Sonntags-Blatt

Beilage des „Anzeiger und Herold“.

J. P. Windolph, Herausgeber. | Grand Island, Nebr., den 15. Juni 1900. | Jahrgang 20. No. 41.

Kunst, Wissenschaft und Gewerbe.

Was wiegt die Erde?

Von Dr. B. Borchardt.

Gewaltige, furchtbare Massen sind es, mit denen unsere Techniker hantiren. Was wollen die ungeheuren, in den majestätischen Pyramiden aufeinander gethürmten Steinmassen besagen gegenüber den enormen, geradezu unfaßbaren Eisenmassen, die in den modernen Riesenbauten zusammengefügt werden. Zu dem großen Riesenfernrohr, das im Treptower Park steht, sind etwa 2500 Centner Eisen verbaut worden; zu dem Eiffelthurm wurden etwa 9000 Doppelcentner verbraucht. Und nicht nur solche Ausnahmsbauten, sondern selbst die Werke, die fast täglich gebaut werden, und zu hunderten und tausenden überall vorhanden sind, wie z. B. die Lokomotiven und Eisenbahnzüge oder gar die gewaltigen Schiffskolosse, die das Weltmeer durchziehen, zählen in ihrem Gewicht nach tausenden und selbst zehntausenden von Centnern.

Alle diese Eisenmassen werden dem Leibe unserer Mutter Erde entnommen und gehören fortdauernd zu ihr; selbst die aufsteigenden Ballons mit Allem, was sie in die Höhe führen, sind auch nicht eine Sekunde lang von der Erde, wenn man sie einheitlich auffaßt, getrennt, sondern bilden einen dauernd

Fig 1. Ablenkung des Pendels durch die Masse eines Berges.—Versuch am Shehallien in Schottland.

zu ihr gehörigen Bestandtheil. Was mag also wohl die gesammte Erde wiegen? Geht das nicht in die Millionen und Milliarden oder gar in die Billionen von Centnern, oder kommt man selbst zu noch größeren Zahlen? Ja, ist man denn überhaupt im Stande, eine Rechnung hierüber anzustellen? Und wenn dies der Fall ist, auf welchen Grundlagen beruht sie, welche Sicherheit kommt ihnen und mithin ihren Resultaten zu?

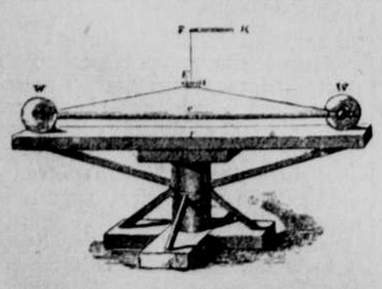

Fig. 2. Drehwage von Cavendish zur Bestimmung der Erdschwere.

Wir wollen versuchen, auf diese Fragen eine Antwort zu geben.

Zunächst müssen wir jedoch betonen, daß die Frage in der gestellten Form nicht ganz korrekt ist. Gewicht ist keine Eigenschaft, die einem Körper als eine unveränderliche zukommt, unabhängig von seiner Umgebung und von jeder Beziehung auf andere Körper. Der Druck, den ein Körper auf seine Unterlage ausübt, oder der Zug, mit dem er an seiner Aufhängung wirkt, ist sein Gewicht, und man kann sich leicht überzeugen, daß dieses Gewicht veränderlich ist. Nehmen wir z. B. eine Küchenwage, bei der das Gewicht durch die Zusammenpressung einer Feder angezeigt wird, und begleiten wir Nansen auf seiner Nordpolfahrt, so würden wir merken, falls die Feder empfindlich genug ist, daß sie von demselben Zuckerhut oder derselben Konservenbüchse etwas mehr zusammen gedrückt wird, als es in Berlin der Fall war. Reisen wir jedoch nach Süden, nach Aegypten z. B., so würde dieselbe Wage uns für jedes Kilo ein um 2 bis 3 Gramm geringeres Gewicht anzeigen. Enthält denn die Konservenbüchse oder der Zuckerhut in Kairo weniger Eingemachtes und weniger Zucker als in Berlin? Keineswegs, denn wir haben ja alles mitgenommen und während der Reise unversehrt gelassen. Es befindet sich in Kairo nur unter anderen Verhältnissen, als in Berlin, und wiegt deshalb dort weniger als hier. Auf dem Monde würde jedes Kilo sogar nur den 5. Theil, auf der Sonne dagegen 27½ mal so viel wiegen, als bei uns.

Fragt man also nach dem Gewicht der Erde, so kann das nur den Sinn haben, daß man unbewußt voraussetzt, die gesammte Masse der Erde wäre wiegbar, sie wäre, wie alles andere, was uns umgiebt, der Einwirkung der Erde unterworfen und übte daher einen Druck auf ihre Unterlage und einen Zug an der Aufhängung des Wagebalkens aus. Das ist natürlich nicht der Fall. Im Grunde interessirt uns dieses Gewicht auch gar nicht, ebenso wenig wie bei anderen Körpern. Wenn wir Butter, Zucker oder andere Dinge kaufen, so wollen wir wissen, wie viel Masse darin ist; weil wir die Massen auf der Erde am bequemsten durch ihr Gewicht vergleichen, haben wir uns vielfach daran gewöhnt, zwischen Masse und Gewicht eines Körpers keinen Unterschied zu machen, und denken bei der Angabe eines Kilo weit mehr an seine Schwere, als an seinen materiellen Inhalt. Bei der Erde als Ganzes hat das Erstere keinen Sinn, und wir haben im Grunde also zu fragen: Wie viel Kilogramm enthält die gesammte Masse der Erde?

Fast zur Hälfte besteht unsere Allmutter Erde aus Sauerstoff, ein Viertel ist das kieselbildende Silicium, und das letzte Viertel wird von zahlreichen Metallen gebildet, wobei das silberglänzende Aluminium und das nützliche Eisen in erster Linie stehen. Nun kennt man doch die Dichte und Masse all' dieser Stoffe, weiter kennt man auch ziemlich genau die Form und den Rauminhalt der Erde; mithin sollte man doch leicht berechnen können, wie viel Masse auf jeden dieser Stoffe und mithin auf die ganze Erde entfällt.

Aber so einfach und leicht ist die Aufgabe nicht. Diese Bestandtheile beziehen sich nur auf die uns bekannte harte Rinde der Erde, während die des glühenden Inneren sich völlig unserer Kenntniß entziehen. Nach einem anderen Wege muß also geforscht werden, wenn uns die Beantwortung der Frage gelingen soll.

Die Bewegungen der Himmelskörper haben uns gelehrt, daß alle Körper im Weltenraum sich gegenseitig anziehen, ja, die Schwere der irdischen Körper ist nur ein besonderer Fall dieser allgemeinen Anziehung, die um so größer ist, je größer die in Betracht kommenden Massen sind, und in verstärktem Maße geringer, je weiter sie von einander entfernt sind. Bei doppelter Entfernung wirken die Massen nur noch mit dem 4. Theil der Kraft auf einander, bei dreifacher Entfernung ist die Anziehung auf den 3 mal 3 oder 9. Theil gesunken, bei zehnfacher Entfernung auf den 10 mal 10 oder 100. Theil u. s. f. Nun wissen wir doch, wie schwer irgend eine Masse, z. B. 1 Kilo oder 1 Gramm, an der Oberfläche der Erde ist; die Erde können wir uns dabei als eine Kugel vorstellen, die genau so wirkt, als ob ihre ganze Masse im Mittelpunkt vereinigt wäre, und die Wirkung dieser ungeheuren Masse auf ihrer Oberfläche, also in der Entfernung ihres Radius von 6378 Kilometern ist noch so groß, daß ein von ihr angezogenes Kilo eine Feder mit einer bestimmten Kraft zusammendrückt. Am einfachsten mißt mon diese Kraft durch das Produkt aus der angezogenen Masse und die Geschwindigkeit, die sie beim Fallen gegen die Erde in jeder Sekunde bekommt, in mittleren Breiten etwa 9,81 Meter in jeder Sekunde.

Könnten wir nun auf irgend eine Weise die Kraft ermitteln, mit der irgend eine bekannte Masse, etwa ein schwerer Bleiklotz von 1000 Kilo, einen Körper anzieht, so wäre leicht zu berechnen, wieviel von dieser Kraft noch in einer Entfernung von 6378 Kilometern (dem Halbmesser der Erde) vorhanden wäre. So viel mal, als die bekannte Wirkung der Erde die Wirkung jenes Bleiklotzes in dieser Entfernung überträfe, so oft würde auch die Masse der Erde die des Bleiklotzes übertreffen müssen. Die ganze Aufgabe kommt also lediglich darauf hinaus, die Anziehung einer bekannten Masse auf irgend eine kleine bekannte Masse zu ermitteln.

Das ist nun freilich nicht so leicht gethan, als gesagt. Die gegenseitige Einwirkung der Massen kommt auf der Erde nicht recht zur Geltung, weil die Einwirkung der Erde, die Schwere, alles andere überwiegt und alle Körper gleichmäßig herniederzieht.

Der erste, der sich an die Bewältigung der Aufgabe heranwagte, war der englische Astronom Maskelyne, der 1811 als Direktor der Greenwicher Sternwarte starb. Fast 40 Jahre früher, 1774, wurden die hier zu erwähnenden Messungen von ihm ausgeführt. Er sagte sich, daß ein gewaltiger Berg wohl im Stande sein müßte, eine Einwirkung auf ein frei herabhängendes Pendel auszuüben und dieses von seiner gewöhnlichen, nach dem Mittelpunkt der Erde gewendeten Richtung abzulenken. Unsere Figur 1 zeigt, allerdings nur schematisch, den Berg Shehallien in Schottland, bei welchem Maskelyne arbeitete. Die Linien a und b deuten die Richtung an, die man gewöhnlich als Lotlinie bezeichnet, und die am einfachsten durch die Richtung eines frei herabhängenden Lotes gefunden wird. Maskelyne bestimmte sie in umständlicherer Weise durch astronomische Messungen. Ein frei herabhängendes Pendel zeigte von dieser Richtung, wie unsere Figur andeutet, auf jeder Seite des Berges eine geringe Abweichung, die nur der Einwirkung des Berges zugeschrieben werden kann. Aus der Größe dieser Abweichung ergiebt sich die Anziehungskraft des Berges; seine Masse kann berechnet werden, wenn man seine Form und Dimensionen sowie das Material kennt, aus dem er besteht. Die hierzu nöthigen Messungen ergaben für eine Masse einen einigermaßen genauen Werth, worauf die gesuchte Masse der Erde in der vorher angedeuteten Weise ermittelt wurde. Die ungeheure Zahl, die sich für sie ergiebt, wird gewöhnlich nicht angeführt; man dividirt sie vielmehr durch den Rauminhalt der Erde, 1083 Trillionen Kubikmeter, und erhält so die Masse, die im Durchschnitt auf jeden Liter in der Erde kommt. Für diese mittlere Dichtigkeit der Erde fand Maskelyne das überraschende Resultat 4,71, d. h. jeder Liter enthält durchschnittlich fast fünfmal so viel Masse als ein Liter Wasser, also 4,71 Kilogramm.

Dies Resultat war um so überraschender, als die festen Theile der Erdrinde im Durchschnitt kaum halb so dicht sind; es ist daher nicht zu verwundern, daß Messungen der Erddichte nach anderen Methoden versucht wurden, zumal ja der erhaltene Werth nicht als sehr genau angesehen werden konnte; denn die Masse des Berges war doch immerhin in mancher Hinsicht nur schätzungsweise bekannt. Von den verschiedenen Methoden, die möglich waren und auch eingeschlagen wurden, versprach eine direkte Wägung, wenn sie möglich wäre, den besten Erfolg. Wie aber sollte eine Wage eingerichtet werden, um dem gewünschten Zweck zu genügen?

Eine gewöhnliche Wage schien, auf den ersten Blick wenigstens, in keiner Weise geeignet, den Einfluß einer größeren Masse auf eine kleine festzustellen, da auf beide Wageschalen stets in gleicher Weise gewirkt wird. Es mußte deshalb ein ganz besonderer Apparat ersonnen werden, die sog. Drehwage, die in Figur 2 dargestellt ist. An einem horizontalen Arm K F hängt an einem feinen Seidenfaden E F ein sehr leichter horizontaler Stab c, an dessen Enden die Stücke b, kleine Bleikugeln, befestigt sind; in der Figur ist nur die rechts befindliche sichtbar, während die linke durch die davor stehende große Kugel W verdeckt wird. Um einen solchen Stab in der horizontalen Ebene zu drehen, ist nur eine äußerst geringe Kraft nöthig; denn hierbei ist in keiner Weise gegen die Schwere zu arbeiten, sondern lediglich der sehr geringe Widerstand des Seidenfadens, der dabei eine Torsion oder Drillung erfährt, zu überwinden. Werden nun auf der drehbaren Platte T zwei möglichst große und schwere Massen, die großen Bleikugeln W, nahe an die kleinen Massen b gebracht, jedoch an verschiedenen Seiten, die eine vor, die andere hinter dieselben, so genügt die geringe Anziehung zwischen den Massen W und b doch, um die Drehwage aus ihrer Gleichgewichtslage zu bringen. Sie wird sich langsam gegen die großen Kugeln W hin drehen, bis der Widerstand des gedrillten Seidenfadens die Weiterbewegung hindert, dann wird sie sich langsam zurückdrehen und nach mehreren Schwingungen, von denen jede mehrere Minuten in Anspruch nimmt, bleibt sie in einer von der anfänglichen etwas verschiedenen Lage in Ruhe. Aus der Abweichung von der ursprünglichen Lage läßt sich die wirkende Kraft berechnen, und aus dieser wiederum in der früher angedeuteten Weise die Kraft, welche die bekannten W in einer dem Erdradius gleichen Entfernung ausüben, woraus sich dann leicht die Masse und mittlere Dichte der Erde bestimmen lassen.

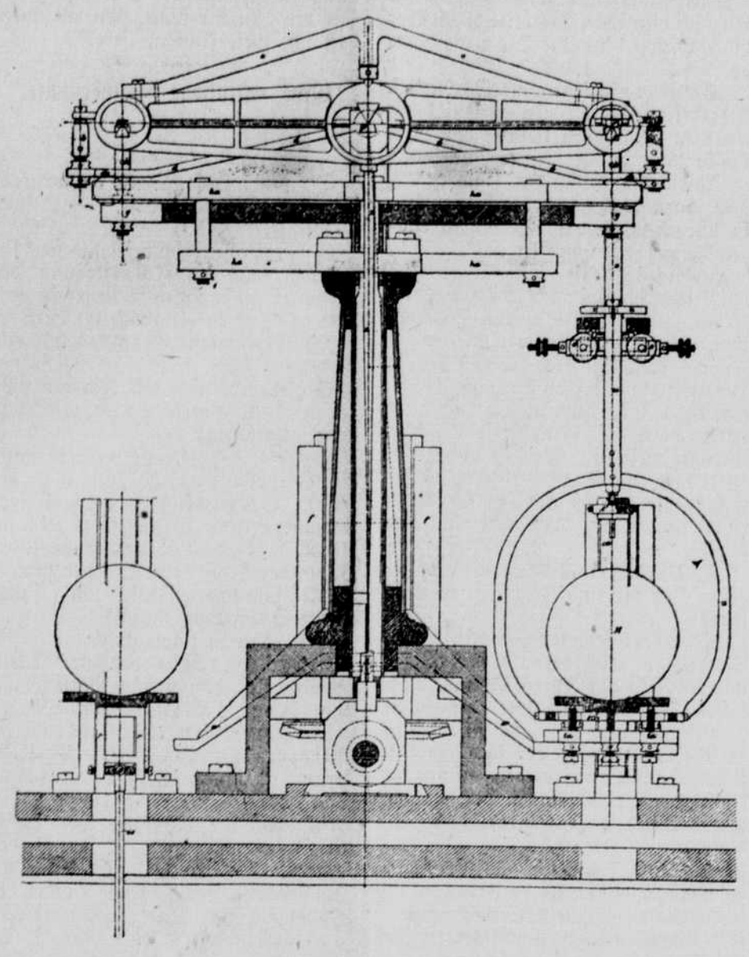

Fig. 3. Wage zur Bestimmung der Erdschwere — Mißt noch ein Hundertmillionstel der Belastung mit Sicherheit.

Zum erstenmale wurde die Drehwage in der hier geschilderten Weise im Jahre 1798 von Lord Cavendish (1731—1810) benutzt. Dieser Sonderling, welcher jeden gesellschaftlichen Verkehr scheu und ängstlich meidend in größter Zurückgezogenheit lebte, ist in der Geschichte der Chemie bekanntlich durch eine Reihe bahnbrechender Arbeiter bekannt. Er war es auch, der die 40 Jahre zuvor konstruirte Drehwage zur Bestimmung der Massenanziehung und der Dichte der Erde anwandte. Für die letztere fand er einen nicht unerheblich größeren Werth als Maskelyne, nämlich 5,45, und und eine Reihe zahlreicher Bestimmungen, die später nach derselben Methode ausgeführt wurden, führten wesentlich zu demselben Resultat, so daß man als ziemlich sicher annehmen kann, daß ein Liter Erdmasse im Durchschnitt 5½ Kilo enthält.

Die verfeinerten Meßinstrumente und Meßmethoden der neuesten Zeit ließen es jedoch möglich und wünschenswerth erscheinen, diese Größe mit einer größeren Genauigkeit zu erhalten; speziell die Wage ist zu einem so scharfen Präzisionsinstrument geworden, daß eine Anwendung derselben ein gutes Resultat versprach.

Wie wichtig dasselbe für die Astronomie zum Beispiel ist, erhellt unter anderm daraus, daß die Masse der Erde die Einheit ist, nach welcher die Massen der anderen Planeten und der Sonne bestimmt werden. Auch gewinnen diese Messungen dadurch noch ein besonderes Interesse, daß sie die Bestimmung der sog. Gravitationskonstante gestatten, d. i. der Kraft, mit welcher zwei Kilogrammstücke in der Entfernung eines Centimeter aufeinander wirken. Diese Größe geht als konstanter Faktor in das Newton'sche Gesetz der allgemeinen Massenanziehung ein, und die genaue Kenntniß ihres Werthes gestattet erst eine genaue Angabe der Kraftwirkung zwischen den Gestirnen.

Von den verschiedenen Versuchen, die in dieser Richtung angestellt sind, wollen wir nur einen erwähnen, der in jüngster Zeit zum Abschluß gekommen ist und sehr sichere Resultate geliefert hat. Das Prinzip desselben ist von verblüffender Einfachheit. Man denke sich eine sog. Doppelwage, d. i. eine Wage, an deren Schalen noch je eine Schale hängt, und zwar mittels einer Stange von etwas mehr als zwei Meter Länge. Legt man zwei genau gleiche Massenstücke von je ein Kilo auf die beiden oberen oder auf die beiden unteren Schalen, so wird die Wage im Gleichgewicht bleiben. Belastet man jedoch eine obere und die nicht entsprechende untere Schale, so wird sich eine kleine Differenz ergeben, weil das oben befindliche Kilostück weiter vom Mittelpunkt der Erde entfernt und daher leichter ist, als das unten befindliche; doch ist die Differenz eine außerordentlich kleine und nur mit einer sehr empfindlichen Wage nachweisbar.

Bringt man nun zwischen die oberen und unteren Schalen eine schwere Masse, so vermehrt sie durch ihre Anziehung das Gewicht des über ihr befindlichen Kilostückes, und vermindert in gleicher Weise das des unter ihr befindlichen Stückes. Wenn also das eine auf einer oberen, das andere auf einer unteren Schale liegt, so zeigen sie jetzt eine andere Differenz als vorher, und diese, mit der früheren kombiniert, erlaubt die Anziehung der schweren Masse auf die Kilostücke zu berechnen.

Im Jahre 1884 wurde der Aufbau zu Messungen dieser Art in Spandau begonnen, und erst im September 1898 konnte ein ausführlicher Bericht über die Beobachtungen und Resultate von der Kgl. Akademie der Wissenschaften in Berlin mitgetheilt werden. Daß die Arbeiten mehr als 13 Jahre in Anspruch nahmen, wird manchem wunderbar erscheinen; wenn man jedoch an die Feinheit der Messungen und ihre Schwierigkeiten denkt, so wird die Sache begreiflich. Fig. 3 zeigt die komplizierte Wage, die noch ein Hundertmillionstel der Belastung mit Sicherheit messen lassen mußte; Aenderungen des Hebelarmes um etwa ein milliontel Millimeter, welche leicht entstehen, wenn die Pfanne des Gehänges sich auf der Schneide, die ja keine mathematische Linie ist, wälzt, mußten deshalb ausgeschlossen sein. Fig. 4 stellt den Wageraum dar, der durch eine doppelte Zinkwand gegen die Körperwärme des Beobachters geschützt ist; außerdem ist sie noch in einem Kasten mit doppelten Zinkblechwänden eingeschlossen, der auf dem cementierten mit Blech bedeckten Fußboden aufsteht und auch den oberen Theil des Fundaments für die schwere Masse sowie den ganzen Raum, welchen diese einnimmt, umschließt. Diese Masse bestand aus einem Bleiklotz von mehr als 100,000 Kilogramm, durch welchen die Stangen, welche die unteren Schalen trugen, in cylindrischen Kanälen frei hindurchgingen. Diese Bleimasse hatte das preußische Kriegsministerium aus der Geschützgießerei zu Spandau zur Verfügung gestellt; dies war auch der Grund, warum die Messungen in Spandau stattfanden. Denn um einen weiten Transport dieser schweren Masse zu sparen, wurde als geeigneter Arbeitsraum eine Kasematte in der Citadelle von Spandau gewählt.

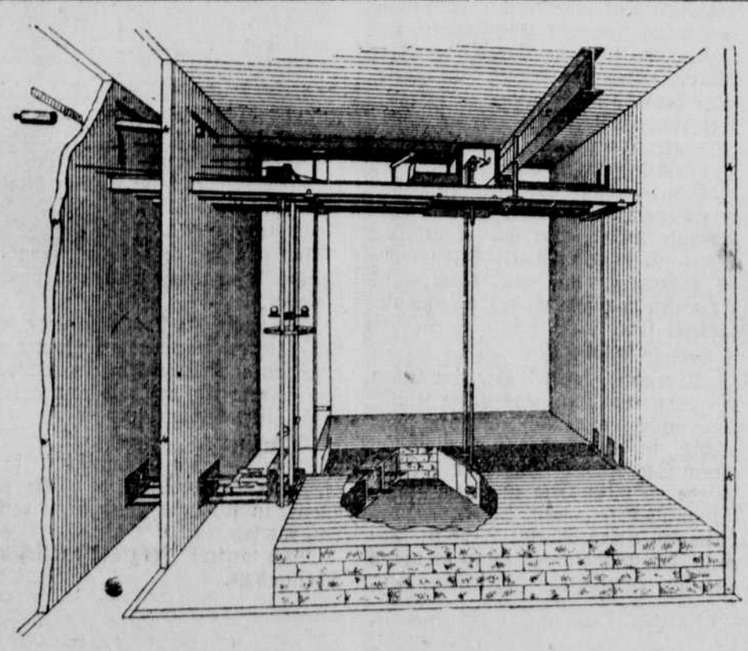

Fig. 4 Isolierter Wägeraum zur Bestimmung der Erdschwere.

Der Bleiklotz hatte horizontale Kanten von 210 Centimeter Länge, während seine vertikalen Kanten 200 Centimeter lang waren. Die einzelnen Stücke dieses Klotzes, die die Form 10 bei 10 bei 30 Centimeter hatten, waren in zerlegbaren gehobelten Eisenformen gegossen, und die Schwundflächen waren nach dem Erkalten besonders bearbeitet, so daß sich die Stücke eng aneinander schlossen. In der Mitte des Klotzes mußten durchschnittene Stücke mit halbcylindrischen Aussparungen verwendet werden, um die Verbindungsstangen der unteren und oberen Wagschalen hindurch zu lassen. Nach Vollendung aller Einzelheiten und Durchführung aller Versuche ergab sich für die mittlere Dichte der Erde mit großer Genauigkeit der Werth 5,505, der nunmehr als sehr gut bestimmt in Anspruch genommen werden kann. Wir wollen ganz kurz auch noch die Masse der Erde ermitteln. Ihr Rauminhalt wird zu 1,082 Billionen Kubikkilometern, das sind 1083 Trillionen Kubikmeter angegeben. Da jeder Kubikmeter 1000 Liter enthält, und nach obigem Werth durchschnittlich in jedem Liter 5,5 Kilo an Masse stecken, so beträgt die gesammte Masse 5,956,500 Trillionen, das sind fast 6 Quadrillionen Kilo. In Ziffern wäre diese Zahl geschrieben: 5,956,500,000,000,000,000,000,000 Kilogramm. Auf Centner umgerechnet ergiebt dies fast 120,000 Trillionen Centner.

Eine Vorstellung von dieser ungeheuren Größe können wir uns in keiner Weise bilden. Wenn die Erde, wie manche meinen, durch allmählichen Zusammensturz von Meteoren entstanden ist, und wenn wir annehmen, daß in jeder Sekunde ein Meteor von einem Centner hinzugekommen sei, so wären doch 4000 Billionen Jahre nöthig gewesen, ehe die Erde ihren gegenwärtigen Gehalt an Masse gewonnen hätte. Bei solchen schwindelerregenden Zahlen hört jede Anschauung auf; umsomehr müssen wir den menschlichen Geist bewundern, der aus langsamen Schwingungen und kleinen Ausschlägen einer Wage im sorgfältig abgeschlossenen Raume Schlüsse über unfaßbare Größen mit derselben Sicherheit zu ziehen weiß, als handele es sich um alltägliche und jedem vertraute Dinge.

Die alte „Hohenzollern“ lag vor Danzig und an Bord befanden sich (es ist schon lange her) der deutsche und der russische Kaiser. Der damalige Commandant der „Hohenzollern“ war ebenso diensteifrig wie zerstreut, nämlich unglaublich zerstreut. Auf dem Achterdeck standen die beiden Kaiser, umgeben von einer Korona von Adjutanten, Staatsmännern etc. Plötzlich entstand unter diesen Herren ein Köpfedrehen, als ob nach Jemandem gefragt würde. Diensteifrig eilte der Commandant herbei und vernahm, daß man nach Giers verlange. In lebhaftem Schritte eilte der alte Seeoffizier nach vorn und rief mit seiner durchdringenden Stimme: „Giers, Giers! Wo steckt der Kerl!“ Entsetzt stürzte der erste Officier seinem Commandanten entgegen und flüsterte ihm zu: „Um Gottes willen, Herr Capitän, das ist ja der russische Minister des Auswärtigen!“ „So .... dann soll er nicht kommen, ich dachte, es wäre ein Lakai.“

Im Jahre 1843 hatte England nicht ganz 2000 Meilen Eisenbahn, die im Ganzen 20 Millionen Passagiere beförderten. Heute hat es über 22,000 Meilen, die eine Milliarde Personen befördern. Von Mitternacht bis Mitternacht laufen in England ständig 15,000 Züge, jeden Tag werden zwei und eine halbe Million Mark Fahrgeld gezahlt und drei Millionen Fracht für Handgepäck; das Frachtgut bringt nur 600,000 Mark täglich.

Der Gipfel der Grausamkeit ist, seine Frau mit neuen Kleidern und Hüten in ein Zimmer einzuschließen, wo kein Spiegel hängt.