.*

Crownglas.

Kronglas; Crown-glafs; *Crownglafs*. Eine schöne Art von Tafelglas, die dadurch berühmt geworden ist, dafs man, seit Dollond die Verfertigung achromatischer Objectivgläser aus Crownglas und Flintglas zu Stande brachte, sich immer dieser Glasart zu demselben Zwecke bedient hat.

Das Crownglas zerstreut die verschiedenfarbigen Strahlen nicht so sehr, als das Flintglas und das durch ein Prisma aus dem ersteren hervorgebrachte prismatische Farbenbild ist viel kürzer als dasjenige, was durch ein gleiches Prisma aus Flintglas gebildet wird. Zwei Prisma aus diesen beiden Glasarten können daher von einer solchen Gestalt genommen werden, dafs sie verbunden ein farbenloses Bild geben, ohne dafs die

---

Zusatz zu der Beschreibung eines neuen Elektrometers von A. Bennet aus den Philos. Transact. LXXVII. ebend. IV. 4tes St. S. 427.

Le Condensateur in Biots Traité de Physique experimentale et mathematique. Tome II. p. 363.

1 Vergl. *Linsengläser*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Brechung ganz aufgehoben wird. Hierauf beruht die Darstellung von Fernröhren, die den Gegenstand ohne Farbe zeigen [1]. Das Brechungsverhältnifs für Crownglas giebt Brewster [2] 0,652 bis 0,648 an; die Zerstreuung nur 0,020 der ganzen Brechung, statt dafs sie beim Flintglas 0,029 bis 0,032 ist. *B.*

Culmination.

Culminatio, *mediatio*, *transitus per meridianum*; passage par le méridien; *the transit*. Die Gestirne culminiren, wenn sie ihre gröfste Höhe (*culmen s. fastigium arcus diurni*) erreichen, und da dies bei den Fixsternen in völliger Strenge, bei beweglichen Gestirnen wenigstens sehr nahe dann geschieht, wenn sie im Mittagskreise sind, so sieht man Culmination und Durchgang durch den Meridian als gleichbedeutend an.

Wenn die gerade Aufsteigung und die Abweichung eines Sternes gegeben ist, so kann man sowohl die *Zeit seiner Culmination*, als auch die *Höhe im Meridian* berechnen. Verwandelt man nämlich seine Rectascension, vom wahren Aequinoctio an gerechnet, in Zeit, so hat man in Sternzeit die Zeit des Durchganges. Verlangt man diese Zeit der Culmination so angegeben, dafs sie vom wahren Mittage an gerechnet werde, so mufs man den Unterschied der Rectascension der Sonne und des Sternes suchen, und diesen, indem man 15 Grade auf die Stunde rechnet, in Sternzeit verwandeln, oder wenn man mittlere Sonnenzeit haben will, die gefundene Sternzeit noch mit der Zahl multipliciren, welche Sternzeit auf mittlere Sonnenzeit zurückführt (oder 1 St. Sternzeit = 0° 59′ 50″, 2 mittl. Zeit setzen); will man wahre Zeit haben, so mufs man die gefundene Sternzeit um eine Gröfse, die der Länge des wahren Tages, auf den die Bestimmung fällt, und der seit Mittag verflossenen Sternzeit proportional ist, corrigiren [3].

---

1 S. *Prisma*, *achromatisches*; *Fernrohr*, *achromatisches*.

2 Brewster on new philosophical Instruments. p. 286. u. 319.

3 z. B. ein Stern culminirt 11 Stunden Sternzeit nach Mittage, dieser wahre Sonnentag aber, an dem die Beobachtung geschah, ist 24

Um die *Zeit der Culmination* zu beobachten, dienen offenbar alle die Mittel, wodurch man die Zeit des Durchganges durch den Meridian bestimmt. Das gut aufgestellte Mittagsfernrohr oder der zugleich zu Höhenmessungen dienende Mittagskreis ist am besten dazu. Er mufs so befestigt seyn, dafs das Gestirn genau im Meridian ist, wenn es durch den Mittelfaden des Fernrohrs geht. Bei der Sonne oder allen Himmelskörpern, die einen scheinbaren Durchmesser haben, beobachtet man den Antritt beider Ränder an dem Faden, und das Mittel dazwischen ist die Culminationszeit des Mittelpunctes.

Ein sehr einfaches, aber nicht sehr genaues Mittel, um die Culmination zu beobachten, giebt das *Fadendreieck*. Man zieht von einem Puncte einer richtig gezogenen Mittagslinie einen verticalen Faden, und indem man diesen etwa über eine Rolle laufen läfst, von dessen Endpuncte einen andern Faden nach einem zweiten Puncte der Mittagslinie. Bringt man nun das Auge in die Ebene dieses Dreiecks oder stellt es so, dafs ein Faden den andern verdeckt, so sind die Sterne, die nun von beiden Fäden zugleich bedeckt werden, im Meridian. Will man die Sonne beobachten, so reicht es hin, zu beobachten, wenn der Schatten des Fadens auf die Mittagslinie fällt. Auf diese Weise zeigt auch der Zeiger der Sonnen-Uhr die Culmination der Sonne an. Eine genauere Bestimmung giebt der *Gnomon*, wo nämlich eine sehr kleine, in der Höhe liegende Oeffnung, die sich in der durch eine gezogne Mittagslinie gehende Vertical-Ebene befindet, das Licht der Sonne in ein finsteres Zimmer fallen läfst; das kleine Sonnenbild, welches sich vermöge des durch diese kleine Oeffnung eindringenden Lichtes auf der Ebene, wo die Mittagslinie gezogen ist, zeigt, rückt mit dem Fortgange der Sonne allmälig fort, und der Antritt seiner beiden Ränder an die Mittagslinie giebt eben so die Culminationszeit, wie der Antritt der Sonnenränder an den Faden des Mittagsfernrohrs.

Bei Gestirnen, die ihre Declination sehr schnell ändern, könnte es sich ereignen, dafs sie nicht genau im Meridian ihre gröfste Höhe erreichten, aber der Fall, dafs man aus diesem

---

Sternstunden 4 Min. so mufs man 11 Sternstunden = 10 St. 58′ 10″ wahre Sonnenzeit rechnen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Grunde die Culmination als erheblich verschieden vom Durchgange durch den Meridian unterscheiden müfste, kommt kaum jemals vor. Die Berechnung der Zeit des Durchgangs durch den Meridian ist für den Mond oder ein anderes, mit eigener Bewegung fortrückendes Gestirn, darum etwas schwieriger, als oben angegeben ist, weil die Rectascension des Gestirnes zur Zeit der Culmination erst dann genau bekannt ist, wenn man diese Zeit schon genau kennt. Es läfst sich leicht übersehen, wie man diese Zeit anfangs annähernd, und dann genauer findet. *B.*

Cyklus.

Cirkel, Zeitkreis; *Cyclus;* Cycle; *Cycle;* ist in der Chronologie eine Reihe von Jahren, nach deren Beendigung dieselben Erscheinungen in derselben Ordnung wieder eintreten. Eine *Periode* ist zwar gleichfalls eine Reihe von Jahren, nach deren Beendigung gleiche Erscheinungen wieder eintreten; aber nach dem in der Chronologie eingeführten Sprachgebrauch nennt man *Periode einen gröfsern Zeitraum, der mehrere Cyclen umfafst.*

In unserm Kalender werden der *Mondscirkel*, der *Sonnencirkel*, und der *Indictionencirkel* angeführt.

Der Mondscirkel.

Der Mondscirkel, *Cyclus lunae*, ist eine Reihe von 19 Jahren, und jedes einzelne Jahr heifst daher das erste, das zweite u. s. w. des Mondscirkels; nach dem 19ten Jahre des Mondscirkels folgt wieder das erste eines neuen Cyclus. Die Zahl, welche angiebt, das wievielte des Mondscirkels ein gegebenes Jahr ist, heifst *die güldene Zahl.*

Wenn die güldene Zahl 1 ist, so fällt der Neumond auf den ersten Januar, wie es z. B. im Jahre 1824 der Fall war; wie der erste Neumond eines andern Jahres fällt, bestimmt man, mit Hülfe der *Epakte*, daraus, dafs 12 Mondswechsel 354 Tage betragen, also in jedem folgenden Jahre der übereinstimmende Mondswechsel 11 Tage früher eintritt. Um zu bestimmen, welches Jahr des Mondscirkels ein gegebenes ist, mufs man wissen, dafs das Jahr 1 unserer Zeitrechnung das zweite des Mondscirkels war, also jedes gegebene nte Jahr nach Chri-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sti Geburt diejenige güldne Zahl hat, die man bei der Division $\frac{n+1}{19}$ als Rest behält. Wendet man dies auf 1825 an, so ist $1826 = 96 . 19 + 2$, oder wenn man den Mondscyklus mitzählt, der ein Jahr vor unsrer Zeitrechnung anfängt, so sind seit Christi Geburt (so wie unsre Chronologen diesen Zeitpunct festsetzen), 96 ganze Mondscirkel vorüber gegangen, und wir befinden uns jetzt im 2ten Jahre des Mondscirkels.

Die Angabe, dafs die Mondsphasen nach 19 Jahren wiederkehren, würde genau richtig seyn, wenn 19 Jahre oder 6940 Tage genau mit 235 Mondswechseln übereinstimmten, was nicht ganz genau der Fall ist. Da aber nach unsrer Einschaltungsmethode unter vier Mondscirkeln immer einer ist, der nur 4 Schaltjahre enthält, so sollten wir die 19 Jahre zu 6939 Tagen 18 Stunden anrechnen, und da 235 Mondswechsel oder synodische Monate 6939 Tage 16 St. 32 M. umfassen, so weicht der Cyklus um 1 Stunde 28 Min. ab; — eine Abweichung, die nach der Einschaltungsmethode des verbesserten Kalenders noch anders bestimmt wird, aber hier nicht wesentlich in Betrachtung kommt.

Die Entdeckung, dafs nach 19 Sonnenjahren die Mondserscheinungen wieder mit den gleichen Stellungen der Sonne zusammentreffen, machte Meton, ein Athenienser, 432 Jahr vor Christo. Da die Griechen nach Mondenjahren rechneten, und bis dahin keine sichere Regel hatten, welchen Jahren sie 13 Monate und welchen sie 12 geben müfsten, so war es sehr erwünscht, hier eine solche feste Regel zu erhalten. Es ist interessant, die von Ideler [1] nach den uns zugekommenen Nachrichten sorgfältig erläuterten Fortschritte des, ganz an die Monds-Erscheinungen geknüpften, griechischen Kalenders zu lesen; — wie sie zuerst, um den Anfang eines neuen Monats zu bestimmen, der unmittelbaren Beobachtung, dafs der Neumond nun wieder sichtbar sey, bedurften; wie sie sodann bemerkten, dafs man mit Monaten, abwechselnd von 29 und von 30 Tagen, recht gut den Erscheinungen des Mondes getreu bleibe, ohne ihn gerade gesehen zu haben; wie sie sich durch

1 Handbuch der Chronologie von Ideler. 1825. 1 Th. S. 262.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Einschaltung eines ganzen Monats bemühten, ihr Mondenjahr mit dem Sonnenjahre in Uebereinstimmung zu setzen, und anfangs einen zweijährigen Cyklus anordneten, also ein Jahr ums andre einen Monat einschalteten, später den achtjährigen Cyklus einführten, (die Oktaëteris) nach welchem in 8 Jahren dreimal ein Monat eingeschaltet wurde, und endlich den *metonschen Cyklus* annahmen. Dieser Cyklus des Meton, der uns noch als Mondscirkel merkwürdig ist, erforderte dort, wo man Mondenmonate beibehielt, einen 19 jährigen Kalender, in welchem die Monate von 29 und von 30 Tagen durch den ganzen Cyklus aufgeführt werden mufsten, und wo die Schaltjahre von 13 Monaten gehörig bemerkt wurden. Ideler theilt diesen Kalender, so wie er nach den sorgfältigsten Vergleichungen gewesen seyn mufs, mit [1], und zeigt, wie darnach die in den griechischen Schriftstellern nach Monaten und Tagen angegebenen Zeitbestimmungen sich mit einer sehr grofsen Sicherheit auf unsern Kalender zurückführen lassen.

So wichtig aber auch diese Metonsche Verbesserung war, so bemerkte doch schon Kallippus (330 J. v. Chr.) dafs die 6940 Tage dieses Cyklus eigentlich nur $6939\frac{3}{4}$ seyn sollten, und er gab daher eine sechs und siebzigjährige Periode, die *Kallipische Periode* an, nach welcher in 76 Jahren ein Tag weniger als in 4 Cyklen des Meton vorkamen.

Der Sonnencirkel, *cyclus solis.*

Da unsere Woche 7 Tage hat, also ein Jahr = 52 Wochen 1 Tag ist, so würde derselbe Monatstag allemal im nächsten Jahre um einen Wochentag fortrücken, wenn es keine Schaltjahre gäbe. Durch dieses Eintreffen einiger Jahre von 366 Tagen kommt die Ordnung der Wochentage erst nach 28 Jahren bleibend und fortwährend auf dieselben Monatstage zurück; denn obgleich allerdings im Jahre 1820 eben so gut als 1825 der 1. Januar ein Sonnabend war, so hört doch sogleich diese Uebereinstimmung im nächsten Jahre auf, da 1821 der 1. Januar ein Montag war, 1826 der 1. Januar ein Sonntag ist, weil 1820 ein Schaltjahr war, 1825 aber keines. Nach 28 Jahren ist also ein Cyklus der Wochentage in Vergleichung gegen die

1 Ebendas. S. 333.

Jahrestage vollendet, und dieser Zeitraum macht einen ganzen Sonnencirkel aus; unsere Kalender geben an, das wievielte Jahr eines Sonnencirkels ein gegebenes Jahr ist.

Das erste Jahr unserer Zeitrechnung war das 10te des Sonnencirkels und daher mufs man zu einer gegebenen Jahrszahl 9 addiren, um durch die Division den Rest zu finden, der angiebt, das wievielte im Sonnencirkel dieses Jahr sey. Z. B. da $\frac{1825 + 9}{28}$ uns 65 ganze Sonnencirkel und 14 als Rest giebt, so ist dieses Jahr das 14te des Sonnencirkels. Die Uebereinstimmung, dafs nach 28 Jahren die Wochentage auf denselben Monatstag fallen, findet aber nur im *Julianischen Kalender* fortwährend statt, und da ist allemal in dem Jahre, welches den Sonnencirkel schliefst, der Neujahrstag ein Sonntag. Im *Gregorianischen Kalender* tritt in denjenigen Secularjahren, welche keinen Schalttag haben, eine Veränderung ein, und daher ist z. B. 1825 der Sonnencirkel 14 und der 2te Januar ein Sonntag, statt dafs 1797, wo auch der Sonnencirkel 14 war, der 1. Januar auf einen Sonntag fiel; — der im Jahre 1800 ausgefallene Schalttag bringt diesen Unterschied hervor.

Der Indictionencirkel.

Der Cyklus der *Indictionen*, oder wie unser Kalender sie nennt, der *Römer-Zins-Zahlen*, *circulus indictionum* besteht aus 15 Jahren. Der Name bezieht sich auf die kaiserliche Bestimmung (*Ansagung*, *indictio*,) wie grofs diejenige Steuer, die nun selbst den Namen Indiction erhielt, im laufenden Jahre seyn solle; woher aber der Cyklus von 15 Jahren sich an diese Bestimmungen geknüpft habe, ist nicht bekannt, und man kann nur als die wahrscheinlichste Vermuthung annehmen [1], dafs die Abschätzung des Grundeigenthums, welche der Vertheilung jener Grundsteuer zur Richtschnur diente, alle 15 Jahre erneuert seyn mag. Seit Constantin's Zeit kommt dieser Cyklus als Zeitbestimmung vor, so dafs z. B. ein gewisses Jahr das 7te der 10ten Indiction heifst u. s. w., und später fügte man diese Angabe in den Urkunden den Jahrbestimmungen

1 Manso Leben Constant. d. Grofsen. S. 188.

bei. Wenn man diesen Indictionencirkel zurückführt, oder es so ansieht, als ob er schon so früh gebraucht wäre, so ist das erste Jahr unserer Zeitrechnung das 4te des Indictionencirkels, und man muſs daher zur Jahreszahl allemal 3 addiren, um durch Division mit 15 den Rest zu finden, der die diesem Jahre gehörige Zahl im Indictionencirkel angiebt.

$\frac{1825+3}{15}$ läſst 13 zum Rest, welches die Römer-Zins-Zahl des Jahres 1825 ist [1].

Die Julianische Periode.

An diese drei Cirkel schlieſst sich die *Julianische Periode* so genau an, daſs sie am besten sogleich hier erwähnt wird. Da 19, 28, 15 Primzahlen unter sich sind oder keinen gemeinschaftlichen Divisor haben, so kommt erst in einer Reihe von $19 \times 28 \times 15 = 7980$ Jahren der Fall wieder vor, daſs ein Jahr dieselbe Zahl in allen drei Cyklen wieder erhält. Die drei Zahlen, welche angeben, das wievielte in jedem Cyklus ein gegebenes Jahr sey, heiſsen daher die chronologischen Kennzeichen des Jahres, und unsre ganze Geschichte umfaſst noch keinen so groſsen Zeitraum, daſs darin zwei Jahre vorkämen, deren drei chronologische Merkmale gleich wären [2].

Die Julianische Periode (*periodus juliana*) umfaſst den Zeitraum von 7980 Jahren, nach dessen Ablauf diese Gleichheit fortwährend eintritt. Das erste Jahr der Julianischen Periode würde das seyn, welches im Mondcirkel, im Sonnencirkel, im Indictionscirkel die Zahl 1 hätte, und man findet daher für jedes Jahr aus den drei chronologischen Merkmalen, das wievielte der Julianischen Periode es ist, wenn man die der unbestimmten Analytik angehörige Aufgabe auflöſst: Eine Zahl zu finden, die mit 19, mit 28, mit 15 dividirt, gegebne Reste läſst. Ich will diese Aufgabe für das Jahr 1825 auflösen, welches im

---

1 Vergl. auch l'art de verifier les dates. (nouv. ed. Paris. 1818.) I. p. 36.

2 Man findet diese Zahlen auf Jahrhunderte voraus berechnet in: Meier Kornick System d. Zeitrechnung in chronol. Tabellen. Berlin. 1825. fol.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Mondcirkel 2, im Sonnencirkel 14, im Indictionencirkel 13 ist. Wenn dieses Jahr das t^{te} in der Julianischen Periode ist, so muſs zugleich

$$t = l \,.\, 19 + 2;$$
$$t = m \,.\, 28 + 14;$$
$$t = n \,.\, 15 + 13 \text{ seyn},$$

das heiſst, t ist eine Zahl, die l ganze Mondcyklen und noch 2 Jahre enthält, und so ferner, l, m, n, sind offenbar ganze Zahlen.

Es ist also zuerst

$$19\,l + 2 = 28\,m + 14$$
$$19\,l = 28\,m + 12$$
$$l = m + \frac{9\,m + 12}{19},$$

und $9m + 12$ muſs sich durch 19 ohne Rest dividiren lassen. Es sey $9m + 12 = 19\,p$, also

$$9\,m = 19\,p + 12$$
$$m = 2\,p - 1 + \frac{p - 3}{9}$$

so muſs sich $p - 3$ durch 9 dividiren lassen, und wenn $p - 3 = 9\,q$ gesetzt wird, so ist $p = 9\,q + 3$.

Hier wird nun, sobald man für q eine ganze Zahl setzt, auch

$$p = 9\,q + 3,$$

ferner $m = 2\,p - 1 + q = 19\,q + 5$, und $l = m + p = 28\,q + 8$, endl. $t = 19.\,28.\,q + 154$, ganze Zahlen geben. Wäre also bloſs von dem Zustimmen der beiden ersten Cyklen die Rede, so würden die Zahlen

$$q = 1, \quad p = 12, \quad m = 24,$$
$$l = 36, \quad t = 686,$$

oder $q = 2, \quad p = 21, \quad m = 43,$
$l = 64, \quad t = 1218,$

oder $q = 3, \quad p = 30, \quad m = 62,$
$l = 92, \quad t = 1750,$

den Forderungen gemäſs seyn; denn die für t angegebnen Zahlen lassen bei der Division mit 19 und 28 die verlangten Reste.

Aber es soll zugleich auch $15\,n + 13 = 28\,m + 14$ seyn, oder $15\,n = 25\,m + 1$

$$n = m + \frac{13\,m + 1}{15},$$

also $13\,m + 1$ mufs durch 15 theilbar seyn. Es sey

$$13\,m + 1 = 15\,r$$

$$m = r + \frac{2\,r - 1}{13},$$

ferner $2\,r - 1 = 13\,s,$

$$r = 6\,s + \frac{s + 1}{2},$$

$$1 + s = 2\,u.$$

Hier kann man für u jede ganze Zahl annehmen und es werden

$$s = 2\,u - 1,$$
$$r = 6\,s + u = 13\,u - 6,$$
$$m = r + s = 15\,u - 7,$$
$$n = m + r = 28\,u - 13,$$
$$t = 15.\,28.\,u - 182$$

ganze Zahlen. Die hier bestimmten Zahlen würden mit 28 und 15 dividirt die gehörigen Reste geben. Damit aber alle drei Reste richtig werden, mufs zugleich $m = 15\,u - 7 = 19\,q + 5$ seyn, folglich $15\,u = 19\,q + 12,$

$$u = q + \frac{4q + 12}{15},$$

Es sey $4q + 12 = 15\,v,$

$$q = 3\,v - 3 + \frac{3\,v}{4},$$

endlich $v = 4\,w$, und man kann nun für w jede ganze Zahl setzen, und erhält

$$v = 4\,w,$$
$$q = 3\,v - 3 + 3\,w = 15\,w - 3$$
$$u = q + v = 19\,w - 3,$$
$$m = 15.\,19.\,w - 52,$$
$$t = 15.\,28.\,19.\,w - 1442.$$

Hier könnte nun freilich für w jede ganze Zahl stehen, da aber noch keine ganze Periode verflossen ist, so können wir blofs $w = 1$ gebrauchen und es ist

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$$t = 7980 - 1442,$$

also das Jahr 1825 das 6538te der Julianischen Periode.

Der Anfang dieser Periode fällt daher so, dafs das erste Jahr unsrer Zeitrechnung, oder das erste Jahr nach Christi Geburt das 4714te der Julianischen Periode ist. Das erste Jahr vor Christi Geburt ist, da die Chronologen die Geburt Christi als mit dem Ende des Jahrs (25. Decemb.) zusammentreffend ansehen, das 4713te der Julian. Periode, und darnach ist es nun leicht, jede nach einer genauer bestimmten Aera angegebne Jahreszahl auf die Jul. Periode zurückzuführen [1].

Joseph Scaliger ist derjenige, der diese für die historische Chronologie so nützliche Periode angegeben hat, und alle Chronologen haben sie angenommen. „Man kann", sagt Ideler, „mit Recht behaupten, dafs erst seit ihrer Einführung Licht und Ordnung in die Chronologie gekommen ist."

Von andern Perioden s. Art. *Periode*.

Cyklische Rechnung ist die Bestimmung der Mondserscheinungen, besonders des Neu- und Vollmondes nach dem Mondscyklus, der, da er nur ganze Tage angiebt und überdies nicht völlig genau ist, zuweilen von der astronomischen Rechnung abweicht. Welche Verfügungen in dieser Hinsicht in Beziehung auf das Osterfest statt finden, s. Art. *Kalender* [2]. *B.*

Cylinderspiegel.

Speculum cylindricum; miroir cylindrique; *cylindrical mirror.* Allgemein mufs man darunter alle die gekrümmten Spiegelflächen verstehen, welche die Eigenschaft der Cylinderflächen haben, dafs alle mit einer gewissen Linie, welche die Axe des Cylinders heifst, parallel gelegte Ebenen die Fläche so schneiden, dafs die Durchschnittslinien gerade, jener Axe parallele Linien sind; hier werde ich indefs nur bei den Spiegelflächen, deren auf die Axe senkrechte Querschnitte Kreise sind, verweilen.

Um zu bestimmen, wie sich in einem solchen Spiegel, wenn die Spiegelung in der convexen Oberfläche vorgeht, die

---

1 Idelers Chronologie I. S. 76.

2 M. Kornicks System d. Zeitrechn. §. 39.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gegenstände darstellen, und ferner, wie das verzerrte Bild eines Gegenstandes gezeichnet seyn mufs, damit man im Spiegel den Gegenstand in seiner richtigen Gestalt sehe, wollen wir zuerst folgende Vorbemerkungen machen.

Fig. 92. Wenn das Auge O und der Gegenstand A in einer durch die Axe des geraden Cylinders gelegte Ebene liegen, so geschieht die Zurückwerfung in eben dieser durch des Cylinders Axe gelegten Ebene und wie bei ebenen Spiegeln ist O D B = A D E. Liegt dagegen das Auge und der Gegenstand in einer auf die Axe des Cylinders senkrechten Ebene, so läfst sich über die Lage des Punctes, wo am Spiegel der Strahl zurückgeworfen wird, eben so urtheilen, als wenn die Spiegel-Oberfläche eine blofse Fig. 93. Kreislinie wäre. Es sey A das Auge, so erhellt, dafs von Gegenständen, die zwischen B D, E F hinter dem Spiegel liegen, gar keine Strahlen vermöge der Spiegelung ins Auge kommen können, oder dafs die Tangenten A B D, A E F die durch Spiegelung sichtbar werdenden Gegenstände begrenzen. Wäre ein Gegenstand G gegeben, so könnte man fragen, in welchem Puncte Z des Kreises der von G ausgehende Lichtstrahl den Kreis treffen müsse, um durch Zurückwerfung zum Auge zu gelangen, und offenbar müfste dieser Punct so liegen, dafs die Winkel an der Tangente S T gleich würden, also dafs A Z S = G Z T wäre; die Bestimmung dieses Punctes ist schwieriger, als die Beantwortung der umgekehrten Frage, wie grofs der Halbmesser des Cylinders seyn mufs, damit A C Z einen gegebenen Werth = φ erhalte; wenn G und A bestimmt sind. Da nämlich, wie sehr leicht erhellt, wenn der Radius C Z nach Y verlängert worden,

Tang. A Z Y = Tang. G Z Y oder

(wenn A C = a, G C = b, A C G = α, A C Z = φ, C Z = r ist),

$$\frac{a \text{ Sin. } \varphi}{a \text{ Cos. } \varphi - r} = \frac{b \text{ Sin. } (\alpha - \varphi)}{b \text{ Cos. } (\alpha - \varphi) - r} \text{ ist,}$$

so erhält man $r = \frac{-a\,b. \text{ Sin. } (2\varphi - \alpha)}{b \text{ Sin. } (\alpha - \varphi) - a \text{ Sin. } \varphi}$ als eine Gleichung für die Halbmesser aller Kreisspiegel, in denen der Punct G von dem Auge A so gesehen werden könnte, dafs φ einen bestimmten Werth erhielte.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Frage, wo muſs G liegen, um dem Auge A in dem Puncte Z abgespiegelt zu erscheinen, ist viel leichter, und reicht zu Auflösung der Aufgabe, wie die Anamorphosen, die verzerrten Bilder, gezeichnet werden müssen, hin. Es erhellt nämlich sogleich, daſs wenn der Kreis, und in ihm der Punct Z gegeben, A aber das Auge ist, man nur nöthig hat, T Z G gleich dem gegebenen A Z S zu zeichnen, und daſs jeder auf Z G liegender Punct in Z abgespiegelt wird, also dem Auge in der Richtungslinie A Z X erscheint.

Mit dieser leichten Betrachtung läſst sich der allgemeine Fall, wo das Auge nicht mit dem Gegenstande in derselben gegen die Axe senkrechten Ebene liegt, auf folgende Weise in Verbindung setzen. Es sey A S Z T G die durch den Gegenstand auf die Axe des Cylinders senkrecht gelegte Ebene, O das Auge, O A senkrecht auf jene Ebene, also A die Projection des Auges, G der Gegenstand. Ferner sey Z der Punct in der Oberfläche des Cylinders, wo ein von G kommender Strahl G Z nach Z A zurückgeworfen würde, S T sey die in der Ebene A Z G an den Cylinder gezogne Tangente, also A Z S = G Z T. Man ziehe nun Z z als eine in der Cylinderfläche liegende Parallele zur Axe und durch diese lege man die beiden Ebenen O A Z z und G Z z, ferner sey S T P Q die durch Z z gelegte Berührungs-Ebene, so sind alle diese drei Ebenen auf A S Z T G senkrecht, und die beiden Ebenen A O z Z und G Z z machen gleiche Winkel mit der Berührungs-Ebene, indem A Z S = G Z T die Neigungswinkel sind. Wenn man nun endlich durch O G eine Ebene auf die Berührungs-Ebene senkrecht setzt, die in U an den Cylinder trifft, so ist U der Punct, wo der von G kommende Strahl nach dem Auge hin zurückgeworfen wird. Dies wäre bewiesen, wenn man zeigte, daſs die Strahlen O U, G U mit der durch U in eben der Ebene gezognen Tangente s t gleiche Winkel machen. Daſs s t, diejenige Linie, in welcher die Ebene O U G die durch U gehende Berührungs-Ebene P Q T S schneidet, eine Tangente des Cylinders sey, erhellt von selbst. Betrachtet man nun die zwei körperlichen Dreiecke, deren gemeinschaftliche Spitze U ist, und deren Seiten-Linien U O, U s, U z im einen, und U G, U t, U z, im andern sind, so sind die Seiten s U z = t U Z als Scheitelwinkel gleich; ferner der zwischen s U z, O U z eingeschlossene Neigungswinkel dem

Fig. 94.

zwischen t U Z, G U Z gleich; endlich der zwischen O U s, s U z so wie der zwischen G U t, t U Z eingeschlossene Neigungswinkel ein rechter; also nun auch die übrigen Stücke der beiden körperlichen Dreiecke gleich und namentlich auch O U s = G U t.

Nun ist es leicht, den Punct in der Ebene A S Z T G anzugeben, wo der Gegenstand G dem Auge O erscheint. Es ist nämlich klar, dafs O U bis an diese Ebene verlängert in g, da in sie eintrifft, wo g U = G U, g v = G v ist, wenn G g auf Z t v senkrecht ist. Ein andrer Punct H in derselben geraden Linie G Z würde in h, da erscheinen, wo die auf Z T gezogne Senkrechte h w = w H ist, und so in allen Fällen.

Hieraus fliefst eine leichte Regel, um die Anamorphosen oder verzerrten Bilder zu zeichnen, die im Spiegel so erscheinen, wie eine auf der Grundfläche des Cylinders gezeichnete Figur dem Auge erscheinen würde.

Fig. 93. Man zeichne nämlich auf die Ebene der Grundfläche des Cylinders, wo der Kreis E Z B diese Grundfläche vorstellt, in A die Projection des Auges, in X x′ den Gegenstand, den man im Spiegel dargestellt zu sehen glauben soll; von jedem Puncte X, x″, x′ dieser gezeichneten Figur ziehe man nach A die geraden Linien X A, x″ A, x′ A, und wo diese in Z, z″, z′ den Kreis schneiden, zeichne man die Tangente S Z T, z″ t″, z′ t′, fälle auf sie die Perpendikel X U, x″ u″, x′ u′, die man so weit verlängert, bis G U = X U, g″ u″ = x″ u″, g′ u′ = x′ u′ ist, dann sind G, g″, g′ die Puncte im verzerrten Bilde, welche die X, x″, x′ vorstellen.

Diese Zeichnungsmethode setzt voraus, dafs man sich das im Spiegel gesehene Bild auf der Ebene der Grundfläche gezeichnet vorstelle; aber da man den aufrecht stehenden Cylinder vor sich hat, so wird man sich wohl eher einbilden, das, was man im Spiegel sieht, sey ein auf einer aufrecht stehenden Tafel gezeichnetes Bild. Um unter dieser Voraussetzung das verzerrte Bild richtig zu zeichnen, stelle man sich die Tafel vor, die sich über der Sehne E B senkrecht stehend erhebt; Fig. wird diese durch E B e b angegeben, so zeichne man auf dieser 95. Ebene die Figur, die sich dem Auge im Spiegel darbieten soll, z. B. u U. Man ziehe nun vom Auge O auf die Grundfläche des Cylinders die Senkrechte O A, und von allen Puncten u, U

der Figur senkrechte Linien u v, U V gegen eben die Ebene; von A ziehe man durch V die Linie A V und von O durch U die Linie O U, eben so A v und O u, wo jene sich in Z, diese sich in z durchschneiden, dahin referirt das Auge O die Puncte U, u, wenn es sich dieselben in die Ebene der Grundfläche übertragen denkt. Hat man so die Figur U u nach Z z übertragen, so würde nun die Zeichnung der Anamorphose aus Z z so hergeleitet, wie es oben angegeben ist.

Es versteht sich übrigens hieraus von selbst, dafs man, wenn man solche Anamorphosen mit dem zugehörigen Cylinderspiegel vor sich hat, nach der Stellung, die das Auge haben soll, fragen mufs, indem man bei unrichtiger Stellung des Auges keinesweges das Bild so sieht, wie es der Fall seyn soll. *B.*

D.

Dämmerung.

Crepusculum, Crépuscule, *the Twilight*, heifst die vor Sonnen-Aufgang und nach Sonnen-Untergang statt findende Helligkeit.

1. Die *Morgendämmerung* (*crepusculum matutinum*, crépuscule du matin, *Dawning of the day*) ist die Helligkeit vor Sonnen-Aufgang; ihr erster Anfang heifst der Tages-Anbruch (*Diluculum*, pointe du jour, *Dawning*); *Abenddämmerung* (*Crepusculum vespertinum*, crépuscule du soir, *twilight*) dagegen ist die nach Sonnen-Untergang noch fortwährende Helligkeit.

2. Dafs die Luft etwas von dem auf sie fallenden Lichte zurückwirft, sehen wir schon bei Tage, indem fast allein dadurch die allgemeine Helligkeit entsteht, die selbst die von der Sonne nicht beschienenen Gegenstände lebhaft erleuchtet. Diese Helligkeit rührt offenbar nur im geringern Grade von dem Lichte her, welches die Gegenstände auf der Erde zurückwerfen, denn selbst

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf