

## **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

### **Der leere Raum, die Constitution der Körper und der Aether**

**Gerland, Ernst**

**Berlin, 1883**

# Der leere Raum,

die Constitution der Körper und der Aether.

Von

Dr. E. Gerland

in Cassel.



---

**Berlin SW. 1883.**

Verlag von Carl Habel.

(C. G. Lüderitz'sche Verlagsbuchhandlung.)

33. Wilhelm-Straße 33.

Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen wird vorbehalten.

Unter den naturphilosophischen Fragen hat die Frage nach den letzten Gründen der Dinge nothwendiger Weise stets des größten Interesses der forschenden Menschheit sich zu erfreuen gehabt. Wenn es je gelingen könnte, durch Auffinden dieser Gründe das Wesen zunächst der Körper zu erklären, dann, scheint es, dürfte man sich der Hoffnung hingeben, von Experiment zu Experiment weiter schließend und Schluß an Schluß knüpfend, endlich zur Construction der Körper und zu der Alles Seienden zu gelangen und so zu erkennen

was die Welt

im Innersten zusammenhält.

Es kann daher nicht verwundern, daß das wissenschaftliche Interesse früh dieser Frage sich zuwandte. Weil sie aber zu den schwierigsten gehört, die überhaupt an uns gestellt werden können, so konnte es auch nicht ausbleiben, daß die Beantwortungen derselben anfangs entweder ungemein dürftig oder höchst phantastisch ausfielen. Das war freilich durchaus kein Grund, daß man dieselben in den Zeiten, in welchen sie gegeben wurden, nicht für der Weisheit letzten Schluß hätte halten sollen und vollständig befriedigt von Behauptungen gewesen wäre, die uns unbegreiflich kindisch vorkommen. Immerhin mußte sich der Gegensatz eines Raumes, der mit irgend Etwas angefüllt ist zu demjenigen, der Nichts enthält, dem leeren Raume, den über diese Frage Nachdenkenden aufdrängen und damit zugleich die

Ueberzeugung, daß die Kenntniß eben dieses leeren Raumes wichtige Aufklärungen über das Wesen desjenigen, was ihn erfüllen kann, geben müsse. Zeigte nämlich der leere Raum gewisse Eigenschaften nicht, die einem mit Körperatomen erfüllten zukommen, dann gehörten diese Eigenschaften den Atomen und es war vielleicht nur so möglich, diese Eigenschaften von Wesen, zu deren Erforschung selbst das Mikroskop seine Dienste versagt, ausfindig zu machen. Die Versuche, einen leeren Raum herzustellen, hängen deshalb eng zusammen mit den Versuchen, über die Constitution der Körper klar zu werden. Sie boten dadurch stets ein ganz besonderes Interesse und gehörten bis in die neueste Zeit zu denen, die auch in weiteren Kreisen stets das größte Aufsehen erregten, so früher die Experimente mit der Luftpumpe, so in neuester Zeit die Radiometerversuche. Es dürfte demnach eine nicht undankbare Aufgabe sein, diese Versuche etwas näher in's Auge zu fassen und zuzusehen, ob und wie weit sie uns jener tiefer liegenden Frage näher gebracht haben.

Bersichern wir uns jedoch zunächst, was wir unter dem leeren Raume zu verstehen haben. In der Sprache des gemeinen Lebens pflegt man einen jeden Raum so zu nennen, welcher nur Luft enthält. Für gewöhnlich entzieht sich ja die Luft unserer sinnlichen Wahrnehmung und so ist es erklärlich, daß man sie zunächst mit dem Nichts identificirt. Davon kommt man jedoch bald zurück, wenn man die mechanischen Wirkungen sieht, welche bewegte Luft auszuüben im Stande ist, die aller Beschreibung spottenden Verwüstungen, welche sie, in wildester Eile als verheerender Orkan über die Erde hinstürmend, anrichtet. Aber auch das Dasein ruhender Luft tritt uns direct vor Augen, wenn wir ein sonst geschlossenes Gefäß mit seiner Oeffnung unter Wasser tauchen und bei schiefcr Haltung desselben die Luft in großen Blasen daraus entweichen sehen. Solche Beobachtungen

müssen dann eine veränderte Ansicht vom leeren Raum zur Folge haben und man wird nun geneigt sein, den luftleeren Raum für gleichbedeutend mit dem leeren zu halten. Ob diese Ansicht aber die richtige ist, muß erst genauer untersucht werden. Wenn ja schon die Luft sich für gewöhnlich unserer Wahrnehmung entzieht, so können dies ebenso noch andere raumerfüllende Medien thun, auf deren Vorhandensein wir dann erst aus anderen Erfahrungen schließen müßten. Man wird also den leeren und luftleeren Raum vorsichtig auseinander halten müssen und wir werden der Frage nach dem Vorhandensein solcher Medien im Verlauf unserer Betrachtungen näher zu treten haben.

Vorher jedoch wenden wir uns dazu, die Mittel kennen zu lernen, mit deren Hülfe man im Laufe der Jahrhunderte einen luftleeren Raum herzustellen suchte und die Anschauungen, welche man von demselben hatte. Ob diese letzteren sich so entwickelten, wie wir es soeben dargestellt haben, wissen wir nicht. Die Geschichte erzählt uns hierüber nur, daß man bereits zu Aristoteles' Zeiten mit der Eigenschaft der Luft bekannt war, einen jeden Raum, aus dem ein Körper entfernt wurde, nicht leer zu lassen, sondern sofort wieder zu erfüllen. Man hatte diese Eigenschaft bereits zur Construction der Saugpumpe benutzt, eines im Innern geglätteten Cylinders, in welchem ein ihn genau ausfüllender Kolben hin und her bewegt werden konnte, während eine im Boden des Cylinders befindliche, sich nach Innen öffnende Klappe den Eintritt eines Körpers in ihn gestattete. Wurde der Kolben dieses Apparates emporgezogen, so drang Luft oder, wenn der Cylinder im Wasser stand, Wasser hinein und man begriff sehr wohl, daß dieses Wasser nur durch die äußere Luft in den Cylinder gepreßt werden konnte. Bei dem Versuche eine Erklärung für dies räthselhafte Verhalten der Luft durch Experimentiren zu finden, hielt sich freilich ein Zeitalter, welches der experimentirenden Naturwissenschaft gänzlich abge-

neigt war, nicht auf. Mußte doch den Völkern des Alterthums, welche gewohnt waren, die Naturerscheinungen und =Gewalten unter den anthropomorphischen Figuren ihrer Mythologie zu betrachten, eine Erklärung dieser Wirkung der Luft aus ihrem Abscheu vor dem leeren Raum vollständig befriedigend erscheinen und wir können Aristoteles und Heron unsere Bewunderung nicht versagen, daß sie eine so unzureichende Erklärung doch nicht hinderte, mit Ausnahme der Feuerspritze mit Windkessel<sup>1)</sup> alle die Apparate zu construiren, in denen man, um es zu heben, Wasser durch die Luft in Pumprohre pressen läßt. So beruhigte sich denn auch das ganze Mittelalter bei dieser Erklärung und bis auf Galilei wurde der horror vacui als eine unantastbare Eigenschaft der Luft angesehen.

Trotz seiner Arbeiten, die in so vielen Gebieten der Naturwissenschaften die tiefgehendsten Umwälzungen hervorriefen, war es indessen dem großen Florentiner versagt, in diese Frage Licht zu bringen. Zwar hat er zwei Versuche angestellt, die ihm die Idee eines Druckes, den die Luft ausübe, und die Erfindung der Luftpumpe äußerst nahe legten, aber die Macht vorgefaßter Meinungen hielt ihn von diesen Entdeckungen zurück. Schon die Alten hatten behauptet, daß die Luft ein bestimmtes Gewicht habe. Daß eine der erwähnten Experimente, welches zeigte, daß eine Flasche, wenn sie mit verdichteter Luft gefüllt war, schwerer wog, als wenn sie verdünnte Luft enthielt, bewies die Richtigkeit dieser Behauptung. Um nun die Größe dieses Gewichtes zu bestimmen, stellte Galilei das zweite jener Experimente an. Er ließ einen Kolben aus einem Cylinder, in den er genau paßte, dadurch herausziehen, daß er eine Wagschale daran hing und in diese so lange Gewichte legte, bis der Kolben herabsank. Ob er auf diesen Versuch geführt wurde, durch eine von einem Gärtner angelegte Pumpe, welche nicht wirken konnte, weil das Pumprohr zu lang war, oder auf andere Weise, ist für die Be-

urtheilung desselben gleichgültig. Beide Versuche legen Zeugniß ab für den genialen Scharfsinn des großen Italieners. Aber in unbegreiflichem Widerspruch damit steht die Erklärung derselben. Er erkannte zwar, daß ein Abscheu, dessen Größe sich durch Gewichte bestimmen ließe, ein sonderbar Ding sein müsse, aber indem er ihn verwarf, setzte er an seine Stelle eine ebenso unglückliche Erklärung der beobachteten Erscheinung, nämlich den Widerstand, den die Körper gegen den leeren Raum leisten sollten.

So kann es nicht verwundern, daß es ihm nicht gelang, den horror vacui zu beseitigen. Dies geschah erst durch Versuche mit Apparaten, die kurz nach seinem 1642 erfolgten Tode construiert wurden, durch die Versuche mit dem Barometer und der Luftpumpe. Der Zweck beider Apparate war die Herstellung eines luftleeren Raumes, die Wege aber, die ihre Erfinder einschlugen, um diesen Zweck zu erreichen, waren ganz verschiedene. Obgleich die Luftpumpe der jüngere beider Apparate ist, werden wir doch im Interesse unserer Darstellung ihre Erfindung zuerst näher betrachten.

Daß sie ein Werk des Magdeburger Rathsherrn und Burgemeisters Otto von Guericke ist, und daß derselbe sie 1654 auf dem Reichstage in Regensburg als ganz neuen Apparat vorzeigte, ist bekannt.<sup>3)</sup> Ob der Ideengang, der ihn zu der Erfindung des Apparates führte, von Galilei's Versuch anhub, wissen wir nicht. Unmöglich ist es nicht, da Guericke Galilei's Schriften sehr wohl kannte.<sup>4)</sup> Aber unwahrscheinlich ist es deshalb, weil aus der Darstellung der Arbeiten, die Guericke zur Erfindung der Luftpumpe führten und die er 1672 in Amsterdam drucken ließ, hervorgeht, daß er dabei einen andern und zwar gänzlich selbstständigen Weg verfolgt hat. Wir erfahren aus seinem Buche, daß er beabsichtigte, einen leeren Raum herzustellen, der mit demjenigen übereinkäme, in welchem sich die Gestirne bewegen. Dies würde, wie er meinte, nicht so schwer sein, wenn

man aus einem allseitig geschlossenen Gefäß seinen Inhalt entferne und dazu gedachte er dadurch gelangen zu können, daß er aus einem geschlossenen, mit Wasser gefüllten Fasse das Wasser mittelst einer Pumpe herauswürfe. Der Versuch mißlang und ebenso ein zweiter, bei dem er zwei Fässer in einander setzte, beide mit Wasser füllte und nun das innere leer pumpte, Guericke mußte sich überzeugen, daß die Fässer nicht dicht genug hielten, um der Luft den Eintritt durch ihre Wände zu verwehren. Er griff deshalb zu einem metallnen Gefäß. Mit diesem erst glückte, wenn freilich auch nicht sogleich der Versuch, welcher zur Erfindung der Luftpumpe führte.

Die Experimente, die Guericke nun mit seinem Apparate anstellte, hatten hauptsächlich die Untersuchung des Luftdruckes zum Zwecke, das Verhalten der Körper im luftleeren Raum hat er nicht geprüft. Daran hinderte ihn die Undurchsichtigkeit der Wände seines Recipienten, wie man den Theil der Luftpumpe, aus welchem die Luft entfernt wird, nennt. Der Lösung dieser Aufgabe, die namentlich von Interesse sein mußte, unterzog sich Robert Boyle, nachdem er eine Luftpumpe verfertigt hatte, deren Recipient aus Glas bestand und mit einem abhebbaren Deckel versehen war, um Körper hineinzubringen.<sup>5)</sup> Auch hatte er seinem Apparate eine Einrichtung gegeben, die das Pumpen sehr erleichterte, gleichfalls eine nothwendige Bedingung für ein häufiges Experimentiren mit demselben. Boyle erzählt uns, daß er bereits die Idee, einen solchen Apparat herzustellen, gehabt habe, ehe ihm Guericke's Erfindung zu Ohren gekommen war und in der That sind so wesentliche Verbesserungen an seiner Luftpumpe angebracht, daß man keinen Grund hat, an der Wahrheit seiner Erzählung zu zweifeln. Änderte doch später Guericke selbst seine Luftpumpe nach dem Muster der Boyle'schen ab. Boyle leistete aber der Wissenschaft noch dadurch einen großen Dienst, daß er den ihm befreundeten holländischen Gelehrten Huygens

für diese Versuche interessirte und dieser stellte denn auch bald eine Luftpumpe her, deren Recipient eine Glasglocke war, die mit dem abgeschliffenen Rande auf einen ebenfalls abgeschliffenen Teller gestellt wurde. Viel experimentirt hat er freilich mit dem Apparate nicht, aber er gewann einen jungen französischen Mediciner für diese Versuche, den aus Blois gebürtigen Denis Papin, der sich später als Experimentator und Erfinder vor seinen Zeitgenossen hervorthun sollte. Papin nun stellte eine große Menge von Versuchen über das Verhalten der verschiedensten Körper im luftleeren Raume mit der Huygens'schen Maschine an, welche er später in Boyle's Laboratorium fortsetzte. Auch verdankt man ihm die wichtigsten Verbesserungen an dem Apparate und darf ihn unbedingt als den bezeichnen, welcher 25 Jahre nach ihrer Erfindung der beste Kenner der Luftpumpe war. <sup>6)</sup> Deshalb ist der von ihm gelegentlich gegebene Rath, daß man den unteren Rand des glockenförmigen Recipienten nicht einzusetzen brauche, weil es ganz nutzlos sei, die Fingerringe zu beschmugen, von größter Bedeutung. Da jetzt bei den viel vollkommeneren Instrumenten das Einsetzen des Randes des Recipienten trotz seiner Unannehmlichkeit als unerläßlichste Bedingung bei Versuchen mit der Luftpumpe angesehen wird, so beweist uns jene Aeußerung, wie viel der luftleere Raum zu wünschen übrig ließ, mit welchem man damals alles Erreichbare erreicht zu haben glaubte.

Wenn wir nun behaupten, daß die Forscher des 17. Jahrhunderts mit einem so unvollkommenen Vacuum sich begnügten, weil sie keine vollständige Leere herstellen konnten, so dürfte diese Behauptung vielleicht allzu gewagt gefunden werden. Man wird entgegen halten, daß das Barometer ja bereits vor der Luftpumpe erfunden war, und daß der leere Raum über dem Quecksilber dieses Apparates doch wohl keine Spur von Luft mehr enthalte. Die Berechtigung dieser allgemein angenommenen

Ansicht für die jetzigen Barometer werden wir nachher besonders zu prüfen haben. Auf die Barometer, die man zu Papin's Zeit hatte, darf man sie in keinem Falle ausdehnen. Zur näheren Begründung dieser Behauptung haben wir zunächst die Umstände, die die Erfindung des Barometers herbeiführten, in's Auge zu fassen.

Die Arbeiten, die mit der Herstellung dieses wichtigen Instrumentes endeten, knüpften direct an die oben erwähnten Versuche Galilei's an; war es doch sein talentvollster Schüler, der leider zu früh verstorbene Torricelli, dem sie gelang. Wenn die Luft ein Gewicht hat, sagte er sich, so muß dieses das Wasser in den Pumprohren emportreiben und wenn, wie zu erwarten ist, dieses Gewicht eine ganz bestimmte Größe hat, so muß es nicht der Widerstand gegen den leeren Raum sein, der das Wasser in den Pumprohren verhindert, über eine gewisse Höhe emporzusteigen, sondern es muß zu steigen aufhören, wenn sein Gewicht dem einer Luftsäule vom Querschnitte des Pumprohres gleich geworden ist. Die Richtigkeit dieser Annahme aber würde bequem mit einem Glasrohre zu erweisen sein, welches auf der einen Seite geschlossen wäre und mit Quecksilber gefüllt in ein Gefäß mit Quecksilber mit dem offenen Ende gestellt würde. Die Quecksilbersäule, deren Gewicht dem einer Luftsäule von demselben Querschnitte gleich käme, würde ja viel kürzer ausfallen, wie eine Wassersäule. Obwohl nun Torricelli diese Ideen in seinem Geiste zu vollständiger Klarheit durchgearbeitet hatte, so ist er es doch nicht gewesen, der zum ersten Male in einen luftleeren Raum hineinsah. Dies war ein anderer Schüler Galilei's, Viviani. Ihm hatte der bedächtiger Torricelli seine Ideen mitgetheilt, und während er selbst die Realisirung derselben noch hinausshob, überraschte ihn der eifrige Freund mit der Nachsicht, daß er das Experiment, das den Abscheu der Luft vor dem leeren Raum sowohl, wie den

Widerstand der Körper gegen den letzteren für immer aus der Wissenschaft verbannen sollte, bereits ausgeführt habe. Er füllte nun auch vor des Erfinders Augen ein einseitig geschlossenes, langes Glasrohr mit Quecksilber, kehrte es um, indem er das offene Ende sorgfältig mit dem Finger verschlossen hielt, tauchte es in ein Gefäß mit Quecksilber und mit inniger Freude sah Torricelli seine Idee sich bewähren, das Quecksilber sank, während Viviani den Finger langsam hinweg zog, bis zu einer bestimmten Höhe und blieb dann vom Gewichte der Luft getragen, stehen. Mit der Herstellung dieses ersten luftleeren Raumes war somit das Vorhandensein des Luftdruckes bewiesen.<sup>7)</sup>

In unserer an Zeitungen so reichen Zeit hätte nun eine Entdeckung von einer solchen durchschlagenden Wichtigkeit blitzschnell ihre Verbreitung durch die ganze Welt gefunden. Damals erfolgten derartige Mittheilungen viel langsamer, nur auf brieflichem Wege oder durch mündliche Erzählung. Auf die erste Weise lernte Pascal den Versuch Torricelli's durch Mersenne kennen. Dieser hatte sie von de Verduz mitgetheilt erhalten, de Verduz von Ricci, Ricci endlich von Torricelli. Pascal glaubte das Experiment noch aus dem Abscheu der Luft vor dem leeren Raum erklären zu können. Als er aber später auch die von Torricelli gegebene Erklärung kennen lernte, schloß er sich dieser an, nachdem er sich von ihrer Richtigkeit durch den berühmten Versuch überzeugt hatte, den auf seine Veranlassung am 19. September 1648 sein Schwager Perier anstellte und der die Vergleichung gleichzeitiger Barometerstände auf dem 3000' hohen Buy de Dôme und in dem am Fuße desselben liegenden Clermont zum Gegenstand hatte. Die dabei beobachtete Thatsache, daß das Barometer auf dem Berg einen um 3" niedrigeren Stand zeigte, wie an seinem Fuße, führte den endgültigen Sieg der Lehre vom Luftdruck über die des horror vacui herbei.

Otto von Guericke erfuhr von den Arbeiten der Italiener erst, nachdem das Barometer bereits seit vollen 11 Jahren erfunden worden war. Auf dem Reichstage in Regensburg zeigte ihm der Capuziner Pater Valerianus Magnus den Torricellischen Versuch, ließ aber die Täuschung mit unterlaufen, als sei er, Valerianus, der Urheber desselben. Indes kam es bald zu Tage, daß er prahlend gelogen hatte, den Versuch selbst aber wiederholte Guericke bald nach seiner Rückkehr, indem er ein Wasserbarometer aufstellte, dabei aber dafür sorgte, daß die gleichfalls von Torricelli bereits beobachteten Schwankungen des Luftdruckes Jedermann vor Augen traten. Zu dem Ende stellte er eine Anzahl metallene Röhren her, von denen die unterste mit einem Hahn verschlossen werden konnte, während die andern unten in einen Kegel ausliefen, welcher in den innern Theil des trichterförmig erweiterten oberen Ende des sich nach unten anschließenden Rohrstückes paßte. Nur der untere Theil des obersten dieser Rohrstücke bestand aus Metall, oben trug dasselbe ein flaschenförmig erweitertes geschlossenes Glasgefäß. Mit geschlossenem Hahn wurde nun das unterste in einen Zuber mit Wasser gesetzt, es darauf mit Wasser gefüllt, das folgende Rohrstück eingesetzt, auch dieses mit Wasser gefüllt u. s. w., endlich das oberste gefüllt und, während es mit dem Finger zugehalten wurde, in den Trichter des vorhergehenden gesetzt. Dann wurde der Hahn geöffnet und das Wasser sank in dem Glasgefäße herab, den über ihm bleibenden Raum mit seinen Dämpfen füllend. In diese Flasche hatte er nun eine kleine hölzerne Figur gebracht, die auf dem Wasser schwimmend mit ihrem ausgestreckten Finger den Stand des Barometers angab und den Bewohnern Magdeburgs die Aenderungen des Barometerstandes mit dem Wetter in ähnlicher Weise vor Augen führte, wie dies unseren Zeitgenossen, die überall in öffentlichen und Privatgebäuden aufgestellten Wettergläser und Aneroide thun. Es ist dies Guericke's berühmtes Wettermännchen und mit

Befriedigung erzählt uns der Erfinder, daß er im Jahre 1660 aus dem ungewöhnlich raschen Herabsinken desselben einen Sturm richtig vorhergesagt habe.<sup>s)</sup>

Nachdem nun das Barometer einmal erfunden war, lag es nahe, den luftleeren Raum in seiner Kammer, die sogenannte Torricelli'sche Leere, zu ähnlichen Versuchen zu benutzen, wie dies mit dem luftverdünnten Raum im Recipienten der Luftpumpe schon lange geschah. In der That haben die Schüler Galilei's, die Mitglieder der 1657 unter dem Protectorat des Prinzen Leopold von Medici gestifteten Accademia del Cimento, (Academie für experimentelle Arbeiten), eine ganze Reihe derartiger Versuche angestellt. Da sie aber selbst fanden, daß der Stand ihrer Barometer von der Temperatur abhängig sei, also ihre Barometerkammer Luft enthalten mußte, die sie denn auch dadurch als Bläschen sichtbar machten, daß sie das Quecksilber, des Barometers durch Neigen des Rohres zum Anstoßen an sein oberes Ende brachten, so ergaben ihre Versuche keine besseren Resultate, wie die mit der Luftpumpe auch ergeben hatten. Es konnte auch gar nicht anders sein, weil sie das Quecksilber mit dem sie ihre Barometer füllten, nicht auskochten und so förderten ihre Versuche die Kenntnisse von den Eigenschaften des leeren Raumes nur wenig. Auch der Versuch Papin's, ein luftleeres Barometer dadurch herzustellen, daß er die Röhre erst auspumpt und dann auf die mühsamste Weise das Quecksilber hereinbrachte, während das offene Ende des Rohres unter dem Recipienten der Luftpumpe blieb, mißlang, da das ihm hierzu von der Royal Society in London zur Verfügung gestellte Quecksilber sich als zu unrein erwies.

Das 18. Jahrhundert brachte nun zwar wichtige Verbesserungen, sowohl in der Construction der Luftpumpe, wie in den Herstellungsmethoden der Barometer, aber einen wesentlichen Fortschritt für die Erzeugung eines luftleeren Raumes brachte

es nicht. Obwohl man darauf kam, die Barometer durch Auskochen weitaus vorzüglicher zu machen, so traten andere Beobachtungen in den Weg, die die Prüfung und Ausnützung derselben zu verhindern geeignet waren. Die schon früh beobachtete Thatsache, daß es Barometer gab, deren Kammer durch Schütteln des Quecksilbers zu schwachem Leuchten gebracht werden konnte, verursachte zunächst viel Hin- und Widerreden, bis es klar wurde, daß hieran die Electricität Schuld sei, welche durch Reibung des Quecksilbers an der Glaswand entstand.<sup>10)</sup> Nachdem nun Dufay 1723 gezeigt hatte, daß das Leuchten nur entstehe, wenn das Barometer gut ausgekocht sei und als Deluc 1760 die Wirkung des Auskochens durch die sehr vollständige Befreiung des Quecksilbers von Luft erklärt hatte, die erzielt wurde, so glaubte man in der noch so sehr räthselhaften Electricität ein Mittel gefunden zu haben, zu prüfen, ob ein Raum luftleer sei oder nicht. Wenn man auch dieser Ansicht ihre Berechtigung nicht abprechen kann, so wußte man doch von der Electricität damals noch viel zu wenig, als daß nicht ihr Hineinziehen in diese Untersuchungen mancherlei Unklarheiten hervorgerufen hätte. Namentlich verhängnißvoll in dieser Beziehung wurden Versuche, die 1780 Walsh in Gegenwart Franklin's, Smeaton's, Deluc's, Cavallo's und anderer anstellte und die 1807 P. Erman wiederholte, indem ihr Resultat, die Undurchdringlichkeit der Torricelli'schen Leeren jener Barometer für electrische Funken, ohne Weiteres verallgemeinert wurde.<sup>11)</sup> Man glaubte nunmehr, daß der leere Raum ein Nichtleiter der Electricität sei, und sah umgekehrt in dieser mangelnden Leitungsfähigkeit eines Raumes einen sicheren Beweis dafür, daß in ihm wirklich nichts Stoffliches mehr vorhanden wäre. Dadurch gerieth man aber in einen Circel bedenklichster Art; da man ja gar nicht wußte, ob der Raum, welcher die Electricität nicht leitete, leer war, so war es ein grober logischer Fehler, anzunehmen, daß man daran

nun einen leeren Raum müsse erklären können. Auch beweist die Thatfache, daß dieser Raum sich gegen Funkenentladungen so verhielt, doch noch nichts für Räume, aus denen auf andere Weise die Luft entfernt worden war oder für andere electriche Entladungen, wie Funkenentladungen. Daß diese beiden Faktoren in der That aber wesentlich den Uebergang der Electricität durch einen luftverdünnten Raum bedingen, ist durch eine Menge Versuche der Neuzeit, auf die wir noch ausführlich einzugehen haben, genügend dargethan worden.

Diese Versuche setzen nun aber einen Raum voraus, aus dem die Luft viel vollkommener entfernt worden ist, als es die bisher betrachteten Mittel gestatteten, die Möglichkeit dieser Herstellung aber wieder Prüfungsmittel für die erreichte Luftverdünnung. Unter den letzteren blieb nach wie vor das Barometer das einzig brauchbare. Wenn nun aber auch zugegeben werden mag, daß die Kammer eines sehr sorgfältig angefertigten Barometers sogleich nach seiner Herstellung völlig frei von Stofftheilchen ist, so ist doch aus theoretischen Gründen mit aller Sicherheit zu folgern, daß durch Verdunstung des Quecksilbers etwas Quecksilberdampf sich sehr bald in die Leere begiebt. Allerdings ist diese Dampfmenge bei niederen Temperaturen so gering, daß sie, wovon sich Regnault durch besondere Versuche überzeugt hat, bei allen in solchen Temperaturen angestellten Messungen der Barometerhöhen oder der Quecksilberhöhen an barometrischen Apparaten unberücksichtigt bleiben kann, aber sie reicht doch hin, um einige Quecksilberatome in den leeren Raum gelangen zu lassen und ihm so die Eigenschaft, auf die es uns in erster Linie ankommt, wieder zu nehmen. So lange nun keine Luft in der Barometerkammer ist, ist für die Zwecke des Barometers alles erreicht, was erreicht zu werden braucht. Aber man findet in nicht ganz frisch ausgekochten Barometern stets

geringere oder größere Mengen von Luft und es entsteht somit die Frage, auf welche Art dieselbe mit der Zeit hinein kommt.

Bei ganz neuen Barometern von nicht zu großen Durchmesser kommt es oft vor, daß beim Umkehren des Rohres die ganze Masse des Quecksilbers an den Rohrwandungen haften bleibt und trotz alles Klopfens nicht herabfallen will. Die Barometerverfertiger kennen diese Erscheinung seit langer Zeit und sehen ihr Auftreten als das Zeichen eines wohl gelungenen Barometers an. Die Richtigkeit dieser Ansicht ist vor mehreren Jahren durch Versuche bestätigt worden, die James Moser in Professor von Helmholtz's Laboratorium in anderer Absicht, nämlich um neue Aufschlüsse über die Cohäsion des Quecksilbers am Glase zu gewinnen, angestellt hat<sup>12)</sup>. Nach verhältnißmäßig kurzer Zeit hört nun aber dieses Anhaften des Quecksilbers am Glase auf, und zwar offenbar deshalb, weil eine Spur von Luft in die Barometerkammer eintritt. Der Umstand, daß bereits Huygens die in Rede stehende Erscheinung an einem mit Wasser gefüllten, abgekürzten Barometer unter der Luftpumpe beobachtete<sup>13)</sup> beweist durchaus nichts gegen die oben aufgestellte Behauptung, daß die früheren Barometer an Güte hinter den jetzigen weit zurückstanden. Nicht darin bestand ihre Unvollkommenheit, daß nicht im ersten Augenblicke ihre Kammer Luft enthielt, sondern, daß in verhältnißmäßig kurzer Zeit eine beträchtliche Menge Luft in sie hineingerieth. Wenn nun bei jenen Apparaten die Herkunft dieser Luft leicht nachgewiesen werden konnte, da ja das unausgekochte Quecksilber ziemlich viel Luft und Feuchtigkeit enthält, so lag bei den neueren Barometern die Sache nicht so einfach. Aus dem in ihnen enthaltenen Quecksilber war ja, wie man glaubte, die Luft durch das Kochen entfernt, und so mußte man annehmen, daß sie zwischen dem Quecksilber und dem Glase emporkröche. Um dies zu verhindern schlug der englische Physiker Daniell vor in

gewissen Entfernungen von einander Platinringe inwendig an das Barometerrohr zu legen, unter denen sich, da sie am inneren Rande herabgebogen waren, die aufsteigende Luft, statt in die Torricelli'sche Leere aufzusteigen, ansammeln sollte. Indessen bewies die Nutzlosigkeit dieser Vorrichtung bald genug die Unrichtigkeit des Gedankens, von dem sie ausging, und Moser's Versuche haben deutlich bewiesen, daß die in die Leere gelangende Luft in dem Quecksilber selbst emporsteigt. Als er, um von andern Versuchen zu schweigen, luftfreien Alkohol über das Quecksilber eines nach Art eines Barometers eingerichteten Apparates brachte, sah er in ihm Luftblasen aufsteigen und zwar gingen dieselben allemal von der Oberfläche des Quecksilbers aus. Die Luft muß sich also entweder im Quecksilber, gerade so, wie im Wasser lösen, oder, was wahrscheinlicher ist, das Quecksilber oxydirt sich an der Stelle, wo es mit der Luft in Berührung ist, dieses Dryd löst sich im Quecksilber auf, gelangt an die Grenzfläche desselben gegen die Barometerkammer und giebt hier seinen Sauerstoff, der nur mit geringer Kraft an dem Quecksilber haftet, in die Barometerkammer ab. Die Torricelli'sche Leere der Barometer ist somit für gewöhnlich kein vollständig leerer Raum, sie enthält vielmehr mit seltenen Ausnahmen Luft.

Da eine gewisse Zeit nöthig ist, um die Eintreten der Luft in die Leere des Barometers zu ermöglichen, so ist dasselbe zur Prüfung dafür, ob aus einem Recipienten alle Luft entfernt ist, vollkommen brauchbar, wenn man es nur rechtzeitig durch Schließen eines Hahnes oder Zulasen eines Rohres mit der Glasbläserlampe von dem leergepumpten Raume abschließen kann. Der Apparat, solche leeren Räume zu erreichen konnte aber nur die Luftpumpe sein, die freilich dazu wesentlich verbessert werden mußte. Zwei Männer waren es nun namentlich, die solche verbesserten Luftpumpen in neuerer Zeit mit

Erfolg zur Verwendung brachten, Geißler in Bonn und Sprengel in London. Die Pumpe des ersteren<sup>14)</sup> benutzt den leeren Raum über dem Barometer und ist also nur eine Verbesserung des Apparates, den bereits die Mitglieder de Accademia del Cimento zu ihren Versuchen benutzten. Der Recipient ist ein kleines Glasgefäß, welches durch einen Glashahn mit einem großen birnförmigen Gefäß in Verbindung steht, von dem dann ein genügend langer quecksilberdichter, aber biegsamer Schlauch in ein geräumiges zweites Gefäß führt. Ein zweites durch diesen Hahn verschließbares Glasrohr führt in die Luft. Ist dieser Hahn geöffnet, so kann man beide Gefäße mit Quecksilber füllen, wenn man das letztere höher, wie das erstere stellt und bei geöffnetem Lufthahn in jenes Quecksilber schüttet. Schließt man dann den Hahn und setzt das letztgenannte Gefäß auf den Boden, so bleibt in dem biegsamen Verbindungsrohr eine Quecksilberäule von der Höhe des Barometerstandes zurück, während das Gefäß sich vollkommen entleert. Verbindet man nunmehr mit diesem den Recipienten, so dehnt sich die in demselben enthaltene Luft auf ein viel größeres Volumen aus und kann, wenn der Versuch mehrmals wiederholt wird, auf das Aeußerste verdünnt werden. Noch bequemer ist die Sprengel'sche Luftpumpe. Auch sie ist nur die Verbesserung eines älteren Versuches den am Ende des 17. Jahrhunderts der württembergische Hofrath Reifel „denen Curiosis“ als Aufgabe stellte und dessen Wiederholung und Erklärung Papin sogleich gelang<sup>15)</sup>. Ihr Hauptbestandtheil ist ein ziemlich enges, senkrecht gestelltes Glasrohr, durch welches aus einem oben daran befestigten Trichter hintereinander so langsam Quecksilbertropfen herabfallen, daß zwischen ihnen jedesmal ein luftleerer Raum bleibt. An dies senkrechte Rohr ist nun ein seitliches zweites Rohr angeblasen, welches mit einem Glashahn versehen ist und an welches der Recipient, wiederum ein Glasrohr, gesetzt ist. Jeder herab-

fallende Tropfen nimmt bei geöffnetem Hahn etwas Luft aus dem Recipienten mit und da man, wenn der Trichter entleert ist, leicht Quecksilber wieder nachgießen kann, so ist ohne Mühe ein sehr vollkommen luftverdünnter Raum auch mit dieser Pumpe zu erhalten. Dabei hat sie noch die gute Eigenschaft, selbst den Experimentator herbeizurufen, wenn sie ihre Pflicht gethan hat. Die Tropfen fallen dann nicht mehr mit leisem Ton auf das die Glaswand sonst umgebende Luftpolster, sondern auf diese selbst und erregen dadurch ein lautes Klingen, daß sich genau so anhört, als sei das Glas gesprungen. Dies ruft den Beobachter unfehlbar herbei.

Mit Hülfe seiner Luftpumpe stellte nun Geißler in den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts nach ihm benannte rings geschlossene Glasröhren dar, in welchen die Luft stärker verdünnt war, als man es früher jemals hatte erreichen können. Mit ihrer Hülfe war man im Stande den Durchgang der Electricität durch luftverdünnte Räume zu studiren und da zeigte es sich denn, daß, worauf wir schon hindeuteten, der Vorgang ein viel complicirter war, als man nach den wenigen Versuchen von Walsh und Erman angenommen hatte. Um die Electricität in den Raum zu leiten, waren zwei Platindrähte, die Electroden, in die Röhrenwand eingeschmolzen. Von der Entfernung der Electroden, dem Grad der Verdünnung und der Art der electricischen Entladung hing der Durchgang der Electricität ab. Man fand, daß je höher die Verdünnung getrieben wurde, um so geringer der Abstand der Electroden sein durfte, bei welchem die Electricität nicht mehr den Raum durchdrang und Geißler erreichte eine solche Verdünnung, daß er die Enden der Electroden bis in eine Entfernung von 1 dem bringen konnte, ohne daß die Electricität, welche mittelst galvanischer Elemente in einem Inductionsapparate hervorgerufen wurde, überging. Aber er erreichte noch weit mehr, als er einem von Hittorf gemach-

ten Vorschlage zu Folge den Recipienten während des Auspumpens gleichzeitig bis zur Rothgluth erhitzte. Dadurch wurde die Verdünnung so gesteigert, daß der Abstand der Electroden, den die Electricität nicht mehr überschritt, weniger, wie 1 mm betrug.

Da man immer noch in der Vorstellung befangen war, daß die Electricität den luftleeren Raum nicht durchdringen könne, so war man nun überzeugt, denselben in diesen Röhrchen wirklich vor sich zu haben. Indessen hat ein kleiner Apparat, den unabhängig von einander vor mehreren Jahren Crookes und Berguer<sup>16)</sup> erfanden und der, freilich in ein wenig anderer Form auch schon im vorigen Jahrhundert zu Versuchen gedient hatte, jetzt aber den Namen des Radiometers erhielt, den Gegenbeweis erbracht. Beide Männer zeigten, daß kleine dünne Scheibchen irgend welches Stoffes, die in einem solchen luftleeren Raum so aufgehängt waren, daß sie sich bewegen konnten, unter dem Einfluß von Licht- und Wärmestrahlen in eine solche Bewegung geriethen, als würden sie von den Strahlen abgestoßen. Setzte man nun voraus, daß der Raum, in welchem diese beweglichen Scheibchen sich befanden, wirklich luftleer war, so blieb nichts übrig als anzunehmen, daß die Strahlen in der That eine abstoßende Wirkung ausübten. So nahm denn auch Crookes anfangs eine solche an und glaubte damit die neue Eigenschaft des Lichtes gefunden zu haben, Körpern eine mechanische Bewegung zu ertheilen. Was für ein enormes Aufsehen die Crookes'schen Versuche erregten, ist bekannt, das Radiometer ist so populär geworden, daß es in Deutschland den, man darf sagen, Spitznamen der Lichtmühle erhielt und jetzt wohl in dem Schaufenster eines jeden Mechanikers im Tageslichte unermüdllich seine zierlichen Flügel dreht. Es besitzt deren gemeiniglich 4 von einseitig mit Ruß geschwärzten Glimmer- oder Marckscheibchen, die in senkrechter Lage von einem Kreuze von sehr leichten Aluminiumdraht gehalten werden. Die hut-

förmig gehobene Mitte dieses Kreuzes ist auf die Spitze einer Nähnadel gesetzt, welche in einem Glasstiel eingeschmolzen ist, der sich im Innern eines birnförmigen allseitig geschlossenen Glasgefäßes erhebt. Von oben aber ragt ein eben solches Glasstäbchen in das Gefäß hinein und umfaßt mit einer Höhlung so das Hütchen des Kreuzes, daß dieses zwar frei auf der Nadelspitze schwebt, aber beim Umkehren des Apparates von derselben nicht herabfallen kann.

Die vermeintliche Entdeckung Crookes' wurde zur Veranlassung einer wahren Sturmfluth von Veröffentlichungen, deren Inhalt Versuche mit Radiometern oder ähnlichen Apparaten war, die aber mit wenigen Ausnahmen zu dem Schlusse kamen, daß man zu der Erklärung der überraschenden Erscheinungen im Radiometer durchaus nicht eine abstoßende Kraft der Licht- und Wärmestrahlen, die stärker auf die beruhten, wie auf die unberuhten Seiten der Scheibchen wirke, anzunehmen brauche, sondern daß die Bewegung durch die wenigen in ihm noch vorhandenen Gastheilchen hervorgerufen würde, welche von der stärker erwärmten beruhten Seite der Scheibchen mit größerer Kraft, wie von der nicht beruhten abgestoßen, durch ihren Rückstoß das Kreuz mit den Scheibchen in Bewegung setzten. Wir heben hier nur zwei Versuche heraus, welche besonders geeignet sind, die Unhaltbarkeit der Crookes'schen Hypothese nachzuweisen; den einen derselben hat Kundt in Straßburg, den andern Schuster in Oxford angestellt. Kundt<sup>17)</sup> befestigte die Flügel eines Radiometers an eine Glimmerscheibe, die in derselben Weise, wie es Crookes angegeben hatte, auf einer Spitze schwebte, brachte aber dann in geringem Abstand über ihr eine zweite Scheibe, der unteren parallel und wie sie drehbar, an; beide Scheiben waren in ein Glasgefäß eingeschlossen, welches nach Crookes' Ansicht völlig luftleer gepumpt worden war. Wäre nun dies Gefäß wirklich luftleer gewesen, so hätte bei Bestrahlung des Apparates die untere Scheibe in Drehung

gerathen müssen, ohne daß der obigen irgend welche Bewegung ertheilt worden wäre. Enthielt aber das Gefäß noch Luft, so mußte dieselbe an der Rotation der unteren Glimmerscheibe Theil nehmen und vermöge ihrer Reibung an der oberen auch sie mit in Rotation versetzen. Der Versuch zeigte, daß das Letztere eintrat. Als sich die untere Scheibe drehte, gerieth die obere ebenfalls in eine, freilich langsam erfolgende Rotation. Luftleer ist also auch der nach Hittorf's Vorgang hergestellte Raum nicht.

Doch scheint der Kundt'sche Versuch zunächst nicht zu ergeben, daß, wenn auch noch Luft im Radiometer vorhanden ist, diese nun auch die Ursache der Bewegung der Radiometerflügel sein muß. Diesen Schluß ergiebt aber mit Evidenz der von Schuster angestellte Versuch<sup>18)</sup>. Wenn der Stoß der Luft die Flügel wirklich in Drehung versetzt, so muß, schloß der englische Forscher, dieselbe gleichzeitig der dem Flügel gegenüberbefindlichen Gefäßwand einen Stoß in entgegengesetzter Richtung ertheilen, gerade so wie Jemand, der aus einem Schiffe springend seinen Körper vorwärts bewegt, das Schiff zugleich rückwärts schleudert. Hängt man also die Hülle des Radiometers drehbar auf, so muß dieselbe unter der Einwirkung von Strahlen in langsame Drehung in entgegengesetzter Richtung gerathen und dies Ergebniß erhielt Schuster in der That, als er seine Idee experimentell prüfte. Es hat dann E. Pringsheim<sup>19)</sup> neuerdings darauf aufmerksam gemacht, daß der Hauptantheil an der hervorgebrachten Bewegung der Glaswand des Radiometergefäßes zuzusprechen sei und dadurch die von Reynolds herrührende, von Schuster angenommene Erklärungsweise bestätigt. Solchen nicht gut abzuweisenden Gründen für die Erklärung der Bewegungen im Radiometergefäß in Folge des Stoßes von Gas-theilchen verschloß sich nun auch Crookes nicht. Er gab seine frühere Ansicht auf und es ist zu verwundern, daß dieselbe

trotzdem noch von manchen Physikern festgehalten wird. Dazu aber konnte er sich nicht entschließen, die Erscheinungen lediglich als Folgerungen der neueren Gastheorie zu betrachten, als welche er sie namentlich von den deutschen Forschern, und doch wohl mit Recht, hingestellt wurden, sondern er nahm nun eine Idee des großen englischen Experimentators Faraday auf und erklärte den Zustand der Luft im Radiometer für einen vierten Aggregatzustand, den der strahlenden Materie, in dem sich die Gastheilchen in geradlinigen Bahnen so lange fortbewegten, als sich ihnen nicht ein Hinderniß in den Weg stellte. Es ist nicht recht zu verstehen, wie er diese von Faraday längst vor der Aufstellung der genannten Theorie gebrauchte Annahme der strahlenden Materie wieder einführen mochte, die jetzt nur geeignet ist, Verwirrung anzurichten.<sup>20)</sup>

Die neuere, von Clausius zuerst aufgestellte Gastheorie nimmt nämlich an, daß die einzelnen Atome der Körper, so lange diesem nur noch ein wenig Wärme innewohnt, d. h. so lange ihre Temperatur noch über dem absoluten Nullpunkt, den man zu  $-273^{\circ}$  der hunderttheiligen Scala berechnet hat, gelegen ist, in fortwährender Bewegung begriffen sind. Die Atome fester Körper führen ihren Folgerungen nach pendelartige Bewegungen aus<sup>21)</sup>, die der Flüssigkeiten gleiten sich umeinander herumwälzend an einander hin, die der Gase aber gehen in geradlinigen Bahnen fort, so lange bis sie einen andern Körper, also z. B. die Wand des sie einschließenden Gefäßes oder andere gleichartige Atome treffen, mit welchen letzteren sie dann, wie aufeinander stoßende Billardkugeln, ihre Bewegungen austauschen, von ihnen in schiefer Richtung weiter gehn u. s. w. Je weniger Gasatome in einem Raume sind, desto seltener wird ein Zusammenstoß stattfinden. Je stärker also die Verdünnung ist, desto länger kann ein sich bewegendes Gasatom seine geradlinige Bahn inne halten. Der sogenannte vierte Aggregat-

Zustand Faraday's ist also durchaus nichts anderes, wie der Zustand eines auf das höchste verdünnten Gases, wie er aus den Voraussetzungen der Gastheorie folgt und also eine mindestens überflüssige Bezeichnung.

Indessen waren es nicht nur die Bewegungen im Radiometer, welche Crookes aus seiner Annahme zu erklären suchte, es war außerdem eine große Menge von elektrischen Lichterscheinungen, welche er dadurch dem Verständniß näher zu bringen wünschte. Ebenfalls zuerst von Hittorf aufgefunden, waren sie von den verschiedensten Forschern nach allen Richtungen verfolgt, aber nur ihrer Zahl nach vermehrt, ohne daß man ihrer Deutung näher gekommen wäre. Es sind dies die Lichterscheinungen, welche den Durchgang der Electricität durch möglichst luftleer gemachte Geißler'sche Röhren begleiten. Ist der größtmögliche Grad der Verdünnung erreicht, und leitet man durch Electroden, die so liegen, daß die eine von der andern aus nicht in gerader Linie ohne Zerstörung der Glaswand erreicht werden kann, Inductionselectricität hinein, so geht diese nicht wie sonst von einer Electrode zur andern, sondern sie geht in geradlinigen Strahlen fort, welche an der Stelle, wo sie das Glas treffen, dasselbe leuchtend machen. Gegenstände, welche in dem Geißler'schen Rohr diesen Strahlen in den Weg gestellt werden, bilden sich dann als dunkle Stellen auf der leuchtenden Glaswand ab. Goldstein<sup>22)</sup> in Berlin hat auf derselben das Gepräge einer Münze erhalten können, von der er die electrischen Strahlen ausgehen ließ. Stellte nun Crookes diesen Strahlen ein leichtes radiometerartiges Flügelrädchen so entgegen, daß nur ein kleiner Theil von ihnen getroffen wurde, so gerieth dasselbe in Rotation, offenbar in Folge des Stoßes der Gastheilchen, welche von der einen Electrode abgestoßen gegen die Flügel des Rädchens prallten. Daraus glaubte Crookes schließen zu dürfen, daß auch das Leuchtend-

werden der Glaswand durch den Stoß derselben Gastheilchen hervorgerufen werde, und daß sie dieselbe Wirkung auch auf ihnen begegnende Gastheilchen ausüben. Giebt man nun die Richtigkeit dieser letzten Annahme zu, so ist eine nothwendige weitere Consequenz, daß dunkle Stellen im Rohre solche sein müssen, durch welche die strahlende Materie sich völlig ungehindert hindurch bewegt.

Die Annahme, mit deren Hilfe Crookes die electricischen Lichterscheinungen im Innern und in der Glaswand der Geißler'schen Röhren erklären wollte, wurden von anderen dahin modificirt, daß es nicht die durch die electricische Entladung in Bewegung gesetzten Gastheilchen seien, welche sie hervorriefen, sondern Metallheilchen, welche durch die Electricität von den Electroden abgerissen wurden. Indessen haben Versuche, die Goldstein zur Prüfung dieser und der Crookes'schen Ansicht aufstellte, dieselben nicht bestätigt.<sup>22)</sup> Sie haben vielmehr mit großer Wahrscheinlichkeit das Resultat ergeben, daß die in den Röhrcn enthaltene Luft bei diesen Lichtprocessen keine Rolle spielt, als höchstens die, dem Uebergang der Electricität hindernd in den Weg zu treten. Sie veranlaßten ihn die alte Ansicht wieder aufzunehmen, daß der leere Raum doch im Stande sei, die Electricität zu leiten und daß bei hochgradiger Verdünnung die etwa noch vorhandenen materiellen Theilchen die Electricität bei ihrem Fortschreiten nur hinderten.

Die Ursache aber, warum die Electricität bald in dem luftverdünnten Raum einzutreten im Stande ist, bald nicht, liegt darin, daß ihr beim Uebergang aus den sie leitenden Metalltheilen in diesen Raum ein Widerstand entgegengesetzt wird, welcher verschieden ist, je nach der Natur der Leiter und der sie umgebenden Stoffe.

Wenn wir nun auch die aus diesen gezogenen Schlüsse einstweilen noch mit Vorsicht aufzunehmen haben, da die ganze

Frage wohl noch nicht spruchreif ist, so kommen wir doch zu dem sicheren Ergebnis, daß bisher alle Versuche auf Erden, einen vollkommen luftleeren Raum herzustellen, gescheitert sind. Erstirt nun trotzdem ein solcher, so kann er nur außerhalb unserer Atmosphäre zwischen den Weltkörpern gesucht werden. Daß sich aber hier ein solcher befindet, dafür sprechen viele gewichtige Gründe.

Wir wissen, daß die Dichtigkeit unserer Atmosphäre nach Oben immer mehr abnimmt und können uns demnach der Folgerung nicht entziehen, daß die letztere endlich einmal ganz aufhört. Ueber die Höhe, wo dies geschieht, gehen freilich die Ansichten noch weit auseinander. Lassen wir die aus den Beobachtungen der Nordlichter gewonnenen Bestimmungen dieser Höhe hier bei Seite, einmal, weil mit den größeren aus theoretischem Grunde keine Höhenbestimmung vorgenommen werden kann, dann aber auch, weil es wohl als ganz sicher anzunehmen ist, daß die Nordlichter in sehr verschiedenen Höhen statt finden können, so haben die Rechnungen Ritter's<sup>23)</sup> ergeben, daß die Dichtigkeit der Luft in einer Höhe, die 300 km übertrifft, bereits sehr gering sein muß, ein Resultat, was mit dem von Schiaparelli aus den Höhen sichtbar werdender Sternschnuppen abgeleiteten gut übereinstimmt. Will man aber die Höhe bestimmen, in welcher sich überhaupt keine Lufttheilchen mehr befinden, so wird man auch auf derartige Bestimmungen keinen Werth legen können; denn die Atmosphäre wird wohl nur ganz allmählich in den luftleeren Raum übergehen und es steht der Annahme nichts entgegen, daß auch in dem ungeheuren Weltenraum von Weltkörpern losgerissene Stoffmoleküle sich befinden, die auch dort das Suchen nach einem absolut luftleeren Raum möglichenfalls illusorisch machen müssen.

Giebt man dies nun aber auch zu, so wird man doch weit ausgedehnte Theile des Weltenraums als aller körperlichen

Atome haar ansehen müssen, und diese Räume werden dann als luftleere anzusehen sein; hier scheinen wir demnach endlich den luftleeren Raum aufgefunden zu haben, dessen Unerreichbarkeit es freilich unmöglich machen würde, ihn zu irgend welchen Untersuchungen zu benutzen. Das würde nun allerdings höchst bedauerlich sein, wenn es feststände, daß dieser luftleere Raum auch wirklich leer ist, und auf diese Frage haben wir schließlich noch unsere Aufmerksamkeit zu richten.

Indem wir uns hierzu anschicken, tritt uns die Beschränktheit unseres Vorstellungsvermögens in eigenthümlicher Weise hindernd in den Weg. Man mache nur den Versuch und suche sich diesen gänzlich leeren Raum zu denken, einen Raum in dem Nichts ist, was unseren Sinnen, ja auch nur unserer Einbildungskraft einen Anhaltspunkt gewährt und man wird sich sofort überzeugen, daß dies unmöglich ist. Der Forscher, der seine Gedanken in den Weltenraum hinausendet, sowie derjenige, welcher über einen begrenzten Raum nachdenkt, schweift von einem Anhaltspunkt seines Denkens zum andern, jener von Gestirn zu Gestirn, dieser von Begrenzungsfläche zu Begrenzungsfläche oder von Punkt zu Punkt, was dazwischen liegt, existirt nicht für ihn. Denn das ist ja eben das eigenthümliche Wesen unserer Seele, daß sie nur dadurch das Gefühl ihres eigenen Daseins hat, daß eine von ihr verschiedene Vorstellung sie erfüllt. Fehlt eine solche, wie z. B. im traumlosen Schlafe, so ist sie auch für sich selbst nicht vorhanden, Zeiten solcher Leere gehen spurlos an ihr vorüber.

Wenn deshalb die Naturwissenschaft annimmt, daß der Weltenraum nicht absolut leer, sondern mit einem Etwas, welches sie Aether nennt, angefüllt ist, so könnte man versucht sein, den Grund hierfür nur in der Natur der menschlichen Seele zu suchen und derartigen Annahmen durchaus kein Gewicht beizumessen. Doch liegt die Sache hier günstiger. Es ist ja eine

der alltäglichsten von Jedem millionen Mal gemachten Erfahrungen, daß von der Sonne und den Gestirnen stets Licht und Wärme zu uns gelangt und beide Agentien wird doch sogar der eingefleischteste Sceptiker als außer uns existirend bestehen lassen. Mag er auch die objectiven Dinge für Einbildungen erklären, schon dies Wort beweist, wie abhängig er auch in seinem Denken vom Bilde entwerfenden Lichte ist, von dem die Bezeichnungen für die bei weitem meisten abstracten Dinge genommen sind. Und wenn freilich sich das Licht von allen körperlichen Gegenständen auf das ausgeprägteste dadurch unterscheidet, daß jene selbst wahrgenommen werden, dieses dagegen nur die Wahrnehmung der Körper vermittelt, so ist nur um so unwiderleglicher sein Dasein dadurch bewiesen, daß es selbst nicht gesehen werden kann. In der That sind wir auch im Stande, uns sehr bestimmte Ansichten über das Wesen des Lichtes zu bilden. Bedenken wir zunächst, daß durch den zum größten Theil gewiß luftleeren Weltenraum das Licht der Gestirne zu uns gelangt, daß luftleere Räume geschickt sein müssen, uns die Lichtempfindung zu vermitteln, so werden wir solche Räume nicht als absolut leer ansehen können und so hat man sich denn auch, nachdem man in einer Weise über das Wesen des Lichtes nachzudenken begonnen hatte, die für die neuere Naturforschung annehmbar war, den unendlichen Raum stets mit dem Träger dieses Lichtes angefüllt gedacht. Bedenkt man aber weiter, daß das Licht als solches nicht wahrgenommen werden kann, so muß auch der Träger desselben unserer Wahrnehmung unzugänglich sein, man legt ihm demnach eine solche Feinheit bei, daß er auf unseren Gefühlsinn keinerlei Wirkung mehr ausüben könne, daß er also in dieser Hinsicht mit den Körpern völlig unvergleichbar erschien. Es durchdringt dieselben mehr oder weniger ungehindert. Aber da doch unleugbar die Körper auf ihn, er auf die Körper wirkt, wie ja z. B. aus dem Verhalten der

Wärme, die das Licht sehr oft, wenn nicht immer begleitet, hervorgeht, so kann er nicht mit diesen von grundverschiedener Natur sein. Wie ein an das Glockenseil angehängtes kleines Gewicht, dem kolossalen Körper der Glocke eine, wenn auch noch so kleine Bewegung, aber doch immer eine Bewegung ertheilt, so der Aether einem Körperatom, auf das er trifft und dies drängt dann sofort die weitere Annahme auf, daß er wie die Körper auch aus von einander gesonderten Theilchen, die nicht weiter getheilt werden können, aus Atomen besteht, welche wegen ihrer Kleinheit noch weit mehr jenseits unserer sinnlichen Wahrnehmung liegen müssen, wie die Körperatome. Man hat sich große Mühe gegeben, aus der Bewegung der Himmelskörper auf das Dasein des Aethers, der ihrem Fortschreiten im Raume einen Widerstand entgegenzusetzen müsse, zu schließen, aber so oft man auch am Ziele zu sein glaubte, so zeigte sich doch immer wieder, daß man sich getäuscht hatte. Man fand, daß auch die am wenigsten massigen Himmelskörper doch immer viel zu dicht sind, als daß der Widerstand dieses so höchst feinen Aethers durch unsere der Zeit nach noch so wenig ausgedehnten Beobachtungen sich hätte wahrnehmbar machen lassen. Vielleicht sehen wir seine Wirkung in der eigenthümlichen Krümmung der Kometenschweife, vielleicht in Verzögerungen der Geschwindigkeit derjenigen Kometen, welche der Sonne sehr nahe kommen, also Regionen durchheilen müssen, in denen der Aether durch die Anziehung des mächtigen Sonnenkörpers stark verdichtet ist. Die einschlägigen Untersuchungen sind noch lange nicht abgeschlossen, aber wenn sie auch ein negatives Resultat geben sollten, so würden doch die sich jetzt namentlich bei Naturforschern so vielfach geltend machenden Zweifel an seiner Existenz ziemlich grundlos sein.

Die jetzige Naturforschung ist eben einseitig in der Idee befangen, daß alles Existirende auch ohne Weiteres der sinn-

lichen Wahrnehmung zugänglich sein müsse. Aber wir sehen ja bereits, daß dies in Betreff des Aethers eine unerfüllbare Forderung ist. Wir müssen ihn aus den Erscheinungen des Lichtes und der Wärme abstrahiren und daß dieses sein abstrahirtes, nicht direct beobachtetes Wesen andere Eigenschaften zeigen wird, wie der Stoff, welcher die Körper formt, das ist durchaus kein jene Zweifel rechtfertigendes, sondern gerade ein Vertrauen erweckendes Ergebniß. Hätte der Aether eben die Eigenschaften jener, warum sollte er dann nicht sinnlich wahrnehmbar sein? Hypothetisch, das ist wahr, wird freilich sein Wesen zunächst bleiben, aber wenn die Hypothese darüber die in Betracht kommenden Erscheinungen zwanglos und vollständig erklärt, wenn neu entdeckte Erscheinungen ohne neu anzubringende weitere Annahmen ihre Erklärung aus ihr finden, dann dürfen wir diese Hypothese und mit ihnen die Voraussetzungen, auf denen sie ruht, als der Wirklichkeit nahe kommend ansehen. Daß bei dem weiten Gebiet, daß sie aufzuklären unternimmt, noch Schwierigkeiten bleiben, wird kein Argument gegen den Aether sein, solche werden wir erwarten dürfen und aufzuklären hoffen können. Das Wichtigste ist also der Nachweis, ob die Annahme des Aethers neben der erwähnten auch das Kennzeichen einer guten Hypothese hat, in ihren äußersten Consequenzen nicht zu Widersprüchen zu führen und dies hat sie in hohem Grade. Nicht nur die Erscheinungen des Lichtes, auch die der Wärme sind daraus entwickelt und man hat bereits versucht, auch diejenigen der Electricität aus derselben Annahme herzuleiten. Wir gehen hierauf noch etwas genauer ein.

Gehe wir uns aber dazu wenden, dürfte es nicht uninteressant sein, zu erwähnen, daß man im 17. Jahrhundert bereits Vorstellungen von dem leeren Raum begegnet, die den unseren ganz ähnlich sind. Namentlich hatte Leibniz<sup>25)</sup> sich den leeren Raum mit Aether angefüllt gedacht oder genauer mit dem

Aether identificirt, während Otto von Guericke dafür hielt, daß dieser Aether nichts anderes sei, „als der leere Raum außerhalb der Luftkugel, welcher sich um dieselbe in höchster Höhe weit und breit erstreckt“. Leibniz aber hielt entgegen, daß ein solcher Raum, wie ihn Guericke sich dachte, nicht als Sitz jener Weltkräfte angesehen werden könne, die doch nach Guericke darin und durch ihn hindurch wirken sollten, während er die Annahme des Aethers benutzte, um das Wirken der Schwere damit zu begründen. Dies hatten allerdings schon vor ihm Cartesius<sup>26)</sup> und Huygens<sup>27)</sup> versucht, dazu freilich nur einen die Erde umkreisenden Aether annehmen müssen. Newton's Arbeiten über die Gravitation aber entzogen diesen Bestrebungen, ob mit Recht mag dahin gestellt bleiben, den Boden und richteten die Aufmerksamkeit seiner Zeitgenossen zunächst auf die Erklärung des Lichtes durch die zu Grunde gelegte Annahme des Aethers.

Die beiden Theorien über das Wesen des Lichtes, welche von dem Aether ausgehend, zu allgemeiner Anerkennung gelangten, waren die fast zu gleicher Zeit am Ende des vorigen Jahrhunderts von Newton und Huygens aufgestellte Emissions-theorie und Undulationstheorie. Während jene von den Forschern des vorigen Jahrhunderts allgemein angenommen wurde, brachte unser Jahrhundert Entdeckungen, deren Erklärung für sie so schwierig war, daß ihre Beibehaltung sich als unmöglich erwies. Sie ließ die Aethertheilchen wie Geschosse winzigster Art von den Lichtquellen ausgehen, welche auf die Körper treffend, durch diese hindurch gelassen oder von ihnen zurückgeworfen wurden, je nach den Anwandlungen, in denen sich jene Geschosse befänden. Aehnlich dem Abscheu der Luft vor dem leeren Raum ist die Voraussetzung von Anwandlungen, welche die Aethertheilchen haben sollen, sehr bedenklich, da sie leicht dazu führt, diesen Theilen Regungen, wie wir sie sonst nur an belebten Wesen beobachten, unterzuschreiben. Man hat

sich deshalb auch viele Mühe gegeben, sie auf mechanische Vorgänge, Rotationen u. s. w. zurückzuführen. Aber man gelangte zuletzt zu einem Punkte, wo die Konsequenzen der Theorie mit den Ergebnissen der Experimente in Widerspruch geriethen. Die allerdings etwas modificirte Ansicht von Huygens trat nun an ihre Stelle. Der große holländische Gelehrte hatte nach Analogie der Wellenbewegung der Luft, die den Erscheinungen des Schalles zu Grunde liegt, das Licht für eine Wellenbewegung des Aethers erklärt, bei der, wie beim Schalle die Bewegungen der einzelnen Theilchen, welche zu den Wellen Anlaß gaben, in der Richtung des Fortschreitens der Welle erfolgen sollten. Eine Anzahl Erscheinungen freilich, die er selbst zuerst beobachtete, hatte er unerklärt lassen müssen, da dieselben das Vorhandensein von Licht ergaben, welches sich in zwei zur Fortpflanzungsrichtung senkrechten Ebenen verschieden verhielt. Nun zeigte aber im Anfange dieses Jahrhunderts Young<sup>29)</sup>, daß diese Schwierigkeit in ein Argument für die Huygens'sche Ansicht verwandelt werden könne, wenn man nur die Schwingungen der Aethertheilchen anstatt in der Fortpflanzungsrichtung des Lichtes senkrecht auf dieselben geschehen ließ. Wenn auch seine Stimme noch ungehört verhallte, so nahm 14 Jahre später ein junger französischer Ingenieur, Augustin Fresnel den Kampf auf, der der Undulationstheorie zum endlichen Sieg verhelfen sollte. Von Experiment zu Experiment fortschreitend, erhielt er Ergebnisse, welcher immer unabweislicher die Emissionshypothese als unmöglich hinstellten und darthaten, daß die modificirte Huygens'sche Ansicht allein im Stande sei, die neu gefundenen optischen Phänomene zu erklären. Bewies dieselbe unter Fresnel's Händen einestheils eine eminente Fruchtbarkeit, so zeigte sie andernteils die größte Zugänglichkeit für mathematische Behandlung und im Laufe weniger Jahrzehnte war die Undulationstheorie des Lichtes an Durchsichtigkeit der bis dahin mathema-

tisch am meisten durchgebildeten Astronomie gleichgestellt. Die wesentlich hierbei corrigirten Anschauungen über die Constitution des Aethers aber erwiesen sich nun auch als brauchbar, um die Wärmeerscheinungen aus denselben Annahmen heraus zu erklären.

Wenn es hauptsächlich französische Gelehrte gewesen sind, welchen die Wissenschaft die Undulationstheorie des Lichtes verdankt, so gebührt dem Deutschen Clausius dies Verdienst, auch die Erscheinungen der Wärme auf dieselbe zurückgeführt zu haben. Die Wärme hielt man im vorigen Jahrhundert für einen Stoff, dem man aber je länger, je mehr die unmöglichsten Eigenschaften, wie negative Schwere und ähnliche, zuschreiben mußte. Die Entdeckung William Herschel's, daß Licht und strahlende Wärme identisch seien, die, obwohl er selbst sie später wieder zurücknahm, von andern um so nachdrücklicher wieder aufgenommen und bewiesen wurde, die Experimente Rumfords über die Erzeugung von Wärme durch mechanische Arbeit mußten die Stofftheorie der Wärme so bedenklich erschüttern, daß es nicht wohl anging, sie ferner festzuhalten. Nachdem mannigfache Versuche andere Erklärungen an deren Stelle zu setzen, gescheitert waren, fand die Theorie, welche Licht aller Farben als wärmend erklärte, daneben aber auch nicht leuchtende Wärme annahm, die sie im Gegensatz zu der leuchtenden als langsame Transversal-Schwingungen des Aethers definirte, bald den fruchtbarsten Boden. Die mathematische Ausbildung dieser Theorie eröffnete eine Menge neuer Perspektiven, welche ebensowohl für die Physik, insbesondere denjenigen Theil derselben, welcher die Frage nach der Constitution der Körper behandelt, als auch für die Technik von der größten Wichtigkeit geworden ist. So wurde die Lehre von der Dampfmaschine erst durch diese Theorie einer umfassenden wissenschaftlichen Behandlung fähig und die wunderbaren Resultate derselben liegen vor Jedermanns Augen. Sie sprechen beredter, wie die weitläufigsten Erörterungen dafür, daß

die auf die Annahme des transversal schwingenden Aethers begründete Theorie doch auf sicherer Basis ruht, wenn es ja gewiß auch noch mannigfacher Arbeiten bedürfen wird, um die Natur dieses eigenthümlichen Mediums zu ergründen.

Hierzu schickt sich im Augenblicke, wie es scheint, die Lehre von der Electricität mit Macht an. Wenn ja die electriche Entladung, wie es mehr und mehr den Anschein hat, als besondere Bewegungsart des Aethers sich herausstellen sollte, so würden wir in der Erkenntniß seiner Natur um ein wesentliches Stück vorgeschritten sein, was um so bedeutsamer sein würde, als eine weitere wichtige Entdeckung in dieser Hinsicht kaum noch zu erwarten sein dürfte. Denn nachdem es gelungen, das Wesen des Lichtes und der Wärme unserem Verständniß näher zu bringen, bleibt dieses nur noch für die Electricität übrig.

Daß nun die Electricität eine Bewegungserscheinung des Aethers sein möchte, wird man wohl annehmen müssen, welcher Art dieselbe jedoch ist, läßt sich noch nicht sagen; die Versuche im möglichst luftleeren Raum aber waren es, die die Forscher der Jetztzeit mehr und mehr bewogen haben, die alte Anschauung, wonach die Electricität aus zwei verschiedenen Fluiden besteht, aufzugeben. Von Versuchen eine andere Erklärung an deren Stelle zu setzen, liegt bis jetzt freilich nur eine Arbeit (Edlunds<sup>30</sup>) vor. Der schwedische Gelehrte nimmt an, „daß in den Körpern, welche wir gute Electricitätsleiter nennen, der in ihnen enthaltene Aether oder wenigstens ein Theil desselben sich leicht von einem Punkt zum andern verschiebe“, ferner, „daß, wie bei einem gewöhnlichen Gase, die Molecüle des electricen Aethers sich leicht bewegen, d. h. durch die geringste Kraft verschoben werden können. Wenn der Aether sich in einem materiellen Nichtleiter der Electricität befindet, so ist (nach Edlund) diese Beweglichkeit gehemmt und sie hängt ab von der der Molecüle

des materiellen Körpers, welcher die Electricität enthält. Ist der nicht leitende materielle Körper ein Gas oder eine Flüssigkeit von vollkommener Liquidität, so bewahren die Aethertheilchen ihre Beweglichkeit und sie bewegen sich dann mit den Theilchen des Gases oder der Flüssigkeit." Weiter nimmt Edlund an, „daß ein mit positiver Electricität beladener Körper, mehr Aether als im normalen Zustand enthalte, und daß die Aethermenge eines negativ electrischen Körpers geringer sei, als im normalen Zustand“. Der electrische Entladungsstrom ist dann nichts anderes, als der Uebergang des Aethers aus dem einen Körper in den anderen. Der galvanische Strom aber besteht darin, daß der electrische Aether sich in der Bahn des Stromes von einem Punkt zum andern begiebt. Die Aethermasse, welche sich in der geschlossenen Kette befindet, ist dabei gleich groß, der Strom mag existiren, oder nicht. Die electromotorischen Kräfte, aus denen der Strom entspringt, können keinen Aether erschaffen; ihre Wirkung beschränkt sich darauf, die oscillatorische Bewegung, welche in Gestalt von Wärme schon existirt, in translatorische Bewegung zu verwandeln. Wo also die electromotorische Kraft sich in Thätigkeit befindet, muß Wärme verschwinden, eine Thatsache, die aus den Experimenten bereits gefolgert werden mußte.

Wenn nun auch Goldstein im freien Aether des Entladungsraumes das wesentlichste Substrat der Entladung sieht, so hält er es doch für unberechtigt, die Entladung als eine fortschreitende Bewegung des Aethers anzusehen. Aber als eine strahlende dürfte sie seiner Meinung nach wohl bezeichnet werden können, wobei jedes ergriffene Theilchen diejenige Bewegungsform annimmt, die an der Ursprungsstelle derselben erregt wird. In der That hat er auch Reflexionserscheinungen der Electricität, allerdings nur diffuse, beobachtet. Mit einer solchen Annahme stimmt dann die Thatsache, daß electrische Strahlen sich grad-

linig fortpflanzen können, in ganz anderen Richtungen, als derjenigen der Verbindungslinie der Electroden überein und damit wäre die Möglichkeit gegeben, daß solche Strahlen von der Sonne durch den leeren Raume bis zur Erde gelangten, während die Pole der Entladungen in der Sonne selbst lägen.

Wenn demnach auch noch nicht angegeben werden kann, ob die Electricität lediglich eine Aetherbewegung ist oder nicht und ferner, was für eine Art von Bewegung sie ist, so darf doch das mit aller Sicherheit behauptet werden, daß sie im Stande sein muß, Aetherbewegungen hervorzurufen; es folgt dies schon daraus, daß Electricität in Wärme verwandelt werden kann und umgekehrt. Einen ätherleeren Raum herzustellen aber würde im eigentlichen Sinne Danaidenarbeit sein, denn da, wie Lamé sagt, die wägbare Substanz nicht isolirt im Weltall ist, sondern ihre Theilchen inmitten eines Fluidums, eben des Aethers, schwimmen, so würde die Anforderung, den Aether durch Körper abzuschließen, ebenso hoffnungslos sein, wie die, in einem Siebe Wasser zu schöpfen. Ja, es ist uns sogar noch nicht gelungen, einen Raum herzustellen, in welchem sich keine wägbare Substanz mehr befindet. Aber deshalb sind alle diese Versuche, auch wenn sie diesen ihren nächsten Zweck verfehlt haben, durchaus nicht vergebliche gewesen; denn dieser Zweck war ja nur das Mittel zur Erreichung des höheren, aus dem Verhalten der Körper in einem solchen Raume auf die Natur ihrer primitivsten weit jenseits aller sinnlichen Wahrnehmbarkeit liegenden Bestandtheile und des dazwischen befindlichen Raumes zu schließen und diesem Ziele hat man sich immer mehr genähert. So verführerisch es nun auch sein dürfte, die Unmöglichkeit der Herstellung eines absolut leeren Raumes für alle Zeiten zu behaupten, so würde dies doch vermessen sein. Kann doch bis jetzt noch Niemand wissen, wohin uns die Arbeiten über das Wesen der Electricität vielleicht bald führen werden.

## Anmerkungen.

1) Ueber den Zeitpunkt der Erfindung der Saugpumpe fehlen uns genaue Angaben. Als Erfinder der Druckpumpe wird Ktesibius (um 150 v. Chr.) angegeben, zu welcher Zeit also die Saugpumpe auch bekannt gewesen sein müßte. Poggendorff (Geschichte der Physik p. 15) jagt hierüber: „Es ist sogar gewiß, daß kleine Saugpumpen, Handspitzen zu Aristoteles' Zeiten (384 — 322 v. Chr.) bekannt waren und zu der berühmten Lehre vom horror vacui Veranlassung gaben.“ Zwei abwechselnd in ein Rohr Wasser hebende Druckpumpen benutzten die Alten als Feuerspritzen, den Heronsball hatten sie damit noch nicht in Verbindung gebracht. Die Gründe für diese Behauptung habe ich in Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. XII, Heft 1, No. 133 auseinandergesetzt und mich dabei auf eine eingehende Kritik der Schriften des Heron und des Vitruv gestützt, sowie auf eine am Ende des vorigen Jahrhunderts bei Civita vecchia aufgefundene antike Druckpumpe mit zwei Pumpcylindern, welche Visconti in Giornale de la Letteratura Italiana, Mantova 1795 beschrieben hat. Die Angabe, welche man neuerdings vielfach findet, daß in Herons Schriften der Heronsball gar nicht erwähnt werde, entbehrt jeder Begründung. Den Windkessel hat, wie aus dem Briefwechsel Leibnizens mit Papin hervorgeht, der Zirkelschmidt Hans Hautsch in Nürnberg der doppelten Druckpumpe zugefügt, und zwar gelang ihm diese Erfindung 1653 oder 1654.

2) Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze. Alèri, Les opere di Galilei, Bd. 13; vgl. Poggendorff's Geschichte der Physik, S. 252 ff.

3) Gewöhnlich wird als Jahr der Erfindung der Luftpumpe 1650 angegeben. Obwohl ich mir die größte Mühe gegeben habe, hierfür die Belege beizubringen, so ist dieselbe doch vergeblich gewesen. Solche scheinen nicht zu existieren. Die von Müncke in Gehler's physikalischem Lexicon, Bd. VI, p. 527 angeführten Citate sind falsch. Der Geschichts-

schreiber Magdeburgs, Fr. W. Hoffmann nimmt die darauf hin von Munde behauptete Thatsache, daß Guericke bereits 1651 dem Magistrate von Köln eine Luftpumpe zum Geschenke gemacht, ohne Weiteres an. Hochheim sagt zwar vorsichtiger (Otto von Guericke als Physiker, Programm der städtischen höheren Gewerbeschule, Magdeburg 1870) S. 3: „Eine genaue Angabe der von ihm (Guericke) angestellten Untersuchungen und gewonnenen Resultate zu geben, war nicht möglich, da die einschlägige Quelle, seine wissenschaftliche Correspondenz, durch die Mißthelligkeit seiner drei Enkel verloren gegangen ist, und nur sein oben genanntes Werk (*Experimenta nova, et vocantur Magdeburgica de vacuo spatio*. Amstelodami 1672) und die Correspondenz mit seinem Verleger, Joh. Janßon v. Waesberge als Hülfsmittel vorlagen, von denen aber die letztere gar keinen Anhalt zur Erforschung seines Studienganges bietet.“ Dies hält ihn aber trotzdem nicht ab, S. 4 das Jahr 1650 als dasjenige der Erfindung der Luftpumpe zu nennen. Auch der für geschichtliche Forschung so wichtige Briefwechsel Leibnizens, der in Hannover aufbewahrt wird, läßt uns hier im Stich. Ich werde demnächst an einem andern Orte hierauf zurückkommen.

4) Vgl. *Experimenta nova etc.* p. 117.

5) Boyle. *Nova Experimenta physico-mechanica de vi aeris elastica*. Roterodami 1669.

6) Vgl. meine Biographie Papin's in Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin.

7) Bericht über die Ausstellung wissenschaftlicher Apparate im South-Kensington-Museum zu London 1876, zusammengestellt von Dr. R. Biedermann, London 1877, p. 416.

8) *Experimenta nova etc.* p. 100 ff. Es ist möglich, daß Guericke diesen Apparat construirt hat, ohne den Torricelli'schen Versuch zu kennen. Unter den auf dem Reichstage zu Regensburg vorgeführten Versuchen scheint sich dieser jedoch nicht befunden zu haben, wie Hoffmann meint a. a. D. S. 206.

9) S. Birch, *History of the Royal Society*. IV. p. 330, 332, 337, auch Biographie Papin's p. 23.

10) Das Leuchten wurde zuerst von Picard 1675 zufällig beobachtet, das Auskochen zuerst von Dufay angewendet, welchem es ein deutscher Glasbläser gelehrt hatte. Siehe Boggendorff, *Geschichte der Physik*, p. 504 ff. Leibniz erfuhr es aus einem Brief von Mariotte, aus welchem er sich folgenden Auszug machte: *Lorsqu'on panche un barometre jusqu'à ce que le vis argent touche le bout d'un tuyau, et qu'on le redresse promptement, on voit une petite lumière.*

- 11) Gilbert's Annalen XI. 160. Vgl. meinen Bericht über die Londoner Ausstellung p. 104.
- 12) Poggendorff's Annalen CLX. S. 138.
- 13) Huggens, Opera varia, II, S. 770.
- 14) Vgl. Willner in Poggendorff's Annalen CXXXIII, S. 509, vgl. Bericht S. 106.
- 15) Biographie Papin's in Briefwechsel x. p. 52.
- 16) Crookes, Philosophical Magazine. Serie 4, Vol. 48. Bergner, Die Anziehung und Abstoßung durch Wärme und Licht und die Abstoßung durch Schall, Boizenburg a. d. E. 1874, vgl. Naturforscher. VII. p. 412 und 478.
- 17) Poggendorff's Annalen CLVIII. p. 568 und 660.
- 18) Proceedings of the Royal Society XXIV.
- 19) E. Pringsheim, Wiedemann's Annalen XVIII, S. 30.
- 20) Crookes, Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand, deutsch von Gretschel. Leipzig 1879.
- 21) Clausius in Poggendorff's Annalen, C, S. 353.
- 22) Goldstein, Wiedemann's Annalen XII, p. 90 ff. und 249 ff.
- 23) Ritter, Wiedemann's Annalen V, p. 415.
- 24) Aus Enke's Berechnungen des nach ihm benannten Cometen hatte sich ergeben, daß sich seine Umlaufszeit während jedes Umlaufes um die Sonne verkürzte und dasselbe Resultat hatte die Berechnung des Faye'schen Cometen geliefert. Für den letzteren wies indessen Möller in Lund nach, daß dies Resultat die wirklichen Erscheinungen nicht wiedergab und nur dadurch erhalten war, daß man den Einfluß, den die Planeten auf die Cometen ausüben, nach Enke's Vorgang nicht genau genug in Rechnung gezogen hatte. Von Asten nahm deshalb die Berechnung des Enke'schen Cometen wieder auf und fand, daß, wenn man eine plötzliche Ablenkung, die der Comet um den 16. Juni 1868 wohl durch einen der kleinen Planeten erfahren habe, zugab, die Resultate wenigstens auf eine Verzögerung des Cometen in der Nähe der Sonne deuteten. Ehe er jedoch seine Rechnung beendigen konnte, starb von Asten und es bleibt nun noch zu untersuchen, ob sich sein Resultat nach allen Richtungen hin bestätigt.
- 25) Briefwechsel zwischen Leibniz und D. v. Guericke in: Die philosophischen Schriften von G. W. Leibniz, herausg. von C. J. Gerhardt. 1. Bd. Berlin 1875, S. 89 ff. Die angezogene Stelle heißt dort: „nach der meinigen geringen (sententiam) aber, ist Aether nichts anders denn daß Spatium purum extra aëream sphaeram in summa altitudine longe lateque circumfusum.“

- 26) Cartesius, Principia philosophiae. Amstel. 1692. p. 145.
- 27) Huygens, Opera reliqua p. 97. De Causa Gravitatis.
- 28) Newton, Optics or a treatise of the reflection, refraction inflection and colours of light. Lond. 1704.
- 29) Young, On the theory of light and Colours in Philosophical Transactions von 1802.
- 30) Edlund, Pogg. Ann. Ergänzbd. VI. p. 95 u. 241.

