

# Zeitschrift

für den

## Physikalischen und Chemischen Unterricht.

X. Jahrgang.

Erstes Heft.

Januar 1897.

### Über Gedankenexperimente.

Von  
**E. Mach.**

Wenn wir beobachten, wie ein Kind, welches die erste Stufe der Selbstständigkeit erreicht hat, die Empfindlichkeit seiner eigenen Glieder prüft, wie es von seinem Spiegelbilde oder von seinem eigenen Schatten in hellem Sonnenschein befremdet, durch Bewegungen die Bedingungen desselben zu ermitteln sucht, so müssen wir sagen, daß die instinktive Neigung zum Experimentieren dem Menschen angeboren ist, und daß er ebenso die Grundmethode des Experimentes, die Methode der Variation, ohne viel nach derselben zu suchen, in sich vorfindet. Wenn diese Schätze dem Erwachsenen zeitweilig wieder abhanden kommen, und so zu sagen neu entdeckt werden müssen, so wird dies dadurch verständlich, daß dieser meist für einen engeren Interessenkreis durch die Gesellschaft erzogen, in denselben gebannt ist, und gleichzeitig eine Menge fertiger und vermeintlich über die Prüfung erhabener Ansichten, um nicht zu sagen Vorurteile, übernommen hat<sup>1)</sup>. Aber aufser dem eigentlich sogenannten physischen Experiment giebt es noch ein anderes, welches auf höherer intellektueller Stufe in ausgedehntem Mafse geübt wird, das Gedankenexperiment.

Der Projektenmacher, der Erbauer von Luftschlössern, der Dichter socialer oder technischer Utopien experimentiert in Gedanken. Aber auch der solide Kaufmann, der ernste Erfinder oder Forscher thut dasselbe. Alle stellen sich Umstände vor, und knüpfen an diese die Vorstellung, Erwartung, Vermutung gewisser Folgen, sie machen eine Gedankenerfahrung. Während aber die ersteren in der Phantasie Umstände combinieren, die in Wirklichkeit nicht zusammentreffen, oder diese Umstände von Folgen begleitet denken, welche nicht an dieselben gebunden sind, werden letztere, deren Vorstellungen gute Abbilder der Thatsachen sind, in ihrem Denken der Wirklichkeit sehr nahe bleiben. Auf der mehr oder weniger genauen unwillkürlichen Abbildung der Thatsachen in unsern Vorstellungen beruht ja die Möglichkeit der Gedankenexperimente. So wie wir in der Erinnerung die Schläge einer Uhr noch zählen können, wenn dies während des Schlagens versäumt wurde, wie wir an dem Nachbild einer Lampe noch Einzelheiten wahrnehmen können, die uns bei unmittelbarer Betrachtung entgangen sind, wie wir in der Erinnerung einen Zug entdecken können, der uns den bisher verkannten Charakter eines Menschen plötzlich entschleiert, so können wir auch in unserer Erinnerung noch neue bislang unbemerkte Eigenschaften von physikalischen Thatsachen auffinden, oder Entdeckungen machen.

<sup>1)</sup> Auch junge Tiere kann man experimentieren sehen, nur ist der Interessenkreis derselben ein ungemein beschränkter. Eine junge Katze untersucht neugierig ihr Spiegelbild, wird aber sofort gleichgültig, sobald sie merkt, daß dasselbe keine wirkliche Katze ist. Kluge Pferde sah ich durch Stampfen sorgfältig einen bedenklichen Steg untersuchen.

Unsere Vorstellungen haben wir leichter und bequemer zur Hand als die physikalischen Thatsachen. Wir experimentieren mit den Gedanken, so zu sagen mit geringeren Kosten. So dürfen wir uns also nicht wundern, daß das Gedankenexperiment vielfach dem physischen Experiment vorausgeht, und das letztere vorbereitet. So sind ja die physikalischen Untersuchungen des Aristoteles großenteils Gedankenexperimente, in welchen die in der Erinnerung, und namentlich in der Sprache, aufbewahrten Erfahrungsschätze verwertet werden. Das Gedankenexperiment ist aber auch eine notwendige Vorbedingung des physischen Experimentes. Jeder Erfinder, jeder Experimentator muß die auszuführende Anordnung im Kopfe haben, bevor er dieselbe in die That übersetzt. Kennt Stephenson auch den Wagen, die Schienen, die Dampfmaschine aus der Erfahrung, so muß er doch die Combination des auf Schienen ruhenden durch die Dampfmaschine getriebenen Wagens in Gedanken vorgebildet haben, bevor er an die Ausführung schreiten kann. Nicht minder muß Galilei die Anordnungen zur Untersuchung der Fallbewegung in der Phantasie vor sich sehen, bevor er dieselben verwirklicht. Jeder Anfänger im Experimentieren erfährt, daß ein ungenügender Voranschlag, Nichtbeachtung der Fehlerquellen u. s. w. für ihn nicht minder tragikomische Folgen hat, als das sprichwörtliche „vorgethan und nachbedacht“ im praktischen Leben.

Der Ausfall eines Gedankenexperimentes kann so bestimmt und entschieden sein, daß dem Autor — mit Recht oder Unrecht — jede weitere Prüfung durch ein physisches Experiment unnötig scheint. Je schwankender, unbestimmter aber der Ausfall ist, desto mehr drängt das Gedankenexperiment zu dem physischen Experiment als seiner natürlichen Fortsetzung, welche nun ergänzend, bestimmend einzugreifen hat. Auf Fälle der letzteren Art kommen wir noch zurück. Hier sollen zunächst einige Beispiele der ersten Art betrachtet werden.

Es ist kein Zweifel, daß das Gedankenexperiment die größten Umwandlungen in unserm Denken einleitet, und die bedeutendsten Forschungswege eröffnet. Wenn auch die Erzählung von dem fallenden Apfel, die Euler noch als richtig annimmt, nicht buchstäblich zu nehmen ist, so waren es doch Gedankenprozesse, ganz ähnlich denjenigen, die Euler<sup>2)</sup> und auch Gruithuisen<sup>3)</sup> so vortrefflich darzulegen weiß, welche allmählich von der Auffassung des Copernicus zu jener Newtons überleitet haben, und die Elemente derselben lassen sich, wenn auch bei verschiedenen Personen und in weit von einander entlegenen Zeiten, sogar historisch nachweisen.

Der Stein fällt zur Erde. Lassen wir dessen Entfernung von der Erde wachsen. Wir müßten uns Gewalt anthun, um diesem continuierlichen Wachstum eine Discontinuität der Erwartung entgegenzusetzen. Auch in der Entfernung des Mondes wird der Stein nicht plötzlich sein Fallbestreben verlieren. Der große Stein fällt so wie der kleine. Der Stein werde so groß wie der Mond. Auch der Mond strebt zur Erde zu fallen. Der Mond möge wachsen, bis er so groß wird wie die Erde. Nun würde unsere Vorstellung die zureichende Bestimmtheit verlieren, wenn wir annehmen wollten, daß nur das Eine zum Andern gezogen wird, und nicht auch umgekehrt. Die Anziehung ist also gegenseitig. Sie bleibt aber auch gegenseitig bei ungleichen Körpern, denn der eine Fall geht in den andern continuierlich über.

Ein Stein fällt neben dem andern. Der Mond besteht aus Steinen; die Erde besteht aus Steinen. Jeder Teil zieht jeden andern an. Einfluß der Massen.

<sup>2)</sup> Euler, *Lettres à une princesse d'Allemagne* I. lettre, S. 52.

<sup>3)</sup> Gruithuisen, *Die Naturgeschichte etc.* München, 1810, S. 103.

Mond und Erde sind nicht wesentlich verschieden von andern Weltkörpern. Die Gravitation ist allgemein. Die Keplersche Bewegung ist eine Wurfbewegung, aber mit von der Entfernung abhängiger Fallbeschleunigung. Die Fallbeschleunigung ist überhaupt von der Entfernung abhängig. Die Keplerschen Gesetze sind nur ideale Fälle. Störungen.

Wie man sieht, ist die Grundmethode des Gedankenexperimentes, ebenso wie jene des physischen Experimentes, die Methode der Variation. Durch (wenn möglich kontinuierliche) Variation der Umstände wird das Geltungsbereich einer an dieselben geknüpften Vorstellung (Erwartung) erweitert, durch Modifikation und Spezialisierung der ersteren wird die Vorstellung modifiziert und spezialisiert, und diese Prozesse wechseln.

Betrachten wir einen andern Entwicklungsprozess. Körper von gleicher Temperatur ändern diese gegenseitig nicht. Der wärmere Körper *A* (eine glühende Eisenkugel) erwärmt den kälteren *B* (ein Thermometer) auch auf Distanz, durch Strahlung, z. B. bei dem Versuch mit conachsialen Hohlspiegeln. Setzt man mit Pictet statt *A* ein Blechkästchen mit einer Kältemischung, so wird *B* abgekühlt. Gibt es Kältestrahlen? Ist der neue Fall nicht derselbe wie der vorige, nur daß *A* und *B* ihre Rolle getauscht haben? In beiden Fällen erwärmt der wärmere Körper den kälteren. Es sei *A* wärmer als *B*, die Temperaturen mögen dann gleich werden, und endlich nehme *A* eine niedrigere Temperatur als *B* an. Welcher Körper strahlt in dem Mittelfall dem andern Wärme zu? Andert sich das Verhalten der Körper plötzlich beim Durchgang durch die Temperaturgleichheit? Beide Körper strahlen unabhängig von einander, und beide Körper nehmen unabhängig von einander auf. Bewegliches Wärmegleichgewicht (Prevost). Verschiedene Körper von gleicher Temperatur strahlen ungleiche Wärmemengen aus (Leslie, Rumford). Soll das bewegliche Gleichgewicht bestehen, so muß der doppelt ausstrahlende auch doppelt aufnehmen. Die von Fourier und Kirchhoff aufgestellten Strahlungsgesetze werden gefunden, indem jene Vorstellungen versuchsweise ermittelt werden, welche mit dem festgehaltenen „beweglichen Gleichgewicht“ in Einklang stehen.

Analoge Reihen von Gedankenexperimenten, welche darauf hinauslaufen, daß in Frage stehende Vorstellungen einer für zuverlässig angenommenen Auffassung versuchsweise angepaßt werden, finden wir bekanntlich bei Stevin, Galilei und Huygens. Das in seinen Folgen großartigste Gedankenexperiment dieser Art ist wohl die Carnotsche Aufstellung, und die von Carnot befolgte Methode hat, seit James Thomson und William Thomson sich derselben zu bemächtigen wußten, eine fast unerschöpfliche Fruchtbarkeit gezeigt.

Es wird von der Art und dem Ausmaß der aufgenommenen Erfahrung abhängen, ob ein Gedankenexperiment als solches mit einem bestimmten Ausfall zum Abschluß gebracht werden kann. Der kältere Körper nimmt von dem berührten wärmeren Körper Wärme auf. Ein schmelzender oder siedender Körper befindet sich in diesem Fall, wird aber hierbei doch nicht wärmer. Hiernach ist es für Black nicht zweifelhaft, daß die Wärme bei Umwandlung in Flüssigkeit oder Dampf „latent“ wird. So weit reicht das Gedankenexperiment. Allein die Quantität der latenten Wärme kann Black nur durch das physische Experiment ermitteln, wenn dieses auch sogar in der Form sich an das Gedankenexperiment anschließt. Die Existenz des mechanischen Äquivalentes der Wärme enthüllt sich R. Mayer und Joule durch Gedankenprozesse. Den Zahlenwert muß Joule durch Experimente bestimmen, während Mayer sogar diesen, so zu sagen aus erinnerten Zahlen abzuleiten vermag.

Wenn ein Gedankenexperiment kein bestimmtes Ergebnis hat, d. h. wenn sich an die Vorstellung gewisser Umstände keine sichere eindeutige Erwartung eines Erfolges knüpft, so pflegen wir in der Zeit zwischen dem intellektuellen und dem physischen Experiment uns aufs Raten zu verlegen, d. h. wir nehmen versuchsweise eine nähere zureichende Bestimmung des Erfolges vor. Dieses Raten ist kein unwissenschaftliches Verfahren. Wir können vielmehr diesen natürlichen Vorgang an klassischen historischen Beispielen erläutern. Bei näherem Zusehen wird es uns sogar klar, daß dieses Raten oft allein dem physischen Experiment, der natürlichen Fortsetzung des Gedankenexperimentes, die Form zu geben vermag. Bevor Galilei die Fallbewegung experimentell untersucht, von welcher er durch Überlegung nur weiß, daß die Geschwindigkeit zunimmt, verlegt es sich aufs Raten. Durch die Prüfung der Annahme wird sein Experiment erst möglich. So zeigt sich auch die Richmannsche Mischungsregel als eine erratene und durch die experimentelle Prüfung bestätigte. Derartige Beispiele giebt es sehr viele.

Die Methode, den Erfolg einer gegebenen Versuchsanordnung erraten zu lassen, hat auch einen hohen didaktischen Wert. Ich hatte als Gymnasiast durch kurze Zeit einen Lehrer, der durch dieses Verfahren die Spannung der Aufmerksamkeit vorzüglich zu erhalten wußte, und auch bei einem andern tüchtigen Schulmann, Pisko, habe ich, bei Gelegenheit eines Besuches seiner Schule, dasselbe Verfahren beobachtet. Nicht nur der Schüler, sondern auch der Lehrer gewinnt ungemein durch diese Methode. Letzterer lernt hierbei seine Schüler besser als auf andere Weise kennen. Während einige auf das Nächstliegende raten, vermuten andere ungewöhnliche wunderbare Erfolge. Meist wird auf das Geläufige, associativ Naheliegende geraten werden. So wie der Sklave in Platons „Menon“ glaubt, daß die Verdopplung der Quadratseite auch die Quadratfläche verdoppelt, wird man von dem Elementarschüler leicht hören, daß die Verdopplung der Pendellänge die Schwingungsdauer verdoppelt, und der Fortgeschrittene wird weniger auffallende, aber analoge Mißgriffe machen. Eben diese Mißgriffe werden nach und nach das Gefühl für die Unterschiede des logisch, physisch und associativ Bestimmten oder Naheliegenden schärfen. Der Schüler wird lernen, das Erratbare vom überhaupt nicht Erratbaren zu trennen.

Das Experimentieren in Gedanken ist für die psychische Entwicklung ungemein wichtig, und es entsteht die Frage, wie dasselbe eingeleitet werden soll? So wie nun jede Bewegung, bevor dieselbe zu einer willkürlichen werden konnte, zufällig, etwa als Reflexbewegung, eintreten musste, so wird es auch in diesem Fall darauf ankommen, einmal durch passende Umstände ein Experimentieren in Gedanken zu bewirken, damit dasselbe zu einer bleibenden Gepflogenheit werde. Zu diesem Zwecke eignet sich vorzüglich die Vorführung von Paradoxen. Nicht nur lernt man durch das Paradoxe am besten die Natur eines Problems fühlen, welches ja eben durch den paradoxen Gehalt zu einem Problem wird, sondern die widerstreitenden Elemente eines Paradoxons lassen die Gedanken auch nicht mehr zu Ruhe kommen, und lösen eben den Prozess aus, der als Gedankenexperiment bezeichnet wurde. Man denke z. B. an das auf der Wage äquilibrierte Wassergefäß, in welches man eine durch einen besondern Ständer getragene Metallkugel eintauchen läßt, oder an den äquilibrierten Kolben, in dem eine Fliege schwebt, oder an andere in dieser Zeitschrift vorgelegte Denkaufgaben. Die verschiedenen Erwartungen, welche sich an die einzelnen in diesen Fällen vereinigten Umstände knüpfen, müssen notwendig beunruhigend, eben dadurch aber fördernd und klärend wirken.

Die eigentümliche kontinuierliche Variation, welche in einigen der zuvor erwähnten

klassischen Gedankenexperimente auftritt, erinnert lebhaft an die kontinuierliche Änderung der Gesichtspantasmen, welche Johannes Müller<sup>4)</sup> in seinem wunderbaren Buche beschrieben hat. Müller betont daselbst die Identität der schöpferischen Phantasie der Künstler und Forscher, wobei ihm als Repräsentant der letzteren namentlich Goethe in seinen morphologischen Untersuchungen vorschwebt. Er hält das freie Eigenleben der Phantasie für unvereinbar mit den Associationsgesetzen, über welche er sich sehr abfällig ausspricht. Es will mir aber scheinen, daß die von Müller beschriebenen Erscheinungen der kontinuierlichen Änderung der Phantasmen mit den Associationsgesetzen ganz wohl vereinbar seien, ja daß dieselben geradezu als Erinnerungserscheinungen aufgefaßt werden könnten. Die perspektivischen Bilder der Gesichtobjekte ändern sich ja in der Regel auch kontinuierlich, und das Sprunghafte kommt in die Association nur dadurch hinein, daß bald dieses, bald jenes Sinnesgebiet mitzusprechen beginnt. Es sei aber zugegeben, daß dieser interessante noch wenig beachtete Punkt einer eingehenderen Untersuchung bedarf.

Es war in diesem Rahmen nicht möglich, alle Formen und Phasen des Gedankenexperimentes vollständig zu analysieren; dies muß einer ausführlicheren Darlegung vorbehalten bleiben. Die Bemerkung liegt aber nahe, daß das Gedankenexperiment nicht nur im Gebiete der Physik, sondern in allen Wissensgebieten von Wichtigkeit ist, selbst dort, wo man es am wenigsten suchen würde — in der Mathematik. Vielleicht stößt es auf keinen Widerspruch, wenn die Eulersche Forschungsweise mit ihrer großen Fruchtbarkeit, mit welcher die Schärfe der Kritik nicht immer gleichen Schritt hält, als sehr nahestehend bezeichnet wird derjenigen eines Experimentators, der ein neues Gebiet zum erstenmal sondiert.

## Galvanometrische Schulapparate.

Von

**Dr. Friedrich C. G. Müller.**

### I. Das Wagegalvanometer.

Für den Experimentalunterricht höherer Schulen müssen schon deshalb Galvanometer angeschafft werden, weil es unabweislich ist, den Schülern die Haupttypen eines Instruments vorzuführen, das für Wissenschaft und Technik fast die Bedeutung der Wage gewinnt. Auf der anderen Seite ist ein Arbeitsgalvanometer erforderlich, um damit vor der Klasse die galvanischen Grundgrößen jederzeit schnell und genau bestimmen zu können behufs Ableitung oder Bestätigung der Hauptgesetze und zur Veranschaulichung der galvanometrischen Methoden. Zu den Instrumenten der ersten Art gehören die Tangentenbussole und das Spiegelgalvanometer, ferner die Ampèremeter bzw. Voltmeter der Technik, endlich dürfte auch ein Exemplar der modernen Galvanometer mit beweglichem Multiplikator innerhalb eines starken Magnetfeldes um so weniger fehlen, als diese binnen wenigen Jahren alle anderen Typen aus dem allgemeinen Gebrauch verdrängt haben werden.

Alle die genannten Galvanometer nebst ihren zahlreichen Abarten sind von Haus aus nicht für Vorlesungen, geschweige denn für den Schulunterricht bestimmt, da sie weder von allen Plätzen des Zuhörerraums übersehen und beobachtet werden können, noch dem Verständnis der Anfänger zugänglich sind. Außerdem verlangt

<sup>4)</sup> Joh. Müller, Die phantastischen Gesichtsercheinungen. Coblenz, 1826, S. 95.

die oftmalige Aufstellung, Justierung und Handhabung bei der Mehrzahl vom Lehrer zu viel Mühe, Zeit und Geschicklichkeit. Ferner kommen für ein Schulgalvanometer noch einige besondere Gesichtspunkte in Betracht. Zuvörderst dürfen beim Anfangsunterricht Stromverzweigungen nicht verwendet werden, da ja die Schüler erst mit dem Ohmschen Gesetz und den Gesetzen der Stromverzweigung vertraut gemacht werden sollen. Mithin muß das Galvanometer den ganzen Strom annehmen. Da aber die meisten Versuche (Elektromagnetismus, Elektrolyse, Wärmenentwicklung, Dynamos und Elektromotoren) Ströme von mehreren Ampères erfordern, muß der innere Widerstand des Galvanometers sehr klein und der Leiterquerschnitt so groß sein, daß man dauernd Ströme bis zu 20 Amp. hindurchleiten kann. Die Genauigkeit eines solchen Instruments darf bis zu 10 Amp. hinauf nicht wohl unter 0,01 Amp. betragen und auch bei noch stärkeren Strömen nicht relativ kleiner werden. Denn die Genauigkeit, mit der man Widerstände, Stromstärken und Spannungen messen kann, ist ja an sich bewundernswert, wird aber auch, was wohl zu beachten, nicht bloß vom Forscher, sondern auch vom praktischen Elektrotechniker erstrebt und erreicht. Deshalb kann man die Schüler nicht früh genug daran gewöhnen, daß die galvanischen Grundgrößen mit derselben Schärfe gemessen werden können und müssen, wie die Grundgrößen der Mechanik. Mithin soll das Galvanometer Ströme von der bei Schulexperimenten üblichen Stärke bis auf ein Tausendstel genau anzeigen. Der Unterricht darf nicht weniger fordern und wenn er dies nachdrücklich thut, werden auch schon Mittel und Wege gefunden werden. Das Schulexperiment muß Schritt halten mit dem Fortschritt der Wissenschaft, Feinmechanik und Experimentierkunst. Ein Kleben am Alten ist ganz verhängnisvoll, besonders auf elektrischem Gebiet. Viele unserer Schüler gehen in die Elektrotechnik und die meisten kommen damit irgendwie in Berührung und da sollen sie nicht sagen dürfen, daß das, was sie auf der Schule gelernt und beobachtet, in den Rumpelkasten gehört.

Es bedarf wohl nur einer kurzen Begründung, weshalb auch nicht eins der vielen Galvanometer, welche in Wissenschaft und Technik so ausgezeichnete Dienste leisten, den Erfordernissen eines guten Schulgalvanometers genügt. Was zunächst die längst historisch gewordene und in ihrer ursprünglichen Konstruktion für Demonstrationen gänzlich unbrauchbare Tangentenbussole betrifft, so wurde dieselbe durch Poske und andere durch Anwendung der Cylinderteilung wenigstens etwas den Unterrichtszwecken angepaßt. Es bleibt aber bei der schwierigen Theorie und der trigonometrischen Umrechnung, welche jede unmittelbare Übersicht unmöglich macht. Von Tangentenbussolen mit Obachschem Ringe kann noch weniger die Rede sein, weil deren Theorie vollständig über den Schülerhorizont hinausgeht. Das Meßbereich und die Genauigkeit der gewöhnlichen Tangentenbussole sind viel zu beschränkt. Angenommen der Halbmesser des Teilkreises betrage 15 cm, was wohl das Äußerste sein dürfte, so wäre die nutzbare Bogenlänge etwa ebenso lang. Von ihren Plätzen können die Schüler aber nur bis auf 1 mm ablesen, und zwar nur die, welche in der Verlängerung des Zeigers sitzen; man hat also nur 150 Ablesungseinheiten. Zu einem Ausschlag von  $50-60^\circ$  gehört bei einfachem Ringe gewöhnlicher Größe ein Strom von 5 Amp., darüber hinaus muß Stromteilung eintreten. Schließlich bleibt zu bedenken, daß eine solche Tangentenbussole sehr subtile Arbeit und Behandlung verlangt. — Ich benutze die Tangentenbussole, und zwar eine ganz einfacher Konstruktion<sup>1)</sup> nur zu einigen absoluten Messungen in der Prima.

<sup>1)</sup> Diese Zeitschr. VIII 34.

Das Spiegelgalvanometer mit Fadenaufhängung ist im Prinzip eine verkleinerte Tangentenbussole, erfordert aber wegen der Winkelverdoppelung bei nicht ganz kleinen Ausschlägen eine noch compliziertere trigonometrische Berechnung. Die Magnete und Spiegel bleiben, wenn nicht völlig verdeckt, wegen ihrer Kleinheit den meisten Schülern unsichtbar. Wie sollen dieselben also die richtige Orientierung von Nadel und Windungsebene, sowie der Skala zur Drehungsachse auch nur annähernd abschätzen? Dazu kommt, daß man mit diesem Instrument Stromstärken nur mittels Stromverzweigungen bestimmen kann. Endlich erfordert das Ganze eine für den laufenden Unterrichtsbetrieb viel zu vorsichtige Behandlung. Auf der anderen Seite hat das Spiegelgalvanometer, abgesehen davon, daß man es ohne Hilfe eines Feinmechanikers selber mit jeder gewünschten Empfindlichkeit billig herstellen kann, den großen Vorzug, daß sein Lichtindex auch dem größten Auditorium bei mäßiger Abdunkelung sichtbar ist. Es leistet deshalb als Galvanoskop zur annähernden Messung sehr kleiner Spannungen, zur Abschätzung der Stromstärke einer Elektrisiermaschine, bei thermoelektrischen und bolometrischen Versuchen, zur Demonstration der Grunderscheinungen der Induktion gute Dienste.

Was nun die Instrumente mit festem Magnetfeld anbetrifft, so sind ihre wirklichen Organe ebenfalls klein und in der Regel verdeckt. Als Reflexinstrumente mit Suspension verlangen sie dieselbe Behandlung wie ein Spiegelgalvanometer, sind aber unabhängig vom Erdmagnetismus. In den letzten Jahren werden Galvanometer dieser Gattung auch als Zeigerinstrumente mit fester Achsenlagerung von den verschiedensten Firmen geliefert. Ich habe speziell mit einem Weston-Galvanometer experimentiert; es ist ungemein bequem und kann auf mehrere Meter Entfernung abgelesen werden, aber sein Mechanismus ist unsichtbar und Stromstärken müssen mittels Verzweigungen gemessen werden. Sein Preis ist ein hoher.

Zum Schluß gedenken wir der vielverbreiteten technischen Ampère- und Voltmeter, die auf dem Hineinziehen eines leichten Eisenkörpers in eine Spule beruhen. Sie sind auch mit offen liegendem Werk und langem Zeiger ausgeführt worden. Diese Zeitschrift brachte VI 337 gute Abbildungen solcher Instrumente. Ich benutze sie seit 2 Jahren und kann sie bestens empfehlen. Natürlich beschränkt sich ihre Anwendung nur auf rohe Messungen. Außerdem ist ihre Teilung empirisch hergestellt und nicht gleichmäßig; das Gesetz derselben können die Schüler so wenig wie irgend jemand erkennen. Es bedarf also für den Unterricht einer Nachprüfung durch Vergleich mit einem richtigen Normalinstrument.

Die im vorhergehenden berührten Galvanometerarten messen sämtlich durch eine Ablenkung und erfordern deshalb eine mehr oder weniger verwickelte mathematische Theorie. Daneben treten aber schon früh auch sogenannte Nullagegalvanometer auf. Zu ihnen zählt die Sinusbussole, insofern die relative Lage von Strom und Magnet bei allen Ablesungen die nämliche bleibt. Man ging aber auch gleich noch einen Schritt weiter und hielt auch die absolute Lage von Strom und Magnet fest durch eine leicht meßbare mechanische Gegenkraft. Als solche benutzte man zunächst die Elastizität feiner Drähte oder Spiralfedern und zwar nicht bloß bei vertikaler, sondern auch bei horizontaler Lagerung der Drehungsachse. Wir können derartige Instrumente, zu denen namentlich das Siemenssche Torsionsgalvanometer gehört, allgemein als Federwagegalvanometer benennen. Sie haben alle so kleine Abmessungen, daß sie zu Demonstrationen vor einem größeren Schülerkreise nicht geeignet sind.

Auch die gemeine Wage ist zu galvanometrischen Zwecken herangezogen worden; geschlossene Wagegalvanometer kamen aber nicht in allgemeineren Gebrauch, haupt-

sächlich aus dem Grunde, weil sie den ganz besonderen Vorzug der Kleinheit und Leichtigkeit, welcher die gebräuchlichen, wissenschaftlichen und technischen Instrumente auszeichnet, aufgeben müssen. Wir können nicht umhin, die vom älteren Becquerel in den vierziger Jahren beschriebene elektromagnetische Wage besonders zu erwähnen<sup>2)</sup>. Sie bestand aus Stabmagneten, welche unter den Schalen einer feinen Wage aufgehängt achsial in Spulen mit vielen Windungen feinen Drahts tauchten. Ein solches Galvanometer geht nur bei ganz schwachen Strömen richtig. Das sei diesem oder jenem Fachgenossen zur Warnung gesagt. Gar leicht kommt man auf den Gedanken, sich ohne besondere Kosten ein Galvanometer nach Becquerels Idee zusammenzustellen, das auch den Forderungen eines Schulapparates einigermaßen genügen könnte. Es stellt sich aber heraus, daß schon bei 5 Ampèrewindungen die härtesten Magnetstäbe temporären Zusatzmagnetismus annehmen und die an der Wage wirksame Kraft weit schneller wächst, als die Stromstärke.

Somit ergibt sich am Schluß dieser Übersicht, daß unter der großen Zahl der wissenschaftlichen und technischen Galvanometer kein einziges den oben festgestellten Erfordernissen eines guten Schulgalvanometers entspricht.

Meine Bemühungen um das Schulgalvanometer erstrecken sich über einen Zeitraum von 20 Jahren. Die ersten darauf bezüglichen Veröffentlichungen fanden 1876 und 1877 statt in *Hoffmanns Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterricht VII 26* und *VIII 197*. Das dort beschriebene Instrument war eine ins Vertikale übersetzte Tangentenbussole, deren vertikale Nadel auf einer Schneide mit einem 60 cm langen Zeiger vor einer Tangentenskala spielte. Da das Instrument auch bei der feinsten Ausführung die gewöhnliche Tangentenbussole hinsichtlich der Empfindlichkeit und des Meßbereichs nicht übertraf, verließ ich die hergebrachten Prinzipien und fand im Prinzip der Schnellwage die einfachste Lösung. Das erste darnach 1878 construierte Wagegalvanometer bewährte sich gut, wurde aber nicht veröffentlicht. Bei meiner Übersiedlung nach Brandenburg fand ich in der physikalischen Sammlung kein Galvanometer vor und deshalb machte ich mich unter Benutzung der gewonnenen Erfahrungen an eine möglichst vollkommene Konstruktion des Wagegalvanometers. Dies Instrument wurde in der *Zeitschr. f. Instrk.* April 1884 und später in dieser *Zeitschr. I 182* beschrieben. Es war von dem Präzisionsmechaniker O. Wanke in Osnabrück mit der Genauigkeit und dem Zubehör einer feinen Wage ausgeführt und dementsprechend kostspielig. Dafür habe ich und meine Schüler in nunmehr 14-jährigem Gebrauche daran auch viele Freude gehabt. In dieser Zeit wurde noch manches daran geändert und verbessert, wie es die Praxis an die Hand gab. Jedenfalls habe ich die Eigenart dieses Galvanometers und den Wert seines Prinzips wohl gründlich kennen gelernt. Dabei gewann ich aber auch die Überzeugung, daß es möglich sei, unbeschadet der Brauchbarkeit ein ähnliches Instrument mit der einfacheren Ausstattung einer Tariervage für den halben Preis herzustellen.

Durch das Entgegenkommen des Herrn Direktor Böttcher von der Großherzoglich S. Fachschule und Lehrwerkstätte für Glasbläserei und Instrumentenbau zu Ilmenau ist nunmehr nach meinen Zeichnungen ein Wagegalvanometer vereinfachter Konstruktion sachgemäß gebaut worden, das bei gründlicher Prüfung allen Erwartungen voll entsprach<sup>3)</sup>. Die Abbildung (Fig. 1) stellt es mit hochgehobenem Multiplikator

<sup>2)</sup> Pogg. Ann. XLII 307. — Gehlers phys. Wörterbuch, Register.

<sup>3)</sup> Die oben genannte Anstalt hat die Ausführung des neuen Wagegalvanometers genau nach der Beschreibung übernommen. (D.R.G.M.A.). Das vollständige Instrument mit 10 drähtigen Ampèrerahmen und 1000 drähtigen Voltahmen nebst exakt justierten Ampère- und Voltreibern kostet 120 Mark



*MM* dar, welcher auf die Dorne *O* gesteckt, den auf einer Schneide schwingenden Magnetstab *AA* beim Gebrauch umschleift. Ein Blick lehrt die ganze Construction kennen. Die Schneide liegt in V-förmiger Stahlpfanne zwischen Gegenplättchen. Der schwarzlackierte Magnet hat die Abmessungen 30:2,5:1 cm. Zur Schonung der Schneide ist eine einfache Arretierung vorgesehen, deren Gabeln bei *D* sichtbar werden. Der Magnet ist durch die nach abwärts gebogenen Messingarme *B* mit dem Reiterlineal *HH* starr verbunden. Letzteres, aus Aluminiumblech bestehend, ist 50 cm lang und hat am oberen Rande eine feine Millimetertheilung für wissenschaftlichen Gebrauch, darunter für die Fernbeobachtung eine grobe Centimetertheilung, welche pentadenweise durch Rot- oder Grünfärbung der betreffenden Felder in bekannter Weise bezeichnet ist. Auch auf der hinteren Seite hat das Lineal eine gleiche Grobtheilung zur Controle für den Lehrer; ebenso sind auch Nulllagemarken hinter den Ständern angebracht. Das Reiterlineal ist an seinen Enden rechtwinklig nach hinten gebogen. Die so gebildeten, passend versteiften Stege sind auf die äusseren Endflächen der Arme *B* geschraubt. Die Stege sind oben zu Schneiden zugeschärft,

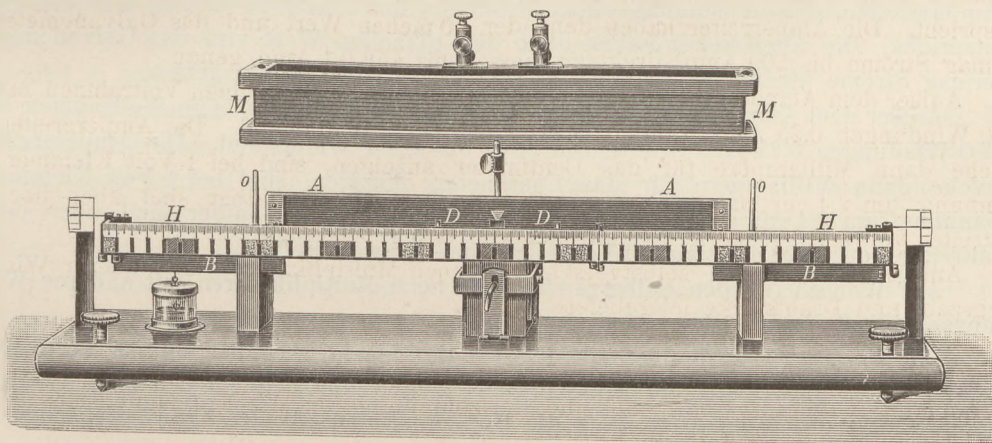


Fig. 1.

die genau dem Anfang und Ende der Linealtheilung entsprechen. Diese Einrichtung ist neu und eine bemerkenswerthe Verbesserung. Denn nun kann auf den Stegen eine Anzahl von Reitern in Reserve hängen. Es werden z. B. 8 gleiche Ampèrereiter beigegeben. Je 4 kommen auf jede Seite. Wenn nun beim Durchleiten des Stromes sich eine Seite des Balkens senkt, schiebt man von dort den vorderen Reiter auf dem Lineal nach der andern Seite zu, bis die Zeiger einspielen. Sollte er nicht ausreichen, so schiebt man den Reiter ganz auf den jenseitigen Steg hinüber und holt den zweiten und nöthigenfalls noch den dritten und vierten nach. Somit wird das an sich schon grofse Mefsbereich von 500 mm noch vervierfacht.

Die Rahmen mit den stromleitenden Windungen sind, wie bereits bemerkt, von dem übrigen Apparat ganz unabhängig und können augenblicklich abgehoben, wieder eingelegt oder ausgewechselt werden.

Der am meisten gebrauchte Rahmen enthält 10 Windungen eines 2 mm starken Kupferdrahts mit 0,02 Ohm Widerstand. Zu ihm gehören die erwähnten Ampèrereiter. Ihr Gewicht beträgt nicht weniger als 2,59 g (bei meinem alten Instrument 1,28 g). Eine Verschiebung von 10 cm entspricht 1 Amp., eine Lineallänge also 5 Amp. Die Reiter haben ein aus 0,5 mm-Blech geschnittenes Joch mit Messingklötzchen unten an den Schenkeln. Die geschwärtzten Schenkel heben sich so scharf auf dem hellen

Aluminium ab, daß die Schüler noch Hundertstelampère ablesen; ein Tausendstel giebt sich ihnen an den Zeigern noch zu erkennen. Trotz der großen galvanometrischen Empfindlichkeit des Instruments hat der Balken, wie sich aus dem großen Reitergewicht ergibt, keine größere statische Empfindlichkeit als eine Tarierrage. Aus diesem Grunde bedarf es auch keines Glaskastens und keiner mechanischen Vorrichtung zur Reiterverschiebung; man schiebt die Reiter einfach mit dem Finger oder einem passenden Stäbchen. Der überraschende Erfolg des neuen Galvanometers liegt offenbar darin, daß in Gegensatz zu den gebräuchlichen Galvanometern der bewegliche Magnet eine ganz ungewöhnliche Länge und Schwere erhielt.

Bei Klassenversuchen handelt es sich meistens um Ströme unter 5 Amp., sodaß man also mit einem Reiter auskommt; den zweiten 5—10 Amp. messenden Reiter wird man selten, die beiden folgenden nur ausnahmsweise nötig haben. Soll das Instrument aber auch zur Messung von Strömen über 20 Amp. verwendet werden, so wird ihm ein Starkstromrahmen beigegeben, bestehend aus einem 2 mm starken Kupferstreifen, dessen Windungsweite derjenigen der Drahtlage auf dem Hauptrahmen entspricht. Die Ampèrreiter haben dann den 10 fachen Wert und das Galvanometer vermag Ströme bis 200 Amp. direkt zu messen bis auf 0,1 Amp. genau.

Außer dem Ampèrerrahmen erhält das Galvanometer noch einen Volttrahmen mit 1000 Windungen 0,25 mm-Drahts von etwa 325 Ohm Widerstand. Die Ampèrreiter, welche dann Milliampère für das Centimeter anzeigen, sind bei 1 Volt Klemmenspannung um 2,4 cm zu verschieben. Der Bequemlichkeit halber sind aber noch Voltreiter von 0,625 g, sowie 10 Voltreiter von 6,25 g beigefügt.

Auf Wunsch werden selbstverständlich noch Multiplikatoren mit anderer Windungszahl und Drahtstärke mitgeliefert.

Die Aichung, bzw. die Nachaichung vor der Klasse, geschieht mittels des Voltmeters. Auch die Tangentenbussole ergibt schnell und bequem den Skalenwert in absolutem Maß, vorausgesetzt, daß die Horizontalintensität des Erdmagnetismus bekannt ist<sup>4)</sup>.

Bei der Herstellung des Magneten wird der anerkannt beste Spezialstahl benutzt, in Öl gehärtet, 30 Stunden bei 100° angelassen, magnetisiert und hinterher nochmals 10 Stunden bei 100° erhitzt. Das Moment solcher Stäbe zeigte bei meinem älteren Instrument thatsächlich auch nach Jahren keine bemerkliche Änderung, was auch bei der Länge von 20 cm von vornherein zu erwarten war. Die Stäbe des neuen sind sogar 30 cm lang und müssen sich dementsprechend in Bezug auf Unveränderlichkeit noch weit günstiger verhalten.

Die Dämpfung geschieht durch die links sichtbare, an einem feinen Draht hängende, in Glycerin tauchende kleine Metallscheibe.

Zum Ausbalancieren dient eine in der Zeichnung durch das Lineal verdeckte Schraube auf der rechten Seite.

Die Theorie des beschriebenen Wagegalvanometers ist wohl die denkbar einfachste und selbst einem Tertianer durch die Anschauung sofort klar. Wenn man die Sache aber mit den Augen des Fachmannes ansieht, können doch Zweifel auftauchen, ob ein solches Instrument auch große Stromstärken richtig mißt, mit andern

<sup>4)</sup> Innerhalb eines Schulgebäudes erleiden die erdmagnetischen Elemente infolge der Eisenkonstruktionen erhebliche Abweichungen. In den verschiedenen Räumen unserer Schule beträgt die Inklination 2—5 Grade weniger als draussen; die Horizontalintensität ist an einer bestimmten Stelle des physikalischen Cabinets 0,193, während das Observatorium zu Potsdam 0,187 angiebt.

Worten, ob nicht der Magnet beim Überschreiten einer bestimmten Grenze verändert oder ganz verdorben wird. Denn schon bei 100 Ampèrewindungen tritt eine beträchtliche temporäre Quermagnetisierung ein und da muß doch schliesslich eine Störung der Längsmagnetisierung die Folge sein. Um in dieser Frage Klarheit zu gewinnen, habe ich das beschriebene neue Instrument einer Gewaltprobe unterworfen. Ich schaltete es zugleich mit einem Ampèremeter von Hartmann & Braun und mit meinem älteren Wagegalvanometer, bei dem aber nur eine Windung benutzt wurde, in den Stromkreis einer 6 zelligen Accumulatorenatterie nebst einem veränderlichen Widerstande. Ich steigerte den Strom nach und nach bis auf 20 Ampère; es zeigte sich genaue Übereinstimmung der drei Instrumente. Hinterher wurde die Batterie in Parallelschaltung durch das neue Instrument allein kurz geschlossen. Es lief für einige Sekunden ein Strom von etwa 40 Amp. hindurch. Trotzdem ging es darauf vor wie nach genau richtig. Die Probe noch weiter zu treiben, ist unnötig, da man das Galvanometer im Gebrauch niemals derartigen Kräften preisgeben wird. Wenn wir 200 Ampèrewindungen als zulässige Grenzbelastung festhalten, so haben wir mindestens doppelte Sicherheit. Indessen werde ich demnächst mit anderen Vorrichtungen noch festzustellen suchen, bei welcher Grenze Magnetnadeln, wenn sie den Windungen parallel in einem Multiplikator liegen, an Stärke Einbuße erleiden.

Im Zusammenhang mit der soeben berührten Frage steht noch folgende Erscheinung an dem Wagegalvanometer. Wenn man Ströme bis 20 Amp. durch den 10 drähtigen Rahmen sendet, kann man zwar immer noch auf 0,01 Amp. genau messen. Wenn man aber den Balken aus der Nulllage im Sinne der Stromdrehung um einige Millimeter dreht, schlägt er durch und kehrt nicht wieder in seine richtige Stellung zurück. Umgekehrt zeigt sich gröfsere Stabilität, wenn man die einspielende Zunge nach der entgegengesetzten Richtung verschiebt. Ich erkläre die Erscheinung aus einem temporären Zuwachs an Magnetismus in der schrägen Lage. Die Messungen werden übrigens dadurch nicht gestört; man muß nur die Arretierung zu Hilfe nehmen.

Wie sich eine Strommessung mittels des Wagegalvanometers vollzieht, kann man sich nach der Beschreibung leicht vergegenwärtigen. Die einzelne Einstellung dauert nur wenige Sekunden. Es ist nun den Nulllageinstrumenten vorgeworfen, daß der Experimentator dabei mitwirken müsse. Aber wer macht es einer feinen Wage zum Vorwurf, daß sie nicht automatisch geht? Ist andererseits das Umrechnen der Angaben einer Tangentenbussole eine bequemere Arbeit als das Reiterschieben? Der Vorwurf hat nur insofern einige Berechtigung, als es mit Nulllageinstrumenten schwer angeht, schnell wechselnden Strömen zu folgen. Das können aber die meisten wissenschaftlichen Instrumente auch nicht. Nur die modernen technischen Ampèremeter stehen in dieser Hinsicht besser da. Indessen hat unser Galvanometer, gerade weil es ein Nulllageinstrument ist, den Vorzug gröfserer Bequemlichkeit, wenn es gilt, bestimmte Stromstärken festzuhalten oder herauszubringen, z. B. bei Widerstandsmessungen nach der Substitutionsmethode. Man hängt dann nur den Reiter an die bestimmte Stelle und wartet, bis die Wage einspielt.

Ich meine also, daß trotz des Reiterschiebens das beschriebene Wagegalvanometer alles in allem bequemer ist als irgend ein anderes Galvanometer von gleichem Meßbereich und gleicher Genauigkeit. Es ist stets und an jedem Ort unmittelbar dienstbereit. Es verlangt weder zarte Behandlung noch Experimentiergeschick. Es läßt sich bequem in Schränken unterbringen und mit einer Hand an den Gebrauchs-ort tragen. Die Mühe des Staubabwischens ist gar nicht der Rede wert. Somit

komme ich zu dem Schluß, daß das neue Galvanometer allen und selbst hochgestellten Anforderungen eines Schulinstrumentes voll genügt, gleichzeitig aber auch für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch geeignet ist. Es ist nicht von heute zu morgen am Schreibtisch entstanden, sondern das Ergebnis einer vieljährigen Unterrichts- und Experimentierpraxis.

## II. Der Trommelrheostat.

Der Messdraht eines Schulrheostaten sollte in unterbrochenem Zuge so geführt sein, daß die relative Länge des eingeschalteten Stücks nach dem bloßen Augemaß genau bestimmt werden kann. Ein weitere Forderung ist die, daß er Ströme bis mindestens zu 5 Ampère ohne störende Erhitzung aufzunehmen vermag, weil ja Zweigströme ausgeschlossen sind, wenn die Schüler mit dem Ohmschen Gesetz bekannt gemacht werden sollen. Der gewiesene Weg bei der Durchnahme des Galvanismus ist doch der, zunächst die wichtigsten galvanischen Elemente (Daniell, Bunsen, Bleiaccumulator) als Quellen elektrischer Energie ohne Rücksicht auf die inneren Vorgänge nebst den Hauptwirkungen des Stroms durch einige packende Versuche vorzuführen, dann die elektromagnetische Wirkung und das Galvanometer eingehender zu behandeln. Nun folgt die experimentelle Behandlung der Widerstandsgesetze und des Ohmschen Gesetzes. Dabei wird der ganze Strom eines constanten Elements gleichzeitig durch das Galvanometer und die variable Drahtstrecke geleitet.

Der Messdraht (aus Manganin) muß demnach mindestens 1,25 mm Durchmesser und ein Ohm 3 m Länge erhalten. Da man aber nicht unter 5  $\Omega$  zur Verfügung haben möchte, ergibt sich die Notwendigkeit, einen 15 m langen Draht auf einem kleinen Raum so unterzubringen, daß man direkt sehen kann, welcher Bruchteil des Ganzen in die Strombahn eingeschaltet ist. Der ganze Draht wird also durch Biegung naturgemäß in Zehntel-Ohm abgeteilt. Es würden sich somit 50 Windungen ergeben, die aber der Sichtbarkeit wegen mindestens 1 cm weit von einander ab-

liegen müssen. Die praktische Durchführung dieser Aufgabe ist auf verschiedenen Wegen möglich. Es wird, abgesehen von den pädagogischen Gesichtspunkten, diejenige Konstruktion den Vorzug verdienen, welche beim Gebrauch vor der Klasse und bei der Instandhaltung die geringste Mühe veranlasst, dabei wissenschaftliche Genauigkeit gewährleistet und verhältnismäßig wohlfeil ist.

Der nebenstehende Widerstandsmesser ist eine Weiterbildung des von mir bereits vor 8 Jahren beschriebenen Trommelrheostaten (d. Ztschr. II 47). Auf einer drehbaren Holztrommel von 33 cm Durchmesser und etwa 14 cm Höhe ist der 1,25 mm

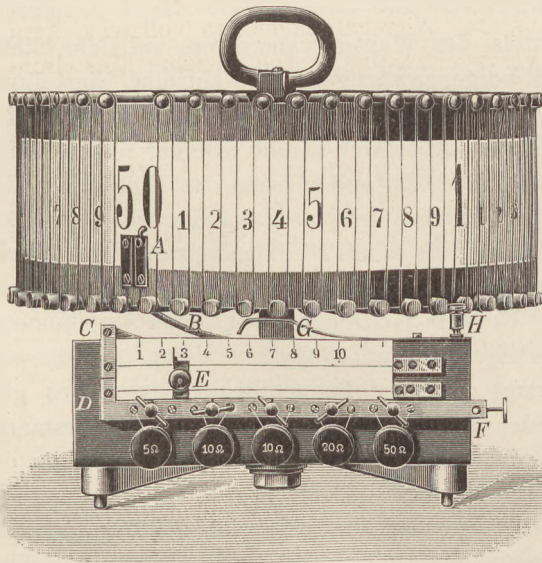


Fig. 2.

starke Manganindraht, wie die Figur zeigt, in 50 Windungen auf- und abwärts gewickelt. Der Draht liegt oben und unten um centimeterstarke, mit flachen Nuten versehene Pflöcke. Der Drahtanfang sitzt an dem Messingstück A. Die Stromzuleitung

geschieht von *C* aus durch das in zwei lockeren Windungen um die Mittelsäule geschlungene Kupferseil *B*, die Ableitung durch die starke, mit Platin belegte Kupferfeder *G* und die Klemme *H*. Es liegt auf der Hand, daß durch Drehung der Trommel 0—50 Zehntel-Ohm eingeschaltet werden, wobei die Feder dank ihrer besonderen Form ohne Unterbrechung des Kontakts von einer Windung auf die nächste gleitet.

Auf einem Brett unterhalb der Trommel ist ein Rheochord angeordnet, um beliebige Bruchteile eines Zehntel-Ohms zuschalten zu können. Es besteht einfach aus zwei parallelen an die Messingstücke *C* und *D* befestigten Drähten der nämlichen Gattung, welche durch den Schieber *E* leitend verbunden sind.

Um das Messbereich des Apparats auch nach oben hin beliebig auszudehnen, sind unten auf dem Brett noch einige Widerstandsrollen vorgesehen. Der Messingriegel *DF* besteht aus durch Stöpsel verbundenen Stücken. Durch Ziehen der Stöpsel werden die betreffenden Rollenwiderstände eingeschaltet.

Man wird sich leicht überzeugen, dass die aus technischen Gründen kaum zu umgehende Gliederung des ganzen Apparats in drei verschiedene Messorgane, weit entfernt eine unerwünschte Complication zu sein, sehr lehrreich und nützlich ist. Denn einmal sehen die Schüler die Haupttypen der Widerstandsmesser für den wissenschaftlichen und praktischen Gebrauch an dem nämlichen Instrument in übersichtlicher Weise nachgebildet. Vor allem aber gestatten die von einander unabhängigen Messorgane eine ebenso bequeme wie lehrreiche Nachkalibrierung des ganzen Apparats vor den Augen der Schüler. Zuerst ergibt sich die Gleichwertigkeit der Abteilungen des Hauptdrahts durch Vergleich mit dem Rheochord, ferner wird die  $5\ \Omega$ -Rolle und jede der folgenden Rollen mit dem ganzen Hauptdraht verglichen, endlich der absolute Wert der Rheostateinheit durch Vergleich mit einem Normaletalon festgestellt; alles nach der Substitutionsmethode. Selbstverständlich gehört dazu ein zweckmässiges Galvanometer. Keins dürfte sich besser eignen als das im Voraufgehenden beschriebene Wagegalvanometer. Was die Stromquelle anbetrifft, so sei noch darauf hingewiesen, daß Bleiacumulatoren nicht nur wegen ihrer Bequemlichkeit, sondern auch wegen ihrer Konstanz weitaus den Vorzug verdienen. Der Experimentiertisch jeder höheren Lehranstalt sollte mit einer Batterie von 6 Zellen zu je 20 Ampèrestunden und 6 Ampères Entladestromstärke ausgerüstet sein, verbunden mit einem Pachytrop, um sofort jede der 4 Batterieschaltungen herstellen zu können<sup>5)</sup>. Bei Widerstandsmessungen und Versuchen über das Ohmsche Gesetz kommen hauptsächlich die Parallelschaltungen in Anwendung und dann bleiben, auch wenn zeitweilig Ströme von mehreren Ampères entnommen werden, die Constanten der Batterie ganz unveränderlich. Deshalb lassen sich Widerstände nach der Substitutionsmethode, sowie die elektromotorische Kraft nach der Ohmschen Methode, binnen wenigen Minuten bis auf ein Tausendstel genau in einer allen Schülern sichtbaren Weise bestimmen.

Mit Bezug auf den beschriebenen Widerstandsmesser ist noch zu bemerken, dass der Widerstand der Zuleiter, nämlich des Seils, der Feder u. s. w. nicht verschwindend klein ist. Dieser constante Addend beträgt gegen 0,02 Ohm und wird vom Verfertiger genau bestimmt und auf dem Apparat verzeichnet. Es braucht kaum darauf hingewiesen werden, dass der Widerstand der Zuleiter bei der Substitutionsmethode ausscheidet. Nur bei Messung mit der Brücke muss er in Betracht gezogen werden.

<sup>5)</sup> Näheres in meiner Programmabhandlung von Ostern 1896. — Es ist mir sehr aufgefallen, daß in den beiden jüngst in dieser Zeitschr. IX 175 mitgeteilten Normalverzeichnissen keine Accumulatoren-batterie, sondern die längst überwundene, unbequeme und inconstante Chromsäure-Tauchbatterie aufgeführt ist.

Was nun die Vorführung der so überaus wichtigen Brückenmethode im Unterricht betrifft, so dürfte ohne Frage die ursprüngliche Wheatstonesche Ausführung wegen ihrer Übersichtlichkeit den Vorzug verdienen. Hierbei ist die Brückeneinrichtung vom Rheostaten getrennt auf einem vertikalen Brett in der bekannten Rautenform angeordnet. Man nehme in die beiden oberen Seiten je ein Ohm in Gestalt von Spiralen aus 0,5 mm Manganindraht. Die Zuleitungsdrähte, welche das eine Klemmenpaar an der einen unteren Seite mit dem Rheostaten, das andere mittels zweier Fußklemmen mit dem zu messenden Widerstande verbinden, gleicht man so ab, daß wenn der Rheostat auf Null steht, bei Kurzschluss des andern Zweigs die Brücke stromlos bleibt. Dann ist der vorhin erwähnte Addend ein für alle Male kompensiert.

Hinsichtlich der Herstellung des Widerstandsmessers sei hervorgehoben, daß der Draht vor dem Aufziehen ohmweise genau auskalibriert wird und seine Biegungen an den markierten Stellen erhält, so daß die Angaben der Trommel bis auf ein Tausendstel-Ohm richtig sind. Die Schwierigkeiten, welche der dicke, steife Draht anfangs beim Aufziehen bot, wurden durch Auffindung geeigneter Manipulationen bald überwunden. Herr Max Kohl in Chemnitz liefert den Apparat in schöner Ausführung und in jeder gewünschten Genauigkeit.

## Veranschaulichung der Luftbewegung in gedeckten und offenen Pfeifen.

Von

Prof. Max Raschig in Schneeberg.

Bei der Besprechung der Zustände der Luft bei tönenden Pfeifen im physikalischen Unterricht schien es mir von jeher, als ob der Hauptpunkt die Bildung stehender Wellen auch bei eingehendster Erörterung und Unterstützung durch Zeichnung dem Schüler verhältnismäßig schwer verständlich zu machen sei. Prinzipiell ist die Schwierigkeit aber darin begründet, daß hier ein stetig sich verändernder Zustand dargelegt und wenn möglich veranschaulicht werden soll. Die Experimente an tönenden Pfeifen selbst, sei es nun an der Labialpfeife mit eingehängter sandbestreuter Membrane oder der Königschen Pfeife mit Gasflammenmanometern, beweisen dem Schüler immer nur, daß an den und den vorher berechneten Stellen ein Schwingungsknoten, dazwischen Bäuche stattfinden, aber nicht, wie sie durch die sich begegnenden Wellenzüge zu stande kommen. Das Experiment mit dem Seil, welches am einen Ende befestigt, am andern Ende mit der Hand in stehende Schwingungen versetzt wird, kann durchaus nur als analoge Erscheinung in einem ganz anderen Gebiet gelten; direkte Übertragungen auf das Phänomen der tönenden Pfeifen würden nur verwirrend wirken; auch ist der Unterschied der gedeckten und offenen Pfeife hier nicht zur Anschauung zu bringen. Besseres können schon Zeichnungen darbieten, bei denen sich jedoch auch in guten Lehrbüchern ein selbst wieder schwer verständlich zu machender Schematismus vorfindet. Ich behalf mich zuletzt mit einer Zeichnung des parallel, aber symmetrisch gelagerten ein- und austretenden Wellenzugs, wobei diese selbst durch Farben unterschieden waren. Aber auch noch bessere Hilfsmittel der Zeichnung, wie sie gewiß leicht gefunden werden würden, kommen nicht über den Übelstand hinweg, daß sie nur momentane Zustände der Luft in solchen Pfeifen, nachdem etwa  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{2}{4}$ ,  $\frac{3}{4}$  . . . u. s. w. Wellenlänge die Öffnung der Pfeife passiert haben, zur Anschauung bringen. Es muß der Phantasie des Beschauers

also überlassen werden, die Wandlung eines solchen Zustands in den nächstfolgenden zu ergänzen, was jedoch verbunden mit der anderen Forderung, die übereinander lagernden Dichtigkeitszustände der Luft richtig algebraisch zu summieren, zu viel verlangt scheint.

Diese Schwierigkeiten der Darstellung durch bloße Zeichnung haben mich zuletzt zur Konstruktion einer zunächst für den Projektionsapparat berechneten beweglichen Vorrichtung geführt, die hier in Kürze beschrieben werden soll.

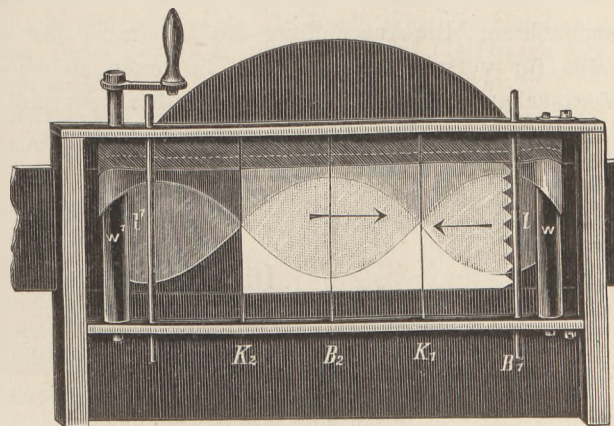
In der nebenstehenden Figur bedeuten  $w w'$  zwei Walzen; um diese läuft bei Drehung der einen mittels Kurbel ein Riemen, auf welchem ein Wellenzug  $ll'$  von 3 nach der Sinuskurve hergestellten Wellen aus Pauselinwand aufgeheftet ist. Diese Wellen passieren eine Öffnung, welche durch Schieber (ausgezackt für die mit der äußeren Luft communicierenden Enden der Pfeife) nach den eingesetzten Strichmarken entweder auf  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{2}{4}$  oder  $\frac{3}{4}$ , äußerstenfalls (wenn es das Gesichtsfeld des Skioptikons zulässt) auch auf  $\frac{4}{4}$  Wellenlänge eingestellt werden kann. Je nach dieser Einstellung stellt der transparente hin- und zurückgehende Wellenzug bei Drehung der Kurbel die Bewegung der Luft oder die stehenden Luftwellen in einer

1. gedeckten Orgelpfeife von  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge,
2. offenen " "  $\frac{2}{4}$  "
3. gedeckten " "  $\frac{3}{4}$  "
4. offenen " "  $\frac{4}{4}$  "

dar, wenn man während der Bewegung für die einzelne Stelle der Öffnung die an derselben sich begegnenden und auf die Mittelparallele bezogenen Ordinaten der Wellenberge und Wellenthäler als Verdichtungs- und Verdünnungszustände der Luft algebraisch summiert denkt; diese Summation wird durch die Transparenz der Wellenzüge für die Anschauung direkt vermittelt und macht nach einem einmaligen Hinweis auf diese keine Schwierigkeit.

Dagegen bietet sich an den geforderten festen Stellen  $K_1 K_2 \dots$  die Erscheinung eines Knotens durch den Wechsel von a) sich deckenden Normalhöhen, b) sich deckenden Wellenbergen, c) sich deckenden Normalhöhen, d) sich deckenden Wellenthälern u. s. w. in fortlaufender Periodicität, entsprechend aber in den anderweitigen festen Stellen  $b_1 b_2 \dots$  die Erscheinung der Bäuche durch den Wechsel von a) sich deckendem Wellenberg des eintretenden und Wellenthal des austretenden Wellenzugs, b) sich deckenden Normalzuständen, c) sich deckendem Wellenthal des eintretenden und Wellenberg des austretenden Wellenzugs, d) sich deckenden Normalhöhen u. s. w. ebenfalls in fortlaufender Periodicität. Der Apparat zeigt damit auch bei der gedeckten Pfeife die Erscheinung der Reflexionswelle, bei der offenen hingegen die einer Reaktionswelle.

Die Herstellung des in jeden Projektionsapparat sofort einzuschubenden vollständig aus Metall gefertigten Apparats hat die Firma Dr. Stöhrer und Sohn in Leipzig übernommen; die Genannten würden auf Bestellung denselben Apparat auch



für direkte Demonstration entsprechend leichter gearbeitet und in vergrößerter Form liefern; hier genügt dann das Dahintersetzen irgend einer Lichtquelle im mäfsig verdunkelten Zimmer, um das Begegnen der transparenten Wellenzüge direkt zu beobachten. Die Anschaffung des Apparates dürfte sich um so mehr lohnen, als derselbe für verschiedene Gebiete, in denen stehende Wellen auftreten, z. B. auch für Veranschaulichung stehender Lichtwellen, verwendbar ist, welche letzteren bekanntlich für die neueste Erfindung auf dem Gebiete der farbigen Photographie das wesentliche Erklärungsprinzip enthalten.

## Die Coriolis'sche Kraft.

Von

M. Koppe in Berlin.

Wird ein Körper mit beweglichen Teilen auf eine wagerechte gleichmäfsig rotierende Platte versetzt, so treten zunächst Bewegungen und Schwankungen ein, die durch Reibung und andere Widerstände gedämpft werden, sodafs schliesslich ein relativer Gleichgewichtszustand sich herausbildet, den man als einen absoluten behandeln darf, wenn man zu den vorhandenen Kräften noch die sogenannte Centrifugalkraft hinzufügt. Vielfach herrscht die irrige Meinung, es liessen sich auch die dem Gleichgewicht vorhergehenden Bewegungen, die in Bezug auf den absoluten Raum auf die natürlichste, wenn auch nicht einfachste Art aus dem Beharrungsvermögen herzuleiten sind, durch die fingierte Centrifugalkraft erledigen, ohne nach der Rotation der Scheibe zu fragen. In der Ableitung der fingierten Centrifugalkraft oder auch der für die absolute Bewegung wirklich vorhandenen Centripetalkraft liegt nichts, was für diese Ansicht spräche. Vielleicht kann die Einsicht in den Verlauf von Bewegungen auf rotierenden Scheiben, wozu die CORIOLIS'sche Kraft den Schlüssel bietet, auch in die Auffassung der Centrifugalkraft im Bereiche ihrer berechtigten Anwendung eher Klarheit bringen als Discussionen, die auf jenes benachbarte Gebiet keine Rücksicht nehmen.

Die CORIOLIS'sche Entdeckung giebt für die Behandlung aller relativen Bewegungen die einfachsten Gesichtspunkte, indem sie dieselben als absolute auffassen lehrt; sie ist zuerst veröffentlicht 1835 im *Journal de l'école polytechnique, tome XV, p. 142: Mémoire sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps*, sie ist auch aufgenommen in CORIOLIS, *traité de la mécanique des corps solides et du calcul de l'effet des machines, Paris, 1844*. In den Lehrbüchern der Mechanik wird sie leider noch nicht genügend gewürdigt, obwohl sich die Zahl der Erscheinungen, die sich durch sie am einfachsten beschreiben lassen, vermehrt hat, da zu dem Voreilen fallender Körper nach OSTEN (Benzenberg, 1804) das FOUCAULT'sche Pendel (1851) und seit FERREL (1859) die genauere Darstellung der durch die Erdrotation modifizierten Luftbewegungen hinzugekommen ist. Man vermisst die CORIOLIS'sche Kraft in STURM's *Cours de mécanique*, in KIRCHHOFF's *Vorlesungen über Mechanik* und in VOIGT's *Elementarer Mechanik*; in DUHAMEL's *Cours de mécanique* ist sie zwar analytisch abgeleitet, ihre Anwendungen werden aber nur historisch aufgezählt; dagegen ist sie in SCHELL's *Theorie der Bewegung und der Kräfte* geometrisch entwickelt und ausgiebig durch Beispiele erläutert (2. Aufl., Bd. I, S. 520—540, Bd. II, S. 552), ebenso ist sie in SONNET's *Dictionnaire des mathématiques appliquées* in dem Artikel *Théorème de Coriolis* ausführlich dargestellt.

### 1. Bewegungen auf einer rotierenden Scheibe.

Eine wagerechte Scheibe drehe sich um die vertikale Achse  $OZ$  in derselben Richtung, in welcher sich die Erdoberfläche am Nordpol bezüglich des festen Fixstern-Himmels dreht, also so, dafs ein von der Achse  $OZ$  aus betrachteter Punkt  $P$  nach links in die Lage  $P_1$  wandert (Fig. 1). Nach kurzer Zeit  $dt$  habe sich die Scheibe um  $\vartheta dt$  gedreht, wodurch die in ihr liegenden Achsen  $OX, OY$  in die Lage  $OX_1, OY_1$  kommen, während  $OZ$  fest



bleibt. Über der Scheibe schwebe, ziemlich weit entfernt von  $OZ$ , ein fest mit ihr verbundenes Geleise aus zwei parallelen wagerechten Schienen, die von einander einen geringen Abstand haben und als Führung für zwei Gleitstücke dienen, welche auf jenen durch äussern Zwang in gleicher Richtung mit der constanten Geschwindigkeit  $v$  verschoben werden. In der Mitte zwischen beiden, durch gespannte elastische Fäden mit ihnen verbunden, befindet sich ein kleiner beweglicher Körper. Dieser wird, nachdem die anfänglichen Schwankungen verschwunden sind, gleichfalls mit der Geschwindigkeit  $v$  eine geradlinige Bahn parallel zu den Schienen beschreiben, und aus den Spannungen der beiden Fäden wird man erkennen, dass die Bahn des Körpers jetzt nicht eine von selbst bestehende Trägheitsbahn ist, sondern nur durch Einwirkung einer Kraft unterhalten wird, welche von den sich selbst richtig einstellenden elastischen Fäden als Resultante ihrer Spannungen dargeboten wird.

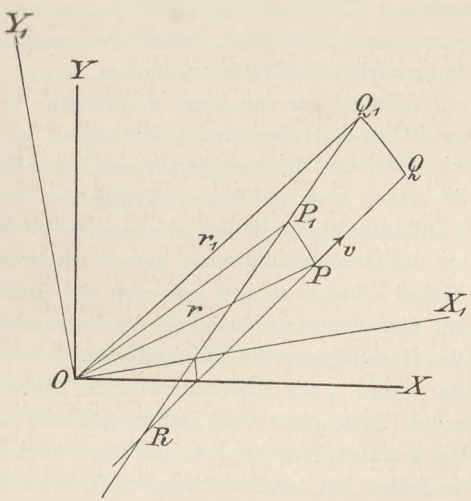


Fig. 1.

Um diese Kraft zu finden, vergleicht man die absolute Geschwindigkeit des bewegten Punktes für zwei benachbarte Zeitpunkte und bestimmt daraus die Componente, welche die erste Geschwindigkeit in die zweite verwandelt. Werden die beiden Geschwindigkeiten von einem Punkte aus abgetragen, so ist die Verbindungslinie der Endpunkte nach Grösse und Richtung die gesuchte Componente.

Scheint der Körper in dem System  $XOY$  von  $P$  nach  $Q$  zu kommen, indem er um  $PQ = v dt$  fortschreitet, so geht er im absoluten Raum von  $P$  nach  $Q_1$ . In  $P$  besteht seine Geschwindigkeit aus zwei Componenten,  $v \parallel PQ$  und  $r \vartheta \perp OP$ , da der Radius  $OP = r$  sich mit der Geschwindigkeit  $\vartheta$  dreht, in  $Q_1$  besteht sie aus  $v \parallel P_1 Q_1$  und  $r_1 \vartheta \perp O Q_1$ <sup>1)</sup>. Trägt man die ersten Componenten, die beide  $= v$  sind, nach Grösse und Richtung von einem Punkte ab, z. B. von  $R$  aus, so sieht man, da sie den Winkel  $\vartheta dt$  mit einander bilden, dass zur Überführung der früheren in die spätere der Impuls  $v \vartheta dt \perp P_1 Q_1$  erfordert wird. Die anderen Componenten sind durch  $OP = r$  und  $O Q_1 = r_1$  dargestellt, wobei jedoch der Faktor  $\vartheta$  und eine Drehung um  $90^\circ$  hinzuzudenken ist. Die erste Strecke lässt sich in die zweite verwandeln, wenn man ihrem Endpunkt die Verschiebungen erteilt  $PP_1 = r \vartheta dt$  und  $P_1 Q_1 = v dt$ , die entsprechenden Impulse sind  $r \vartheta^2 dt \perp PP_1$  d. h.  $\parallel PO$  und  $v \vartheta dt \perp P_1 Q_1$ . Fasst man diese mit dem früheren Impulse zusammen, so findet man, dass für die Sekunde die Beschleunigungen erfordert werden:

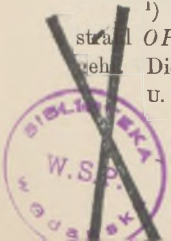
$$r \vartheta^2 \parallel PO \text{ und } 2v \vartheta \perp PQ.$$

Betrachtet ein auf der rotierenden Scheibe stehender Beobachter die Anstrengungen, welche die gespannten Fäden machen, um den Körper auf der Geraden gleichmässig zu führen, so scheint es ihm, als ob auf den Körper eine Kraft wirkte, die ihm die aus  $r \vartheta^2 \parallel OP$  und  $2v \vartheta \perp PQ$  resultierende Beschleunigung zu erteilen fähig wäre. Die Kraft, von der die Beschleunigung  $r \vartheta^2 \parallel OP$  herrühren könnte, ist die Centrifugalkraft, die andere, von der die Beschleunigung  $2v \vartheta \perp PQ$ , also von der Richtung  $PQ$  oder  $v$  aus nach rechts abweichend, herrühren könnte, ist die CORIOLIS'sche Kraft. Durch die Resultante der Fadenspannungen werden diese Kräfte aufgehoben.

Bewegt sich ein Körper in Bezug auf die rotierende Scheibe der Reihe nach mit verschiedenen Geschwindigkeiten, deren Richtungen aber alle in einer wagerechten Ebene

<sup>1)</sup> Unter der Senkrechten auf  $OP$  wird die Richtung verstanden, in welche der Richtungsstrahl  $OP$  durch Drehung um  $90^\circ$  in positivem Sinne, d. h. nach links, oder von  $OX$  nach  $OY$  übergeht. Die entgegengesetzte Richtung wäre senkrecht auf  $PO$ .

u. x.



liegen, und kennt man alle den Körper beeinflussenden Kräfte, wie Schwere, Fadenspannungen, so wird der Zusammenhang der Bewegung mit den wirkenden Kräften nach der gewöhnlichen Mechanik erst dann verständlich, wenn man zu den Kräften noch die Centrifugalkraft und die CORIOLIS'sche Kraft hinzunimmt. Wo die Bahn geradlinig und gleichmäßig durchlaufen wird, heben sich nunmehr alle Kräfte auf, wo ein Eckpunkt ist, verändern die äusseren Kräfte durch plötzliche starke Impulse die Geschwindigkeiten. Lässt man die gebrochene Linie einer Kurve sich annähern, so fliessen auch die plötzlichen Impulse in stetig wirkende Kräfte zusammen.

Trägt man an eine wagerechte Geschwindigkeit  $AB = u$  im Endpunkt eine zweite  $v = BC$  nach Grösse und Richtung an, so ist  $AC = w$  die Resultante. Dreht man das Dreieck  $ABC$  um  $90^\circ$  und vergrössert seine Seiten im Verhältnis  $1:2\vartheta$ , so stellen diese nunmehr die zu  $u, v, w$  gehörigen Kräfte dar und zeigen, dass die zu  $w$  gehörende wieder die Resultante ist zu denen, die den Geschwindigkeiten  $u, v$  entsprechen. Bisher dachten wir uns die Geschwindigkeit  $v$  immer wagerecht. Steigt das früher erwähnte Geleise unter dem Winkel  $\alpha$  an, so denke man sich die Geschwindigkeit  $v$  des Punktes  $P$  zerlegt in die vertikale Komponente  $v \sin \alpha$  und die horizontale  $v \cos \alpha$ . Nur die letztere ändert ihre Richtung. Die Drehungsgeschwindigkeit von  $P$  ist  $r\vartheta$  und geht über in  $r_1\vartheta$  für den Punkt  $Q_1$ , wo jetzt  $r$  und  $r_1$  die Abstände von der Achse  $OZ$  bedeuten, die in der Figur auf die wagerechte Ebene ohne Verkürzung projiziert sind. Die oben bei dem Übergang von  $OP$  auf  $OQ_1$  benutzte Strecke  $P_1Q_1$  ist daher auch hier wagerecht und  $= v \cos \alpha dt$ . Man gelangt daher, wie früher, zu der Centrifugalkraft, deren Beschleunigung  $r\vartheta^2 \parallel OP$  und zu der CORIOLIS'schen Kraft, deren Beschleunigung jetzt  $= 2v\vartheta \cos \alpha \perp QP$  ist, d. h. von  $PQ$  aus nach rechts abweicht. Der Wert dieser Kraft wird also allgemein dargestellt durch den doppelten Flächeninhalt eines Parallelogramms zwischen den von einem Punkte aus nach Grösse und Richtung dargestellten Strecken  $\vartheta$  und  $v$ . Versetzt man sich in die Richtung  $\vartheta = OZ$  und blickt nach der Richtung der Geschwindigkeit  $v$ , so wirkt die Kraft senkrecht zur Fläche des Parallelogramms nach rechts. Rotierte die Scheibe umgekehrt, so würde  $\vartheta$  und  $2v\vartheta$  negativ, also wäre dann die Kraft nach links gerichtet.

Zwei einfache Fälle seien noch besonders hervorgehoben, weil sie in populären Büchern über Geographie, kosmische Physik und Witterungskunde oft hervorgehoben und mangelhaft erledigt werden. Beschreibt auf einer mit der Winkelgeschwindigkeit  $\vartheta$  rotierenden wagerechten Scheibe ein Körper einen Kreis um dieselbe Achse wie die Scheibe und mit der relativen Winkelgeschwindigkeit  $\vartheta'$  oder mit der linearen Geschwindigkeit  $v$ , so ist seine absolute Bewegung eine Rotation mit der Winkelgeschwindigkeit  $(\vartheta + \vartheta')$ , so dass auf eine nach dem Centrum wirkende Beschleunigung  $r(\vartheta + \vartheta')^2 = r\vartheta^2 + 2r\vartheta\vartheta' + r\vartheta'^2$ , zu schliessen ist. Die relative Bewegung an sich würde nur die Centripetalbeschleunigung  $r\vartheta'^2$ , den letzten Summanden, erfordern. Die beiden andern Summanden sind dazu da, die Centrifugalkraft  $r\vartheta'^2$  und die nach rechts ablenkende Kraft  $2v\vartheta' = 2r\vartheta\vartheta'$ , aufzuheben. In der früheren Meteorologie wurde für Luftbewegungen längs eines Parallelkreises die Existenz der ablenkenden Kraft  $2v\vartheta$  geleugnet.

Bewegt sich ein freier Punkt längs eines Radius einer rotierenden Scheibe vom Centrum fort, oder allenfalls in der kalten Zone der Erde längs eines Meridians nach Süden, mit der relativen Geschwindigkeit  $v$ , so ist seine absolute Geschwindigkeit zusammengesetzt aus  $v$  und der zum Radius senkrechten Geschwindigkeit  $r\vartheta$ , die nach einem Augenblick in  $r_1\vartheta = (r + v dt)\vartheta$  übergeht. Aus der Veränderlichkeit der letzteren Componente schloss man in der Meteorologie auf die ablenkende Kraft  $v\vartheta$  nach Westen, die durch eine nach Osten zu erteilende Beschleunigung  $v\vartheta$  aufzuheben sei, wenn die beschriebene Bewegung zu stande kommen sollte. Man vergafs aber, dass auch die erste Componente  $v$ , wenn sie auch dieselbe zu bleiben schien, doch ihre Richtung im absoluten Raum um  $\vartheta dt$  nach Osten ändert, was noch einmal eine nach Osten wirkende Beschleunigung  $v\vartheta$  erfordert, die eine fingierte, nach Westen wirkende, ablenkende Kraft aufzuheben scheint. Da nebenbei auch die, zu  $v$  senkrechte, Componente  $r\vartheta$  ihre Richtung um  $\vartheta dt$  ändert, so erkennt man, dass auch noch

die fingierte Centrifugalkraft  $r\vartheta^2$  durch eine wirksame physikalische Kraft kompensiert sein muß, wenn die radiale gleichförmige Bewegung auf einer rotierenden Scheibe fortdauern soll.

Man könnte den in diesem Abschnitt vorausgeschickten allgemeinen Fall relativer Bewegung auch aus den eben betrachteten beiden speziellen Fällen durch Zusammensetzung ableiten.

Nach den früheren falschen Annahmen der Meteorologie war die Erdplatte in der Nähe des Nordpols, in schmale Zonen zerlegt, gewissermaßen eine Stufenbahn mit parallelen, aber geradlinigen Geleisen. Man denke sich, daß ein Punkt von dem einen Ufer einer Stufenbahn, immer senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung, nach dem anderen mit der Geschwindigkeit  $v$  vordringe, die Breite der Geleise oder der auf ihnen bewegten Plattformen sei so gewählt, daß er jede einzelne in  $1/n$  Sek. überschreite. Um die Bewegungsart eines zwischen zwei benachbarten Meridianen enthaltenen Sektors der kalten Zone nachzuahmen, müßte die um  $r$  vom Pol entfernte Stufe die Geschwindigkeit  $r\vartheta$  erhalten, die sie aber gleichmäßig in gerader Richtung beibehalten soll. Die Geschwindigkeit ändert sich von einer Stufe zur nächsten um  $(v/n)\vartheta$ , also müßte dem Punkte je nach  $1/n$  Sek. ein Impuls  $v\vartheta/n$  in der Bewegungsrichtung erteilt werden, und es schiene einem Menschen, der sich an das Gehen über die Stufenbahn hin gewöhnt hätte, als ob er einer beständigen Strömung ausgesetzt wäre, die ihn mit der Beschleunigung  $v\vartheta$  von seinem Wege nach rechts abzulenken suchte und der er Widerstand leisten müßte. Wenn nun aber, zur Herstellung einer Ringbahn, die geradlinig fortgeführten Geleise der Stufenbahn irgendwo in concentrische Halbkreise umgelenkt werden, so daß dort zeitweilig die Plattformen der Stufenbahn einer sich drehenden Scheibe gleichen, so wird dort die ablenkende Strömung in doppelter Stärke wahrzunehmen sein, und es wird auch noch die Centrifugalkraft hinzutreten, wenn nicht etwa für eine passende Überhöhung gesorgt ist.

Beispiele: Trägt ein um seine Mitte rotierender wagerechter Stahlstab eine leicht verschiebbare durchbohrte Kugel, so wirkt die Centrifugalkraft in Richtung der möglichen Bewegung und erzeugt eine beständig stark wachsende Geschwindigkeit. Die CORIOLIS'sche Kraft, senkrecht zu der durch den Stab gelegten Vertikal-Ebene, bewirkt nur einen Druck gegen den Stab und beeinflusst die Bewegung höchstens sekundär durch die hierdurch erzeugte Reibung. Die Entfernung der Kugel vom Mittelpunkt wächst nach dem Gesetz  $x = a e^{\vartheta t} + b e^{-\vartheta t}$ , weil dies mit  $x'' = \vartheta^2 x$  übereinstimmt.

Auch bei den Oscillationen des Centrifugal-Regulators kommt die CORIOLIS'sche Kraft nicht zur Geltung. Entfernt man die Arme desselben durch Zusammendrücken oder Auseinanderspreizen ein wenig aus der Lage, die der vorhandenen Rotations-Geschwindigkeit entspricht, so wirkt die Resultante von Schwerkraft und Centrifugalkraft nach der Gleichgewichtslage hin, es entsteht ein Pendeln der Arme innerhalb einer vertikalen Ebene, während die Coriolis'sche Kraft zu dieser Ebene senkrecht steht.

Ein glatter Körper, der frei auf einer rotierenden Ebene beweglich ist, beschreibt im absoluten Raum eine Gerade. Bezüglich der rotierenden Ebene bewegt er sich wie ein Punkt, der in einer Geraden gleichmäßig fortschreitet, während diese um einen fest mit ihr verbundenen Punkt gedreht wird. Die Bahn wird also eine Spirale, in welcher der Körper beständig von seiner augenblicklichen Richtung nach rechts abweicht.

Ist der Körper durch einen elastischen, eben noch ungespannten Faden mit der Achse verbunden, um welche die ihn tragende glatte Scheibe nach links rotiert, so setzt er sich zunächst durch die Centrifugalkraft nach aussen in Bewegung; sobald er eine geringe centrifugale Geschwindigkeit hat, wird diese durch die CORIOLIS'sche Kraft nach rechts abgelenkt, die Geschwindigkeit wird schliesslich senkrecht zu dem nummehr gespannten Faden, von da ab nähert sich der Körper in einem Bogen, der zu der bisherigen Bahn das Spiegelbild ist, wieder dem Centrum. Er kommt bei radial gewordener Bewegung für einen Augenblick zur Ruhe, wenn der Faden seine natürliche Länge wieder erreicht hat. Darauf wiederholt sich derselbe Vorgang, die Bahn setzt sich wie eine Epicykloide aus vielen kurzen Ranken zusammen, die einen Kreis umgeben. Giebt man dem Körper eine passende kleine Anfangs-

geschwindigkeit nach links, so kann die Bahn sich zu einer kleinen Ellipse, die wiederholt durchlaufen wird, schliessen.

Legt man in eine flache parabolische Schale einen kleinen Körper, so giebt es eine Rotationsgeschwindigkeit, bei welcher dieser an jeder Stelle in Ruhe verharret, weil überall die Resultante der Schwere und der Centrifugalkraft senkrecht zur Oberfläche steht. Giebt man dann aber dem Körper eine Anfangsgeschwindigkeit, so beschreibt er nun einen kleinen Kreis, und kann diesen selbst aufzeichnen. Nach SPRUNG<sup>2)</sup>, der diesen Versuch mit einer Kreidekugel angestellt hat, wird das Resultat durch die Reibung nur wenig beeinträchtigt.

## 2. Das sphärische Pendel.

Die sphärische Bahn eines Raumpendels besteht abwechselnd aus Teilen, wo das Pendel sinkt, und anderen, wo es wieder steigt. Zwei benachbarte Teile der Bahn sind durch einen tiefsten oder höchsten Punkt getrennt und einander symmetrisch gleich. Macht das Pendel sehr kleine Schwingungen, so ist die Projektion seiner Bahn fast eine Ellipse; die durch den Pendelfaden zu legende Vertikal-Ebene beschreibt dann, während das Pendel einmal sinkt und einmal steigt, einen Winkel von  $180^\circ$ . PUISEUX hat bewiesen, dafs, wenn das Pendel beliebig grosse Bahnen beschreibt, der entsprechende Winkel für zwei auf einander folgende höchste Lagen des Pendels grösser als  $180^\circ$ , aber kleiner als  $360^\circ$  ist. Die letztere Grenze wird nahezu erreicht, wenn der Pendelfaden beständig fast wagerecht schwebt. Dieser Satz wird in den meisten Darstellungen der analytischen Mechanik nicht hergeleitet, obwohl immer die Formeln aufgestellt werden, aus denen man die Lage des Pendels für jeden Zeitpunkt soll berechnen können. VOIGT<sup>3)</sup> beweist durch angenäherte Entwicklung der Integrale, dafs für kleine Schwingungen jener Winkel etwas grösser als  $180^\circ$  sein muss. HERSCHEL<sup>4)</sup> glaubt mit Unrecht, dafs sich der Satz aus der Gestalt der Pendelbahn bei unendlich kleinen Schwingungen nach derselben geometrischen Methode leicht herleiten lasse, nach welcher er die Veränderung der Planetenbahnen durch störende Kräfte entwickelt. Wir wollen den Satz aus der Betrachtung einiger spezieller Fälle so deutlich machen, dafs man an seiner Allgemeingültigkeit nicht zweifeln wird.

Statt eines Fadenpendels denken wir uns einen kleinen schweren Körper, der in einer grossen Hohlkugel leicht gleiten kann. Zur leichten Ortsbezeichnung nehmen wir auf der Hohlkugel einen horizontalen Äquator, Meridiane, einen Nord- und einen Südpol an. Legt man den kleinen Körper ohne Anfangsgeschwindigkeit in einen Punkt der unteren Halbkugel, so gleitet er zu dem Südpol hin und steigt auf der anderen Seite wieder zu der alten Höhe auf. Erhält er aber eine sehr kleine horizontale Anfangsgeschwindigkeit, so kann sich seine Bahn nur sehr wenig ändern, also wird der Winkel, um den sich der durch das Pendel zu legende Meridian dreht, bis der höchste Punkt erreicht ist, auch etwa  $180^\circ$  sein. Giebt man dagegen dem Körper in der früheren Anfangslage eine ausserordentlich grosse horizontale Anfangsgeschwindigkeit, so muss er fast einen grössten Kreis um die Kugel beschreiben, der Anfangspunkt ist dann ein tiefster Punkt der Pendelbahn, und in seiner Nähe erreicht der Körper zum zweiten Mal einen tiefsten Punkt. Der Meridian des Pendels hat sich dann zwischen zwei gleichartigen Scheiteln der Bahn um  $360^\circ$  gedreht.

Besonders erörtern wir noch den Fall, wo der Ausgangspunkt auf dem Äquator liegt. Durch die grosse wagerechte Anfangsgeschwindigkeit  $v$  allein, ohne Einwirkung der Schwere, würde das Pendel veranlasst, gleichmässig den Äquator zu durchlaufen. Wir denken uns nun, dafs die Schwere in einzelnen Impulsen wirkt, die je nach  $\frac{1}{n}$  sek. erfolgen. Da die Bahn immer noch in der Nähe des Äquators liegen wird, so ist die längs der Kugelfläche wirkende Komponente von der ganzen Schwerebeschleunigung  $g$  nicht zu unterscheiden. Der erste Impuls der Schwerkraft erfolgt, wenn der Körper die Strecke  $v/n$  zurückgelegt hat, und bewirkt, dafs die Bahn in einen neuen grössten Kreis übergeht, der von der Ver-

<sup>2)</sup> Poggendorffs Annalen, Neue Folge, XIV, 1881. S. 128. Die dort gegebene Ableitung der

<sup>3)</sup> Elementare Mechanik, S. 67.

[Trägheitsbahn am Pol ist sehr beachtenswert.

<sup>4)</sup> Outlines of astronomy, art. 692, 693.

längerung der bisherigen Bahn um  $g/nv$  abweicht. Die neue Geschwindigkeit ist von  $v$  nur unerheblich verschieden, weil der Impuls senkrecht erfolgte. Die Lage der neuen Bahn lässt sich am besten durch ihren Pol  $P_1$  angeben, der von  $P$  um  $g/nv$  in einer zum Anfangsmeridian senkrechten Richtung entfernt ist (Fig. 2). Nach wieder  $1/n$  sek. erfolgt ein neuer Impuls  $P$ , durch den die Bahn in den grössten Kreis mit den Pole  $P_2$  übergeht, so dass  $P_1 P_2 = g/nv \perp P_1 Q_1$ . Da das Polygon  $PP_1 P_2 \dots$  in der Nähe des Nordpols sehr klein ist, und da seine Seiten auf den nach  $Q, Q_1, \dots$  zu ziehenden Bogen senkrecht stehen, so ändert sich die Richtung des Weges  $PP_1 P_2 \dots$  an jeder Ecke um den Winkel  $QPQ_1$  oder, wenn  $M$  den Mittelpunkt der Kugel bedeutet,  $QM Q_1 = v/nr$ . Das kleine Polygon ist daher nahezu regulär, der Radius  $\varrho$  des umschriebenen Kreises ist gleich dem Quotienten einer Seite und des Centriwinkels, also

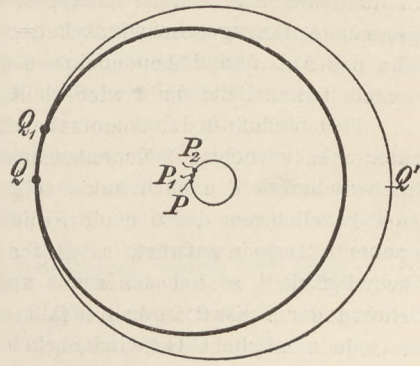


Fig. 2.

$$\varrho = \frac{g}{nv} : \frac{v}{nr} = \frac{gr}{v^2}.$$

Die Bahn  $QQ_1 \dots Q' \dots$  ist die in  $90^\circ$  Abstand zu  $PP_1 P_2 \dots$  gelegte Parallelkurve, sie ist also ein kleiner Kreis, der in  $Q$  den Äquator berührt, in  $Q'$  um  $2\varrho$  unterhalb desselben liegt<sup>5)</sup>. Der Meridian, der das Pendel von einer höchsten Lage zur nächsten begleitet, dreht sich also um  $360^\circ$ . Bemerkenswert ist noch, dass dieselbe Gleichung auch die Bedingung bildet, unter welcher ein konisches Pendel mit der constanten Geschwindigkeit  $v$  einen Kegel beschreiben kann, dessen Seiten um  $\varrho$  gegen die Wagerechte geneigt sind, sodass seine Höhe zwischen den äussersten Lagen des Raumpendels die Mitte hielte.

Die Bewegung eines konischen Pendels lässt sich auch dadurch herbeiführen, dass man einen kleinen Körper in eine Kugelschale legt, die um eine vertikale Achse rotiert. Ist Reibung vorhanden, und ist die Rotation nicht zu langsam, so hat der Körper bald eine Lage an der abschüssigen Kugelfläche gefunden, wo er in relativem Gleichgewicht verharrt. Im absoluten Raum beschreibt er einen Kreis wie der Körper eines Fadenpendels, die Spannung des Fadens wird durch den Widerstand der Kugelschale ersetzt. Die Bedingung für das relative Gleichgewicht eines Körpers, der vom Äquator den Bogenabstand  $\varphi$  hat, ist, dass die Projektionen der Centrifugalkraft und der Schwerkraft auf die Kugelfläche sich aufheben. Erstere ist  $r \cos \varphi \vartheta^2 \sin \varphi = \frac{1}{2} r \sin 2\varphi \vartheta^2$  und wirkt aufwärts; letztere ist  $g \cos \varphi$ . Also muss sein  $r \vartheta^2 \sin \varphi = g$ . Rückt man das Pendel ein wenig aufwärts in die Breite  $\varphi - \varepsilon$ , also um die Strecke  $x = r\varepsilon$ , so erteilen die nunmehr wirkenden Kräfte aufwärts die Beschleunigung  $X = \frac{1}{2} r \sin (2\varphi - 2\varepsilon) \vartheta^2 - g \cos (\varphi - \varepsilon)$  oder entwickelt:  $X = \frac{1}{2} r \sin 2\varphi \vartheta^2 - g \cos \varphi - \varepsilon (r \cos 2\varphi \vartheta^2 + g \sin \varphi)$ . Der erste Teil ist null, weil die obige Gleichung für das konische Pendel durch  $\varphi$  und  $\vartheta$  erfüllt wird, der zweite Teil wird, wenn man den dort zu entnehmenden Wert von  $g$  einsetzt:  $X = -\varepsilon r (\cos 2\varphi \cdot \vartheta^2 + \sin \varphi^2 \vartheta^2) = -x \vartheta^2 \cos \varphi^2$ . Das negative Vorzeichen zeigt, dass die Beschleunigung thatsächlich nach unten gerichtet ist, wenn man den Körper nach oben gerückt hat, und umgekehrt. An sich würde diese Kraft ein Pendeln längs des Meridians, um den Parallelkreis  $\varphi$  herum, unterhalten. Beginnt nun aber die Bewegung, so erregt sie eine Kraft, die nach rechts ablenkt, nicht etwa für die Beobachtung von der Achse her, sondern für jemanden, der sich bei vertikaler Haltung in der Richtung der vorhandenen Geschwindigkeit  $v$  fortbewegt. Durch die ablenkende Kraft wird die Geschwindigkeit horizontal, schliesslich aufwärts gerichtet, sodass der Körper seine alte Höhe, ein wenig links von seiner früheren Stellung, von der Achse aus gesehen, wieder erreicht. Da  $\varepsilon$  sehr klein angenommen wurde, so ist die Bahn sehr

<sup>5)</sup> Die Figur stellt die Kugelfläche so dar, wie sie sich vom Südpol aus auf die erweiterte Ebene des Äquators projiziert.

klein, und wir können den Bezirk der Kugelfläche, auf der sie liegt, als eben betrachten, und ihn auf rechtwinklige Achsen,  $OX$  aufwärts,  $OY$  nach links (von der Achse aus gesehen), beziehen. Es ist auch leicht einzusehen, daß, wenn man dem Körper nicht nur durch Hinaufrücken eine neue Anfangsstellung, sondern auch durch einen Stoß nach rechts eine passende Anfangsgeschwindigkeit giebt, diese in Verbindung mit der Rechtsablenkung die Bahn des Auf- und Abpendelns in eine geschlossene Kurve, etwa eine kleine Ellipse, verwandeln kann, die dann wiederholt durchlaufen wird.

Den Einfluss der CORIOLIS'schen Kraft genau anzugeben, erfordert hier eine kleine, auch später sehr wichtige, Nebenbetrachtung. Hat der Körper in der Breite  $\varphi$  eine horizontale Geschwindigkeit  $u$  nach links, so fällt die CORIOLIS'sche Kraft  $2u\vartheta$  in die erweiterte Ebene des Parallelkreises, durch die Projektion auf die Kugelfläche erhält man die wirksame Komponente  $2u\vartheta \sin \varphi$  aufwärts. Hat der Körper in Richtung des Meridians aufwärts die Geschwindigkeit  $v$ , so hat das aus  $\vartheta$  und  $v$  gebildete Parallelogramm den Inhalt  $v\vartheta \sin \varphi$ , die Richtung der Kraft  $2v\vartheta \sin \varphi$  fällt in die Kugelfläche, und geht wagerecht nach rechts. Da nun jede mögliche Geschwindigkeit  $w$  in  $u$  und  $v$  zu zerlegen ist, so ist immer die in die Kugelfläche fallende Komponente der CORIOLIS'schen Kraft  $= 2w\vartheta \sin \varphi$ , und zwar, wenn  $\vartheta$  positiv, so, daß sie auf der vorhandenen Geschwindigkeit senkrecht steht und sie nach rechts abzulenken sucht.

Der bewegliche Punkt erhält daher zwei Beschleunigungen,  $X_1 = -\vartheta^2 \cos \varphi^2 \cdot x = -\alpha x$ , die dem Abstände von dem Parallelkreis proportional und nach diesem hin gerichtet ist;  $X_2 = 2 \sin \varphi \vartheta \cdot v = \beta v$ , die nach rechts ablenkt.

Wir wollen beweisen, daß die Bahn eine Ellipse sein kann, wenn man diese auch gewöhnlich nur als Bahn eines Punktes kennt, auf den nur eine der Entfernung proportionale Centralkraft wirkt. Die Ellipse sei durch die Bewegung des Teilpunktes  $C$  der Strecke  $AB$  beschrieben, deren Endpunkte auf  $OX$  und  $OY$  gleiten (Fig. 3). Ändert sich die Richtung von  $AB$  gleichmäßig mit der Geschwindigkeit  $\sigma$ , so beschreiben auch die Projektionen von  $C$  auf die Achsen, z. B. der Punkt  $F$ , Pendelbewegungen, da  $OF$  die Projektion der Strecke  $BC$  ist, deren Richtung sich wie die von  $AB$  gleichmäßig ändert. Bekanntlich ist die Bewegung der Strecke  $AB$  in jedem Augenblicke eine Rotation um  $D$ , die Geschwindigkeit des Punktes  $C$  ist daher dieselbe, als ob er mit der Winkelgeschwindigkeit  $\sigma$  um  $D$  rotierte, also  $v = DC \cdot \sigma \perp DC$ .

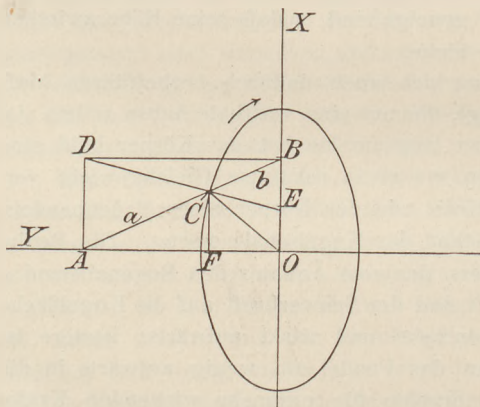


Fig. 3.

Betrachtet man die Pendelbewegung in der Ellipse als Projektion einer Kreisbewegung, so wird ein Quadrant des Kreises wie ein Quadrant der Ellipse in der Zeit beschrieben, in der die Strecke  $AB$  aus der wagerechten in die senkrechte Lage übergeht. Der den Kreis durchlaufende Punkt hat daher die Winkelgeschwindigkeit  $\sigma$ , die erforderliche Centripetalbeschleunigung ist  $r\sigma^2$ . Für den Punkt  $C$ , der die Ellipse beschreibt, ist die entsprechende Beschleunigung  $K = CO \cdot \sigma^2$  in der Richtung  $CO$ . Nun ist nach geometrischer Addition  $CO = EO + CE$ , also lässt sich  $K$  aus 2 Kräften  $K_1, K_2$  zusammensetzen, deren eine,  $K_1$ , parallel der  $X$ -Achse, dem Vektor  $EO$  entspricht, während die andere,  $K_2$ , parallel zu  $CE$ , die Richtung der Normalen hat.

Ferner ist nach der Figur, wenn  $a$  und  $b$  die Abschnitte von  $AB$  sind,

$$EO = BO - BE = BO - \frac{b}{a} DA = BO \left(1 - \frac{b}{a}\right)$$

und

$$CF = BO \cdot \frac{a}{a+b},$$

woraus folgt

$$EO : CF = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \left(1 + \frac{b}{a}\right).$$

Demnach wird

$$K_1 = EO \cdot \sigma^2 = CF \cdot \sigma^2 \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right).$$

Diese Kraft ist dem Abstände des Punktes  $C$  von der  $Y$ -Achse proportional.

Die andere Kraft  $K_2$  ist der Geschwindigkeit  $v$  proportional, denn es ist

$$CE = \frac{b}{a} DC = \frac{b}{a} \cdot \frac{v}{\sigma},$$

folglich

$$K_2 = CE \cdot \sigma^2 = \frac{b\sigma}{a} v.$$

Hiernach lassen sich  $K_1$  und  $K_2$  mit  $X_1$  und  $X_2$  identifizieren, indem man setzt

$$\left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \sigma^2 = \alpha = \vartheta^2 \cos^2 \varphi$$

$$\frac{b}{a} \sigma = \beta = 2 \vartheta \sin \varphi,$$

woraus sich ergibt:

$$\sigma^2 = \vartheta^2 (\cos^2 \varphi + 4 \sin^2 \varphi), \quad \frac{b}{a} = \frac{2 \sin \varphi}{\sqrt{\cos^2 \varphi + 4 \sin^2 \varphi}}, \quad (r \vartheta^2 \sin \varphi = g).$$

Die Zeit  $T$ , in der die kleine Ellipse einmal durchlaufen wird, ist zugleich diejenige, in der im absoluten Raum das Pendel von einem höchsten Punkt seiner Bahn zu dem folgenden übergeht. Sie ist  $T = 2\pi/\sigma$ . In dieser Zeit dreht sich der das Pendel begleitende Meridian um den PUISEUX'schen Winkel

$$H = \frac{2\pi}{\sigma} \vartheta = \frac{2\pi}{\sqrt{\cos^2 \varphi + 4 \sin^2 \varphi}}.$$

Schwingt das Pendel niedrig, so ist  $\varphi$  fast  $= 90^\circ$ ,  $H = \pi$ . Schwingt es hoch, so ist  $\varphi$  fast  $= 0^\circ$ ,  $H = 2\pi$ . Das Verhältnis  $b/a$  ist in jenem Falle fast  $= 1$ , im letzten  $= 0$ , was sich daraus erklärt, daß die ablenkende Kraft wegen des Coëffizienten  $2 \vartheta \sin \varphi$  dort, bei Bewegungen am Äquator, klein, hier, in der Nähe des Südpols, groß ist.

Die Geschwindigkeit des Punktes  $C$ , wenn er den höchsten Punkt der Ellipse passiert, ist  $= b\sigma$  und nach rechts gerichtet. Nimmt man nun an, daß, während  $C$  die Ellipse beschreibt, diese selbst mit der Geschwindigkeit  $b\sigma$  nach links verschoben wird, so geschieht es, daß jedesmal, wenn der beschreibende Punkt die höchste Lage passiert, seine absolute Geschwindigkeit  $= 0$  wird, seine Bahn besteht dann aus vielen herabhängenden Bogen, deren aufwärts gekehrte Spitzen in gleichen Abständen auf einer Horizontalen verteilt sind. Diese Bewegung erfordert an sich, daß auf den Punkt  $C$  dieselben Kraftimpulse ausgeübt werden, wie früher, wo die Ellipse ruhte. Nun wird aber die Kraft  $K_2$  aus der jedesmaligen Geschwindigkeit abgeleitet, und da zu dieser die nach links gerichtete Komponente  $b\sigma$  hinzugekommen ist, so vermehrt sich die daraus nach CORIOLIS hervorgehende Beschleunigung um die Komponente  $b\beta\sigma$ , die nach oben gerichtet ist. Soll daher die gesamte Kraft unverändert bleiben, so muss zu der Kraft  $K_1$  eine Komponente hinzukommen, welche nach unten die Beschleunigung  $b\beta\sigma$  erteilt. Das geschieht aber, wenn man die nach links fortschreitende Ellipse um die Strecke  $x_1$  hebt, die man so bestimmt, daß  $\alpha x_1 = \beta b\sigma$  ist, woraus  $x_1 = 4a \cos^2 \varphi$  wird. Für  $\varphi = 63^\circ 30'$  wird  $x_1 = a$ , so daß die Kurvenranken nur gerade bis zu dem Parallelkreis  $\varphi$  herabreichen. Liegt die Pendelbahn höher, so ist  $x_1$  kleiner, die Ranken schneiden den Parallelkreis, auf dem das Gleichgewicht möglich wäre. Liegt die Pendelbahn tiefer, so erreichen sie ihn nicht. Beginnt der Körper seine Bahn ohne Anstoß von einem Punkte unterhalb der Gleichgewichtslage, so sind die Spitzen der Ranken nach unten gekehrt, und das Fortschreiten längs des Parallelkreises geschieht in entgegengesetzter Richtung. Die Kraft  $K_2$  könnte auch durch den Widerstand der Bahn ersetzt werden, wenn man den Körper zwänge, auf einer passenden Ellipse oder Rankenlinie zu laufen.

3. *Bewegungen an der Erdoberfläche.*

Wenn ein Körper auf der glatten Erdoberfläche, etwa ein Eisstück auf einem zugefrorenen See, durch einen Stoss die Geschwindigkeit  $v$  erhält, so bewegt er sich nicht geradeaus, wie man es zur Erläuterung des GALILEI'schen Beharrungsgesetzes oft versichert. Die Schwere und die Centrifugalkraft geben eine zur Oberfläche des Erdsphäroids genau senkrechte Resultante, die auf die Bewegung nur sekundär einwirken könnte, indem die etwa erzeugte Reibung die Geschwindigkeit verminderte. Die für horizontale Bewegungen wirksame Componente der CORIOLIS'schen Kraft sucht, wie im vorigen Abschnitt bewiesen, die vorhandene Bewegung nach rechts abzulenken, sie erteilt in der geographischen Breite  $\varphi$  die Beschleunigung  $2v\vartheta \sin \varphi$  senkrecht zu der Richtung von  $v$ . Da diese ablenkende Kraft die Richtung der Normale beibehält, so ändert sie nicht die Grösse der Geschwindigkeit, sondern nur deren Richtung, und zwar in der Zeit  $dt$  um  $2v\vartheta \sin \varphi dt/v$ , also in 1 Sek. um  $2\vartheta \sin \varphi$ . Bewegt sich auf einer Ebene ein Punkt mit gleichförmiger Geschwindigkeit, und ändert sich dabei seine Richtung gleichmässig, so wird die Bahn ein Kreis, der sich schliesst, sobald die Richtung des Weges wieder die alte geworden ist. Er wird also in der Zeit  $T = 2\pi/2\vartheta \sin \varphi$  beschrieben, hat daher den Umfang  $\pi v/\vartheta \sin \varphi$  und den Radius  $v/2\vartheta \sin \varphi$ . Dies wird auch für die Bewegung auf der Erdoberfläche zutreffen, wenn die Geschwindigkeit  $v$  so mässig ist, dass man den Bezirk, in dem die Bewegung sich vollzieht, als eben ansehen kann.

SHELL glaubt irrtümlich (l. c. Bd. I, S. 533), dass dieses auch von ihm abgeleitete Resultat für die Nähe des Pols aufser Kraft trete. Er findet aus einer für diesen Fall besonders eingerichteten Näherungsrechnung als Bahn eine Archimedische Spirale. Das rührt daher, dass er die Erdoberfläche dort als Ebene ansieht, die scheinbare Schwere aber aus einer zu jener Ebene immer senkrechten Attraktion und der Centrifugalkraft zusammensetzt. Unter dieser Annahme wäre aber die Erdoberfläche keine Niveaufäche zur scheinbaren Schwerkraft, woran durchaus festzuhalten ist. (Vgl. die Bemerkung zu der Aufgabe von FUCHS, Bd. IX, S. 285.)

Da die Winkelgeschwindigkeit  $\vartheta$  der Erde einer Umdrehung in 86164 Sek. (Sonnenszeit)  $= 24^h$  (Sternzeit) entspricht, so ist  $2\pi/\vartheta = 24^h$ , also  $T = 12^h/\sin \varphi$ , am Pole  $12^h$ , in der Breite von Berlin  $15^h$ . Am Äquator findet eine Ablenkung der geradlinigen Bewegung nicht statt. Die in  $1^h$  eintretende Richtungsänderung ist  $= 30^\circ \sin \varphi$ , sie ist unabhängig von der Geschwindigkeit, behält daher auch dann noch diesen Wert, wenn durch Reibung oder Luftwiderstand die Bewegung allmählich verlangsamt wird, ein Resultat, welches BRUNS 1883 auf anderem Wege direkt aus den Grundgleichungen der Mechanik abgeleitet hat. (*Mathematische Annalen* Bd. XXII, S. 296—298.) Gleitet ein Körper von einer schiefen Ebene mit geringer Reibung herab, so nimmt seine Geschwindigkeit zu, die Krümmung der Bahn nimmt ab. Wird die Beschleunigung durch Widerstände aufgehoben, wie bei den Wassermassen, die durch ein Flussbett strömen, so bleibt die Krümmung constant. Man will hieraus ableiten, dass manche Flüsse auf der nördlichen Halbkugel einen nach rechts, auf der südlichen einen nach links gekrümmten Lauf haben, ferner dass einige Ströme, z. B. Elbe, Weser, Seine, Themse, Donau, Wolga ihre in flachem Lande liegende Mündung allmählich nach rechts verschieben, bis ihnen Hügelreihen Widerstand bieten. Vielleicht erklärt sich daraus auch die vor Zeiten erfolgte Veränderung im Laufe von Oder und Weichsel. Die Krümmung der Bahnen der Luftteilchen, welche auf der nördlichen Halbkugel von einem barometrischen Maximum wegströmen, bewirkt, dass die Luftmasse um das Maximum im Sinne des Uhrzeigers rotiert, die Bahnen der Luftteilchen, die in ein barometrisches Minimum einströmen, sind so gekrümmt, dass die Luftmasse eine Wirbelbewegung gegen den Uhrzeiger annimmt. Es wird auch behauptet, dass die äusseren Schienen von zweigeleisigen Eisenbahnen, auf denen die Züge immer rechts fahren, sich allmählich nach aussen verschieben. Vielfach werden ganz unverständliche Berechnungen reproducirt, welche diese Wirkung für die in Richtung des Meridians laufende Eisenbahn Harburg-Hamburg in Pferdekräften ausdrücken sollen. Sollte das dort beobachtete Nachgeben der Schienen wirklich in der Erdrotation seinen Grund haben, und nicht etwa in der nach aussen hin natürlich abnehmenden Festigkeit des die



Geleise tragenden Bahndammes, so müsste man ein ähnliches Weichen der äusseren Schienen an allen Eisenbahnen beobachten, denn die ablenkende Kraft der Erdrotation ist nicht, wie Hadley und Dove annahmen, auf die nach Norden oder Süden gerichteten Componenten von Bewegungen beschränkt.

Wird eine Kugel mit der Geschwindigkeit  $v = 500$  m in geringer Elevation abgeschossen, so wirkt auf sie während des Fluges die volle CORIOLIS'sche Kraft. Die vertikale Componente ändert ein wenig die Flugweite, ohne die vertikale Flugebene zu verändern, die horizontale,  $2v\vartheta \sin \varphi$ , giebt eine zur Flugebene senkrechte Geschwindigkeit,  $2v\vartheta \sin \varphi \cdot t$ , und bewirkt, dass die Scheibe um  $v\vartheta \sin \varphi \cdot t^2$  rechts von der Vertikalen getroffen wird, auf die gezielt wurde. Für 500 m Scheibenabstand sind dies in der Breite  $52\frac{1}{2}^\circ$  etwa 3 cm, für 1500 m Abstand etwa 30 cm Ablenkung. Kommt die Kugel aus einem gezogenen Lauf, dessen Züge immer rechts gewunden sind, so entsteht aus der Einwirkung des Luftwiderstandes auf die kreiselartige Rotation der Kugel eine zweite Ablenkung nach rechts, die sich zu der vorigen addiert. Auf den Schiessplätzen der südlichen Halbkugel könnten sich die Ablenkungen durch die Erdrotation und durch den Drall des Laufs bisweilen gegenseitig aufheben.

Schon bei 1 m Geschwindigkeit erhält der Kreis, den ein Körper auf der glatten Erdoberfläche in der Breite von Berlin beschreibt, den Umfang von 54 km, er wird daher schon bei mässigen Geschwindigkeiten so gross, dass man die von ihm eingeschlossene Erdoberfläche als eine Kugelkalotte zu betrachten hat. Ihr sphärischer Radius sei  $= \rho$ , der Radius der Kugel  $R$ . Legt man an die Kugel einen Tangentialkegel, der sie längs des Kreises berührt, so ist die Seite desselben  $= R \operatorname{tg} \varphi$ . Ist  $S$  die Spitze des Kegels, sind ferner  $P_1, P_2, P_3 \dots$  die Örter des Körpers nach kurzen Zeiträumen  $dt$ , so ist leicht zu sehen, daß in den entstehenden gleichschenkligen Dreiecken  $SP_1P_2, SP_2P_3 \dots$  die Winkel an der Spitze ebenso gross sind, wie die Richtungsänderungen des Weges beim Übergang von  $P_1P_2$  auf  $P_2P_3$ . Ist daher kurz  $v\omega$  die von der ablenkenden Kraft hervorgebrachte Beschleunigung, so ist  $\omega dt$  der Winkel an der Spitze, also folgt aus dem gleichschenkligen Dreieck  $R \operatorname{tg} \varphi = v dt / \omega dt = v / \omega$  statt der früheren Gleichung  $r = v / \omega$ . Teilt man nun die Erde in Zonen von je  $1^\circ$  Breite, und legt jeder Zone einen mittleren Wert der geographischen Breite  $\varphi$  bei, so kann man aus  $R \operatorname{tg} \varphi = v / 2\vartheta \sin \varphi$  für jede den sphärischen Radius  $\rho$  der kreisförmigen Bahn berechnen, wenn  $v$  gegeben ist. Die Bahn ist dann aus vielen Kreisbogen so zusammzusetzen, dass keine unstetigen Richtungsänderungen vorkommen. Trifft sie den Äquator, so besteht sie aus einer Reihe congruenter Bogen, nördlich und südlich desselben, in denen sie sich abwechselnd nach rechts und nach links krümmt.

Zu den Aufgaben dieses Abschnittes kann man auch das FOUCAULT'sche Pendel ziehen, wenn man sich auf kleine Schwingungen beschränkt. Zwar wirkt auch hier ausser der scheinbaren Schwerkraft  $g$  die volle CORIOLIS'sche Kraft, aber ihre vertikale Componente bewirkt nur eine geringfügige periodische Veränderung von  $g$ , die beim Hinschwingen und Herschwingen entgegengesetzte Zeichen hat. Da nun die Kraft, durch welche die Projektion eines eben schwingenden Pendels als selbstständiger Massenpunkt schwingen könnte, selbst nur ein geringer Bruchteil von  $g$  ist, so kann die Veränderung von  $g$  unbeachtet bleiben. Legt man die  $Y$ -Achse in die anfängliche Schwingungsrichtung der Pendelkugel, so erfolgt die Schwingung an sich nach dem Gesetz  $y = \cos nt$ ,  $t = 0 \dots \pi/n$ , woraus  $y' = -n \sin nt$ . Setzen wir wieder den Coefficienten der ablenkenden horizontalen Componente der CORIOLIS'schen Kraft  $= \omega = 2\vartheta \sin \varphi$ , so hätten wir, im Sinne der  $X$ -Achse, die Beschleunigung  $\omega y'$ , diese ergäbe die Geschwindigkeit  $x' = 2\omega (\cos nt - 1)$  und endlich die Ablenkung  $x = \omega (\sin nt / n - t)$ , also wäre am Ende der ersten einfachen Schwingung  $x = -\omega \pi / n$  für die Zeit  $t = \pi / n$ , die Pendelebene drehte sich also mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  nach rechts, am Pole stündlich um  $30^\circ$ . Dieses Resultat ist falsch. Das Pendel folgt nicht, wie früher die Büchsenkugel, frei der Einwirkung der ablenkenden Kraft, es setzt ihr Widerstand entgegen, da ja auch eine Ausweichung im Sinne der  $X$ -Achse eine Kraft erregt, welche das Pendel in die Gleichgewichtslage zurücktreibt. Wie für die Schwingung im Sinne der  $Y$ -Achse  $y'' = -n^2 y$ ,

so ist für die ungestörte Schwingung parallel zur  $X$ -Achse  $x'' = -n^2 x$ , und wir haben deshalb zur richtigen Bestimmung der durch die CORIOLISS'sche Kraft verursachten Ablenkung  $x'' = -n\omega \sin nt - n^2 x$ , hieraus ergibt sich  $2nx = n\omega t \cos nt - \omega \sin nt$ , daher für das Ende der ersten Schwingung, d. h. für  $t = \pi/n$ , der Wert  $x = -\omega \pi/2n$ . Die Pendelebene dreht sich daher mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega/2 = \vartheta \sin \varphi$ , am Pol in  $1^h$  um  $15^\circ$ , in Berlin um  $12^\circ$ .

Diese Ableitung zeigt auch ohne die hinzugefügten Resultate der Rechnung, dass sich die Bewegung des Pendels in beliebiger Breite von der am Pol nur insofern unterscheidet, als  $\vartheta \sin \varphi$  an Stelle der absoluten Winkelgeschwindigkeit  $\vartheta$  der Erdrotation zu setzen ist. Die Bewegung am Pole lässt sich aber, indem man sie zunächst im absoluten

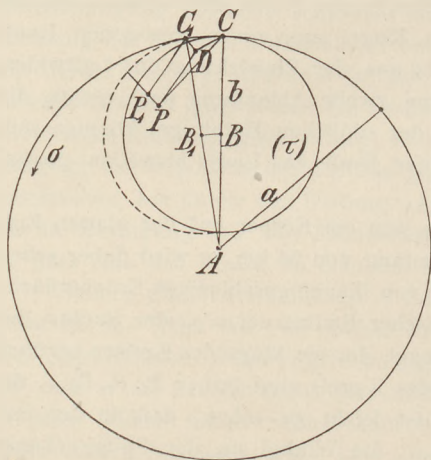


Fig. 4.

Raume auffasst<sup>6)</sup>, leicht geometrisch erledigen. Man gelangt zu dem Resultat, dass das Pendel seine Bahn gerade so beschreibt, wie ein Punkt der Ebene eines Kreises, der in einem fast doppelt so grossen Kreise rollt. Wir wollen dies hier verifizieren, indem wir die zu letzterer Bewegung erforderlichen Kräfte aufsuchen. In dem grossen Kreise vom Radius  $a$  rolle ein kleiner vom Radius  $b$  (Fig. 4). Der Berührungspunkt  $C$  habe auf dem grossen Kreise die Winkelgeschwindigkeit  $\sigma$ . Der kleine Kreis oder ein auf ihm hervorgehobener Radius, etwa der durch  $P$ , dreht sich gleichmässig mit der Winkelgeschwindigkeit  $\tau$ . Der Mittelpunkt des rollenden Kreises komme in der Zeit  $dt$  von  $B$  nach  $B_1$ . Da der Radius  $AC$  die Winkelgeschwindigkeit  $\sigma$  hat, und  $AB = a - b$  ist, so ist  $BB_1 = (a - b)\sigma dt$ . Fasst man das Rollen

als augenblickliche Rotation um  $C$  auf, so beschreibt  $CB = b$  mit der Winkelgeschwindigkeit  $\tau$  den Bogen  $BB_1$  in der Zeit  $dt$ , also  $BB_1 = b\tau dt$ . Vergleicht man beide Werte, so folgt  $\sigma(a - b) = b\tau$ .

Der Punkt  $P$  beschreibt eine allgemeine Hypocykloide. Er hat in Folge der augenblicklichen Rotation um  $C$  die Geschwindigkeit  $PC \cdot \sigma \perp PC$  (wobei die Senkrechte zu  $PC$  von der Richtung  $PC$  nach links abweichen soll). Kurz darauf hat er die Geschwindigkeit  $P_1 C_1 \cdot \sigma \perp P_1 C_1$ .

Die beiden Geschwindigkeiten lassen sich also, vorbehaltlich der Drehung um  $90^\circ$  nach links und der Multiplikation mit  $\sigma$ , darstellen durch die Vektoren  $PC$  und  $P_1 C_1$ . Zieht man den Vektor  $PD = P_1 C_1$ , so stellt der Vektor  $CD = CC_1 + C_1 D$  (geometrisch addiert)  $= CC_1 + P_1 P$  den Impuls dar, der die eine Geschwindigkeit in die andere überführt. Der erste Teil,  $CC_1$ , kommt durch Drehung um  $90^\circ$  in die Richtung  $CA$ , er ist an Grösse  $= CA \cdot \sigma dt$ , durch die vorbehaltene Multiplikation mit  $\sigma$  ergibt sich also als erster Bestandteil des Impulses (I)  $= CA \cdot \sigma^2 dt$  nach Grösse und Richtung. Der zweite Teil war unter Vorbehalt dargestellt durch den Vektor  $P_1 P$ , der an Grösse gleich  $PC \cdot \tau \cdot dt$  ist. Durch Drehung um  $90^\circ$  erhält er die Richtung  $P_1 C_1$  oder  $PC$ , so dass nach Multiplikation mit  $\sigma$  der zweite Bestandteil genau dargestellt ist durch (II)  $= PC \cdot \sigma \tau \cdot dt$ . Die zur Bewegung des Punktes  $P$  erforderliche Beschleunigung ist somit dargestellt durch den Vektor  $V = CA \cdot \sigma^2 + PC \cdot \sigma \tau$ , oder, wenn man geometrisch  $CA = CP + PA$  setzt,

$$V = PC(\sigma\tau - \sigma^2) + PA \cdot \sigma^2$$

Hier deutet  $PA \cdot \sigma^2$  auf eine dem Abstände des beweglichen Punktes  $P$  von dem festen  $A$  proportionale Centralkraft, der erste Summand deutet auf eine der Geschwindigkeit proportionale, normal zu ihr nach rechts ablenkende Kraft, denn die Geschwindigkeit ist

$$v = \frac{PP_1}{dt} = PC \cdot \tau \perp PC.$$

<sup>6)</sup> Vergl. ds. Ztschr. I 71.

Um diese Kräfte mit denen zu identifizieren, die bei dem FOUCAULT'schen Pendel auftreten, ist zu setzen, wenn  $l$  die Länge des Pendels:

$$\frac{\sigma\tau - \sigma^2}{\tau} = 2\vartheta \sin \varphi = \omega, \quad \sigma^2 = \frac{g}{l},$$

woraus  $\frac{\tau}{\sigma} = \frac{\sigma}{\sigma - \omega}$ , also  $\frac{a-b}{b} = \frac{\sigma}{\sigma - \omega}$ ,  $\frac{a}{b} = \frac{2\sigma - \omega}{\sigma - \omega}$  folgt.

Soll das Pendel aus der größten Elongation ohne Stoss seine Schwingungen beginnen, so muss man  $P$  an der Peripherie des rollenden Kreises annehmen. Bei einmaligem Abrollen geht dann  $P$  auf einem sehr flachen Bogen von einer Spitze der Hypocykloide zur nächsten über, dabei schreitet der Berührungspunkt  $C$  um die Strecke  $2\pi b$  auf dem grossen Kreise fort, also dreht sich der Radius  $AC$  um den Winkel  $2\pi b/a = \pi - \pi\omega/(2\sigma - \omega)$ , oder die Pendelebene dreht sich um  $\pi\omega/(2\sigma - \omega)$ . Da die lineare Geschwindigkeit des Punktes  $C$  auf dem grossen Kreise  $= a\sigma$  ist, so geschieht diese Drehung in der Zeit  $2\pi b/a\sigma$ . Die Drehung in 1 Sek. ergibt sich daraus zu  $\sigma\omega/(2\sigma - 2\omega)$ , d. h. praktisch, im Bereiche der festgehaltenen Genauigkeit,  $= \omega/2 = \vartheta \sin \varphi$ .

#### 4. Abweichung fallender Körper.

Um die relative Bewegung eines fallenden Steines genau zu erhalten, hat man aufser der Erdattraktion noch die Centrifugalkraft und die CORIOLIS'sche Kraft in Rechnung zu ziehen. Die beiden ersten geben eine zur Erdoberfläche senkrechte Resultante, die scheinbare Schwere  $g$ , deren Richtung für die ganze Fallhöhe als unveränderlich gelten kann. Hat diese Kraft dem Körper eine Geschwindigkeit erteilt,  $v = gt$ , so entsteht eine ablenkende CORIOLIS'sche Kraft. Zieht man von der augenblicklichen Lage des fallenden Körpers aus zwei Vektoren,  $\vartheta$  in Richtung der Weltachse, etwa den schattenwerfenden Stift einer Sonnenuhr, und  $v$  in Richtung der Geschwindigkeit, so bilden diese in der Breite  $\varphi$  den Winkel  $90^\circ + \varphi$  miteinander, ergeben also ein Parallelogramm von der Fläche  $\vartheta v \cos \varphi$ . Versetzt man sich in den ersten Vektor und blickt in Richtung des zweiten, so hat man rechts Osten, folglich erteilt die ablenkende Kraft nach Osten die Beschleunigung  $x'' = 2v\vartheta \cos \varphi = 2g\vartheta \cos \varphi t$ . Hierdurch entsteht in  $t$  Sek. die Geschwindigkeit  $x' = g\vartheta \cos \varphi t^2$ , die Ablenkung nach Osten beträgt daher  $x = \frac{1}{2}g\vartheta \cos \varphi t^2 = \frac{2}{3}h\vartheta t \cos \varphi$ , angenähert  $= h t \cos \varphi / 21\,000$ , wenn  $h = \frac{1}{2}gt^2$  die Fallhöhe bedeutet. Sobald eine östliche Geschwindigkeit  $x'$  entstanden ist, dient, streng genommen, auch diese wieder als Grund für die Einmischung einer neuen CORIOLIS'schen Kraft. Construiert man aus den Vektoren  $\vartheta$  und  $x'$  ein Parallelogramm, so hat die Ebene desselben eine geneigte Lage, die Richtung der CORIOLIS'schen Kraft geht nach Süden und aufwärts, nämlich nach dem höchsten Punkte des Himmelsäquators. Die neue Kraft verringert daher die Schwere und giebt eine Ablenkung nach Süden. Wie aber schon die östliche Abweichung ein geringer Bruchteil der Fallhöhe ist, so wird die südliche Ablenkung wieder nur ein entsprechend geringer Bruchteil der östlichen sein, also eine Gröfse, deren Berechnung ohne physikalischen Wert ist.

Wird eine Kugel senkrecht aufwärts geworfen und erreicht sie die Höhe  $h$ , so ergiebt eine entsprechende Behandlung, dafs der Punkt, wo sie niederfällt, um  $\frac{2}{3}h\vartheta t \cos \varphi$  nach Westen liegt. Ein mit 500 m Geschwindigkeit unter  $45^\circ$  Breite aufwärts geschleudertes Geschofs fällt etwa 84 m westlich vom Ausgangspunkt nieder, nicht aber 155 m in fast südwestlicher Richtung, wie HOPPE<sup>7)</sup> analytisch gefunden hat.

Man sieht hier unzweifelhaft, dafs die Ablenkung bei dem Fall in beliebiger Breite wie am Äquator rein östlich ist, und dafs ihre Grösse sich von der am Äquator nur dadurch unterscheidet, dafs statt des Coeffizienten  $\vartheta$  der Wert  $\vartheta \cos \varphi$  zu setzen ist. Man kann daher für das Folgende annehmen, dafs es sich um ein Fallen am Äquator handele.

Läfst man am Äquator einen Stein vom Söller eines Turmes fallen, so hat er, für den absoluten Raum, eine Anfangsgeschwindigkeit von 465 m. Die Bewegung wird durch das

<sup>7)</sup> Archiv f. Math. u. Phys. 64, S. 96, 1879.

Aufschlagen auf den Erdboden bald unterbrochen. Denkt man sich aber die Erdmasse, ohne ihre Anziehung auf den durch die Luft fallenden Stein zu ändern, ersetzt durch eine gleich schwere Masse im Erdmittelpunkt, so könnte der Stein die begonnene Bewegung in einer Planetenbahn um den anziehenden Erdmittelpunkt fortsetzen. Aus den bekannten Gesetzen dieser Bewegung kann man leicht feststellen, wo der Stein die Erdoberfläche passiert, und so erkennen, daß er östlich von dem Punkte niederfällt, in welchen inzwischen der Fuß des Turmes durch die Erdrotation eingerückt ist.

Diese von SCHELLBACH und ARENDT<sup>8)</sup> für eine beliebige Breite durchgeführte Methode läßt eine Modifikation zu. Da es nur auf den Teil der absoluten Bahn des Steines ankommt, der ausserhalb der Erdoberfläche liegt, so ist nur nötig, daß dort die angenommene Kraft mit der Schwere nach Gröfse und Richtung übereinstimmt. Man kann daher die Fortsetzung der Bahn in das Erdinnere auch so geschehen lassen, daß sich die Schwere proportional der Entfernung vom Mittelpunkt der Erde ändert. Diese Annahme stimmt sogar mit dem wirklichen Verhalten im Innern der Erde, wenn man sie als eine homogene Kugel auffaßt, überein. Die praktische Ausführung des Versuches würde jetzt nur verlangen, daß man im voraus einen passenden Kanal durch die Erdmasse führte, um für die Bewegung freie Bahn zu schaffen, nicht aber, daß man die ganze Erdmasse nach dem Mittelpunkt schaffte.

Im absoluten Raum beschreibt aber jetzt der in Bewegung gesetzte Stein eine Pendell-Ellipse, und zwar in der Zeit, in welcher ein fingierter Mond um die Erde dicht an der Oberfläche längs irgend eines grössten Kreises herumlaufen könnte, d. h. in  $\frac{1}{17}$  Tag. Dies ist die Umlaufzeit für alle im Erdinnern möglichen Pendellipsen, mögen sie in der Ebene des Äquators oder anderen Ebenen liegen, die Erdoberfläche erreichen oder nicht. Man kann diese Mondbahn fast senkrecht zum Äquator so wählen, daß ihre Projektion auf eine im absoluten Raum feste Äquator-Ebene  $E$  die Bahn des Steines ergibt. Solche Bahn läßt sich auch als Hypocykloide betrachten, wenn man annimmt, daß der rollende Kreis, der den die Bahn erzeugenden Punkt führt, halb so groß ist als der Basiskreis. Der Mittelpunkt des rollenden Kreises bewegt sich mit der Winkelgeschwindigkeit  $17\vartheta$  und zwar nach links, seine Ebene dreht sich gegen die Ebene  $E$  ebenfalls mit der Winkelgeschwindigkeit  $17\vartheta$  nach rechts.

Setzt man den Radius des großen Kreises  $= 18p$ , den des kleinen  $= 9p$ , und zeichnet man auf die Scheibe des rollenden Kreises einen kleineren concentrischen Kreis vom Durchmesser  $16p$ , oder vom Radius  $8p$ , so bleibt dieser immer um  $p$  von dem Basiskreise entfernt, sein äusserster Punkt  $Q$  hat vom Mittelpunkt des Basiskreises, oder dem Erdmittelpunkt, den Abstand  $17p$ . Er hat durch die Rotation um den augenblicklichen Berührungspunkt die Geschwindigkeit  $p \cdot 17\vartheta$  nach links. Denkt man sich noch eine zweite, mit der rotierenden Erde fest verbundene Äquator-Ebene  $E'$ , so hat der gerade mit  $Q$  zur Deckung kommende Punkt  $Q'$  der letzteren auch die Geschwindigkeit  $17p\vartheta$  nach links, folglich rollt sich die verkleinerte Scheibe des rollenden Kreises in dem Kreise vom Radius  $17p$ , welcher der Ebene  $E'$  angehört, ab, ohne zu gleiten. Es ist daher die relative Bewegung auch eine Hypocykloide, wie die in Abschnitt 3, und zwar ist  $a = 17p$ ,  $b = 8p$ ,  $\sigma = 16\vartheta$ ,  $\tau = 18\vartheta$ . Die Bahn in der rotierenden Äquator-Ebene  $E'$  ist ganz dieselbe, wie die eines FOUCAULT'schen Pendels in der Umgebung des Nordpols, wenn man diesem eine Schwingungsdauer von  $42$  min geben könnte. Beginnt der Stein seine Bewegung ohne (relative) Anfangsgeschwindigkeit, so muss man den die Bahn beschreibenden Punkt auf dem Umfange des Kreises  $B$  annehmen, ferner muss  $a = 17p = R + h$  sein, wenn  $h$  die Fallhöhe ist<sup>9)</sup>. Legt man in die Äquator-Ebene  $E'$  ein Coordinatensystem, dessen Anfangspunkt der Erdmittelpunkt ist, dessen  $Y$ -Achse nach dem Turm hingeht, so hat die Hypocykloide die Gleichungen:  $x = (a - b) \sin \sigma t - b \sin \tau t$ ,  $y = (a - b) \cos \sigma t + b \cos \tau t$ , oder  $x = 9p \sin 16\vartheta t - 8p \sin 18\vartheta t$ , woraus man für kleine Werte

<sup>8)</sup> Neue Elemente der Mechanik S. 270–281.

<sup>9)</sup> Vgl. ds. Zeitschr. I 71 unten.

von  $t$  durch Reihenentwicklung sofort sieht, daß die Abweichung  $x$  proportional dem Kubus, der Fallraum  $y$  proportional dem Quadrate von  $t$  wird.

Mag man die Bahn im absoluten Raum als Anfang einer Planeten-Ellipse, mag man sie als Anfang einer Pendel-Ellipse betrachten, in beiden Fällen läßt sich die Größe des östlichen Voreilens übereinstimmend aus dem Kepler'schen Satze herleiten: Radius vector verrit aream. Während ein Stein am Äquator der Erde neben einem Turm  $AB$  frei herabfällt, komme dieser selbst durch die Erdrotation in die Lage  $A_1 B_1$  (Fig. 5). Die absolute Bahn des Steines ist fast genau die, der horizontalen Anfangsgeschwindigkeit  $c = 465$  m entsprechende, Wurfparabel, deren Brennpunkt um  $c^2/2g = 11$  km, unter der Erdoberfläche liegt. Diese Bahn kann nicht genau nach  $B_1$  führen, denn da die horizontale Anfangsgeschwindigkeit des Steines mit der Geschwindigkeit der Turmspitze  $A$  übereinstimmt, so muß die vom Radiusvektor beschriebene Fläche  $= MA A_1$  sein. Ginge die Parabel aber nach  $B_1$ , so wäre die beschriebene Fläche  $= MA B_1$ , also um  $AA_1 B_1 = \frac{1}{3} AB B_1$ ,  $AA_1 = \frac{1}{3} h R \vartheta t$  zu klein. Die Parabel muß daher ein wenig variiert werden, so daß sie den Erdboden erst im Punkte  $C$  trifft, der Stein also um  $B_1 C = x$  nach Osten voreilt. Dadurch kommt im wesentlichen zu der beschriebenen Fläche das schmale, aber lange Dreieck  $MB_1 C = \frac{1}{2} x R$  hinzu, welches für den Verlust des Gebietes  $AA_1 B_1$  Ersatz leistet, wenn  $x = \frac{2}{3} h \vartheta t$  ist. Andere Behandlungen dieser Aufgabe siehe ds. Zeitschr. I 259, IV 319.

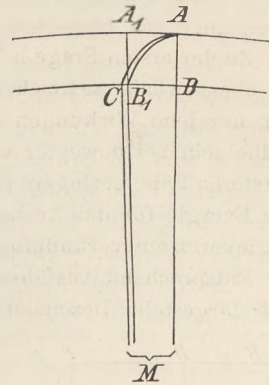


Fig. 5.

Die Darstellung der Bahn als Hypocykloide geschieht durch einen Punkt in der Ebene eines rollenden Kreises vom Radius 0.

Rotierte die Erde noch etwas schneller, so würde ein am Äquator frei gelassener Körper zunächst steigen, bald aber seine Richtung ändern, eine wagerechte Geschwindigkeit nach Westen für einen Augenblick annehmen, dann allmählich wieder bis zur alten Höhe sinken, und so beständig westwärts schwebend eine aus Ranken bestehende Bahn beschreiben, deren Spitzen sich zum Erdboden senken.

Eine weitere sehr wichtige Anwendung findet die CORIOLIS'sche Kraft bei Bestimmung derjenigen Kraft, die induziert wird, wenn man die Achse eines schnell rotierenden Körpers, z. B. Kreisels oder Fahrrades, durch äusseren Zwang dreht oder kippt. Diese Bestimmung ist nach den hier entwickelten Gesichtspunkten schon früher ausgeführt worden (ds. Zeitschr. IV 75 und 82, vgl. auch IX 127).

## Kleine Mitteilungen.

### Die Rogetsche Spirale.

Von Dr. P. Spies in Berlin.

Unter dieser Bezeichnung findet sich in vielen Sammlungen ein Apparat, der häufig nur als ein Spielzeug angesehen wird, in Wirklichkeit aber einiges Interesse verdient.

Ein Draht von 1–3 mm Stärke bildet eine Schraubenlinie von 5–10 cm Durchmesser und etwa 5 mm Ganghöhe. Das obere Ende ist fest aufgehängt, das untere taucht in Quecksilber. Beim Durchleiten eines hinlänglich starken Stromes hebt sich das untere Ende aus dem Quecksilbernapfe, fällt dann wieder herab u. s. w.

1. Wie ist dieser Vorgang zu erklären? Oder fragen wir spezieller: Ist die übliche Erklärung, welche besagt, dass sich die gleichgerichteten Stromelemente benachbarter Windungen elektrodynamisch anziehen und so eine Verkürzung der Spirale, damit aber eine Unterbrechung des Stromes bewirken u. s. w., ausreichend?

2. Wie kommt es, dass nach dem Einführen eines Eisenstabes in die Spirale diese letztere auch bei schwachem Strome sehr lebhaft schwingt?

Zu der ersten Frage ist zu bemerken, dass die angedeutete übliche Erklärung in diesem Falle ebensowenig ausreichend ist, wie bei allen anderen selbstunterbrechenden Apparaten. Wenn nur jene Wirkungen in Frage kämen, so müßte die vom Strome entwickelte Wärme dieselbe sein bei bewegter wie bei ruhender Spirale (vorausgesetzt natürlich, dass man die im ersteren Falle geringere Dauer des Stromes gebührend in Betracht zieht); dann wäre aber keine Energie für das Zustandekommen der Bewegung, bzw. für das mit unvermeidlichen Energieverlusten verknüpfte Fortdauern derselben verausgabt<sup>1)</sup>.

Entsprechend Ausführungen von Thomson wird dieser Widerspruch etwa in folgender Weise dargestellt: Bezeichnet  $AB$  (s. Fig.) die im Momente des Eintauchens wirksame elektrodynamische Kraft, welche ein bestimmtes Teilchen der Leitung nach oben zu ziehen sucht,  $AC$  den Weg, welchen dieses Teilchen bei dem tieferen Eintauchen der Spirale entgegen jener Kraft zurücklegt, so giebt das Rechteck  $ABDC$  die gegen die elektrodynamischen Kräfte geleistete Arbeit an.  $C$  bezeichnet den tiefsten Stand der Spirale,  $CDFE$  die Arbeit, welche die Stromkräfte beim Aufwärtsziehen des betr. Teilchens der Leitung leisten.  $AC$  ist unzweifelhaft gleich  $CE$ ; wenn also die Ordinaten constant sind, d. h. wenn der Strom constant ist, so leistet der Strom im ganzen keine Arbeit.

In Wirklichkeit steigt aber der Strom im Momente des Eintauchens nicht sofort auf seine volle Stärke, sondern er erreicht diesen Wert in Folge der Selbstinduktion erst etwas später und deshalb wird die auf das Teilchen wirkende Kraft etwa durch die Linie  $AB'$  dargestellt. Ebenso fällt der Strom, wenn wieder dieselbe Lage — entsprechend  $E$  — erreicht ist, nicht wieder sofort auf Null, sondern die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion, welche in dem Unterbrechungsfunken, sowie auch vorher noch in den adhärerenden Quecksilberteilchen einige Leitung findet, verlängert den Strom und damit den Wirkungsbereich der Kraft, etwa entsprechend der Linie  $FE'$ . So kommt es, dass die zweite Fläche die erstere an Inhalt übertrifft, also der Strom Arbeit leistet. Alle Umstände, welche die Selbstinduktion erhöhen, müssen eine Steigerung der vom Strome geleisteten Arbeit herbeiführen, so die Einführung eines Eisenkerns. Die Punkte  $B'$  und  $E'$  würden also noch weiter nach rechts gerückt.

Man kann sich aber leicht davon überzeugen, dass bei der Einführung eines Eisenkerns noch ein zweiter Umstand in Betracht kommt; eine bestimmte Stromstärke vorausgesetzt, wird auch im Ruhezustande (bei zu hoch stehendem Quecksilbernapfe) die gegenseitige Anziehung der Stromteile eine grössere, sobald man den Eisenkern einführt; die Spirale, welche sich beim Stromschlusse verkürzte, wird nach dem Einführen des Eisens wiederum ein Stück kürzer. Hierbei wirkt die Selbstinduktion offenbar nicht mit. Die Figur würde das in der Weise darstellen, dass die Ordinaten sämtlich wachsen, wodurch dann die Differenz der beiden Flächenräume ebenfalls wächst.

Wir haben hier den eigentümlichen, aber auch sonst zuweilen verwirklichten Fall, dass die Anwesenheit des Eisens ponderomotorische Kräfte und dadurch Bewegungen hervorbringt, an denen das Eisen selbst nicht teilnimmt; dasselbe dient lediglich als ein Medium, welches den Kraftlinienfluss fördert, und die unter (2) angegebene Wirkung würde auch eintreten, wenn man die ganze Spirale in eine magnetisierbare Flüssigkeit eintauchen könnte.

Eine ähnliche Erscheinung haben wir bei folgendem Experimente: Zwei Drahtrollen,

<sup>1)</sup> Vgl. die Bemerkungen von M. Koppe über den Wagner'schen Hammer, d. Zeitschr. II 232.

von denen jede etwa 15 kg schwer war, wurden so aufeinander gelegt, daß sie sozusagen eine Rolle bildeten, aber mit entgegengesetztem Strome beschickt. Die elektrodynamische Abstossung war durch einen nicht sehr bedeutenden Gewichtsverlust der oberen Rolle bemerkbar. Führt ich aber einen Eisenkern in den Hohlraum der beiden Rollen, so wurde die Abstossung so kräftig, daß die obere Rolle in die Höhe flog und frei schweben blieb.

### Bemerkungen zu der Formel für das Dopplersche Prinzip <sup>1)</sup>.

Von **H. Kuhfahl** in Landsberg a. W.

Herr **Husmann**<sup>2)</sup> bemängelt eine Formel für Berechnung der Tonhöhe nach dem Dopplerschen Prinzip und leitet eine andere ab. Er meint, daß stillschweigend die Voraussetzung gemacht sei, die Geschwindigkeit des Beobachters gegen die Schallgeschwindigkeit sei unendlich klein. Das ist indessen nicht der Fall, denn die angegriffene Formel gilt für den Fall, dass die Tonquelle bewegt wird, ohne dass der Beobachter seinen Platz wechselt, unbedingt, die von Herrn Husmann vorgeschlagene dagegen, wenn die Tonquelle feststeht und der Beobachter sich bewegt. Die Bewegung der Tonquelle verkürzt (oder verlängert) die Wellenlänge in der stillstehenden Luft auf der dem Beobachter zugewandten Seite für des Beobachters vermehrt (oder vermindert) die Zahl der das Ohr treffenden Schwingungen. Man findet beide Formeln entwickelt bei Wüllner und Müller-Pfaundler, Experimentalphysik; sie können indessen in eine zusammengezogen werden. Es sei  $n$  die Schwingungszahl,  $\lambda$  die Wellenlänge, wenn Tonquelle und Beobachter stille stehen,  $c$  die Schallgeschwindigkeit, so ist  $n\lambda = c$ . Bewegt sich die Tonquelle mit der Geschwindigkeit  $v$  auf den Beobachter zu, so wird jede Wellenlänge um die Strecke  $\frac{v}{n}$  verkürzt.

Die neue Wellenlänge ist also

$$\lambda_1 = \lambda - \frac{v}{n} = \lambda - \frac{v\lambda}{c} = \lambda \cdot \frac{c-v}{c} = \frac{c-v}{n},$$

die Schwingungszahl für den stillstehenden Beobachter

$$n_1 = \frac{c}{\lambda_1} = n \frac{c}{c-v}.$$

Bewegt sich nun ein zweiter Beobachter von dem ersten fort mit der Geschwindigkeit  $u$ , positiv gerechnet in derselben Richtung, wie sich die Tonquelle bewegt, so treffen sein Ohr  $\frac{u}{\lambda_1}$  Schwingungen weniger; die scheinbare Schwingungszahl ist also für ihn

$$n_2 = n_1 - \frac{u}{\lambda_1} = \frac{c-u}{\lambda_1} = n \frac{c-u}{c-v}.$$

Daher ist die scheinbare Schwingungszeit für ihn

$$T_2 = \frac{1}{n_2} = T \frac{c-v}{c-u},$$

wobei  $T = \frac{1}{n}$  die wirkliche Schwingungszeit der Tonquelle bedeutet.

Nähert sich also die Tonquelle dem stillstehenden Beobachter mit der Geschwindigkeit  $v = c$ , so ist  $u = 0$ , also  $T_2 = 0$ ,  $n = \infty$ , sämtliche Wellenberge kommen — theoretisch wenigstens — gleichzeitig an, ein Ton ist überhaupt nicht wahrnehmbar, man hört also nicht, wie a. a. O. angegeben, die nächst höhere Oktave.

### Einfacher Knallgas-Apparat.

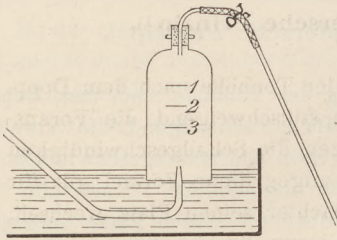
Von Dr. **W. Merkelbach** in Cassel.

Der unter dieser Überschrift in dieser Zeitschrift (IX 172) von F. Brandstätter angegebene Apparat veranlasst mich, einen noch einfacheren Apparat zu beschreiben, den ich zur Darstellung von Knallgas verwende.

<sup>1)</sup> Vergl. hierzu die Zuschrift von H. Husmann in diesem Heft S. 60.

<sup>2)</sup> Diese Zeitschr. IX 237.

Der Boden einer Glasflasche (s. Fig.) erhält mit Hilfe eines Glasbohrers, wie ihn Glasfabriken zur Herstellung der Löcher in den Glashähnen gebrauchen, oder mit einer abgebrochenen runden Feile eine Öffnung von etwa 5 mm Durchmesser. Die Mündung wird mit einem Kautschukpfropfen verschlossen, durch den eine rechtwinklig gebogene Röhre führt, an welche mit Hilfe eines Schlauches ein gerades Glasrohr befestigt ist. Der Schlauch kann durch einen Quetschhahn verschlossen werden. Dadurch, dass man in die umgekehrte



Flasche bei geschlossenem Quetschhahn durch die Bodenöffnung dreimal nach einander gleiche Mengen Wasser eingießt und den Stand desselben durch eingeritzte oder eingezätzte Striche bezeichnet, erhält man die Höhenmarken 1, 2, 3. Wenn man die so vorbereitete Flasche bei geöffnetem Quetschhahn ganz in Wasser taucht und den Hahn verschliesst, kann man sie gefüllt in senkrechter Stellung aus dem Wasser heben und auf die Brücke einer mit Wasser versehenen pneumatischen Wanne bringen, ohne dass Wasser aus der Flasche ausfließt. Mit Hilfe eines gebogenen, in eine weite Spitze ausgezogenen Glasrohrs, dessen Ende man durch die Bodenöffnung in die Flasche einführt, wird letztere mit 2 Teilen Wasserstoff und 1 Teil Sauerstoff gefüllt. Dann taucht man die Flasche in ein cylindrisches Glasgefäß, das mit so viel Wasser versehen ist, dass man die Flasche ganz darin untertauchen kann. Bei geöffnetem Quetschhahn wird das Gas durch das Glasrohr in Seifenwasser unter einem Drucke geleitet, der sich durch mehr oder weniger starkes Niederdrücken der Flasche beliebig regeln lässt.

#### Für die Praxis.

Versuche mit Glühlampen. Von Stanko Plivelić in Semlin (Kroatien). Es ist bekannt, daß in luftleeren Gefäßen (Radiometer, Kryophor, Thermometer u. s. w.) Leuchterscheinungen auftreten, wenn man sie mit einer Elektrode eines Funkeninduktors verbindet, auch wenn keine metallische Leitung in das Innere des Gefäßes stattfindet. Besonders verwendbar für den Versuch sind Glühlampen, deren Kohlenfaden durchgebrannt ist. Verbindet man die Metallhülse einer solchen Glühlampe mit einer Elektrode, so leuchtet das Innere mit schwachem bläulichen Lichte, bei dem es nicht möglich ist, ein mit gewöhnlicher Schrift gedrucktes Buch zu lesen. Taucht man aber die Glühlampe etwa bis zur Hälfte in ein ziemlich weites mit Wasser gefülltes Glasgefäß und verbindet die andere Elektrode mit dem Wasser, so leuchtet die Glühlampe mit solcher Stärke, dass man bequem dabei lesen kann. Der Versuch gelingt noch besser, wenn man dem Wasser einige Tropfen Schwefelsäure zufügt. Dagegen ist in Öl die Lichterscheinung schwächer als vorher. Taucht man die Glühlampe nicht genügend tief ein, so wird sie leicht zerbrochen. Dies geschieht namentlich, wenn man nur die Spitze in die Flüssigkeit eintaucht; nach dem Durchschlagen dringt in der Regel ein feiner Wasserstrahl in das Innere, gleichzeitig bildet sich eine kleine Flamme, die mit der Zunahme der Flüssigkeit im Innern allmählich wieder verschwindet. Besonders schön ist der Versuch, wenn das Wassergefäß rund ist, da dann ein vergrößertes Bild der Glühlampe sichtbar wird. Bei den Versuchen wird man nach dem Ausschalten des Funkeninduktors längere Zeit ein Klirren hören, welches durch die schnellen Schwingungen des Kohlenfadens entsteht. Diese Schwingungen werden durch die außerordentlich rasche Bewegung der in der Glühlampe gebliebenen Luft hervorgerufen.

Die Lichteffekte in den Glühlampen entstehen auch beim Funkenüberspringen z. B. einer Winterschen Elektriziermaschine auf die Metallhülse der Lampe, die man in der Hand hält. Nur muß man sich hüten, nach längerem Versuch die Metallhülse mit der andern Hand zu berühren, da man sonst einen ziemlich starken Schlag bekommt. Dieselbe physiologische Wirkung erhält man, wenn man statt der Glühlampe eine gewöhnliche Geisslersche Röhre nimmt.



## Berichte.

### 1. Apparate und Versuche.

**Himmelsglobus nebst Anleitung zu dessen Gebrauch.** Von Dr. Carl ROHRBACH. (Berlin, Dietrich Reimer 1896.) Dieser Globus ist eine wertvolle Ergänzung der bisherigen Unterrichtsmittel in der Astronomie und kann, bei seinem billigen Preise (M. 1,50), namentlich auch Schülern zur Anschaffung empfohlen werden. Er zeigt auf weißem Grunde die Sterne 1. bis 4. Größe, ferner den Äquator und die Deklinationskreise von 10 zu 10°, die Rektascensionskreise von 15 zu 15°, die Ekliptik und deren Pole. Die zu einem Sternbilde gehörigen Sterne sind (wie in Koppe's astronomischer Tafel) durch kürzeste Linien mit einander verbunden. Mit Hilfe einer beigegebenen Sternzeitafel läßt sich der Globus leicht für jeden Zeitpunkt einstellen, ferner läßt sich die Culminationszeit eines beliebigen Sternes, seine Auf- und Untergangszeit, sowie der Sonnenauf- und Untergang leicht bestimmen. Zweckmäßig wäre es, wenn sich auch beim Unterricht der Globus in den Händen der Schüler befände und gemeinsame Übungen daran vorgenommen werden könnten. Der Durchmesser beträgt 10½ cm. Für das Messinggestell des Globus ist etwas größere Festigkeit wünschenswert.

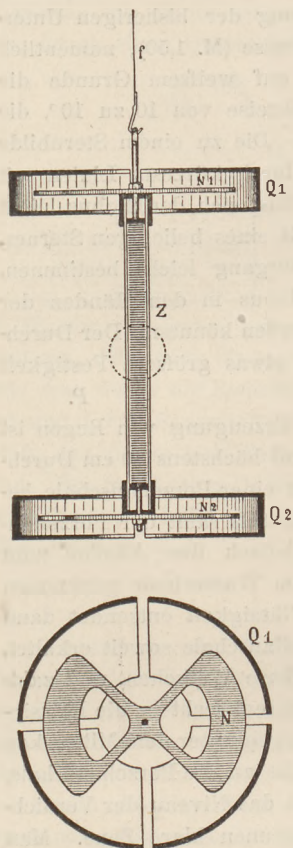
P.

**Künstliche Regenbildung.** Ein einfacher Versuch über die Erzeugung von Regen ist nach ERRERA folgender: Ein Becherglas von etwa 20 cm Höhe und höchstens 10 cm Durchmesser wird ungefähr zur Hälfte mit Alkohol von 92% gefüllt, mit einer Porzellanschale bedeckt und langsam auf dem Wasserbade erhitzt, bis das ganze Gefäß samt der Porzellanschale eine höhere Temperatur angenommen hat, ohne daß jedoch der Alkohol zum Sieden gelangt wäre. Dann wird die Vorrichtung vorsichtig vom Wasserbade genommen und zum Erkalten auf eine hölzerne Tischplatte gestellt. Die Flüssigkeit entsendet dann noch reichliche Dämpfe, aber nach einigen Minuten ist die Porzellanschale soweit erkaltet, daß die Dämpfe sich an ihr condensieren. Es bilden sich sichtbare Wölkchen, und zahlreiche kleine Regentropfen fallen mit ziemlicher Geschwindigkeit senkrecht in die Flüssigkeit hinab. Der Durchmesser dieser Tropfen beträgt nach Messungen unter dem Mikroskop 40 bis 50 Tausendstel mm. Im Anfang steigen die Dämpfe bis nahe an die Porzellanschale, ehe sie sich verdichten. Mit fortschreitender Abkühlung aber sinkt das Niveau der Verdichtungszone und man erblickt über der Wolkenschicht eine vollkommen klare Zone. Man erhält so ein Bild der Wassercirkulation in der Atmosphäre: Die verdampfende Flüssigkeit stellt den Ocean dar, oben herrscht blauer Himmel, darunter befinden sich Wolken, die sich in Regen auflösen, der wieder ins Meer fällt. Ersetzt man die Porzellanschale gleich im Anfang durch eine kalte, so entsteht stürmisches Wetter in dem Glase, bei ungleicher Abkühlung der Seitenwände entstehen Wirbel u. s. w. Ähnliche aber weniger einfache Vorrichtungen sind von Tyndall (1869) und von Aitken (1880/81) beschrieben worden. (*Prometheus*, No. 365, 1896.)

**Eine neue Form des Quadrantenelektrometers.** Thomsons Quadrantenelektrometer und Lippmanns Kapillarelektrometer genügen den Anforderungen, die man heutzutage an einen Apparat zur statischen Bestimmung kleiner elektrischer Potentialdifferenzen stellen muss, bei weitem nicht mehr. Das erstere gewährt trotz seiner umständlichen Handhabung nur eine sehr mässige Genauigkeit, während das letztere wegen seiner grossen Kapazität und schlechten Isolierung kaum als statisches Instrument zu betrachten ist. Verbesserungsfähig dürfte von beiden wohl nur das erstere sein, dessen geringe Empfindlichkeit dadurch bedingt ist, daß der Elektrometernadel eine elektrische Ladung von aussen zugeführt werden muß, die Nadel also unter dem Zwange einer kräftigen Richtkraft steht, sodafs nur verhältnismässig starke statische Kräfte sie zu bewegen vermögen. Diese Schwierigkeit kann man beseitigen, wenn man mit der Nadel zugleich einen kleinen Ladungsapparat an einen Quarz- oder Kokonfaden aufhängt, wodurch die Richtkraft der Nadel auf ihren kleinsten Wert herabgedrückt und die Empfindlichkeit des Instruments auf den höchsten Wert gesteigert wird. Ein geeigneter Ladungsapparat ist nun die Zambonische Säule. Bereits Boys (*Nature* Bd. 44, 1891) benutzte eine solche Säule als Elektrometernadel,

u. x.

aber ohne Erfolg. Die Säule schwebte in wagerechter Lage in der Quadrantenschachtel, war also mit sehr grosser Trägheit behaftet; ausserdem waren die Angaben des Instruments wegen der Veränderlichkeit der Säule ganz unzuverlässig. Es ist nun F. DOLEZALEK und



W. NERNST (*Zeitschr. f. Elektroch.* und *E. T. Z. XVII 471, 1896*), die von dem misslungenen Versuche Boys' keine Kenntnis hatten, gelungen, ein Instrument herzustellen, das die 200fache Empfindlichkeit des Boysschen besitzt und von den erwähnten Mängeln frei ist. Sie gaben dem Quadrantenelektrometer die durch nebenstehende Figur veranschaulichte Einrichtung. Ein kleines Zambonisches Säulchen *Z* hängt an einem Quarzfaden *f* und trägt an seinen Polen die Elektrometernadeln *N*<sub>1</sub> und *N*<sub>2</sub>, welche in den übereinander angeordneten Quadrantenschachteln *Q*<sub>1</sub> und *Q*<sub>2</sub> schweben. Dieser Apparat sitzt in einem metallischen Gehäuse. Die Ausschläge dieses sehr empfindlichen Elektrometers können mit Spiegel (in der Figur punktiert angedeutet) und Fernrohr oder auch mikroskopisch leicht genau gemessen oder in bekannter Weise objektiv sichtbar gemacht werden.

Die Hauptschwierigkeit lag in der Herstellung eines auch in kleinen Abmessungen genügend kräftigen Säulchens. Stellte man es in der bekannten Weise aus Gold- und Silberpapier her, so fiel es, wenn es die Nadeln mit einer genügend kräftigen und unveränderlichen Ladung versehen sollte, für einen Quarzfaden zu schwer aus; an einen Kokonfaden gehängt, zeigte es ein viel zu grosses Trägheitsmoment. DOLEZALEK und NERNST überzeugten sich nun durch Versuche, dass die langsame, unvollkommene und veränderliche Ladung einer Zambonischen Säule nicht nur, wie man gewöhnlich annimmt, in der schlechten Leitungsfähigkeit des Papiers, sondern zum grossen Teil in einer Polarisation der Säule begründet ist, und dass das veränderliche Element *S*<sub>n</sub>—*Cu* durch ein unveränderliches mit Depolarisator zu

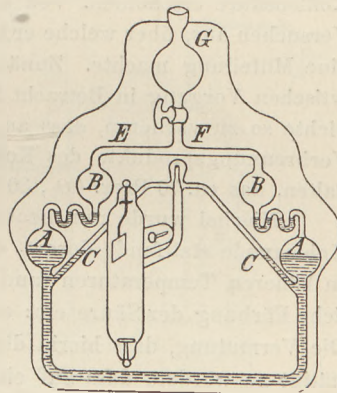
ersetzen sei. Sie fanden ein solches in der Zusammensetzung *S*<sub>n</sub>—*PO*<sub>2</sub>, da Bleisuperoxyd, wenn es elektrolytisch dargestellt ist, auch eine verhältnismässig gute metallische Leitfähigkeit besitzt, und stellten daher die Säule in der Weise her, dass sie unechtes Silberpapier auf der Papierseite mit einer dünnen Schicht elektrolytisch dargestellten Bleisuperoxydes überzogen und aus diesem die zum Aufbau der Säule dienenden Scheibchen ausschlugen. Eine so hergestellte Säule zeigte die 20—30fache Spannung einer aus Silber- und Goldpapier gefertigten von gleicher Plattenzahl, auch war die Spannung der Säule nur wenig von der Grösse der Blättchen abhängig. Dass diese Überlegenheit der neuen Säule auf der Anwendung eines kräftigen Depolarisators beruhte, zeigte sich dadurch, dass eine grosse Säule aus 20 000 Blättchen, die 3 mm lange Funken gab, nach der Erschöpfung durch eine Influenzmaschine wieder bis zur vollen Spannung geladen werden konnte. DOLEZALEK und NERNST verfertigten so ein Säulchen von 6,5 cm Länge und nur 4 mm Durchmesser, welches eine beständige Spannung von etwa 1400 V. zeigte. Es wurde mit zwei Aluminiumnadeln versehen und mittels eines Quarzfadens in ein Elektrometer von obiger Bauart eingehängt. Das Säulchen wog mit den beiden Nadeln und dem Ablesungsspiegel nur 3,5 g. Infolge der äusserst kleinen, von elastischen Nachwirkungen so gut wie freien Torsionskraft des Quarzfadens zeigte das Instrument eine ausserordentliche Empfindlichkeit. Sie betrug bei kreuzweiser Verbindung der oberen und unteren Quadrantenpaare und Anwendung eines Quarzfadens von 7 cm Länge bei 2 m Skalenabstand 60 mm commutierten Ausschlag für 0,01 V. Da die Zehntel der Skalenteile noch geschätzt werden können, so lassen sich mit dem Instrument noch 10<sup>-5</sup> V. messen. Die anfangs vorhandene Abhängigkeit der Empfindlichkeit vom Wassergehalt der Atmosphäre konnte durch dichten Abschluss

des die Säule umgebenden Glasröhrchens und Einsetzen eines Gefäßes mit Chlorecalcium in das Elektrometergehäuse völlig beseitigt werden. Es blieb nur noch eine kleine tägliche Schwankung der Empfindlichkeit, die wahrscheinlich durch Temperaturwechsel bedingt ist; sie betrug während einer vierwöchentlichen Beobachtungszeit im ungünstigsten Falle 5%. Ein stetiges Ansteigen oder Abfallen der Empfindlichkeit wurde nicht beobachtet, es hatte sich vielmehr infolge der guten Isolierung die Spannung der Säule während der einmonatlichen Benutzung nur ganz unwesentlich geändert. Die Messung einer Potentialdifferenz kann nach Aichung des Apparates mit einer Normalspannung durch direkten Ausschlag, der der Potentialdifferenz der Quadranten proportional ist, oder nach einer Nullmethode erfolgen. Da zwei Quadrantenpaare vorhanden sind, kann das Instrument auch als Differentialelektrometer benutzt werden. Durch Veränderung der relativen Lage einer der beiden Quadrantenschachteln zur zugehörigen Nadel kann man es leicht erreichen, dass die gleiche Potentialdifferenz an dem oberen und unteren Quadrantenpaar den gleichen Ausschlag giebt.

Das beschriebene Instrument hat vor den bisher vorhandenen Formen folgende Vorzüge: 1. Seine Empfindlichkeit übertrifft die ihrigen um das 100fache. 2. Seine Kapazität ist nur der  $10^5$  bis  $10^6$  Teil von der des Kapillarelektrometers. 3. Es ist jederzeit gebrauchsfertig, bedarf keiner vielzelligen Ladungsbatterie und ist nach der Arretierung bequem zu transportieren. Das Instrument ist in der Werkstatt des Herrn Mechaniker Bartels in Göttingen vorzüglich ausgeführt worden. Eine ausführliche Beschreibung der mechanischen Einzelheiten seines Baues und eines noch vereinfachten Apparates soll demnächst in der „Zeitschrift für Instrumentenkunde“ erfolgen.

H. - M.

**Eine neue Form der Quecksilberluftpumpe** zur Erhaltung des Vakuums bei Röntgenschen Versuchen beschreibt R. W. Wood in *Wied. Ann.* 58, 204, 1896. Die Pumpe besteht aus zwei Glaskugeln *AA*, die durch ein  $\Omega$ -Rohr *CC* mit einander verbunden sind; an letzterem ist, wie aus der Figur ersichtlich, die Röntgensche Röhre befestigt. Von den Kugeln *AA* gehen mehrfach gebogene Röhren zu den Kugeln *BB*, welche wieder durch das Rohr *E* mit einander verbunden sind. An diesem befindet sich bei *F* ein Ansatzrohr, das mit Hahn und kugeligem Gefäß *G* versehen ist. Hier wird das Quecksilber eingefüllt, bis die unteren Kugeln halb voll sind, sodann *G* mit einer Quecksilberluftpumpe verbunden und der ganze Apparat in etwas geneigter Lage möglichst gut evakuiert. Um einen Eintritt von Luft zu verhindern, muss sich in der Kugel über dem Hahn immer etwas Quecksilber befinden; bei der ursprünglichen Konstruktion wurde das Ansatzrohr *F* nach der Evakuierung abgeschmolzen. Der ganze Apparat ist auf einem um eine Achse drehbaren Holzgestell montiert. Wenn sich in der Röntgenschen Röhre durch längere Benutzung Gase gebildet haben, so können diese durch abwechselndes Heben und Senken der beiden Kugeln *AA* in den Raum *BB* getrieben werden, und das gute Vakuum ist bald wieder hergestellt. *Schk.*



## 2. Forschungen und Ergebnisse.

**Die Gewinnung elektrischer Energie aus der Kohle.** Das Problem, ein galvanisches Element zu construieren, welches Kohle verzehrt, ist ein ziemlich altes. Mit der Erfindung der Dynamomaschine trat es aus dem Vordergrund des Interesses eine Zeitlang zurück. Als indessen die Elektromotoren soweit verbessert wurden, dass die Umsetzung von Elektrizität in mechanische Arbeit mit einem Nutzeffekt von über 90 Proz. ermöglicht war, fragte man sich von neuem, ob es nicht ausführbar wäre, die Kohle direkt zur Erzeugung des Stromes zu benutzen, anstatt letzteren in den Dynamos mit Hilfe von Dampfmaschinen zu erzeugen, welche kaum 20 Proz. der Verbrennungswärme der Kohle ausnutzten. Auf dem Verbandstage der deutschen Elektrotechniker im Jahre 1894 charakterisierte W. Ostwald die Forderungen, denen das galvanische Element der Zukunft vom theoretischen Standpunkte aus

entsprechen müsse, folgendermaassen: „Unser künftiges Kohleelement wird das Oxydationsmittel an der Stelle, wo die zu verbrennende Kohle nicht ist, enthalten müssen, und zwar muss es entweder der Sauerstoff der Luft selbst sein oder ein in beliebiger Menge aus diesem zu erhaltendes Oxydationsmittel. Ein solches Element würde genau denselben chemischen Prozess zeigen, wie ein gewöhnlicher Ofen: auf der einen Seite wird Kohle eingeschüttet werden, auf der anderen müsste Sauerstoff zugeführt werden, und Kohlensäure würde als Produkt der Wechselwirkung entweichen. Nur muss noch ein passender Elektrolyt eingeschaltet werden, der den elektrischen Vorgang vermittelt. Dieser Elektrolyt würde nur als Zwischensubstanz wirken und keinen Verbrauch erfahren.“ Zum Teil hieran anknüpfend, theilte W. BORCHERS vor längerer Zeit seine Versuche mit (*Elektrotechn. Ztschr.* XV 639, 1894), bei welchen er Kupferchlorür als Elektrolyten verwandte. Lösungen von Kupferchlorür sind ein bekanntes Absorptionsmittel für Kohlenoxyd, ferner auch für Sauerstoff. Diese Eigenschaft benutzend, suchte BORCHERS eine Gaskette aus Sauerstoff (Luft) und Kohlenoxyd (Generatorgas) unter Vermittelung von Kupferchlorürlösung als Elektrolyten zu construieren. Diese Versuche wurden Gegenstand einer umfangreichen Controverse und haben zu einem praktischen Ergebnis bis jetzt nicht geführt. In ziemlich grosser Zahl liegen andere Versuche vor, die das Problem dadurch zu lösen suchen, dass geschmolzene Salze, beispielsweise Salpeter, zur Oxydation der Kohle verwendet werden. Hierher gehören u. a. die Versuche von BROOKS (*Elektrotechn. Ztschr.* 1894, S. 550) und KORDA (*C. R.* 120, S. 615). Anders verfahren BARTOLI und PAPASOGLI, welche Kohle und Platin in einer Lösung von Natriumhydroxyd gegenüberstellten; es ergaben sich indessen nur elektromotorische Kräfte von 0,2 bis 0,3 Volt. Dieselben Forscher hatten auch beobachtet, dass, wenn man zur Elektrolyse verdünnter Schwefelsäure Kohleelektroden verwendet, eine gewisse Anteilnahme der Kohleanode an dem elektrolytischen Vorgange stattfindet, indem daselbst neben Sauerstoff noch Kohlenoxyd und Kohlensäure erscheinen. Von dieser Beobachtung ging A. COEHN in seinen bemerkenswerten Versuchen aus, über welche er in der Sitzung des Berliner Elektrot. Vereines am 24. Febr. 1896 eine Mitteilung machte. Zunächst suchte Derselbe die bei dem soeben erwähnten elektrolytischen Vorgang in Betracht kommenden Faktoren: Concentration, Temperatur und Stromdichte so zu variieren, dass an der Anode überhaupt kein Sauerstoff mehr, sondern nur die Verbrennungsprodukte des Kohlenstoffes auftraten. Es gelang dabei, ein Gemisch zu erhalten, das ca. 70 Proz.  $CO_2$ , 30 Proz.  $CO$  und nur noch etwa 1 Proz.  $O$  enthielt.

Hierbei wurde nun beobachtet, dass in niederen Temperaturen eine Disgregation der Kohleanode stattfand, derart, dass sich suspendierte Kohleteilchen in der Säure zeigten. In höheren Temperaturen fand diese Disgregation nicht statt, dagegen trat jetzt eine deutliche Färbung der Säure ein: erst gelb, bei längerer Versuchsdauer dunkelrot und rotbraun. Die Vermutung, dass hierin die Kohle in Form von Ionen enthalten sei, schien dadurch bestätigt zu werden, dass auf einer die Kohlekathode ersetzenden Platinplatte sich die Kohle wie ein Metall niederschlug. Die äusserst glatt und dicht auftretende Kohle bildete erst eine dünne Schicht mit den Farben dünner Blättchen, später eine graphitisch erscheinende schwarze Masse. In der Flamme verflüchtigten sich selbst stärkere Niederschläge sofort und vollständig. Die Elementaranalyse ergab neben Kohlenstoff stets noch Wasserstoff; der Rest ergänzte — als Sauerstoff berechnet — den gefundenen  $H$  zu  $H_2O$ . Man hat es also in dem Niederschlag entweder mit einem leitenden Kohlehydrat oder mit einer Kohle zu thun, die Wasser, nach Analogie des Krystallwassers der Salze, mit Zähigkeit festhält. Wurde der schwache, noch die Farben dünner Blättchen zeigende Niederschlag mit concentrirter Schwefelsäure betropft, so entstand augenblicklich eine Auflockerung und Schwarzfärbung wie bei einem Kohlehydrat.

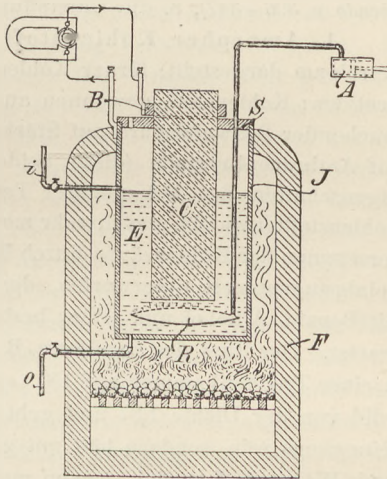
Bei dem Bestreben, diese Thatsachen zur Herstellung eines galvanischen Elementes zu benutzen, handelte es sich darum, der Kohle als der Lösungselektrode eine noch elektro-negativere Elektrode gegenüberzustellen. Als solche wurde Bleisuperoxyd in Form einer geladenen Accumulatorplatte verwendet. Das so construierte Element liefert einen starken und constanten Strom; wird es durch einen äusseren Widerstand von 100 Ohm geschlossen,

so zeigt es eine Spannung von 1,03 Volt. — Die Frage, ob den Vorgängen an der Kohle ein Anteil an der Stromentwicklung zukommt, sucht A. COEHN folgendermassen zu entscheiden. Platin, in Schwefelsäure einer Bleisuperoxydelektrode gegenübergestellt, wirkt zunächst im selben Sinne ein wie die Kohle; zu einer sichtbaren Sauerstoffentwicklung kommt es jedoch hierbei nicht, vielmehr wird die Wirkung auf das Galvanometer verschwindend klein, sobald das Platin mit Sauerstoff beladen ist. Wirkte also die Kohle gleich dem Platin nur als unlösliche Anode, so müsste mit wachsender Sauerstoffbeladung der Vorgang ein Ende erreichen. Dies ist jedoch nicht der Fall, vielmehr findet so lange der Stromübergang statt, bis die Accumulatorplatte entladen ist.

Die Verwendung von Bleisuperoxyd ist der schwache Punkt in der COEHN'schen Anordnung, und das von ihm aufgestellte Ergebnis: „Es lässt sich ein Element herstellen, dessen Lösungselektrode aus Kohle besteht“ ist bei den gewählten Bedingungen vorläufig von keiner praktischen Bedeutung. Um so beachtenswerter erscheinen die beiden anderen Ergebnisse, dass es möglich ist, auf elektrolytischem Wege eine Lösung von Kohle herzustellen und dass aus einer solchen Lösung Kohle als Kation abscheidbar ist (*Elektrotechn. Ztschr.* 1896, 12, S. 190 u. 11, S. 167).

Nach einer Zuschrift von D. TOMMASI in der *Elektrot. Ztschr.*, Heft 42, 15. Okt. 1896, S. 653, ist übrigens die vorstehende Combination eines Kohlenelementes unter Verwendung von Bleisuperoxyd von Diesem bereits im Juni 1884 der Pariser Akademie vorgelegt worden. Er citiert die Beschreibung, welche er in seinen „*Traité des Piles*“ (Carré, Paris, S. 83) von einem „Element mit Kohlelektrode (ohne Metalle) von D. Tommasi und Radiguet“ gegeben hat und fügt auch die ebendasselbst aufgestellte Theorie dieses Elementes bei.

Schliesslich sei noch eines Patentes gedacht, das W. JACQUES in Newton, Mass., N.-A. auf die nachfolgende Konstruktion erteilt worden ist. Ein Kohlenzylinder *C* (s. Fig.) taucht in eine Ätznatronlösung *E*. Der Brause *R* wird durch die Pumpe *A* ständig Luft zugeführt, die sich gleichmässig im Elektrolyten verteilt. Die Lösung *E* befindet sich in einem, den positiven Pol bildenden eisernen Topf *J*, an dem zwei Röhren *i* und *o* zum Zuführen und Ablassen der Flüssigkeit angebracht sind. Der Kohlenzylinder, an dem die negative Polklemme *B* befestigt ist, wird von dem isolierenden Deckel *S* getragen. Diese ganze Vorrichtung ist von einem Ofen *F* umgeben, in welchem ein Feuer unterhalten wird, das den Elektrolyten auf etwa 400 bis 500° bringt. — Die bei dem Prozess auftretende Kohlensäure entweicht zum grossen Teil, verbindet sich aber auch mit dem Ätznatron, wodurch der Elektrolyt allmählich entkräftet wird und erneuert werden muss. Man kann indessen die Lebensdauer desselben durch einen geringen Zusatz von Magnesiumoxyd erhöhen, da sich die Kohlensäure lieber mit diesem, als mit dem Ätznatron verbinden soll, und das gebildete kohlensaure Magnesium sich schnell in Magnesiumoxyd und Kohlensäure zersetzt, welche letztere entweicht. Hiernach würde also das Magnesiumoxyd den wichtigen Zweck erfüllen, die Kohlensäure durch den Elektrolyten zu befördern. — Der so erzeugte Strom soll stark, aber von geringer Spannung sein (*Elektrotechn. Ztschr.* 1896, S. 259). O.



**Der Lichtbogen zwischen Quecksilberelektroden.** Von L. ARONS (*Wied. Ann.* 58, 73; 1896). Ein  $\Omega$ -förmiges Glasrohr von 1,5 cm Durchmesser hatte einen kurzen und einen langen Schenkel; der kurze enthielt die unbewegliche Quecksilberelektrode, der andere, etwa 1 m lange, war unten durch ein Seitenrohr mit einem Gummischlauch verbunden, welcher in ein weiteres, mit Quecksilber gefülltes Gefäss führte; durch Heben und Senken dieses Schlauches liess sich das Niveau der zweiten Quecksilberelektrode verändern. Die Stromzufuhr geschah durch Platindrähte. Ein an der Biegungsstelle des  $\Omega$ -Rohres eingefügtes Ansatzrohr com-

munizierte mit der Luftpumpe. Das  $\Pi$ -Rohr wurde in ein eng anschliessendes Gefäss gestellt, welches als Wasserbad diente; das Wasser in demselben kam durch die Hitze des Lichtbogens sehr bald ins Sieden. Bei 105–110 Volt der Stromquelle bildete sich zwischen den Quecksilberelektroden ein glänzender Lichtbogen, der durch Herablassen der beweglichen Elektrode bis über 70 cm lang gemacht werden konnte und einen prächtigen Anblick gewährte. Bei 6,5–6,6 Amp. Stromstärke betrug die Spannungszunahme zwischen den Elektroden für eine Verlängerung des Bogens um 60 cm 40,3 Volt, mithin entfällt auf 1 cm Bogenlänge eine Spannung von 0,67 Volt. Bei steigender Temperatur des Wasserbades nahm jedoch das Potentialgefälle pro cm ab.

Der Lichtbogen hatte seine höchste Temperatur unmittelbar über der Anode, von hier aus nahm sie gegen die Kathode langsam ab. Die Temperatur der inneren Röhrenwand schien nur wenig von der der Umgebung verschieden zu sein; selbst ohne Wasserkühlung wurden die Glaswände nie sehr stark erhitzt. Eigentümliche Erscheinungen beobachtete ARONS, als er die Entladungen mit hohen Spannungen vor sich gehen liess, während die Quecksilberelektroden in einem Heizkasten auf hohe Temperaturen gebracht wurden. Bei 180° trat zunächst eine Glimmentladung ein, die bei 210° mit einer bogenlichtartigen Entladung abwechselte, welche bei noch höheren Temperaturen immer mehr überwog. Bei der Abkühlung traten dieselben Erscheinungen in umgekehrter Reihenfolge auf. — Die Entladung des Quecksilberbogens ist discontinuierlich, wie durch das andauernde Tönen eines Telephons, das mit einem neben dem Lichtbogen stehenden Condensator verbunden war, bewiesen wurde.

Schk.

**Die Abarten des Kohlenstoffs.** VON H. MOISSAN. In drei grösseren Arbeiten, „Untersuchungen über die verschiedenen Abarten des Kohlenstoffs“, behandelt H. MOISSAN 1. den amorphen Kohlenstoff (*Ann. de chim. et de phys.* VII. Sér. Juillet 1896, T. VIII, p. 289), 2. den Graphit (*ebenda* p. 306–347), 3. die Darstellung des Diamanten (*ebenda* Août 1896, T. VIII, p. 466–558).

1. Amorpher Kohlenstoff. Zur Untersuchung gelangten Russ des Handels, aus Petroleum dargestellt; ferner Kohlenstoff, dargestellt durch unvollständige Verbrennung von Acetylen; Kohlenstoff, gewonnen aus der Explosion von Acetylen; desgl. aus der Einwirkung rauchender Schwefelsäure auf Stärke; aus der Einwirkung concentrirter Eisenchloridlösung auf Anthracenkrystalle (diese beiden Darstellungsarten wurden besonders gewählt, um die Eigenschaften des bei niedriger Temperatur gebildeten Kohlenstoffs zu untersuchen); aus Kohlenstofftetrajodid, das in sehr mannigfaltiger Weise behandelt wurde; schliesslich aus der Zersetzung der Kohlensäure durch Bor. Die so gewonnenen Kohlenstoffproben wurden einem Reinigungsprozess unterworfen, der in den meisten Fällen in einer successiven Behandlung mit Benzin, Alkohol und Äther bestand, und dann einem einfachen Trockenverfahren ausgesetzt. Der Russ des Handels z. B. wurde, nach der Behandlung mit den genannten Stoffen, in einer Trockenkammer auf 150° erhitzt; der so präparierte Kohlenstoff schwimmt auf Allyljodid von der Dichte 1,87 und geht in Propyljodid von der Dichte 1,78 unter. Er ist jedoch keineswegs rein, sondern hält mit grösster Energie kleine Mengen von Kohlenwasserstoffen sowie Wasserstoff zurück, wovon man ihn nicht befreien kann; auch etwas Stickstoff schliesst er ein. Seine Analyse ergab: Aschenbestandteile 0,22, Kohlenstoff 93,21, Wasserstoff 1,04; in einem anderen Falle bezüglich 0,34; 92,86; 1,20. — Diese Gegenwart fremder Stoffe, besonders von Wasserstoff, war seit langem bekannt, MOISSAN citirt Berthelots Ausspruch, dass „die Kohle nicht einem wirklich einfachen Körper verglichen werden könne, sondern einem ausserordentlich verdichteten und an Wasserstoff mehr und mehr verarmten Kohlenwasserstoff entspreche. Der reine Kohlenstoff ist ein Grenzzustand, der auch unter dem Einfluss der höchstmöglichen Temperatur sich kaum verwirklichen lässt. Sein Zustand stelle zugleich die äusserste Grenze molekularer Verdichtungen dar, d. h. er sei so weit als möglich entfernt von dem des eigentlichen Elementes Kohlenstoff, wenn dieses in ein vollkommenes Gas, ähnlich dem Wasserstoff, umgewandelt würde. MOISSAN spricht demgemäss von der „Polymerisation“ des Kohlenstoffs und verfolgt die schrittweise erfolgende Polymerisation in mehreren Versuchen. So wurde die erste Probe des gereinigten, aus Russ gewonnenen

Kohlenstoffs durch eine Mischung von 100 g Schwefelsäure und 16 g doppelchromsaures Kalium bereits bei 60° unter Entwicklung von Kohlensäure angegriffen und entzündete sich in Sauerstoff bei 371°. Wurde die Probe 5 Min. in einem Porzellantiegel bei 910° calciniert, so wurde sie von der genannten Mischung erst bei 90° angegriffen und fing in Sauerstoff erst bei 440° Feuer. Für eine weitere Probe, nach 3stündiger Calcination bei derselben Temperatur, sind die bezüglichen Daten 95° und 476° (die Dichte betrug in diesem Falle bereits 1,87, während die Dichte des reinsten, aber nicht calcinierten Russes 1,76 ist); nach 6stündiger Behandlung: 99° und 506°. Die unter dem Einfluss der Wärme hervorgerufene Polymerisation des Kohlenstoffs ist also für eine bestimmte Temperatur keine augenblickliche, sondern wird erst mit der Zeit mehr und mehr vollständig. In den Schlussätzen betont MOISSAN, dass seine Versuche zeigten, wie schwierig es sei, reinen Kohlenstoff zu erhalten. Der Kohlenstoff schliesst immer eine gewisse Menge einfacher Stoffe ein: H, J, Pb, Zn u. s. w., je nach den Körpern, mit denen er sich bei seiner Entstehung zusammenbefand. Will man ihn von seinen Verunreinigungen befreien, muss man ihn erhitzen, d. h. ihn polymerisieren. Aller amorphe Kohlenstoff hält auch Wasser mit grosser Energie zurück. Er besitzt, auf welche Weise er auch entstanden sein mag, niemals Härte, und er ist immer gestaltlos.

2. Graphit. Als Graphit wird nach Berthelot definiert „jede Abart des Kohlenstoffs, welche fähig ist, bei der Oxydation ein graphitisches Oxyd zu liefern“. Letzteres wird, nach Brodie, erhalten, indem man den Graphit in einer Mischung von chlorsaurem Kalium und Salpetersäure erwärmt; hierbei bildet sich eine meistens krystallinische Masse, die die Eigenschaft besitzt, sich beim Erwärmen zu entzünden und zwar unter beträchtlicher Volumvermehrung und Hinterlassung eines schwarzen Rückstandes von sogenanntem pyrographitischem Oxyd. MOISSAN zog folgende Graphitarten in den Kreis seiner Untersuchungen: 1. Natürliche Graphite, auch die in Meteoreisen gefundenen, 2. die durch einfache Temperaturerhöhung im elektrischen Lichtbogen gewonnenen, 3. die durch Auflösen von Kohlenstoff in geschmolzenen Metallen und nachherige Abscheidung erhaltenen Graphite. Die Resultate fasst MOISSAN etwa folgendermassen zusammen: Der Graphit zeigt gewöhnlich krystallinische Form, besitzt die Dichte 2,2 und liefert, mit der obenerwähnten Mischung behandelt, das wohlcharakterisierte graphitische Oxyd. Man findet die Graphite in der Erdrinde und in gewissen Meteoriten. Nach Luzzi kann man sie in zwei Gruppen teilen, je nachdem sie bei gelindem Erwärmen und Gegenwart von einer Spur Salpetersäure sich aufblähen oder nicht. In einem amerikanischen Pegmatit (einer Varietät des Granits) fand sich ein Graphit, der sich enorm aufzublähen vermochte: bei Anwendung von 6 g in einem Ballon von 500 ccm Inhalt vermehrte sich bei Gegenwart von 3 g chlorsauren Kalis und 20 ccm Salpetersäure nach mehreren Stunden sein Volumen derartig, dass das Gefäss zur Hälfte ausgefüllt wurde; bei der zweiten Einwirkung fuhr er mit Aufblähen fort, so dass das Gefäss gewechselt werden musste (der Fundort dieses Graphits war nicht angebbar). Manche natürlichen Graphite, so diejenigen von Borrowdale (Cumberland), sind reich an eingeschlossenen Gasen, die sie mit grosser Energie festhalten; 1 ccm dieses Graphits bis zur Rotglut im Vakuum erhitzt, lieferte 4,1 ccm Gas, bestehend aus Luft (0,7 ccm), Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen. Auch die aus flüssigen Metallen abgeschiedenen Graphite sind leicht schwellbar. Derartiger Graphit lässt sich mit Hülfe des elektrischen Ofens besonders leicht herstellen, wenn man Platin in einem Kohlentiegel einige Zeit im Sieden erhält. Das Aufblähen dieser nach der Abscheidung gebildeten Varietät muss einer heftigen Gasentwicklung zugeschrieben werden. Die im elektrischen Ofen durch einfache Temperaturerhöhung erhaltenen Graphite dagegen sind nicht schwellbar. Jacquelin zeigte zuerst, dass der im elektrischen Lichtbogen erhitzte Diamant sich in Graphit umwandelt. Ferner ändern sich die Enden der Kohlen-Elektrode allmählich in kompakten Graphit ohne Krystallisation um, der beim Behandeln mit concentrirter Salpetersäure ein gelbes graphitisches Oxyd liefert. Auch aus Zuckerkohle, welche im verschlossenen Tiegel 10 Minuten lang der Einwirkung des elektrischen Lichtbogens aus einem Strom von 350 Ampère und 70 Volt ausgesetzt wurde, liess

sich Graphit gewinnen; desgleichen aus der Holzkohle. Ersterer ergab bei der Analyse 99,87 C, 0,032 H, 0,110 Asche. Die künstlichen Graphite können amorph oder krystallisiert sein. Ihre Dichte schwankt zwischen 2 und 2,5; ihre Entzündungstemperatur für Sauerstoff liegt bei etwa 660°; wenn sie rein sind, schliessen sie keinen Wasserstoff ein. Ein im elektrischen Ofen hergestellter Graphit liefert nach vorheriger Erhitzung im Vakuum bei seiner Verbrennung in Sauerstoff kein Wasser mehr. Dagegen giebt das gewöhnliche Gusseisen mit Säure behandelte wasserstoff- und sauerstoffhaltige Gemische, die bei der Temperatur der dunkeln Rotglut unzerstörbar sind. Die Widerstandsfähigkeit eines im elektrischen Ofen dargestellten Graphits gegen Sauerstoff wächst mit der Temperatur, der man ihn unterworfen hatte. Leicht angreifbarer Graphit, z. B. der von Ceylon, kann durch starkes Erhitzen schwer angreifbar gemacht werden. Diese Thatsache beweist das Vorhandensein mehrerer Varietäten des Graphits, ähnlich denen des amorphen Kohlenstoffes.

3. Diamant. In den „Voruntersuchungen“ behandelt MOISSAN u. a. die Bedingungen der Verbrennung des Diamanten. Auf die Temperatur, bei welcher die — seit Lavoisier bekannte — Verbrennung stattfindet, wurde bisher wenig Wert gelegt. MOISSAN findet, dass die nach Fundort und Farbe verschiedenen Varietäten bei beträchtlich verschiedenen Temperaturen verbrennen. So begann ein durchsichtiger Diamant aus Brasilien bei einer Temperatur von 760 bis 770° zu brennen; ein anderer vom Kap bei 790°, mit Flamme aber erst bei 840°. Genau ebenso verhielt sich ein weiterer aus Brasilien. Ein sehr hartes Stück fing erst bei 800° an zu brennen und entflammte sich bei 875°. — Sodann wurde Diamant in seinem Verhalten gegenüber der Einwirkung verschiedener Körper von neuem untersucht. In Wasserstoffgas bei 1200° erhitzt, veränderte der Diamant vom Kap sein Gewicht nicht; zuweilen leidet die Farbe und Durchsichtigkeit ein wenig. Im Fluorstrom bis zur Rotglut erhitzt, bleibt der Diamant unverändert, während Graphit bereits bei dunkler Rotglut, und Russ bei gewöhnlicher Temperatur angegriffen wird. Ebenso hatten trockenes Chlorgas und Fluorwasserstoffgas bei 1100 bis 1200° keinen Einfluss. Schwefeldampf wirkt nur schwer auf den Diamanten ein, etwa bei 1000°; mit schwarzem Diamant vollzieht sich die Umwandlung zu Schwefelkohlenstoff etwas leichter und schon bei 900°. Natriumdampf wirkt bei 600° nicht ein. Eisen, flüssig gemacht, verbindet sich lebhaft mit dem Diamanten und setzt ihn beim Abkühlen als Graphit ab; Platin löst ihn mit besonderer Schnelligkeit. Die Sulfate der Alkalien greifen im geschmolzenen Zustande den Diamanten nicht an. Bezüglich der schon von Anderen untersuchten Einwirkung oxydierender Körper erinnert MOISSAN daran, dass Berthelot die Trennung der verschiedenen Kohlenstoffarten mittels chlorsauren Kalis und Salpetersäure zeigte, während Ditte nachwies, dass wasserfreie Jodsäure bei 260° alle Kohlenstoffarten mit Ausnahme des Diamanten angreift. Geschmolzenes Kaliumchlorat, desgleichen Salpeter greifen, wie bereits erwähnt, wohl die anderen Kohlen, aber nicht den Diamanten an. Hält man aber einen Diamanten in geschmolzenes kohlen-saures Kalium oder Natrium von der Temperatur 1000 bis 1200°, so verschwindet er ganz plötzlich unter Bildung von Kohlenoxyd. MOISSAN vermutet, dass die auffällige Erscheinung mit einer Entbindung von eingeschlossenem Wasserstoff zusammenhänge, doch führte ein weiterer, mit Analyse verbundener Versuch zu keinem Ergebnis; MOISSAN wünscht aber, dass der Versuch mit grösseren Mengen wieder aufgenommen werden möchte. — Schliesslich werden die Resultate von 11 Aschenanalysen mitgeteilt. Danach enthalten alle Proben von dem berühmten Vorkommen am Kap bemerkenswerte Mengen von Eisen. (Die dortigen, seit kaum 30 Jahren bekannten Fundgruben liefern nicht nur zur Zeit die meisten Diamanten, sondern haben in dem genannten kurzen Zeitraume überhaupt schon mehr geliefert, als alle Diamantfundorte der Erde zusammengenommen jemals. Man vergl. den besonders das geologische Vorkommen berücksichtigenden Aufsatz über den Diamanten von R. Scheibe in der Naturw. Wochenschr. XI, No. 37 u. 38.) Das Eisen bildet sogar den grösseren Teil der Asche und wurde auch in den Diamanten von Brasilien (mit einer einzigen Ausnahme) wiedergefunden. In allen Proben wurde ferner Si und in den meisten die Gegenwart von Ca nachgewiesen. Beispielsweise ergab die Analyse eines brasilianischen Diamanten 2,2% Fe.



1,4 Si, 0,6 Ca und Spuren von Mg. — Von den mikroskopischen Diamanten aus der „Blauen Erde“ vom Kap und aus dem diamantenführenden Sande Brasiliens stellte MOISSAN fest, dass dieselben teils durchsichtig, teils schwarz und meist abgerundet sind; zuweilen gut krystallinisch, zuweilen aber auch in der Form flüssiger Tropfen auftreten. Ihre Dichte schwankt. Hierauf legt MOISSAN besonderes Gewicht, ebenso auf die Thatsache, dass in der genannten Erde auch Graphit, sogar in relativ grösserer Menge, sich vorfindet. — Die Existenz von Diamant in Meteoriten wurde zuerst von Friedel in dem vielgenannten Meteoreisen von Cañon Diablo (Arizona) nachgewiesen (*Compt. rend. t. CXV, p. 1037, 1892*). MOISSAN unterwarf mehrere Proben einer erneuten Untersuchung, besonders um die Arten des vorhandenen Kohlenstoffs festzustellen. Das wichtigste untersuchte Fragment enthielt einen durchsichtigen Diamanten von der Grösse 0,7 mm zu 0,3 mm, ferner schwarze Diamanten und eine Kohle von geringerer Dichte, desgleichen Graphit. Auch bezüglich des Meteoreisens von Novy-Urej (Gouvernement Penza, Russland), gefallen am 23. Aug. 1886, werden die Untersuchungen von Jeroseïeff und Latchinof bestätigt, wonach dieser Meteorit schwarzen Diamant enthält. — Bezüglich der oben erwähnten Umwandlung von Diamant in Graphit (Jacquelin, *Ann. d. ch., 3. sér., t. 20, 1847*) führt MOISSAN näher aus, wie man den Versuch vor einem grösseren Auditorium anstellen könne. Übrigens gelang ihm auch die Umwandlung mit Leichtigkeit, als er die positive Elektrode in einem kleinen Kohlentiegel, der zur Aufnahme des Diamanten diente, endigen liess; es genügte der Lichtbogen eines Stromes von 40 Amp. und 30 Volt.

Durch verschiedene der im vorstehenden berührten Thatsachen, insbesondere durch das Vorkommen des Diamanten im Innern von Meteoriten, wurde MOISSAN bekanntlich schon vor Jahren darauf geführt, die künstliche Darstellung des Diamanten zu versuchen, und zwar unter Anwendung grossen Druckes. Zur Erzielung des letzteren wurde der Umstand benutzt, dass kohlenstoffhaltiges Eisen bei seinem Übergange aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand sein Volumen vermehrt. Die Methode, der er seine berühmten Resultate verdankt, ist im ganzen die frühere, in dieser Zeitschrift VI 260 beschriebene, und es handelt sich an dieser Stelle hauptsächlich um die Wiedergabe einiger spezieller Daten und neuerlicher Abänderungen der Methode. Der — mit innerem Schraubengang versehene — Eisencylinder, in dem die Zuckerkohle mittels einer dem erwähnten Schraubengang entsprechenden eisernen Schraubenspindel zusammengepresst wurde, hatte eine Höhe von nur 4 cm, einen inneren Durchmesser von 1 cm und eine Dicke von 8–10 mm. Zur Vornahme des Versuches werden im elektrischen Ofen etwa 50–200 g weiches Eisen geschmolzen — eine Operation, die nur wenige Minuten erfordert —, und in dieses Bad der die Kohle enthaltende Cylinder schnell eingetaucht. Danach wird das Ganze herausgenommen und, behufs Bildung einer widerstandsfähigen Kruste, zuerst in Wasser, dann langsam an der Luft gekühlt. Es wurden nach dieser Methode von neuem schwarze und durchsichtige Diamanten gewonnen; einer der letzteren maass 0,38 mm; im Sauerstoff verbrannte er bei 900°. Bei einer anderen Versuchsreihe benutzte MOISSAN zur Abkühlung Eisenfeile statt des Wassers. 200 g Gusseisen wurden im elektrischen Ofen mit Kohlenstoff gesättigt und in eine mit einer Vertiefung versehene Masse Eisenfeile geschüttet und mit weiterer Eisenfeile im Überschuss bedeckt. Das Gusseisen umgiebt sich mit geschmolzenem Eisen und das Ganze wird, dank der Leitungsfähigkeit der Eisenfeile schnell gekühlt. Nach der Einwirkung kochender Salzsäure (behufs Entfernung des Eisens) und nach Behandlung mit Kaliumchlorat und Salpetersäure, und schliesslich mit Fluorwasserstoffsäure und siedender Schwefelsäure blieben kleine Diamanten zurück, welche in ihrem Innern winzige schwarze Punkte enthielten. Solche Diamanten kommen auch natürlich vor und heissen bei den Juwelieren Krötendiamanten: sie besitzen die Dichte 3,5; es ist anzunehmen, dass bei ihrer Bildung ein geringerer Druck wirkte. Als MOISSAN weiterhin zur noch besseren Abkühlung Blei verwandte, erhielt er besonders durchsichtige Diamanten; einer derselben, mit dem Durchmesser 0,57 mm, hatte die Form eines Dreiecks mit abgerundeten Ecken. Bei einer weiteren Methode liess MOISSAN das im elektrischen Ofen vorbereitete Metall langsam in ein darunterstehendes Gefäss fließen, so dass

die einzelnen Massen kugelige Gestalt annahmen; in dem Gefäß war eine 10 cm dicke Schicht Quecksilber, über welchem eine nochmal so dicke Schicht Wasser stand. Durch die erlangte Geschwindigkeit fielen die erwähnten Kugeln zunächst bis auf den Grund des Quecksilbers. Der Versuch wurde übrigens unter Benutzung eines Brunnenschachtes von 32 m Tiefe wiederholt. Auf diese Weise wurden ebenfalls schwarze und durchsichtige Diamanten gewonnen. Auch mit Silber wurden Versuche angestellt, da karburiertes Silber ebenso wie Gusseisen eine Volumvergrößerung bei der Abkühlung erfährt; es wurden jedoch nur schwarze Diamanten von der Dichte 2,5—3,5 erzielt. MOISSAN misst diesen Versuchen insofern Wert bei, als sie zeigen, dass es eine ganze Reihe von Kohlen giebt, von der Dichte des Graphits bis zu der des Diamanten. — Mit Wismuth, dessen starke Volumvergrößerung bei der Abkühlung bekannt ist, führten die Versuche zu keinem Resultat; vielmehr trat, als die Masse zur Abkühlung in Wasser geworfen wurde, eine heftige Explosion ein.

Um die Identität der künstlich gewonnenen Diamanten mit den natürlichen zu erweisen, wurden mehrere Verbrennungen unter Berücksichtigung der Gewichte vorgenommen. In einem Versuche wurden nur durchsichtige, aus Eisen erhaltene Diamanten verwendet. 80 derselben gaben erst ein Gewicht von 0,0155 g; 0,013 g wurden verbrannt und lieferten 0,0496 g Kohlensäure, statt 0,0476 g nach der Theorie. Der Rückstand von 0,0025 g zeigte manche Eigentümlichkeiten. Er bestand, unter dem Mikroskop betrachtet, aus abgerundeten Körnchen von einer Dichte, höher als 3,5; dieselben ritzten den Rubin; sie widerstanden der Einwirkung des Sauerstoffs bei 1000°, verschwanden aber gänzlich bei der Behandlung mit siedender Schwefelsäure. MOISSAN möchte sie vorläufig für eine besondere Varietät des Siliciums oder für eine Siliciumverbindung halten. Eine weitere Analyse gab aus 0,0057 g durchsichtiger Diamanten 0,0205 g Kohlensäure, statt nach der Theorie 0,0209 g, dagegen nur unwägbare Spuren von Asche.

In den bemerkenswerten Schlussfolgerungen weist MOISSAN auf die Identität der künstlich gewonnenen Diamanten mit den natürlichen hin. Er vergleicht ferner den Kohlenstoff mit dem Arsen; beide gehen sowohl im luftleeren Raum wie unter gewöhnlichem Druck vom festen gleich in den gasförmigen Zustand über. Wenn der gasförmige Kohlenstoff in den festen Zustand zurückkehrt, liefert er immer Graphit. — Unter gewöhnlichem Druck wird eine gewisse Varietät des amorphen Kohlenstoffs bei genügend erhöhter Temperatur polymerisiert und erreicht einen festen krystallinischen Zustand, in dem seine Eigenschaften beständig werden. Dies ist der Graphit. Bei derselben Temperatur nimmt Diamant, ohne flüssig zu werden, die Graphitform an. Nichtsdestoweniger, muss man annehmen, kann Kohlenstoff in den flüssigen Zustand übergeführt werden, allerdings nur bei sehr starken Drucken. In diesem Fall vermehrt sich seine Dichte und man erhält Diamant. So wurden bei den Versuchen kleine Diamanten vom Aussehen eines verlängerten Tropfens erhalten, wie sie zuweilen in der Natur, ohne eine Spur von Krystallisation, vorkommen. Der Kohlenstoff kann also flüssig werden, er wird dann dichter und durchsichtig und kann dann entweder krystallinisch oder amorph erstarren. Eine Unreinigkeit, eine Spur eines regulär krystallisierenden Körpers kann mit Leichtigkeit eine reguläre Krystallform oder ein Aggregat gestörter Krystalle herbeiführen. Ist der Druck ein wenig schwächer, so ist der Diamant untermischt mit Kohlenstoffteilchen, welche ihre schwarze Farbe beibehalten (Krötendiamanten). Wird endlich der Druck noch schwächer, erhält man nur mehr oder weniger schlecht krystallisierten Diamanten, Kohlenstoff, dessen Dichte geringer ist als die des Diamanten. Alle diese verschiedenen Varietäten: reguläre Oktaeder, Würfel, Stücke unbestimmter Krystallisation, längsspaltende Krystalle, Tropfen, Krötendiamanten, Kohlen — wurden bei den Untersuchungen thatsächlich erhalten. Sie rechtfertigen die theoretischen Ansichten über das Flüssigwerden des Kohlenstoffs.

O.

#### 4. Unterricht und Methode.

**Didaktik und Methodik des Chemie-Unterrichts.** Von Dr. RUDOLF ARENDT, Professor an der öffentlichen Handelslehranstalt in Leipzig und Redakteur des Chemischen Centralblattes.

München 1895, Oskar Beck. 74 S. M. 1,80<sup>1)</sup>). Eine Veröffentlichung von R. ARENDT, der vor mehr als 30 Jahren den Unterricht in der Chemie unzugestalten begonnen hat, und dessen Grundsätze nicht nur für seine eigenen, so sehr verbreiteten Lehrbücher, sondern auch für viele Nachfolger maßgebend geblieben sind, verdient unter allen Umständen die Aufmerksamkeit der Fachgenossen. Bei der vorliegenden Schrift gilt dies weniger für den positiven Teil, der naturgemäß nicht sehr von den früheren Ausführungen des Verfassers abweicht, als von der hinzugefügten Kritik der Wege, die andere Methodiker eingeschlagen haben; hier ist selbst für den Kenner der einschlägigen Litteratur vieles Neue und Beherzigenswerte zu finden.

In der Einleitung haben wir eine Besprechung des Zieles des chemischen Unterrichts vermisst. Statt dessen wird die Schwierigkeit dieses Unterrichts geschildert, wie sie aus dem Mangel eines Wahrnehmungsvermögens für stoffliche Veränderungen hervorgeht. Daher können wir diese „als solche durch direkte Anschauung sinnlich nicht erfassen, sondern das wahre Wesen derselben nur durch eine Verstandesoperation erschließen“. Hiernach scheint der Verfasser als höchsten Zweck des Unterrichts die Einsicht in „das wahre Wesen“ der chemischen Vorgänge zu betrachten, soweit man unsere Kenntnis der hierher gehörigen Gesetze und unsere Theorien so bezeichnen darf. Jedoch wird später vielfach auch auf letzte Ziele von mehr praktischer Art hingedeutet.

Wie soll man nun den Schüler in die Elemente der Wissenschaft einführen? Ist die „systematische Unterrichtsmethode“, welche „die auf induktivem Wege gewonnenen Resultate chemischer Forschung als gegebene Thatsachen betrachtet“ und sie dem Lernenden darbietet „unbekümmert darum, ob er den verborgenen Mechanismus des eigentlichen chemischen Vorganges begreift oder nicht“, hierzu geeignet? — Eine Analyse des bekannten Grundrisses der Chemie von Fr. Rüdorff zeigt, daß ein solches Verfahren notwendig das Allgemeine vor dem Besonderen bringen, daher mit schwierigen Begriffen wie Element, Affinität, Atomgewicht u. s. w. beginnen und nicht zum Verstehen, sondern zum Auswendiglernen führen muß. Gegen diese scharfe Kritik wird vom Standpunkte der modernen Pädagogik nicht viel einzuwenden sein. Doch sei die Bemerkung gestattet, daß ein derartiger „nur darbietend“ verfahren der Unterricht wohl nirgends mehr existiert, und daß Lehrbücher nach Art des Rüdorffschen auch kaum den Anspruch erheben, als Vorschrift für den Gang des Unterrichts zu dienen, vielmehr nur den Umfang des Stoffes bestimmen und diesen in wissenschaftlicher Weise geordnet darstellen wollen. Der Verfasser wendet sich alsdann seinem eigenen Lehrgange zu, für dessen Vorzüge er energisch eintritt. „Ich kann“, so sagt er S. 11, „meine Aufgabe nur darin erblicken, in erster Linie ein Vertreter meiner eigenen Ideen zu sein; denn nur für diese vermag ich mit voller Überzeugung einzutreten, nachdem ich ein ganzes Menschenalter hindurch ihre Zweckmäßigkeit und Entwicklungsfähigkeit sowie ihre Anpassungsfähigkeit für Schulen sehr verschiedenen Ranges durch praktischen Unterricht nicht nur selbst genügend erprobt, sondern auch von den Resultaten zahlreicher Fachgenossen, die der gleichen Methode folgen, dauernd Kenntnis genommen habe.“ Dementsprechend giebt der Verfasser eine ausführliche, auch im Wortlaut oft an seine älteren Schriften erinnernde Darstellung seines Lehrganges. Diesem zufolge soll bekanntlich der Unterrichtsstoff nicht systematisch, d. h. nach den Elementen, sondern methodisch, nämlich von den einfacheren zu den zusammengesetzteren Vorgängen aufsteigend, geordnet sein. „Die Reaktion bildet also den Einteilungsgrund, sie ist die Richtschnur und das Maß für den Fortschritt. Ihr ordnen sich die Stoffe unter, insofern bei ihnen immer nur solche Veränderungen der Beobachtung und Besprechung zu unterziehen sind, welche durch die jeweilige Reaktion veranlaßt werden.“

Auf dieser Grundlage baut sich folgendes Lehrgebäude auf. Die erste Stufe (Metalle, deren Oxyde, Sulfide und Haloide) behandelt die Addition zweier Stoffe, die zweite (Reduktionen) umgekehrt die Abscheidung von Elementen aus binären Verbindungen nebst Sub-

<sup>1)</sup> Sonderausgabe aus Dr. A. Baumeisters „Handbuch der Erziehungs- und Unterrichtslehre für höhere Schulen“.

stitutionen in den letzteren; auf der dritten Stufe (Hydrate und Salze) werden ternäre Verbindungen vorgeführt, während auf der vierten (partielle Reduktionen, Spaltung im Radikal) tieferegreifende Zersetzungen die bloßen Wechselersetzungen ablösen und dadurch auch das Verständnis für Strukturformeln erzielt wird. — Man muß zugeben, daß bis hierher wirklich die Reaktion „die Richtschnur“ für den Fortschritt gewesen ist. Für den Übergang zu den beiden weiteren Abschnitten vermißt man jedoch die gleiche logische Notwendigkeit. Vielmehr soll die fünfte Stufe (Hydrüre) die Kenntnis der Wasserstoffverbindungen ergänzen und dabei das Avogadro'sche Gesetz nebst den Valenzverhältnissen experimentell behandeln, und schließlich ist die sechste Stufe (theoretische Schlufsbetrachtungen über Atom- und Molekulargewicht u. s. w.) zur Abrundung der theoretischen Vorstellungen bestimmt. Der vorletzte Abschnitt kann gleichzeitig bei Gelegenheit des Methans und Äthylens den Übergang zur organischen Chemie, deren Behandlung eigentlich für alle höheren Schulen verlangt werden müsse, vermitteln.

Zwischen die beiden Kapitel über die anorganische und über die organische Chemie ist eine lehrreiche Untersuchung über die so sehr wichtige Frage eingeschaltet, inwieweit sich dieser „methodische Lehrgang mit den in den verschiedenen deutschen Staaten geltenden Lehrplänen der höheren Schulen verträgt“. Es ergibt sich, daß überall eine Übereinstimmung erzielt werden kann, obgleich die — in dankenswerter Weise hier zusammengestellten — amtlichen Unterrichtsaufgaben der Gymnasien und Realanstalten Preussens, Sachsens, Bayerns u. s. w. ausnahmslos den Unterrichtsstoff nicht methodisch, sondern systematisch anordnen.

Die weiteren Erörterungen des Verfassers sind kritischer Art. Es werden nämlich die auf anderen Grundsätzen aufgebauten Bearbeitungen der Chemie von seiten jüngerer Methodiker besprochen. Unter diesen neueren Richtungen wird mit Recht die von F. Wilbrand ausgehende als die wichtigste am eingehendsten dargestellt. Sie wird folgendermaßen charakterisiert: „Die Einteilung und Anordnung nach Elementen ist mehr oder weniger vollständig verlassen, statt dessen sind gewisse aus der Erfahrung gegriffene Stoffe meist zusammengesetzter Art (bekannte Chemikalien oder Mineralien) in freier Anordnung der Einteilung zu Grunde gelegt, um welche sich der Lehrstoff gruppenweise ordnet und daraus in rein analytischer Behandlungsweise induktiv entwickelt wird.“ Der Verfasser läßt den Vorzügen dieser Richtung volle Gerechtigkeit angedeihen, und jeder Fachgenosse wird ihm zustimmen, daß die Methode der wissenschaftlichen Forschung von Wilbrand in der scharfsinnigsten Weise verwertet wird; andererseits wird man aber auch kaum den hier ausgesprochenen Einwurf für unberechtigt erklären können, daß nämlich die wirkliche experimentelle Durchführung der von Wilbrand zusammengestellten Untersuchungsreihen für unsere höheren Schulen zu zeitraubend sei.

Schließlich wird auch die neueste, noch im Werden begriffene Bewegung zur Reform des chemischen Unterrichts sachgemäß beleuchtet. Dieser liegt der auch auf anderen Gebieten jetzt so viel betonte historische Gedanke zu Grunde, sie will den Stoff gemäß der geschichtlichen Entwicklung der chemischen Kenntnisse anordnen. Durch Kritik des hierher gehörigen Lehrganges von J. Capesius wird gezeigt, daß das historische Moment zwar in ausgezeichnete Weise zur Vertiefung und Belebung des Unterrichts verwandt werden kann, aber als Basis desselben — wenigstens nach den bisherigen Erfahrungen — kaum brauchbar erscheint. Wir unsererseits pflichten dem völlig bei. —

Diese Skizze des Inhalts der neuen Schrift wird zeigen, daß Herr ARENDT, so dankenswertes er auch in derselben geboten, manche wichtige hierher gehörige Frage gänzlich außer Acht gelassen oder höchstens gestreift hat. In mehreren Fällen hat er sich durch Hinweis auf seine früheren Veröffentlichungen geholfen. Beispielsweise findet man in der Abhandlung nur dürftige Andeutungen über die methodische Gestaltung der Atomlehre, sowie über die Stellung des Experimentes im Unterricht und über die Technik desselben. Bezüglich des letzten Punktes hätte wenigstens nicht nur des Verfassers eigene Schrift angeführt werden sollen. So ist das Werkchen nicht in vollem Sinne eine „Didaktik und Methodik des

Chemie-Unterrichts“. Hingegen ist es eine höchst lehrreiche kritische Übersicht über die neueren Strömungen auf diesem früher arg vernachlässigten Gebiete, eine Übersicht, wie sie in der Litteratur bisher noch gänzlich fehlte. Auch diese Schrift des so hoch verdienten Verfassers ist daher den Fachgenossen dringend zu empfehlen und dürfte insbesondere in den pädagogischen Seminarien mit großem Vorteil den Besprechungen über den chemischen Unterricht zu Grunde gelegt werden.

J. Schiff.

### 5. Technik und mechanische Praxis.

**Vacuumröhrenbeleuchtung.** Herrn Mc FARLAN MOORE ist es gelungen, mittels eines Vacuumunterbrechers und eines gewöhnlichen Elektromagneten, der zugleich das Induktorium ersetzt, 2 m lange und 5 cm dicke Vacuumröhren mit äußeren Elektroden so zu erregen, daß sie ein helles, gleichmäßiges, weißes Licht ausstrahlen. Am 22. April 1896 berichtete der Erfinder in einem durch 27 Mooresche Röhren erleuchteten Saale dem American Institute of Electrical Engineers über seine Erfolge. Der Vortrag und die sich daran schließenden Erörterungen sind in den *Transactions of the Americ. Institute of Electr.* und in der *E. T. Z. XVII 637, 1896* veröffentlicht worden. Der Kern der neuen Erfindung ist der Vacuumvibrator (Fig. 1). Er besteht aus einer Feder, die an dem einen Ende befestigt ist und an dem anderen freien Ende eine kleine Scheibe trägt. Die Mitte der Feder legt sich gegen eine Kontaktspitze. Feder und Spitze befinden sich in einer Glasröhre, aus der die Luft ausgepumpt ist. Bringt man den Vibrator über einen Elektromagneten, und

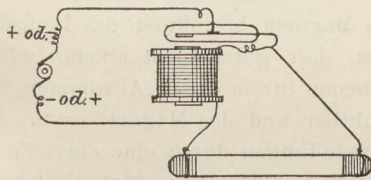


Fig. 1.

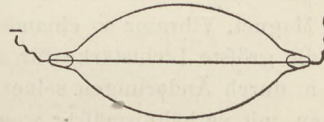


Fig. 2.

schaltet man beide hintereinander in einen Stromkreis, so sendet eine elektrodenlose Vacuumröhre, deren äußere Endbelegungen durch Drähte mit den Spulenden verbunden sind, ein kräftiges weißes Licht aus. Geht durch die Vacuumröhre ein Draht (Fig. 2) und ist das Vacuum niedrig, so erscheint er in ein zartes purpurrotes Licht eingehüllt, wenn das eine Ende des Drahtes mit der negativen Elektrode des Vibrators verbunden, das andere aber frei ist. Ist das Vacuum höher, so erfüllt ein milchweißes Licht die ganze Röhre. Bei genauerer Untersuchung bemerkt man, daß der Draht in seiner unmittelbaren Nähe von

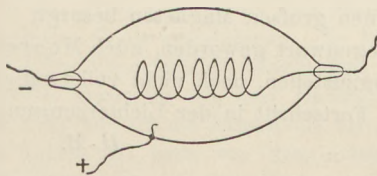


Fig. 3.

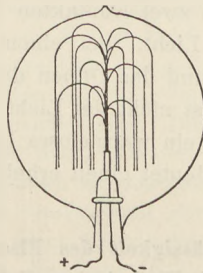


Fig. 4.

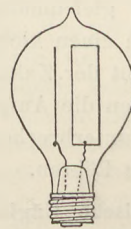


Fig. 5.

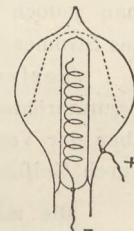


Fig. 6.

einem ganz schmalen dunklen Raum umgeben ist, um den sich Lichtringe, die mit ihm concentrisch sind, rasch zu drehen scheinen. Wird der einfache Draht in der Mitte auf eine Länge von etwa 7,5 cm in sechs Litzen verzweigt, welche einen eiförmigen Käfig bilden, so wird nicht die ganze Birne, sondern nur das Innere des Käfigs mit Licht erfüllt. In anderen Lampen hatte der Draht die Form einer Spirale. Versieht man die Lampe Fig. 3 noch mit einer positiven Elektrode, so wird das Leuchten stärker. Bei der Auswahl des Stoffes der Fäden und Spiralen hat man darauf zu achten, daß er möglichst wenig okkludiertes Gas

enthält und durch den Strom möglichst wenig zerstäubt wird. In der Lampe Fig. 4 sind gewöhnliche Glühlampenfäden wie die Strahlen eines Springbrunnens angeordnet. Beim Leuchten geraten die freien Enden der Fäden in lebhaftes Schwingungen; kommt dabei ein Faden mit dem Glase in Berührung, so gerät er in Rotglut. Bei der Lampe Fig. 5 sind die Elektroden zwei gleich große, sorgfältig gereinigte Platinblechstreifen, die einen rechten Winkel mit einander bilden. Hier bildet das positive Blech einen Spiegel für das Licht der negativen Elektrode. Ist der Primärstrom ein Wechselstrom, so leuchten beide Platinbleche. Bei der Lampe Fig. 6 befindet sich die Spirale in einer Vacuumröhre, die in eine Birne eingesetzt ist, die mit einer positiven Elektrode versehen ist. Bei dem Versuche leuchtete die kleine Röhre an ihren Enden; in der Birne zeigte sich dagegen ein schwaches Licht, dessen Umriss durch die punktierte Linie angedeutet wird.

Die Mooreschen Lampen können mit der Magnetspule oder mit den Elektroden des Vibrators verbunden werden. Sie leuchten auch gleich gut, ob sie neben- oder hintereinander geschaltet sind, wenn nur ihre negativen Elektroden gleich groß sind. Ist dies nicht der Fall, so leuchtet die Lampe mit der größten negativen Elektrode heller als die anderen. Schaltet man eine einzelne kleine Lampe in einen Stromkreis von beträchtlicher Induktion, so ist eine bestimmte Entladung imstande, die Lampe zu zerstören. Man kann das Verteilungssystem selbstregulierend machen, indem man mit jeder Lampe einen induktiven Widerstand verbindet.

Auf die Konstruktion des Magnets, der kurz und dick sein muß, ist große Sorgfalt zu verwenden; die Größe des Eisenkerns muß den Verhältnissen des Stromkreises angepaßt sein, auch die Anzahl der Windungen des Magnets beeinflusst das Leuchten. Sind Stromkreis, Magnet, Vibrator so einander angepaßt, daß gutes Licht erzeugt wird, so erreicht man die größte Lichtstärke für einen gegebenen Strom durch Abstimmen des Stromkreises, d. h. durch Änderungen seiner Selbstinduktion und des Magnetkernes. Auffallend ist, daß man mit verhältnismäßig wenigen Drahtwindungen durch eine einvoltige Batterie ganz starkes Licht erzeugen kann. Durch Anwendung einer Sekundärspule kann es noch verstärkt werden.

Die beschriebenen Lampen sind für praktische Zwecke nicht geeignet, hierfür sind lange Röhren mit äußeren Elektroden zweckmäßiger; denn das Licht dieser Röhren ist frei von störenden Schichtungen, die stets auftreten, wenn innere Elektroden verwandt werden. Die äußeren Elektroden können entweder Metallkappen oder besser nur Anstriche von Metallfarbe sein. Hinsichtlich der Lichtstärke und des Kraftverbrauchs können die 2 m langen und 5 cm dicken Vacuumröhren Moores der gewöhnlichen Glühlampe von 16 NK an die Seite gestellt werden. Um die Stromunterbrechungen in der Sekunde noch zu steigern, hat Moore auch Vibratoren mit zwei Kontakten in der Röhre konstruiert, hiermit erzielt man jedoch kein gleichmäßiges Licht. Bei einem andern Vibrator wurde das Schließen des Stromes durch einen kleinen und das Öffnen durch einen großen Magneten besorgt.

Teslas Licht der Zukunft ist nicht das Licht der Gegenwart geworden, auch Moores Vacuumröhren lösen die Aufgabe, ein wärmeloses Licht herzustellen, noch nicht vollständig; aber der Vacuumunterbrecher bedeutet einen erheblichen Fortschritt in der Lichterzeugung durch Geißlersche Röhren.

H.-M.

**Die magnetische Ungleichmäßigkeit des Eisens und Stahls** haben A. EBELING und ERICH SCHMIDT in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt einer näheren Prüfung unterzogen (*Wied. Ann.* 58, 330, 1896). Ein Volljoch aus Stahlguss hatte einen Hohlraum zur Aufnahme der Magnetisierungsspule; im Innern dieser befand sich die Induktionsspule, welche den zu untersuchenden Eisenstab eng umschloss. Bei einer Länge von 33 cm und einem Durchmesser von 0,6 cm wurden die Stäbe an drei Stellen, in der Mitte und an den beiden Enden, geprüft, indem durch Intensitätsänderung des magnetisierenden Stromes der Verlauf der Hysteresis-Kurve festgestellt wurde. Die meisten Stäbe erwiesen sich als sehr ungleichmäßig; sogar weiches schwedisches Schmiedeeisen, das technisch als das beste gilt, zeigte sich in einzelnen Stücken als magnetisch minderwertig. Größere Gleichmäßigkeit fand sich

bei Stäben von gegossenem Eisen und Stahl. Die Stäbe wurden dann in dem grossen Ofen der Königlichen Porzellanmanufaktur sehr sorgfältig ausgeglüht und hierauf von neuem untersucht. Es zeigte sich, dass die Ungleichheiten in dem geschmiedeten Eisen durch das Ausglühen nicht beseitigt waren; ein Stahlstab wurde dagegen durch das Ausglühen sehr verbessert. Abgesehen vom Schmiedeeisen scheint gleichmässiges Glühen das Material zu verbessern, während ungleichmässiges Glühen eine Verschlechterung bewirkt. *Schk.*

**Magnetisierung und Hysterese einiger Eisen- und Stahlorten.** Infolge der Einführung und zielbewussten Anwendung zweckmässiger magnetischer Messverfahren, die im Laufe der letzten Jahre ihren Weg aus dem Laboratorium in die Werkstatt gefunden haben, hat die Metallurgie so grosse Fortschritte gemacht, dass der Einblick in das bisher Geleistete, den die Mitteilungen von H. du Bois und E. Taylor Jones in der *E. T. Z. XVII 543, 1896* gewähren, nicht nur für den Techniker, sondern auch für den Physiker von Wert ist. Von dem verschiedenartigen Material, das sie untersucht haben, behandeln sie a. a. O. 5 weiche und 3 harte Sorten, die besonders bezeichnende Eigenschaften besitzen und in der folgenden Tafel nach zunehmenden Werten ihrer Hysterese (dem hysteretischen Energieumsatz, in Kiloerg pro Kreisprozess pro Kubikcentimeter ausgedrückt) geordnet sind.

Nummer	Sorte	Bezugsquelle
I	Schwedisches Walzeisen	Schweden
II	Dynamo-Stahlfaçonguss	Friedr. Krupp, Essen
III	Dynamo-Stahlguss	Bergische Stahl-A.-G., Remscheid
IV	Steierisches Walzeisen	Gebr. Böhler & Co., Wien
V	Dynamo-Stahlguss	Oeking & Co., Düsseldorf
VI	Haarlemer Magnetstahl	N. van Wetteren, Haarlem
VII	„Spezial sehr hart“ — Magnetstahl	Gebr. Böhler & Co., Wien
VIII	Wolframstahl	Bergische Stahl-A.-G., Remscheid

Im Bereiche schwächerer Felder bis zu  $\pm 250$  C.G.S. wurden die Messungen mit der Wage von du Bois (*Ber. El. Congress, Frankfurt 1891, E. T. Z. XIII 579*) ausgeführt, eine Anzahl Proben wurde auch bei starken Feldern bis zu 15 000 C.G.S. nach der Ewing-Lowschen Isthmushmethode mit Hilfe eines Ringelektromagnets (*Wied. Ann. LI 537 u. LVII 258*) untersucht. Die Probestäbe aus II, IV und V wurden im Laboratorium bearbeitet und dann sorgfältig ausgeglüht, wobei die Temperatur in etwa  $4 \times 24$  Stunden anfangs rascher, dann langsamer von  $900^{\circ}$  auf  $50^{\circ}$  herabsank. Die Isthmushstäbe aus I, II und IV wurden ebenfalls nach dem Abdrehen ausgeglüht. Die Permeabilität des untersuchten schwedischen Walzeisens I wird von der des schwerschmelzbaren 99,9 procentigen Elswickschen Reineisens und von der des Jenkinschen Schmiedestahls übertroffen; dagegen ist seine Hysterese (6,6) und Coërcitivintensität (0,8) ausserordentlich gering und dürfte es in dieser Hinsicht unübertroffen dastehen. Aus den Mitteilungen von Ewing und Parshall (*Proc. Inst. Civil. Ing. CXXVI, 19. Mai 1896*) geht hervor, dass höchste Permeabilität und geringfügige Hysterese sich bis zu einem gewissen Grade ausschliessen. Es haben daher auch die Fabrikationen von Dynamomaterial und von Transformatorblech verschiedene Wege eingeschlagen. Die Vereinigung beider Eigenschaften ist jedoch erwünscht bei dem Material für die Joche, die bei verschiedenen Messverfahren benutzt werden, und für die Panzer, die bei störungsfreien Galvanometern erforderlich sind. Der Kruppsche Stahlguss (II) hatte von dem untersuchten Gussmaterial die höchste Permeabilität für schwache Felder und die geringste Hysterese (12,5). Seine Coërcitivintensität (1,8) ist dagegen um weniges grösser als bei III (1,7). Schon 1889 fand Negbauer (*E. T. Z. X 351*) bei seinen Versuchen mit Flusseisen, dass es sich so hoch wie das beste weiche Eisen magnetisieren lässt. Seitdem ist die Metallurgie so weit vorgeschritten, dass die klassische Unterscheidung zwischen den Eigenschaften weichen Schmiedeeisens, mittleren Gusseisens und harten Stahls heutzutage völlig ausgewischt ist. Die mathematische Theorie der magnetischen Induktion setzt ein homogenes und isotropes Ferromagneticum ausdrücklich voraus. Durch die Anwendung eines blasenfreien, möglichst gleichmässigen Gusses erscheint es nunmehr möglich, dieser Bedingung streng zu genügen.

Die neueste und vollständigste Zusammenstellung der auf magnetisch hartes Material bezüglichen Litteratur und wertvolle Constantentafeln giebt Silv. Thompson (*The Elektromagnet, 2. Aufl. Kap. XVI, London 1892, übers. Halle 1894*). Er führt S. 382 als höchste Coërcitivintensität 51 C.G.S.

an; die bisher bekannten Angaben für die Hysterese überschreiten nicht erheblich den Wert 200. Die Messungen, die H. du Bois und E. Taylor Jones an den drei Stahlsorten gemacht und a. a. O. in drei graphischen Darstellungen und in folgender tabellarischen Übersicht der Hauptdaten niedergelegt haben, ergeben für gehärtetes Material wesentlich höhere Werte.

	VI		VII		VIII		
	hart	weich	sehr hart	weich	hart	sehr hart	
Feldbereich . . . . .	± 240	± 240	± 240	± 240	± 240	± 240	± 500
Magnetisierungsbereich . . . . .	± 1270	± 1420	± 1150	± 1320	± 1320	± 1250	± 1280
Remanente Magnetisierung . . . . .	800.	790	600	850	850	800	800
Coërcitivintensität . . . . .	56	34	75	35	53	72	77
Hysterese . . . . .	210	145	225	140	205	265	275

Silvanus Thompson ist der Ansicht, dass die von ihm angeführten Stahlsorten von dem sogenannten Haarlemer Stahl übertroffen werden; das a. a. O. veröffentlichte Diagramm für diesen Stahl bestätigt diese Behauptung. Das von N. van Wetteren gelieferte Material erreicht leider nicht mehr die Güte des klassischen Haarlemer Stahls, ob letzteres jedoch VIII sehr hart ebenbürtig war, lässt sich schwerlich entscheiden. Das für VII gegebene Diagramm zeigt deutlich den entscheidenden Einfluss des Härtens: Vergrößerung der Coërcitivintensität, Verringerung der stärksten und der remanenten Magnetisierung. Eine Gerade durch den Schnittpunkt der beiden absteigenden Äste der Commutierungskurven für weichen und sehr harten Stahl, welche dem Entmagnetisierungsfaktor 0,037 oder dem Dimensionsverhältnis (Verhältnis der Länge zum Durchmesser) 34 entspricht, bezeichnet den Grenzfall, für den das weiche und harte Material sich gleich verhält. Abgesehen von der zeitlichen Beständigkeit der Magnetisierung ist für längere Stäbe der weiche, für kürzere Stäbe der harte Stahl vorteilhafter. In dem Diagramm für VIII sind die Commutierungskurven für drei verschiedene Zustände, weich, hart, sehr hart, aufgezeichnet. Der harte Stahl zeigte die höchste bis jetzt beobachtete Hysterese (265); durch Vergrößerung des Feldbereichs von ± 240 auf ± 500 C.G.S. konnte noch eine geringe Erhöhung auf 275 herbeigeführt werden, dies rührt jedoch nicht von einer grösseren Remanenz, sondern nur von der Erhöhung der Coërcitivintensität von 72 auf 77 C.G.S. her.

Am Schlusse ihrer Abhandlung erörtern H. du Bois und E. Taylor Jones noch die wissenschaftlich-rationelle Konstruktion permanenter Magnete, eine Aufgabe, die seither immer in einer geheimnisvoll empirischen Weise behandelt wurde. Nachdem man das zu verwendende Material ausgewählt und sich über die Art des Härtens, Anlassens und künstlichen Alterns klar geworden ist, hat man sich zunächst über die Gestalt des Magnets zu entscheiden. Auf Grund einer graphischen Betrachtung, die lehrt, wie man allgemein mittels der Magnetisierungskurve und des Entmagnetisierungsfaktors den Höchstwert der remanenten Magnetisierung finden kann, wird insbesondere für Stäbe die Regel aufgestellt, dass starke Magnete nicht kürzer als der dreissigfache Durchmesser zu machen sind. (Vgl. C. Ribory Mann, Über Entmagnetisierungsfaktoren kreiszylindrischer Stäbe, Dissert. Berlin 1895.) Handelt es sich weniger um einen hohen Wert der Magnetisierung als um die zeitliche Constanz, d. h. um ihre absolute Permanenz, zwei Bedingungen, die sich bis zu einem gewissen Grade gegenseitig ausschliessen, so hat man die Coërcitivintensität möglichst gross, die entmagnetisierende Intensität möglichst gering zu wählen. Ersteres erreicht man durch geeignete Auswahl des Materials und Magnetisierung in einem intensiven Felde von mindestens 500 C.G.S., letzteres durch Magnetisierung bis zu einem Werte, der unter dem liegt, der bei der gegebenen entmagnetisierenden Intensität überhaupt möglich ist, oder anders ausgedrückt, dadurch, dass man einen Sicherheitsfaktor der Entmagnetisierung anwendet, der zwischen 3 und 6 liegt (vgl. Houston und Kenelly, *The Electrician* XXXV 160, 1895). Ein solcher stabiler Endzustand kann hergestellt werden: 1. auf elektrischem Wege, durch Anwendung eines schwachen entmagnetisierenden Stromes (Hookham, *Phil. Mag.* (5) XXVII 187; *Journ. Inst. Electr. Engin.* XVIII 688), 2. auf geometrischem Wege durch Magnetisierung bei grösserem Entmagnetisierungsfaktor, als dauernd beabsichtigt wird, und nachheriger Verringerung desselben, etwa durch Verengerung des Interferricums, oder Anlegung geeigneter Anker oder Polschuhe, 3. auf mechanischem Wege durch das bekannte Verfahren des künstlichen Alterns, bei dem die absichtlich schlechte Behandlung des Magnets einer unbegrenzten Verschiedenheit fähig ist. H. du Bois und E. Taylor Jones nehmen an, dass die verschiedenen mehr oder weniger geheimen Verfahren zur Herstellung permanenter Magnete auf einer dieser Methoden oder auf einer Combination derselben beruhen.

H.-M.



## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Jahrbuch der Chemie.** Bericht über die wichtigsten Fortschritte der reinen und angewandten Chemie. Herausgegeben von Richard Meyer. 5. Jahrgang 1895. Braunschweig, Vieweg u. Sohn 1896. 591 S., M. 15.

In regelmässiger Aufeinanderfolge erscheinen diese Jahrbücher in der vorzüglichen Ausstattung, auf die schon wiederholt in dieser Zeitschrift hingewiesen ist. Dieselben geben die Möglichkeit, sich mit den steten Fortschritten der Wissenschaft und Technik in Zusammenhang zu erhalten, was ja für den Lehrenden durchaus notwendig ist, wenn er beurteilen will, was neu für den Unterricht verwertet werden kann. Für wissenschaftliche Weiterarbeit hingegen kommen mehr die Originalarbeiten und die umfangreichen vollständigen Berichte (Fittica) desselben Verlages in Betracht. Die Abschnitte entsprechen den früheren: I. Physikalische Chemie von F. W. Küster; II. Anorganische Chemie von Carl Seubert; III. Organische Chemie von C. A. Bischoff; IV. Physiologische Chemie von Fr. Röhmman; V. Pharmaceutische Chemie von H. Beckurts; VI. Chemie der Nahrungs- und Genussmittel von demselben; VII. Agrikulturchemie von H. Märcker u. W. Naumann; VIII. Metallurgie von E. F. Dürre; IX. Brennstoffe und organisch-chemische Technik von C. Häufsermann; X. Explosivstoffe von demselben; XI. Technologie der Kohlehydrate und Gährungsgewerbe von M. Märcker und W. Naumann; XII. Technologie der Fette und Erdöle von J. Lewkowitsch; XIII. Theer- und Farbenchemie von Richard Meyer; XIV. Chemische Technologie der Spinnfasern von P. Friedländer; XV. Photographie von J. M. Eder und E. Valenta. Sach- und Autorenregister sind beigegeben. *Schw.*

**Jahrbuch der Elektrochemie.** Bericht über die Fortschritte des Jahres 1895. Im wissenschaftlichen Teile bearbeitet von Dr. W. Nernst; im technischen Teile bearbeitet von Dr. W. Borchers. Halle, W. Knapp 1896. M. 12.

Nachdem die Elektrochemie sich als besonderer Wissenszweig entwickelt und auch in der Technik eine selbständige Stellung eingenommen hat, lag das Bedürfnis vor, für das Spezialstudium eine übersichtliche Darstellung der wissenschaftlichen und technischen Produktion zu geben. Der erste Band ist bereits vor einiger Zeit erschienen; der zweite vorliegende Band hält den richtigen Standpunkt fest, sachlich zu referieren und die Kritik nur in dringenden Fällen zu üben, dagegen auch solche Sachen aufzunehmen, die vielleicht unscheinbar, doch zu weiteren Resultaten führen können.

Der wissenschaftliche Teil wird auch wohl in anderen Jahresberichten ausreichend berücksichtigt, der zweite Teil dagegen zeigt, welche enormen Fortschritte in der technischen Verwendung der Elektrochemie gemacht sind. Manches davon kann und mufs auch in der Schule berührt werden, so die Elektrometallurgie, und nicht minder auch die Umwäzungen, welche durch die Elektrolyse in der Fabrikation des Chlors und der Chlorverbindungen herbeigeführt sind. Der Inhalt umfafst:

I. Wissenschaftlicher Teil (3—38): Allgemeines, elektrolytische Leitfähigkeit und Dissociation, Theorie der galvanischen Stromerzeugung und Polarisation, Electrokapillarität, elektrochemische Mefsapparate.

II. Spezielle und technische Elektrochemie: Erzeugung elektrischer Energie (Substanz der Elektroden, Elektrolyte etc.) 39—58. Accumulatoren 59—77. Elektromagnetische Aufbereitung 78—85. Elektrochemische Apparate und Methoden 86—117; Metalloide 117—133; Metalle 133—202. Anorganische Verbindungen 202—249. Organische Verbindungen 250—258. Analyse 259—262. Bleichen und Desinfizieren 262—268. Färberei und Gerberei 268—274. Hilfsapparate für elektrochemische Laboratorien 275—280. Litteratur 281—283. Register 284—300.

Auf die Patente ist ausreichende Rücksicht genommen. Zeichnungen sind den Beschreibungen vielfach beigegeben. *Schw.*

**Anleitung zur mikrochemischen Analyse.** Von H. Behrens, Professor an der Polytechnischen Schule in Delft. Mit einem Vorwort von Prof. S. Hoogwerff in Delft. Hamburg und Leipzig, Verlag von Leopold Voss. 1895. VII und 224 S. M. 6.

Die Anwendung des Mikroskopes in der qualitativen chemischen Analyse ist bekanntlich noch sehr jung und war überdies bis vor wenigen Jahren auf die Kreise der eigentlichen Mikroskopiker, der Petrographen, Botaniker u. s. w., beschränkt. Behrens ist es gelungen, indem er die bisherigen mikrochemischen Methoden zusammenfasste und eine grosse Zahl von neuen hinzufügte, ein in sich zusammenhängendes System aufzubauen, welches schon jetzt verdient, in die Laboratoriumspraxis aufgenommen zu werden, und welches für die Zukunft „in Zeitersparnis und in Anspruchslosigkeit, was Raum und Gerätschaften anbetrifft, mit der Lötrohranalyse wird rivalisieren können und die Lötrohr-

analyse in vielen Fällen übertreffen wird, wo es auf Vielseitigkeit und Empfindlichkeit der Reaktionen ankommt“. — Obiges Buch, von welchem eine französische und eine englische Ausgabe schon früher erschienen sind, enthält dieses neue System und beweist, dass der Verfasser, dessen Forscherthätigkeit auf diesem Gebiete längst allgemein anerkannt ist, auch der Aufgabe, ein zur Einführung bestimmtes Lehrbuch zu schreiben, in vollstem Maasse gewachsen ist. Der Gang der durch Klarheit ausgezeichneten und durch zahlreiche gute Abbildungen unterstützten Darstellung ist folgender: Nach einem historischen Überblick und den notwendigen Vorbemerkungen über Apparate und Reagentien werden der Reihe nach die charakteristischen Reaktionen für die verschiedenen Elemente beschrieben. Der zweite Teil enthält die Anwendung dieser Reaktionen auf die Untersuchung der gemengten Substanzen, insbesondere der Erze, Gesteine und Legierungen. Die beschriebenen Verfahren haben übrigens vielfach ein ganz allgemeines chemisches Interesse. Es werden hier nämlich keineswegs in allen Fällen die sonst üblichen Reagentien angewandt; beispielsweise ist es nicht möglich, Schwefelsäure im Probetropfen unter dem Mikroskope durch Chlorbaryum nachzuweisen, wohl aber durch Chlorcalcium, da nur letzteres ein deutlich und charakteristisch krystallisierendes Sulfat liefert. Schliesslich sei noch hervorgehoben, dass sich der Verfasser von aller Überschätzung seiner neuen Methoden und von Übergriffen auf das Gebiet der gewöhnlichen qualitativen Analyse völlig fern hält, denselben aber andererseits in Bezug auf die Ausbildung der jungen Chemiker nach den am Polytechnikum zu Delft gemachten Erfahrungen eine hervorragende pädagogische Bedeutung zuschreibt. *J. Schiff.*

**Physikalisch-chemische Wandtafeln.** Bearbeitet von J. Beuriger. Neun Tafeln nebst Begleittext (15 S.). Leipzig und Neuwied, Hausers Verlag, 1895.

Die Tafeln sind unter Berücksichtigung der neuesten Litteratur, zum Teil im Anschlusse an die 2. Auflage des Werkes von Landolt und Börnstein, zusammengestellt. Sie enthalten 1. Atomgewichte, 2. und 3. spezifische Gewichte, 4. Brechungsexponenten, 5. Wellenlängen und Schwingungszahlen des Lichtes, 6. Ausdehnungskoeffizienten und Volumen des Wassers zwischen 0 und 100°, 7. Schmelz- und Siedetemperaturen, spezifische Wärmen, 8. Spannkraft des Wasserdampfes, 9. Leitungsvermögen für Wärme und Elektrizität nebst Widerständen in Ohm. Die Tafeln sind, aufgezogen und im Lehrzimmer aufgehängt, sicher ein sehr willkommenes Hilfsmittel beim Unterricht. *P.*

**Geschichte der Mathematik im Altertum und Mittelalter.** Vorlesungen von H. G. Zeuthen, Prof. a. d. Universität Kopenhagen. VII und 344 S. Kopenhagen, A. F. Høst & Sohn, 1896.

Das Buch, auf das hier nur kurz hingewiesen werden kann, stellt sich dem wohlbekannten Buch von Hankel würdig zur Seite, obwohl es, auf neueren Untersuchungen fußend, teilweise zu anderen Ergebnissen gelangt. Es bietet für die Geschichte der Mathematik ähnliches wie Machs „Mechanik in ihrer Entwicklung“ für die Grundlagen der neueren Physik. Es stellt sich zur Aufgabe, die Art klarzulegen, wie die mathematischen Erkenntnisse entstanden sind und giebt dadurch besonders dem Lehrer der Mathematik die wertvollsten Aufschlüsse. Namentlich eingehend wird Euklid behandelt. Auch die physikalischen Leistungen des Archimedes werden in ihrem Zusammenhang mit seinen mathematischen Entdeckungen gewürdigt. *P.*

**Schulphysik für die Gymnasien, nach Jahrgängen geordnet** von Prof. Dr. G. Brandt. I. Teil. Obertertia: Mechanik und Wärmelehre. Untersekunda: Magnetismus, Elektrizität, Akustik und Optik. 2. Auflage. 90 S. — II. Teil. Obersekunda: Wärmelehre, Meteorologie und Galvanismus; Unterprima: Mechanik und Akustik; Oberprima: Optik und astronomische Geographie. 219 S. Berlin, Leonh. Simion, 1896.

Dies Lehrbuch bietet den Unterrichtsstoff für die Unterstufe in völligem Anschlusse an die Lehrpläne von 1892 dar. Es ist eine Auswahl zusammengestellt, in der auch die Dynamomaschine, das Telephon, die Fernrohre und das Mikroskop nicht fehlen. In dieser Hinsicht dürfen sich also die aus Untersekunda Abgehenden nicht beklagen. In den Lehrplänen von 1892 sind aber auch an die Methode besonders hohe Anforderungen gestellt. Was diesen Punkt betrifft, so scheinen die Bemühungen des letzten Jahrzehnts um den Ausbau der Methodik des physikalischen Unterrichts auf den Verfasser keinen Eindruck gemacht zu haben. Das Buch steht auf einem Standpunkt, der in früherer Zeit (und zum Teil leider noch heute) bei Schulbüchern für Mädchenschulen mafsgebend zu sein pflegte. Unzureichende Fassung der Definitionen, unklare Formulierung der Gesetze, mangelhafte Begründung, unausführbare Versuche, Vermischung von Thatsachen und Hypothesen, äußerlichste Abfindung mit den Schwierigkeiten des Gegenstandes, alles dies mufs dem Buch zum Vorwurf gemacht werden. Als Probe mögen folgende zwei (z. T. gesperrt gedruckte) Sätze dienen: „Die Trägheit ist die Eigenschaft der Körper, vermöge deren ein jeder in dem Zustande verharren will, in dem er sich gerade befindet“ (S. 4). — „Die gerade Linie zwischen einem leuchtenden Punkt und einem beleuchteten heisst Lichtstrahl; aber jeder derselben besteht aus vielen Elementarstrahlen, da

ein einzelner keinen hinreichend starken Eindruck auf unser Auge macht“ (S. 75). Wenn ein solches Buch, nach dem Vorwort zur 2. Auflage zu urteilen, Beifall findet, so beweist dies nur, wie gering selbst Fachlehrer noch von unserem Unterrichtsgegenstände denken.

Der II. Teil enthält die im Titel angegebenen Abschnitte. Dieser Teil hat gewisse Vorzüge, namentlich spricht sich darin ein Verständnis für die Anforderungen aus, denen ein „Lernbuch für Gymnasiasten“ genügen muß. Aber andererseits lassen sich auch hier ernste Bedenken nicht zurückhalten. In der Wärmelehre erscheint die ausgedehnte Verwendung des Looserschen Thermoskops, in der der Verfasser einen besonderen Vorteil erblickt, nicht als zweckmäßig; im Unterricht mag das aus praktischen Gründen angenehm sein, das Lehrbuch aber sollte sich von der zu ausschließlichen Beschränkung auf einen Demonstrationsapparat, der gerade in der Mode ist, freihalten. Schlimm steht es mit dem Galvanismus: hier wird noch immer, nach alter Tradition, mit den Kontaktversuchen begonnen, mit einer undefinierten elektrischen Differenz als Größe gerechnet und an willkürlichen Zahlenbeispielen unter Verwechslung von Potential und Elektrizitätsmenge die Entstehung des galvanischen Stromes erläutert. Dafs die Stromstärke mit der elektromotorischen Kraft wächst, soll an der Tangentenbussole dadurch demonstriert werden, dafs diese nach einander mit 1, dann mit 2 oder 3 gleichen Elementen verbunden wird. Das Potential hält der Verfasser für zu schwierig, aber auch abgesehen von diesem Begriff, wäre aus den Veröffentlichungen der letzten Jahre für den vorliegenden Zweck manches zu lernen gewesen. Auf weitere Einzelheiten dieses Gebietes einzugehen, ist hier nach überflüssig. In der Mechanik ist für den Nachweis der Fallgesetze, sowie für die Herleitung des Kräftegesetzes die Weinholdsche Fallmaschine benutzt, wobei es nicht ohne Einführung eines zunächst willkürlichen Wertes für die bewegliche Masse der Rolle abgeht, wenn man die Gesetze herausexperimentieren will. Wenn irgendwo, so wäre hier ein Zurückgehen auf den natürlichen Weg geboten, den Galilei eingeschlagen hat. Aber Galileis Verdienst wird nicht einmal in dem historischen Anhang richtig gewürdigt, wo es heifst, G. habe „aus den Versuchen am schiefen Turm zu Pisa das Gesetz über den freien Fall aufgestellt“. Die astronomische Geographie enthält das Wissenswerteste; unzulässig aber ist es, dafs einige Darstellungen (Beweise für die Drehung der Erde, Kalenderwesen, Zeitgleichung) fast wörtlich aus den Elementen der Astronomie von Hermes bez. dem Grundriß von Jochmann entnommen sind. Ausser dem historisch-biographischen Anhang ist dem Buche noch ein zweiter Anhang mit der Etymologie physikalischer Ausdrücke beigegeben, was als ein guter Gedanke zu bezeichnen ist. Vom physikalischen Standpunkte anfechtbar erscheint die Erklärung von Rheostat, was doch wohl eine Vorrichtung bedeutet, um die Stromstärke constant zu halten, oder auf einen festen Wert zu bringen. P.

**Leitfaden für den Unterricht in der Chemie.** Von Dr. K. List. 6. Aufl., bearbeitet von Dr. O. Hergt. Heidelberg, C. Winter, 1896. 183 S. M. 1,80.

Der Abriss — ein systematischer Lehrgang, dem eine Einleitung mit den wichtigsten Grundbegriffen und chemischen Gesetzen vorausgeht — ist vorzugsweise dazu bestimmt, „dem Schüler bei der Repetition das ins Gedächtnis zurückzurufen, was er in den Unterrichtsstunden teils gesehen, teils durch den mündlichen Vortrag mitgeteilt erhalten hat“. Das Buch enthält dementsprechend keine Abbildungen. Die Bearbeitung, welche der Verfasser wegen eines Augenleidens nicht selbst vornehmen konnte, weist verschiedene Neuerungen auf. So sind die einzelnen Paragraphen nicht mehr wie im ersten Abschnitt der früheren Auflagen durch Beschreibung von Fundamentalversuchen eingeleitet, und es finden sich nur noch zerstreut Hindeutungen auf bestimmte Versuche. Ob dies dem Ganzen zum Vorteil gereicht, muss dahingestellt bleiben. Auch die Anordnung des gesamten Stoffes ist vielfach geändert, besonders ist die Einleitung umgearbeitet worden. Im übrigen erscheint der gebotene Stoff exakt durchgearbeitet, doch wäre wohl eine gewisse Berücksichtigung der Mineralien am Platze gewesen.

Der besonders verausgabte Anhang: „Die wichtigsten organischen Verbindungen“ (72 S., M. 0,60) giebt in zwei Hauptabschnitten, „Die Fettkörper“ und „Die aromatischen Stoffe“, denen noch kurze Bemerkungen über „Eiweissstoffe“ und „Albuminoide“ folgen, eine übersichtliche Zusammenstellung der für die Schule wichtigsten Kohlenstoffverbindungen. O. Ohmann.

**Kurze Anleitung zur chemischen Untersuchung von Rohstoffen und Produkten der landwirtschaftlichen Gewerbe und der Fettindustrie.** Von W. Kalmann, Prof. und Fachvorstand an der k. k. Staatsgewerbeschule in Bielitz. Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1896. X u. 133 S. M. 3,—.

Die Anleitung soll sowohl dem angehenden wie dem fertig gebildeten technischen Chemiker, letzterem freilich nicht für die in sein Spezialgebiet fallenden Untersuchungen, als Leitfaden zum Gebrauche im Laboratorium dienen. Nach Aufführung der wichtigsten Reagentien werden u. a. die Unter-

suchungen des Wassers, des Zuckers, des Bieres und Weines, des Spiritus und der Fette und Seifen ausführlich behandelt, teilweise unter Beschreibung besonders geeigneter Apparate. Da in dem Buch die wichtigsten Methoden der Untersuchung klar wiedergegeben und auch die Anwendung komplizierter Apparate vermieden ist, können manche Abschnitte und Versuche auch für den chemischen Unterricht, insbesondere an Fachschulen, verwertet werden.

O. Ohmann.

**Lehrbuch der Physik und Chemie für höhere Mädchenschulen, Lehrerinnen-Seminarien und Fortbildungsanstalten** bearbeitet von Prof. Dr. F. Bachmann, Dir. d. Kgl. Elisabeth-Schule zu Berlin und Dr. W. Breslich, Oberl. am Luisenstädt. Realgymnasium zu Berlin. 3., nach den neuen Bestimmungen umgearbeitete Auflage. Mit 159 Abbildungen im Texte. Berlin 1895. E. S. Mittler u. Sohn. V u. 158 S. M. 2,40, geb. M. 2,80.

Die zweite Auflage des Buches ist in d. Zeitschr. (IV 267) eingehender besprochen worden. Die neue Bearbeitung, welche den Bestimmungen über die Lehrziele der höheren Mädchenschulen vom 31. Mai 1894 angepasst wurde, zeigt überall wesentliche Verbesserungen, und es ist daher im Interesse des Unterrichts zu wünschen, dass sie die minderwertigen Lehrbücher, die an vielen höheren Mädchenschulen und Lehrerinnen-Seminarien eingeführt sind, bald gänzlich verdrängen möge. Bei einer Neuauflage könnte das stets falsch gezeichnete Bild der Münze auf dem Boden der Wasserschüssel (Fig. 116) an die richtige Stelle gesetzt und in den biographischen Notizen auch Heinrich Hertz erwähnt werden.

Hahn-Machenheimer.

### Programm-Abhandlungen.

**Beitrag zur theoretischen Erklärung der Interferenzerscheinungen**, welche Platten aus Zwillingkrystallen im convergenten polarisierten Lichte zeigen. Von Dr. Benno Hecht. St. R. G. zu Königsberg i. Pr. Pr. No. 19. 21 S. u. 1 Taf.

Der Verfasser stellt eine allgemeine Theorie zur Erklärung der genannten Interferenzerscheinungen auf, entwickelt sie möglichst weit und wendet sie auf einige besondere Fälle an. Dabei werden außer den auch sonst üblichen beschränkenden Annahmen noch die folgenden beiden gemacht: Erstens wird vorausgesetzt, dass sich die Richtung der Lichtwellen bei dem Übertritt aus einem Krystallindividuum in das benachbarte nicht ändert; zweitens wird angenommen, dass an der Grenze zweier Individuen keine Schwächung des Lichtes durch Spiegelung eintritt. Die erste Voraussetzung ist zulässig, die andere jedoch nicht immer, da die Untersuchungen des Verfassers ergeben, dass bei den Erscheinungen, welche idiocyklophane Krystalle zeigen, die Spiegelung an den Grenzflächen eine wesentliche Rolle spielt. Ferner ist angenommen, dass für einen Zwilling aus mehreren Individuen alle Zwillingsebenen unter einander und Verwachsungsflächen unter einander parallel seien. Bei der eingehenden Untersuchung der Interferenzerscheinungen in Zwillingen, die aus 2 und 3 Individuen bestehen, wurde vorausgesetzt, dass die beiden Grenzflächen parallel seien. Hahn-Machenheimer.

**Der Gleichgewichtszustand einer Flüssigkeit in einer vertikalen capillaren conischen Röhre.** Von A. Brömel. St. R. zu Pirna. 1896. Pr. No. 587. 22 S. u. 1 Taf.

Der Verfasser erhielt die Anregung zu der Arbeit in dem mathematischen Seminar des Professors von der Mühl zu Leipzig. Die Ergebnisse der theoretischen Untersuchung der Capillarerscheinungen in einer lotrechten cylindrischen Röhre lassen sich mit geringen Änderungen auf kegelförmige Röhren übertragen, die sich nach oben erweitern. Der Verfasser untersucht auch noch den Fall der nach oben sich verengenden kegelförmigen Röhren, bei dem eine neue Gestalt der Flüssigkeitsoberfläche auftritt, und giebt hierfür die zweite Annäherung. Das Problem der kegelförmigen Haarröhrchen ist bereits früher etwas allgemeiner, aber weniger eindringend von E. Mathieu in seiner *Théorie de la capillarité, Paris 1883, S. 52—58*, behandelt worden. Hahn-Machenheimer.

### Versammlungen und Vereine.

#### 68. Naturforscherversammlung zu Frankfurt a. M. am 21.—24. September 1896.

Die Abteilung für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht war wie gewöhnlich nur schwach besucht. Man hat daher in Aussicht genommen, die Sektion nach Ablauf der jetzigen Organisationsperiode (bis 1898) wieder aufzuheben, um die Hauptkraft auf den Schulmathematikertag (zuletzt in Elberfeld) zu konzentrieren. Einführender war diesmal Direktor Dr. Bode, Schriftführer Oberlehrer Dr. C. H. Müller.

In der 1. Sitzung am 21. September überreichte der Vorsitzende der Versammlung als Geschenk des physikalischen Vereins bzw. der betr. Verfasser folgende Schriften: 1. Zur Erinnerung an Samuel Th. v. Sömmering und Philipp Reis (Neudrucke der Originalabhandlungen). 2. Beschreibung des physikalischen Vereins. (Dieser eröffnet von Ostern 1896 ab staatl. unterstützte Ferienkurse für Oberlehrer; die früheren Kurse waren aus den Mitteln des Instituts selbst bestritten worden). 3. Ziegler und König, Klima von Frankfurt a. M. Geschenk des phys. Vereins. 4. Blum, Erfahrungen mit der Formol-Conservierung. 5. Stelz und Grede, Der Schulgarten. Progr.-Abhandlung (Unterlage des folg. Vortrags). 6. Schubert, Probedruck einer 5stelligen Logarithmentafel.

Professor Stelz (Bockenheimer R.-S. zu Frankfurt a. M.) sprach sodann über das Thema: Der Schulgarten und seine Verwendung im Unterricht. Er schilderte die bisherigen Versuche zur Begründung eines Schulgartens und beschrieb eingehend den Bockenheimer Garten, der sich dadurch auszeichnet, dass die Pflanzen nicht systematisch, sondern in natürlichen Gruppen und Lebensgemeinschaften (Teich, Sumpf und Moor, Felsengelände, schattige Waldgebiete u. s. w.) angebaut sind. Die erste Anlage kostete rund 3000 Mark, die Unterhaltung 200 Mark pro Jahr. Die meisten Schulstunden sollen im Schulgarten bzw. in einer offenen Gartenhütte abgehalten werden. Die Diskussion zeigte, dass die gemachten Vorschläge sympathisch begrüsst werden, ihre Ausführbarkeit nur als teilweise möglich angesehen wird.

Prof. Dr. Simon (Strassburg i. E.) sprach über Die Geschichte und Metaphysik der Differentialrechnung. Redner hob die Verdienste der Alten in der Verwendung unendlich kleiner Grössen hervor und betonte die Musterprobleme der Infinitesimalrechnung: Das Tangentenproblem, das dynamische Problem (Geschwindigkeit und Beschleunigung), Quadratur und Kubatur, wozu noch die Rektifikation tritt. Fermat besass schon einen ziemlich ausgebildeten Algorithmus der Differentialrechnung. Newton und Leibniz dagegen fassten die Hauptprobleme zusammen und gaben gewissermassen die Grammatik einer Sprache, die schon eine reiche Litteratur hatte. Über den bekannten Prioritätsstreit sprach der Vortragende sich dahin aus, dass Leibniz die Symbolik des neuen Algorithmus aufstellte, was das Wichtigste war, während Newton wahrscheinlich früher als L. im Besitze der neuen Rechnung war. Die verschiedenen schiefen Auffassungen über das Wesen des Differenzials wurden besprochen und die metaphysische Entwicklung dieses schwierigen Begriffs bis auf die Neuzeit verfolgt.

Sodann sprach Prof. Dr. Schwalbe (Berlin) über: Technische Exkursionen an Schulen. Er empfahl den Besuch von technischen Instituten, auch an fernen Orten, und beklagte den Mangel eines Lehrbuchs, das die physikalische Technik in richtiger und moderner Weise zur Anschauung bringe, während über die chemische Technologie treffliche Handbücher (Wagner u. a.) vorhanden seien. Erwähnt wurden sodann die Berliner technischen Anstalten, welche mit den Schülern besucht wurden. Auch grössere Reisen (z. B. nach Dortmund) hat Schw. mit seinen Schülern zu sehr billigen Preisen gemacht und sehr instruktiv gefunden. Die Fortbildungskurse für Oberlehrer müssten notwendig auch diese Art des Unterrichts ins Auge fassen. — In der Debatte wurde erwähnt, dass gerade letzteres bei den Frankfurter Ferienkursen reichlich geschehen sei und dass auch an den dortigen realistischen Anstalten Exkursionen unternommen würden. Im übrigen wird den Vorschlägen des Redners zugestimmt.

Derselbe trug dann vor über Freihand-Experimente (Home-Experiments). Solche Versuche, die in England und Frankreich grosse Ausdehnung gewonnen haben, hat Redner durchprobiert und in Vorträgen für Volksschullehrer, Rektoren u. s. w. in Anwendung gebracht. Mehrere Bücher mit Zusammenstellungen solcher Experimente werden vorgelegt. Die Versuche eignen sich namentlich für praktische Übungen an Oberschulen, bei denen mit geringen Mitteln und an einfachen Apparaten (z. B. denen von Meiser-Mertig in Dresden) gearbeitet werden soll. — In der Besprechung des Vortrages werden anderweitige günstige Erfahrungen mit den Meiser-Mertigschen Apparaten und mit einfachen Feldmess-Apparaten (Ohmann-Berlin, Winkelprisma und -Spiegel, Busssole) erwähnt.

In der 2. (und letzten) Sitzung der Sektion, gemeinschaftlich mit Abt. 1 (Mathematik und Astronomie) und Abt. 2 (Physik) hielt Dir. Dr. Schwalbe vor einer zahlreichen Versammlung von über 100 Personen, darunter hervorragende Vertreter der Mathematik und Naturwissenschaft, den angekündigten Vortrag: Über die Vorbildung der Lehrer in Mathematik und Naturwissenschaft an höheren Unterrichtsanstalten gegenüber den Forderungen der heutigen Zeit. Redner erstattet zunächst Bericht über die Beschlüsse, welche der Schulmathematiker-Tag zu Elberfeld (Pfungsten d. J.) gefasst hat. Damals hatte der Gewerbeschuldirektor Holzmüller die Forderung vertreten, dass die Ausbildung der Oberlehrer in den exakten Fächern mehr nach der technischen Seite hingelenkt werden solle, und demgemäss den zeitweiligen Besuch einer technischen Hochschule als wünschenswert bezeichnet. Bei der Staatsprüfung sei auch in der darstellenden

den Geometrie und in technischer Mechanik zu prüfen. Schwalbe erklärte sich gegen die Forderungen Holzmüllers, da er befürchtet, dass dann das höhere Schulwesen zu sehr in Fachschulwesen zerfalle. Auch die Elberfelder Versammlung habe beschlossen, dass das Studium für den Oberlehrer der exakten Fächer der Universität vorbehalten bleibe. Redner stellte einige Thesen auf, die nach dieser Richtung zielen. — An der sehr angeregten Diskussion beteiligten sich u. a. die Hochschul-Professoren: Felix Klein, Brill, Dyk, Wiener, Wiedemann, Weber, Oberbeck, v. Oettingen, Archenthal, Lorenz, Heffter. Man unterwarf die Thesen Schwalbes der Reihe nach einer orientierenden Besprechung. Es stellte sich heraus, dass, wie z. B. Klein zugab, die heutigen Universitäten nicht immer hinreichend den Fortschritten der Technik Rechnung tragen, Vorträge in darstellender Geometrie und technischer Mechanik müssten daher überall eingerichtet werden. Die Mehrzahl der Redner erklärte sich zwar dafür, dass das Studium für den Oberlehrerberuf im wesentlichen der Universität vorbehalten bleibe, dass es aber vorläufig erwünscht sei, wenn 2—4 Semester auf einer technischen Hochschule verbracht würden, die dann auch voll angerechnet werden müssten. — Die Universitäten sollen mehr auf darstellende Geometrie und technische Mechanik Rücksicht nehmen. — In den Schulaufgaben aus Mathematik und Physik solle das technische Element mehr hervortreten. Es wird erwähnt, dass auch an preussischen Gymnasien Projektionslehre und einfache Übungen in praktischer Geometrie betrieben werden. — Die allgemeinen Oberschulen (Gymnasien, Realgymnasien, Realschulen) sollen nicht in Fachschulen aufgelöst werden. — Direktor Schwalbe verteidigte den verschiedenen Rednern der technischen und Universal-Hochschulen gegenüber wiederholt und energisch seine Thesen und erreichte es, dass der wesentliche Teil derselben angenommen wurde.

Nach dieser 2. Sitzung verteilten sich die Mitglieder der pädagogischen Sektion unter den verschiedenen mathematischen und naturwissenschaftlichen Sektionen. Erwähnenswert sind noch die Besuche des Palmengartens und Zoologischen Gartens unter fachmännischer Leitung, sowie der Besuch der Platinschmelze von Heräus in Hanau. Den Abschluss der Versammlung machten Ausflüge nach den wissenschaftlichen Instituten der benachbarten Städte. Für die Fachkollegen besonders interessant waren die Institute der Universität Marburg, der technischen Hochschule zu Darmstadt und das Serum-Institut zu Höchst. — Die nächste Versammlung findet in Braunschweig statt.

Die 1. Sitzung der Abteilung für Physik wurde von Prof. W. König am 21. September mit einer Begrüßung eröffnet. Schriftführer waren Prof. Rosenberger (Frankfurt) und Oberlehrer Bopp (Frankfurt). Das Wort nahm zunächst G. R. QUINCKE (Heidelberg) über Rotationen im konstanten elektrischen Felde. Zwischen zwei Kondensator-Platten, die in Flüssigkeit eingetaucht sind und auf gleicher Potentialdifferenz erhalten werden, hängen Kugeln aus Aragonit oder Kalkspat an dünnen Fäden. Giebt man den Kugeln einen Anstoß, so verharren sie stundenlang in drehender und schwingender Bewegung. Die Erscheinung hängt damit zusammen, daß auf der Oberfläche der Kugeln eine sehr dünne Lufthaut kleben bleibt, selbst wenn sie eingetaucht sind. Quincke hat auch die Veränderung von Luftblasen in demselben elektrischen Felde studiert.

Dr. J. TUMA (Wien) sprach über einen Ersatz für den Rühmkorffschen Apparat. Das Wesentlichste des neuen Apparates ist die eigentümliche Verwendung des Wagnerschen Hammers. Dieser ist nämlich in einen derart luftverdünnten Raum eingeschlossen, daß die Entladungen nur noch beim Kontakte am Platin, nicht aber durch die dünne Luft erfolgen können. Der Magnet des Hammers befindet sich außerhalb des Raumes. Hierdurch wird erreicht, daß bei Strömen von 80—100 V. Spannung das Zustandekommen eines Flammenbogens an der Unterbrechungsstelle verhindert wird.

Die zweite Sitzung eröffnete Professor NERNST (Göttingen) mit einem Vortrage: Über Berührungs-Elektrizität. Im Anschluß an ein von ihm im Auftrage der phys. Abteilung geliefertes und publiziertes Referat beschrieb N. die bekannteren Methoden von Volta, Edlund und Helmholtz, um die Potentiale bei der Berührung homogener, aber sonst verschiedener Substanzen zu messen. Er kam zu dem Schlusse, daß die Anwendung der osmotischen Theorie auf die Kapillarscheinungen des polarisierten Quecksilbers eine durchgehende Bestätigung gefunden habe, indem sich die elektromotorische Kraft der verschiedensten galvanischen Kombinationen in guter Übereinstimmung mit dem experimentellen Befunde hat berechnen lassen.

Professor RUBENS (Berlin) berichtete hierauf: Über Wärmestrahlen von großer Wellenlänge. Die Wärmestrahlen, die von einem erhitzten Platinbleche ausgehen, werden durch ein Flußspatprisma parallel gemacht und dann mehrmals von Flußspat reflektiert. Die Wellenlänge wurde durch ein Beugungsgitter auf  $24,4 \mu$  bestimmt. Bei Quarz ergab sich  $8,8 \mu$ . Der Vortragende beabsichtigt, stehende Wärmewellen zu erzeugen und Versuche anzustellen, die den Hertzschon analog sind.

Professor DRUDE (Leipzig) demonstrierte dann: Elektrische Brechungsquotienten von Flüssigkeiten. Vermittels eines Parallel-Drahtsystems und einer Zehnderschen Röhre lassen sich elektrischen Wellen im verdunkelten Zimmer weithin sichtbar markieren. Gehen nun die parallelen Drähte nicht mehr durch Luft, sondern durch ein Medium von anderer Dielektrizitäts-Constante, z. B. durch eine Flüssigkeit, so tritt eine Änderung der Wellenlänge ein, die gewisse Gesetzmäßigkeiten zeigt.

Zum Schluß sprach Professor Bachmetjew (Sofia): Über die elektrischen Abkühlungsströme und ihre Beziehungen zu den Erdströmen. Erkalte Metallmassen zeigen elektrische Ströme, deren Stärke desto größer, je größer die Volumänderung des Metalles im Momente des Erstarrens ist. Die Erde, als erstarrender Körper, zeigt analoge Erscheinungen, die allerdings noch mit allerlei Componenten verquickt sind.

In der 3. mit der Chemischen Sektion gemeinschaftlichen Sitzung wurde Prof. van't Hoff durch Prof. v. Öttingen als Begründer der physikalischen Chemie begrüßt. Darauf sprach VAN'T HOFF: Über den Vorgang der langsamen Oxydation. Er behandelte die Frage, wie Sauerstoff bei gewöhnlicher Temperatur seine oxydierenden Wirkungen ausübe. Hierzu ist das Studium der sogenannten Aktivierung des Sauerstoffs  $O_2$  und seine Spaltung in Atome von Wichtigkeit. Nach van't Hoff tritt die Spaltung des Sauerstoff-Moleküls erst durch die Oxydation auf, sie ist also nicht bereits vorher vorhanden.

Hierauf sprach Professor V. Meyer (Heidelberg): Über die langsame Oxydation von Wasserstoff und Kohlenoxyd, und Dr. TRAUBE (Berlin) entwickelte einige neue Gesichtspunkte in betreff eines neuen Systems der Elemente im Anschlusse an die Arbeiten von L. Meyer und Mendelejeff. Mit Beziehung hierauf legte Dr. WIECHERT (Königsberg) eine nach Atomgewichten geordnete Tabelle des periodischen Systems vor.

Dr. COEHN (Göttingen) trug vor: Zur Elektrochemie des Kohlenstoffs. Aus Lösungen von Kohle in Schwefelsäure hat er durch den elektrischen Strom analog der Metall-Auflösung Niederschläge an der Kathode erhalten (vgl. ds. Heft S. 36). Hierbei entstehen deutlich Ionen d. h. Teilchen, die Elektrizität transportieren. — Dann sprach Dr. ULLMANN (Frankfurt) Über die Ausscheidungsform des Kupfers bei der Elektrolyse. Es ist ihm gelungen, ein Gesetz aufzufinden, welches die Bedingungen enthält, unter denen das Kupfer als blankes Metall oder als schwarze Pulvermasse niedergeschlagen wird. — Dr. EHRLICH (Frankfurt) führte darauf die elektrischen Koch- und Heizapparate der Frankfurter Firma „Prometheus“ vor. Hierbei dient als heizender Widerstand Glanzmetall in verschiedener Legierung (Gold und Platin). Die Schichten können bis auf eine Dünne von  $\frac{1}{20000}$  mm gebracht werden.

Hieran schloß sich ein Vortrag des Dr. SCHAUM (Marburg): Über physikalische Isomerie. Redner giebt eine Übersicht über den Begriff der Polymorphie, Allotropie und Isomerie. Die physikalische Isomerie findet ihre geeignetste Erklärung als Metamerie, d. h. durch verschiedenartige Anordnung physikalisch gleicher Moleküle im Raum. Gegen die Annahme einer physikalischen Polymerie spricht in erster Linie die Identität der Schmelzflüsse und Lösungen. — Dr. Bodländer (Klausthal) dagegen bestreitet in seinem Vortrage: „Über feste Lösungen“, daß sich die Gesetze der flüssigen Lösungen auf feste, homogene Gemische übertragen lassen.

Die 4. Sitzung war gemeinsam mit der Abteilung für Instrumentenkunde. Unter der Leitung von Prof. Viktor v. Lang (Wien) fand zunächst eine Besichtigung der reichen Ausstellung von Galvanometern älterer und neuerer Konstruktion statt. Dr. THEODOR BRUGER (Frankfurt) demonstrierte sodann ein empfindliches, von äußeren magnetischen Einflüssen freies Galvanometer, das von der Firma Hartmann und Braun geliefert wird. Bei festem Magnetsystem ist eine 2 g schwere Spule beweglich an Kokon- oder Quarzfaden aufgehängt. Die Zuleitung des Stromes geschieht durch feine Blattsilberstreifen, die an anderen festen vorbeistreichen.

Prof. Nernst (Göttingen) zeigte sodann ein Quadranten-Elektrometer neuer Konstruktion. Die Nadel ist durch eine kleine Zamboni-Säule ersetzt, so daß ein Laden von außen überflüssig wird. Zum Aufbau der Säule wird Zinnfolie mit aufgetragenem Bleisuperoxyd benutzt. Eine Polarisation der Säule tritt für gewöhnlich nicht ein, weil das Bleisuperoxyd depolarisierend wirkt.

Nachdem dann Prof. Oberbeck (Tübingen) über den Einfluß der Temperatur auf die Entladung der Elektrizität aus einem gegebenen Konduktor gesprochen, trug Prof. Braun (Straßburg) vor: Über die Natur des Flüssigkeitszustandes. Er untersucht die Frage, ob die Teilchen eines gelösten Stoffes bei der Anlagerung an einen Krystall erst im Momente der Anlagerung sich orientieren oder ob dies schon vorher in einiger Entfernung geschieht.

Nach dem Vortrage des Prof. PERNET (Zürich) über die spezifische Wärme des Wassers und das mechanische Wärmeäquivalent folgte Prof. v. ÖTTINGEN (Leipzig) über Geschwin-

digkeits- und Beschleunigungsmaße. Da bisher kein besonderes Maß für Geschwindigkeit vorhanden, so schlägt Redner als Einheit vor 1 Cel (Celeritas) = 1 cm pro Sekunde. Ferner soll die Einheit der Beschleunigung (zur Erinnerung an Galilei) sein 1 Gal = 1 Cel pro Sekunde.

Prof. F. Neesen (Berlin) sprach über Blitzableiter. Er machte darauf aufmerksam, daß selbst schlecht leitende Blitzableiter die Blitzgefahr für ein Haus nicht wesentlich vermehren. Er giebt weiter an, daß kostspielige Spitzen an den Fangstangen überflüssig seien, da dieselben einen genügend raschen Ausgleich der Potential-Differenz herbeizuführen nicht imstande sind.

Nach der Sitzung fand in dem wissenschaftlichen Ausstellungsgebäude ein gemeinsamer Rundgang statt. Hierbei erörterte Prof. Schering (Darmstadt) die Konstruktion eines magnetischen Systems für ein Ausschlaggalvanometer mit maximaler Empfindlichkeit und Herr Nicolai (Wiesbaden) demonstrierte das Löten des Aluminiums.

In der 5. Sitzung am 24. September vormittags sprach Prof. WIEDEMANN (Erlangen) über Spektralerscheinungen. Er projizierte Spektren des Cadmiums und Zinks, welche im Ultraviolett einige neue Bandenspektren zeigten. Prof. Rosenberger (Frankfurt) gab sodann eine historische Darlegung über die erste Entwicklung der Elektrisier-Maschine.

Die nächsten Vorträge hatten zum Gegenstand die Kathoden- bez. Röntgen-Strahlen. Zunächst sprach Prof. EBERT (Kiel) über die elektromagnetische Rotationsdispersion der Kathodenstrahlen. Dann äußerte sich Prof. LENARD (Aachen) über die Natur der Röntgenstrahlen dahin, daß er sie auch als Kathodenstrahlen mit der magnetischen Ablenkung Null auffaßt. Prof. NEESEN (Berlin) machte Mitteilungen über verschiedenartige Versuche an Röntgen-Röhren. Prof. DES COUDRES faßte seine Elektrodynamischen Untersuchungen über Kathodenstrahlen dahin zusammen, daß die Art der Kathodenstrahlen, charakterisiert durch ihre magnetische Ablenkbarkeit und ihre Absorbierbarkeit, bei demselben Gasdrucke und gegebenem Tempo des erregenden Wechselstroms eine Funktion von dessen Amplitude sei.

In der 6. Sitzung am 24. September nachmittags sprach Prof. Hagenbach (Basel) über Ventildwirkung bei Entladung hoher elektrischer Spannungen im luftverdünnten Raum. Aus seinen Versuchen ergibt sich, daß bei fortschreitender Verdünnung der Luft der Widerstand des Mediums je nach der Stromrichtung verschieden ist. Während bei einer Luftverdünnung bis 0,2 mm der von einer Spitze zu einer flächenförmigen Kathode übergehende Strom stärker war als für die umgekehrte Richtung, so trat bei einer Verdünnung von weniger als 0,13 mm die umgekehrte Erscheinung ein.

Dr. ROSENTHAL (Ingenieur in Erlangen) machte ausführliche Angaben über die verschiedenen Arten der Erzeugung von Röntgenstrahlen und über ihre verschiedenartige Verwendbarkeit. Er giebt für kleine Induktoren die Verwendung des Tesla-Transformators (nach König) den Vorzug. — Darauf erläuterte Dr. O. WIEDEBURG (Leipzig) seinen Interferential-Refraktor für elektrische Wellen und Dr. SCHÜTZ (Göttingen) knüpfte einige weitere Erörterungen zur Theorie der Röntgenstrahlen an. — Prof. Neesen (Berlin) demonstrierte sodann zwei selbstthätige Quecksilber-Luftpumpen. Eine davon ist durch eine besondere Vorrichtung dazu geeignet, die Blutgase zu bestimmen. Auch TUMA (Wien) beschrieb eine von ihm konstruierte Quecksilberluftpumpe. — Dr. W. A. NIPPOLDT (Frankfurt) zeigte ein von ihm verbessertes Ventilations-Psychrometer sowie die Verbesserung seiner Telephonmefsbürste vor, welche seit 10 Jahren zur Prüfung von Blitzableitern gedient hat.

Schließlich gab Prof. Pernet (Zürich) eine interessante neue Form eines Längenkomparators an und Dr. ARCHENHOLD (Berlin, Sternwarte) zeigte mit der Projektionslampe einige Aufnahmen aus dem Gebiete der Astrophysik.

Die Sitzungen der Abteilung für Chemie eröffnete Dr. Petersen (Frankfurt a. M.) mit einer kurzen Begrüßung. Derselbe wurde auch zunächst zum Vorsitzenden erwähnt. Auf Antrag des Prof. Fischer (Berlin) ehrte die Versammlung das Andenken A. Kekulé's durch Erheben von den Sitzen. Prof. Fischer (Berlin) sprach sodann über Konstitution und Synthese des Koffeins (vergl. d. Zeitschr. VIII 320). Prof. Roser (Höchst) hielt sodann einen Vortrag zur Konstitution des Kotarnins. Redner sprach die Ansicht aus, daß wohl auch das Antipyrin eine ähnliche Ammoniumverbindung sei wie das Bromtarkonin. Es folgte Prof. Buchner (Tübingen) mit einem Vortrage über Pseudo-Phenyllessigester. Die Analogie dieses Stoffes mit den Terpenen ist eine so große, daß man vielleicht in ihm das erste Carbonsäurederivat der Terpenreihe erblicken darf. Prof. Hantzsch (Würzburg) sprach über die Isomerie der Diazoverbindungen.

Im Verlaufe der an den Vortrag geknüpften Diskussion erwähnte Prof. Dr. V. Meyer, daß eine ähnliche Umlagerung, wie die vom Vortragenden erwähnte der Diazonium-Rhodamide, bei der Bromnaphthalinsulfosäure stattfindet unter Einwirkung von  $\text{P Cl}_2$ .



In der 2. Sitzung, in der Prof. v. Baeyer (München) den Vorsitz übernahm, sprach Prof. Wislicenus (Leipzig) über die Stereo-Isomeren der Strukturformel  $\text{CH}_3 \cdot \text{CBr} = \text{CH} \cdot \text{CH}_3$ . Durch die Controlversuche sind Widersprüche in den theoretischen Folgerungen beseitigt, und die aus den für die beiden Isomeren aufgestellten stereochemischen Formeln abgeleiteten Ansichten stehen in voller Übereinstimmung mit den Thatsachen. Prof. Anschütz (Bonn) berichtete: 1. Über die Constitution der Tartrazine. 2. Über Gesetzmäßigkeit bei der Bildung der Phenolcarbonsäurechloride. In der hieran geknüpften Besprechung erklärte v. Baeyer (München) es für wünschenswert, daß die Genfer Nomenklatur bei complizierten Benennungen nur in der Überschrift Verwendung finden möge, daß für den Text jedoch einfachere, passende Bezeichnungen zu wählen seien. Prof. Nölting (München) behandelte: Die Farbstoffe der Dinaphtylphenylmethan- und Trinaphtylmethanreihe, und Prof. v. Kostanecki (Bern) gab eine Übersicht über die Gruppen der gelben Pflanzenfarbstoffe. Prof. Curtius (Kiel) besprach sodann: Allgemein anwendbare Synthesen durch Umlagerung von Säureaziden. In der sehr lebhaften Diskussion weist E. Fischer auf die Unzulänglichkeit der heutigen Strukturformeln hin.

Ein Vortrag von Dr. Clemm (Kiel): Über Hydrazide und Azide der Glutar- und Korksäure und über das Diaminohexan schließt sich eng an die Ausführungen des Prof. Curtius an.

Prof. Ladenburg (Breslau) spricht sodann: Über asymmetrischen Stickstoff. Redner kommt zum Schlusse, daß ein selbständiges asymmetrisches Stickstoffatom nicht anzunehmen sei, daß aber ein Stickstoffatom unter Umständen im stande sei, das Drehungsvermögen einer optisch aktiven Kohlenstoff-Verbindung zu modifizieren.

Geh.-Rat Holtz (Berlin) berichtet: über den Stand des Baues des Hofmann-Hauses und fordert auf, gleichzeitig mit der Ehrung Hofmanns eine solche Kekulé's zu verbinden.

In der 3. Sitzung führte Prof. Wislicenus (Leipzig) den Vorsitz. Zunächst sprach Prof. E. v. Meyer (Dresden) 1. Zur Kenntnis der condensierenden Wirkung des Natriums und 2. Über die Wechselwirkung von schwefliger Säure und Hydroxylaminderivaten. Prof. Nietzki (Basel) trug vor: Über chinoide Äther der Phenolphthaleine.

Hierauf zeigte Dr. Pfungst (Frankfurt) der Versammlung einen Laboratoriumsapparat zum Ersatz gläserner Einschmelzrohre. Der Apparat ist zum Evacuieren, Destillieren, Erhitzen in beliebiger Gasatmosphäre und für Vacuum eingerichtet; bei 570 At. ist er noch dicht.

Dr. Freund (Dozent d. phys. Vereins, Frankfurt a. M.) trug vor über: Untersuchungen des Thebains. Die Alkaloide des Opiums sind nach verschiedenen Richtungen hin untersucht. Der Vortragende hat sich der Gruppe der Morphinalkaloide, dem Morphin, Codein und besonders dem Thebain zugewandt.

Aus der vierten und fünften Sitzung (Vorsitzender Ladenburg (Breslau) und Fischer (Berlin)) sei hervorgehoben der Vortrag des Geh. Hofrats Caro (Mannheim): Über die Oxydation des Anilins. Während Technik und Wissenschaft schon weit in das Gebiet der Farbstoffe eingedrungen sind, ist der Eingang zu denselben, „die Oxydation des Anilins“, noch dunkel geblieben. Vortragender beabsichtigt noch weiter diese Frage zu studieren.

Prof. Dr. Werner (Zürich) teilte Resultate mit über: Molekulargewichtsbestimmungen anorganischer Salze in Lösungen organischer Körper. Die Methoden, welche so erfolgreiche Resultate bei der Bestimmung der Molekulargewichte organischer Körper zu Tage förderten, waren bei anorganischen Körpern wegen der Dissoziation in dem gebräuchlichen Lösungsmittel, dem Wasser, bisher wenig versucht worden. Eine Anzahl Lösungsmittel, die keine Dissoziation herbeiführen, wurden erwähnt und empfohlen<sup>1)</sup>.

C. H. Müller, Frankfurt a. M.

## Mitteilungen aus Werkstätten.

### Hochspannungsapparat zur Demonstration der Teslaschen Versuche.

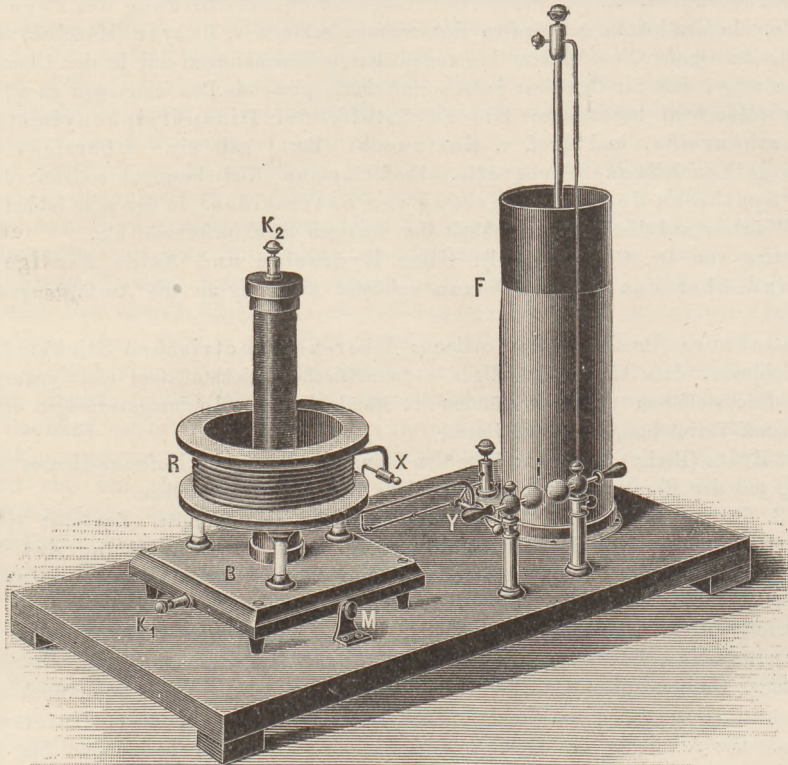
Von Ferdinand Ernecke in Berlin, S. W. Königgrätzer Str. 112.

Der nachstehend beschriebene Hochspannungsapparat ermöglicht es, schon bei Anwendung eines Induktors von nur 10 cm Funkenlänge die interessanten Erscheinungen, welche Wechselströme von hoher Wechselzahl darbieten, zu demonstrieren. Der bei diesem Apparat benutzte Hochspannungstransformator nach Elster und Geitel bietet den Vorteil, daß er ohne die sehr lästige, bei den übrigen Teslaspulen notwendige Ölisolation sicher funktioniert. Alle seine Teile liegen frei an der

<sup>1)</sup> Unter teilweiser Benutzung der *Chemikerzeitung*, herausgeg. von Krause in Cöthen.

Luft und sind deshalb in jedem Augenblicke zu übersehen. Auch gestattet die Anordnung, sekundäre Spulen von verschiedener Bewickelung durch einen Griff auszuwechseln.

Auf dem massiven Grundbrett des Hochspannungsapparates befindet sich eine Leydnerflasche *F*, zu deren innerer und äußerer Belegung die Drähte von den Polklemmen eines Induktoriums führen. Die Entladungen der Leydnerflasche gehen von der inneren Belegung durch die regulierbare Funken-



c.  $\frac{1}{8}$  nat. Gr.

strecke *i*, durch die primären Windungen *R* des abnehmbaren Hochspannungstransformators und dann zur äußeren Belegung der Leydnerflasche. Die primäre Rolle *R* besteht aus wenigen Windungen sorgfältig durch Kautschuk isolierten dicken Kupferdrahtes, der auf einer flachen Holzspule aufgewickelt ist. Die herausstehenden Enden dieser Spule stehen einerseits bei *X* mit der äußeren Flaschenbelegung, andererseits bei *Y* mit der Funkenstrecke *i* in lösbarer metallischer Verbindung. In der Mitte des Brettchens *B*, das durch Glassäulen die Rolle *R* trägt, befindet sich eine conische Metallhülse, die mit der Drahtklemme *K*<sub>1</sub> in Verbindung steht. In diese Metallhülse läßt sich entweder die sekundäre Spule *A* (mit sehr vielen Windungen feinen Drahtes) oder die sekundäre Spule *B* mit weniger Windungen etwas größeren Drahtes) stecken. Das obere Ende einer jeden Spule bildet die Drahtklemme *K*<sub>2</sub>. *K*<sub>1</sub> und *K*<sub>2</sub> stellen somit die Pole der sekundären Transformatorspule dar. Die Funkenstrecke *i* wird nach Himstedt, um ein gleichmäßiges Übergehen der Errogerfunken zu erzielen, durch 2 Zinkkugeln gebildet. Mit diesem Hochspannungsapparat läßt sich nun die Reihe schöner Versuche zeigen, die von Elster und Geitel angegeben sind (vgl. d. Zeitschr. IX 139).

Der Preis des Apparates in eleganter Ausführung mit Transformator, großer Leydnerflasche und Errogerfunkenstrecke beträgt M. 140. Als Nebenapparate werden geliefert: 1 dicker Kupferbügel auf poliertem Holzstativ mit parallel geschalteter Glühlampe von 8 Volt zur Demonstration der Erscheinung der Impedanz (M. 10,50); 2 Drahringe aus kautschukisolierter Kupferader mit eingeschalteten Glühlampen von 10 resp. 12 Volt (M. 9,50); 2 Gestelle mit Glasisolierung zum Einstecken von 2 Drahtnetzen, 2 Drähten, 2 Drahtkreisen für Büschelentladungen etc. (M. 34); 1 kleine Leydnerflasche mit abnehmbarer Spitze für Elektrisierung der Luft (M. 4); 1 cylindrische Röhre evakuiert ohne Elektroden, ca. 25 cm lang (M. 2,25); 1 ebensolche, ca. 70 cm lang (M. 4,75); 1 kugelförmige (M. 3,50).

### Herings Hohlscheiben als Ersatz der Magdeburger Halbkugeln.

Um eine recht große Druckfläche und hohen Trennungswiderstand zu erhalten, hat Herr Adolf Hering in Auerbach i. V. Hohlkörper von 30 cm Durchmesser konstruiert, die aus zwei flachen, mit Handhaben versehenen Hohlscheiben zusammengesetzt sind. Er erreicht hierdurch eine solche Verringerung des Hohlraums, daß es zum Verdünnen der Luft gar keiner Luftpumpe bedarf. Ansaugen mit dem Munde genügt schon, um einen Überdruck zu erzeugen, den die Kräfte zweier Männer nicht zu überwinden vermögen. Auch können diese Hohlscheiben zum Hervorbringen einer ähnlichen Wirkung wie die der hydraulischen Presse dienen. Stellt man nämlich einen oder zwei Knaben (oder auch schwere Gewichte) auf die wagerecht liegenden Hohlscheiben und bläst mit dem Munde Luft in den Hohlraum, so wird nicht allein die nicht unbedeutende Adhäsion des Randes überwunden, sondern es wird auch die gesamte Last etwas gehoben. Die Hohlscheiben werden von der Lehrmittelfabrik von Carl Hering in Auerbach i. V. (Kgr. Sachsen) für M. 15 geliefert.

### Correspondenz.

Herr Prof. W. VOIGT in Göttingen sendete auf die Besprechung seines „Kompendium der theoretischen Physik“ in Heft 6 des vor. Jahrg. (S. 301) die nachstehende Erwiderung:

„Der Referent stellt an die Spitze seiner Ausführungen einige Sätze, die ich nach seiner Angabe dem Kompendium vorausgeschickt haben soll, um meinen Plan bei dessen Ausführung zu entwickeln. Sie beginnen folgendermaßen: „Das Werk ist zunächst bestimmt, die Studierenden der Mathematik und Physik soweit in die Grundlehren und Methoden der allgemeinen Mechanik einzuführen, als diese in den Vorlesungen über die einzelnen Teile der theoretischen Physik zur Anwendung kommen und als bekannt vorausgesetzt werden müssen“, und sprechen weiterhin die Hoffnung aus, daß ein solches Buch auch dem Chemiker, Mineralogen, Physiologen willkommen sein möchte. Hieraus schließt der Referent, daß das Kompendium für Anfänger bestimmt sei und beweist nun mit Überlegenheit, daß es seinen Zweck vollständig verfehle.

Der Referent ist einem höchst seltsamen Irrtum verfallen: Die Worte, in denen er das Programm des Kompendium sieht, stehen gar nicht in diesem Buche; sie sind frei übernommen aus der Vorrede des Verfassers zu seiner Elementaren Mechanik und finden sich in der Ankündigung dieses Buches durch den Verleger. Daß der Referent dies nicht bemerkt hat, ist völlig unerklärlich, und um so mehr, als er selbst wenige Zeilen unter dem oben citierten Passus den Eingang der Vorrede zum Kompendium abdruckt, der eine zusammenfassende Darstellung des ganzen Gebietes der theoretischen Physik ankündigt, für Lernende bestimmt, die nach Bewältigung einiger Spezialgebiete einen Überblick über die ganze Disziplin zu gewinnen wünschen.

Diese beiden Sätze stehen ja im vollkommenen Widerspruch zu einander. Dort eine Elementare Mechanik als Einleitung in das Studium der theoretischen Physik — so lautet der vollständige Titel — hier ein Kompendium der theoretischen Physik, für diejenigen bestimmt, die über das gewöhnlich auf der Universität gesteckte Ziel des Hörens einiger Spezialvorlesungen hinausgehen wollen! Welch ein Bild entwirft der Referent von einem Autor, dem er die Vermischung dieser zwei Aufgaben nachsagt, und wie sachgemäß wird sein Referat ausfallen!

Thatsächlich liegen die Dinge so. Die Elementare Mechanik und das Kompendium bilden zusammen eine Art Ganzes, wie dies ja in den Titeln deutlich ausgedrückt ist. In der Elementaren Mechanik sind die Grundlagen des behandelten Gebietes mit äußerster Ausführlichkeit besprochen, auch zahlreiche Beispiele durchgeführt und diskutiert. In dem Kapitel Mechanik des Kompendium ist dagegen das Hauptgewicht auf die Beziehungen der Mechanik zu andern Teilen der theoretischen Physik gelegt, wie dies das Vorwort auch nachdrücklich ausspricht; ihre Grundlehren sind als im wesentlichen bekannt vorausgesetzt und nur, um keine Lücke zu lassen, auf kürzestem Wege nochmals entwickelt. Wer sich die Mühe nimmt, die correspondierenden Abschnitte in beiden Büchern zu vergleichen, wird dies bestätigt sehen, auch alles, was der Referent im Kompendium vermisst, in der Elementaren Mechanik vorfinden.

Allerdings habe ich in der Vorrede zum Kompendium nicht ausdrücklich auf die Elementare Mechanik hingewiesen; mir widerstrebte eine Anführung des eigenen Werkes, dessen Stelle jedes andere Buch über Mechanik faktisch einnehmen kann, und ich begnügte mich mit wiederholten Citaten aus demselben. Dass aber Vorkenntnisse aus der Mechanik vorausgesetzt werden, sagt die Vorrede deutlich genug; wird doch allgemein die Mechanik als Eingang zur theoretischen Physik gelehrt und gehört.

Neben dem im Vorstehenden dargelegten größten Mißverständnis finde ich in dem — teilweise ja überschwänglich lobenden — Referat noch einige kleinere, von denen wenigstens eines als bedeutungs- und folgenreich hervorgehoben werden mag.

Referent bezeichnet es als „die vornehmste Eigenschaft“ des Kompendium, dafs es die gesamte Physik auf die Bewegungslehre zurückzuführen sucht. Das Kompendium verdient dieses Lob nicht; es verfolgt jenes Ziel nicht und spricht das nicht nur in beiden Vorworten nachdrücklich aus, sondern äußert sich auch im Laufe der Darstellung wiederholt über den problematischen Wert der mechanischen Theorien. Ein Übersehen dieses Umstandes bringt naturgemäß den Referenten vielen Entwicklungen — z. B. dem ganzen zweiten Bande — gegenüber in eine unrichtige Stellung.

Wenn ich nun auch die Gründe für die von mir vertretene Auffassung hier nicht erörtern kann, so möchte ich doch darauf hinweisen, dafs ein merkliches Sinken der Wertschätzung der mechanischen Theorien in der Physik schon Dezennien andauert, und dafs somit im Gegensatz zu der Darstellung des Referenten nicht ihre Bevorzugung, sondern ihre möglichste Elimination dem neuesten, oder, wie er sagt, dem „hypermodernen“ Standpunkt entsprechen dürfte.

Auch gegen die am Schlusse des Referates erhobenen Einwände spezieller Art hätte ich mancherlei geltend zu machen; indessen vertraue ich, dafs der Leser, der den Zusammenhang beachtet, in dem die beanstandeten Sätze stehen, trotz gelegentlicher Ungenauigkeit ihres Ausdruckes, vor Mißverständnissen geschützt sein wird.“

Göttingen, den 17. November 1896.

Im Anschlusse an die Mitteilung von A. KUHF AHL über das Doppler'sche Prinzip (S. 31) fügt Herr HUSMANN seiner Darstellung desselben Gegenstandes (in Jahrgang IX. S. 237) noch Folgendes hinzu: Seine Bemerkung beziehe sich auf die in den Schulen gebräuchlichen Lehrbücher, von denen manche die Entwicklung der Formel nur für den Fall enthalten, dafs die Schallquelle sich bewegt, obgleich gerade diese Herleitung eine etwas hypothetische Grundlage habe (vergl. d. Ztschr. IX 249), während der andere einwandfreie Fall, dafs der Beobachter sich der Schallquelle nähert oder von ihr entfernt, unerwähnt bleibe. Beide Formeln seien, wie er nachträglich erfahren, in den Lehrbüchern von Reis und Beetz angeführt. Der Entwicklung des Herrn KUHF AHL erkennt auch Herr HUSMANN wegen ihrer Einfachheit den Vorzug zu; sie liefert eine allgemein gültige Formel für beide Fälle, die jedoch nur so lange genau bleibt, wie Beobachter und Schallquelle sich in gerader Linie auf einander zu oder von einander fortbewegen.

#### Anleitung zum Gebrauch der astronomischen Tafel für 1897.

Die Karte I stellt die Sterne erster bis vierter Gröfse nördlich und südlich von der Ekliptik bis zu 30° Breite dar. Je ein Grad des Kugelumfangs, nach Länge oder Breite, ist durch eine Strecke von 1 mm dargestellt. Die Örter der Sonne sind in die Sternkarte selbst eingezeichnet, der Monatstag ist unmittelbar hinzugefügt, der Name des Monats findet sich am unteren Rande der Karte. Die Bahnen der Planeten mußten in besondere Wiederholungen der mittleren Zone des Hauptnetzes (Karte III bis VII) gezeichnet werden. Es wird leicht sein, jeden Ort eines Planeten senkrecht aufwärts in den identischen Ort der Sternkarte zu verschieben. Das Zeitintervall der auf den Bahnen hervorgehobenen Punkte beträgt 8 Tage für Sonne, Merkur und Venus, 16 Tage für Mars, 32 Tage für Jupiter und Saturn. Bei den äußersten Planeten, Uranus und Neptun, sind nur die Stillstandspunkte hervorgehoben.

Die Merkursbahn zeigt in großem Maßstabe alle Eigenthümlichkeiten der Planetenbahnen, eine nach Norden gewandte Schleife im Januar, eine Zickzacklinie im Mai, eine nach Süden gewandte Schleife im September. Die Zeit zwischen zwei gleichartigen Durchgängen durch den Knoten ist immer gleich 88 Tagen. Venus ist im April und Mai rückläufig, sie beschreibt eine sehr schmale Schleife, sodafs ihre Bahn fast in eine Zickzacklinie übergeht. Mars vollendet, anfangs noch rückläufig, die im vorigen Jahre begonnene Schleife. Während Merkur und Venus in einem Jahre etwa den ganzen Umfang des Tierkreises durchlaufen, legt ihn Mars nur zur Hälfte zurück, die Wege der entfernteren Planeten werden immer kleiner, die Breite der Schleifen wird so gering, dafs Hin- und Rückgang fast auf derselben Linie zu erfolgen scheint. Ihre Bahnen kehren von Jahr zu Jahr in fast unveränderter Gestalt wieder, indem sie sich nur weiter nach links verschieben. Fügt man die Neptunbahnen für drei aufeinanderfolgende Jahre aneinander, so ersieht man das merkwürdige Resultat, dafs benachbarte Schleifen über einander greifen, sodafs Neptun denselben Fixstern nicht ein- oder dreimal, wie die andern Planeten, sondern drei- oder fünfmal passiert. Die auf die Ekliptik projizierte räumliche geocentrische Bahn, einer Epicykloide ähnlich, würde diese Verschlingung der Schleifen noch deutlicher erkennen lassen.

Die Conjunctionen der Planeten mit einander, mit der Sonne und während jedes Monats mit dem Monde sind leicht aufzufinden, indem man zwei übereinander stehende gleiche Daten auf den beiden verglichenen Bahnen aufsucht. Die Opposition eines oberen, die untere Conjunction eines unteren Planeten liegt immer mitten in der rückläufigen Bewegung.

Die Karte VII stellt den elliptischen Mondlauf für einen siderischen Monat aus der Mitte des Jahres (21. Juni bis 18. Juli) von Tag zu Tag dar. Sie kann angenähert für das ganze Jahr benutzt werden, der Mond kann aber in ungünstigen Fällen in seiner Bahn um  $4^\circ$  von dem für die Stunde angegebenen Punkt entfernt stehen. Soll z. B. der Ort für den 20. Mai  $0^h$  bestimmt werden, so sind seit dem Beginn des siderischen Monats am 27. April  $21^h$  (d. h. nach bürgerlicher Rechnung 28. April  $9^h$  vormittags)  $22^h 3^h$  verflossen. Der Mond steht also zwischen den Punkten (22) und (23) in  $292^\circ$  Länge, etwa in der Mitte zwischen  $\sigma$  im Schützen und  $\beta$  im Steinbock, zugleich hat die Sonne eine Länge von  $60^\circ$  oder auch  $420^\circ$ , sie steht also  $128^\circ$  links vom Monde. Das uns sichtbare beleuchtete Kugelzweieck desselben erstreckt sich vom linken Rande aus über  $128^\circ$ , die Phase liegt also zwischen Vollmond und letztem Viertel.

Mit der Sonne steht der Mond am 1. Februar und am 29. Juli in der Nähe der Knoten in Conjunction. Es finden dann Sonnenfinsternisse statt, die bei uns unsichtbar sind. Mondfinsternisse ereignen sich nicht.

Der Verlauf der Mondbahn zeigt auch, welche Sterne im Laufe des Jahres vom Monde bedeckt werden. Diese müssen einer Zone angehören, deren Mittellinie die Mondbahn ist, und deren halbe Breite gleich der Summe von Radius und Parallaxe des Mondes  $= 1\frac{1}{4}^\circ$  ist. Dabei ist zu beachten, daß wegen des Rückgangs der Knoten um  $9^\circ$  in einem Halbjahr die Mondbahn zu Anfang und zu Ende des Jahres ein wenig teils über, teils unter der gezeichneten liegen kann, diese Breitenänderung beträgt höchstens  $\frac{3}{4}^\circ$ . Die von Berlin aus sichtbaren Bedeckungen, bei denen die Sterne südlich von der Mondbahn liegen müssen, sind nach dem Berliner astronomischen Jahrbuch folgende:

- $\epsilon$  im Widder, 15. September [Alter des Mondes  $18^d$ ], 6. Dezember [ $12^d$ ],
- einige Plejaden, 13. Januar [ $10^d$ ], 9. März [ $6^d$ ], 23. Juli [ $23^d$ ], 6. September [ $19^d$ ], 13. Oktober [ $17^d$ ],
- $\epsilon$  in den Zwillingen 16. Januar [ $13^d$ ], 12. März [ $9^d$ ], 19. September [ $22^d$ ],
- $\delta$  im Krebs, 15. Februar [ $14^d$ ],
- $\pi$  im Skorpion, 16. Mai [ $15^d$ ],
- X im Schützen, 20. April [ $18^d$ ], 14. Juni [ $14^d$ ],
- $\varphi$  im Schützen, 29. Januar [ $26^d$ ],
- $\sigma$  im Schützen, 15. Juni [ $15^d$ ], 9. August [ $11^d$ ].

Die Karten II und II<sup>a</sup> dienen dazu, den inneren Teil des Tierkreisgürtels, in welchem die Planeten und der Mond sich bewegen, auf den Äquator zu beziehen und die auf die tägliche Drehung bezüglichen Fragen für die Polhöhe von Berlin ( $52^\circ 31'$ ) und von Wien ( $48^\circ 13'$ ) zu beantworten. Die am unteren Rande der Karten mit  $1^h, 2^h \dots 24^h$  bezeichneten schrägen Linien geben eine bestimmte Rektascension  $\alpha$  an, oder auch, nach Sternzeit, den Zeitpunkt der Culmination der Gestirne. Die Parallelkreise zum Äquator erscheinen, wie dieser selbst, als wellenförmige Linien und sind nicht für gleiche Stufen der Deklination, sondern so gezogen, daß für die angenommene geographische Breite der halbe Tagesbogen ( $\frac{1}{2} T$ ) der in ihnen stehenden Sterne um je  $\frac{1}{2}^h$  variiert.

Um z. B. die Aufgangszeit ( $A$ ), Culminationszeit ( $C$ ) und Untergangszeit ( $U$ ) von Antares oder  $\alpha$  im Skorpion für Wien am 23. April zu finden, bestimmt man sie zunächst nach Sternzeit, gültig für jeden Tag. Überträgt man den Ort des Sternes aus Karte (I) in (II<sup>a</sup>), so findet man  $\alpha = 16^h 22^m$ ,  $\frac{1}{2} T = 3^h 45^m$ , folglich nach Sternzeit  $A = \alpha - \frac{1}{2} T = 12^h 37^m$ ,  $C = \alpha = 16^h 22^m$ ,  $U = \alpha + \frac{1}{2} T = 20^h 7^m$ .

Zugleich ist für den Ort der Sonne am 23. April  $\alpha' = 2^h 5^m$ , d. h. die Sternzeit geht am 23. April gegen wahre Sonnenzeit um  $2^h 5^m$  vor, ferner  $\frac{1}{2} T' = 6^h 58^m$ . Es ist also, nach wahrer Sonnenzeit, Sonnenaufgang um  $24^h - 6^h 58^m = 17^h 2^m$ , Sonnenuntergang um  $6^h 58^m$ .

Um für den Antares die oben angegebenen Sternzeiten in wahre Sonnenzeit zu verwandeln, hat man  $\alpha'$  zu subtrahieren:  $A = \alpha - \alpha' - \frac{1}{2} T = 10^h 32^m$ ,  $C = \alpha - \alpha' = 14^h 17^m$ ,  $U = \alpha - \alpha' + \frac{1}{2} T = 18^h 2^m$ .

Die Karte I enthält noch eine Kurve, deren Ordinate  $z$  die Zeitgleichung für die Sonnenlänge als Abscisse darstellt. Dabei ist  $1^m$  als  $1^{\text{min}}$  zu rechnen. So ist am 10. Februar die Zeitgleichung  $= 15^{\text{min}}$ , am 23. April  $= -2^{\text{min}}$ . Sie ist der Angabe eines Zeitpunktes nach wahrer Sonnenzeit hinzuzufügen, um ihn in mittlerer Sonnenzeit zu erhalten. Seit der Einführung der Mittel-Europäischen Zeit ist außerdem noch deren Fehler  $d$  zu den Zeitangaben zu addieren, um sie mit den ortsüblichen Uhren vergleichen zu können. Für Berlin ist  $d = 6^{\text{min}}$ , für Wien  $d = -5^{\text{min}}$ . Im ganzen sind daher die obigen Angaben um  $z + d = -2^{\text{min}} - 5^{\text{min}} = -7^{\text{min}}$  zu vermehren, um für

Wien nach *MEZ* zu erhalten:  $A = 10^h 25^m$ ,  $C = 14^h 10^m$ ,  $U = 17^h 55^m$ . Hierbei ist aber die Wirkung der Refraktion noch nicht berücksichtigt.

Aus den folgenden Tabellen ist zu dem halben Tagesbogen ( $\frac{1}{2} T$ ) eines Gestirnes für die Polhöhe von Berlin und die von Wien zu entnehmen: die Deklination  $= \delta$ , die Morgen- oder Abendweite  $= w$  (nördlich +, südlich -), die Verfrühung des Aufganges oder Verspätung des Unterganges durch die Refraktion  $= \rho$ , endlich  $A(\frac{1}{2} T)$  und  $\Delta w$ , d. h. die Änderungen, die  $\frac{1}{2} T$  und  $w$  für einen bestimmten Stern erleiden, wenn die geographische Breite  $\varphi$  des Beobachtungsortes um  $1^\circ$  wächst. Wo + und - zur Wahl steht, bezieht sich das obere Zeichen auf die obere Reihe der Werte von  $\frac{1}{2} T$ .

Berlin $\frac{1}{2} T$		6 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	6 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 5 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 5 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 4 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	8 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 4 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	8 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 3 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	9 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 3 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	9 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 2 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>
$\delta$	$\pm$	0°	6°	11°	16°	21°	25°	28°	31°
$w$	$\pm$	0°	9°	19°	28°	36°	44°	52°	59°
$\rho$		4 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>	6 <sup>m</sup>	7 <sup>m</sup>
$A(\frac{1}{2} T)$	$\pm$	0 <sup>m</sup>	1 <sup>m</sup>	2 <sup>m</sup>	3 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>	6 <sup>m</sup>	8 <sup>m</sup>	11 <sup>m</sup>
$\Delta w$	$\pm$	0°	0°	0°	1°	1°	1°	2°	2°

Wien $\frac{1}{2} T$		6 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	6 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 5 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 5 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 4 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	8 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 4 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	8 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 3 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	9 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup> 3 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>
$\delta$	$\pm$	0°	7°	13°	19°	24°	29°	32°
$w$	$\pm$	0°	10°	20°	29°	38°	46°	53°
$\rho$		4 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>
$A(\frac{1}{2} T)$	$\pm$	0 <sup>m</sup>	1 <sup>m</sup>	2 <sup>m</sup>	3 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>	6 <sup>m</sup>	8 <sup>m</sup>
$\Delta w$	$\pm$	0°	0°	0°	1°	1°	1°	2°

Berücksichtigt man hiernach die Refraktion  $\rho = 5^{\text{min}}$ , so wird definitiv für den Antares am 23. April für Wien

$$\left. \begin{aligned} A &= (\alpha - \alpha' + z + d) - (\frac{1}{2} T + \rho) = 10^h 20^m \\ C &= (\alpha - \alpha' + z + d) = 14^h 10^m \\ U &= (\alpha - \alpha' + z + d) + (\frac{1}{2} T + \rho) = 18^h 0^m \end{aligned} \right\} (MEZ)$$

Der Stern geht auf im Abstände  $w = -42^\circ$  vom Ostpunkt, zwischen Osten und Süden, er hat die Deklination  $\delta = -26^\circ$  und culminiert in der Höhe  $H = 90^\circ - \varphi + \delta = 42^\circ - 26^\circ = 16^\circ$ .

Ähnlich erhält man für die Sonne am 23. April mit Rücksicht auf die Refraktion  $\rho' = 4^{\text{min}}$ .

$$\left. \begin{aligned} A &= 24^h + z + d - (\frac{1}{2} T' + \rho') = 16^h 51^m \\ C &= 24^h + z + d = 23^h 53^m \\ U &= z + d + (\frac{1}{2} T' + \rho') = 6^h 55^m \end{aligned} \right\}$$

die Morgenwerte  $w = +20^\circ$ , die Deklination  $\delta = 13^\circ$ , die Culminationshöhe  $H = 55^\circ$ .

Diese Beispiele sind im folgenden mit einigen anderen tabellarisch zusammengestellt:

Ort, Zeit	Stern	$\frac{1}{2} T$	$\alpha$	$\rho$	$z$	$d$	$A$	$C$	$U$	$w$	$\delta$	$H$
Berlin 23. April	☉	7 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	-2 <sup>m</sup>	6 <sup>m</sup>	16 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	21°	13°	51°
"	Antares	3 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	16 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>	"	"	11 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	14 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	17 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	-48°	-26°	12°
"	♃	8 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>	"	"	17 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup>	9 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	36°	21°	59°
"	♄	7 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	"	"	1 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	8 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	15 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	21°	13°	51°
Wien 23. April	☉	6 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	"	-5 <sup>m</sup>	16 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	23 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup>	6 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	20°	13°	55°
"	Antares	3 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	16 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	5 <sup>m</sup>	"	"	10 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	14 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	18 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	-42°	-26°	16°
"	♃	7 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	"	"	17 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup>	8 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	33°	21°	63°
"	♄	6 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	10 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup>	"	"	0 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	15 <sup>h</sup> 1 <sup>m</sup>	20°	13°	55°

Die Kurven ( $\frac{1}{2}T$ ) und ( $\alpha$ ) in Karte II bilden ein Netz, das aus rechteckigen Maschen besteht. Durchläuft man aneinanderstossende Diagonalen immer in der Richtung von rechts unten nach links oben, was an einigen Stellen der Karte durch die gestrichelten Linien ( $A$ ) angedeutet ist, so nimmt längs jeder Diagonale  $\alpha$  und  $\frac{1}{2}T$  um  $30^m$  zu, daher bleibt die Aufgangszeit  $A = \alpha - \frac{1}{2}T$  für die durchlaufene Linie constant, diese giebt also, in Karte I übertragen, am Fixstern-Himmel solche Punkte an, die zugleich aufgehen, d. h. sie giebt für die Sternzeit ( $\alpha - \frac{1}{2}T$ ) die Spur des östlichen Horizonts am Himmel an. Die Karte II ermöglicht daher, die Stellung der gerade aufgehenden Sternbilder gegen den Horizont zu bestimmen, z. B. zeigt sie, das die Verbindungslinie von Castor und Pollux beim Aufgange der Zwillinge fast vertikal steht. Zieht man dagegen Trajektorien durch das Netz, welche überall die Richtung der von links unten nach rechts oben gehenden Diagonalen haben, wie es durch die gestrichelten Linien ( $U$ ) angedeutet ist, so bleibt längs derselben die Untergangszeit  $U = \alpha + \frac{1}{2}T$  ungeändert, sie deuten also die Lage des Horizonts zu den gerade untergehenden Sternbildern an.

Legt man durch den Ort der Sonne für den 23. April die Trajektorien ( $A$ ) und ( $U$ ), so geben diese am Himmel die Sterne an, deren wahrer kosmischer Aufgang, bzw. Untergang auf den 23. April fällt. Die Sterne, welche über dem Aufgangshorizont ( $A$ ) der Sonne liegen, sind Morgensterne, sichtbar vor Sonnenaufgang, diejenigen, welche über dem zugehörigen Untergangshorizont ( $U$ ) liegen, sind Abendsterne. Die Spuren von ( $A$ ) und ( $U$ ) am Fixsternhimmel bilden vier Winkelräume, der linke enthält die Abendsterne, der rechte die Morgensterne, der obere solche Gestirne, die am Morgen und am Abend zu sehen sind, der untere solche, die im Laufe einer Nacht aufgehen und untergehen. Ein Vergleich der Karten II und II<sup>a</sup> zeigt, das die beiden letzten Scheitelwinkel für Wien kleiner als für Berlin sind, für Quito verschwinden sie ganz, da dort ( $A$ ) und ( $U$ ) in denselben Deklinations-Kreis zusammenfallen. Die Erscheinung der Venus als Abend- und Morgenstern zugleich im Februar 1894 kann daher nur für beschränkte Gebiete der Erde sichtbar gewesen sein.

Die Karte VIII zeigt in doppeltem Mafsstabe, wie die unteren Planeten um die Sonne gleich Trabanten hin- und herlaufen. Die uns näheren Teile der Bahn, auf denen die untere Conjunction stattfindet und die relative Geschwindigkeit der Planeten sehr groß ist, sind stark ausgezogen. Merkur wird im Maximum der Elongation viermal als Abendstern sichtbar sein, am besten gegen Ende des April, da dann die Ekliptik gegen den Untergangshorizont der Sonne unter einem großen Winkel geneigt ist. In Berlin und Wien ist am 23. April Merkur nach den obigen Beispielen noch 2 Stunden nach Sonnenuntergang über dem Horizont.

M. Koppe.

## Himmelserscheinungen im Januar, Februar und März<sup>1)</sup> 1897.

Daten für die Mondbewegung (in mitteleuropäischer Zeit):

Januar			Februar			März		
2	19 <sup>h</sup>	3 <sup>m</sup> Neumond	1	9 <sup>h</sup>	13 <sup>m</sup> Neumond	13	0 <sup>h</sup>	56 <sup>m</sup> Neumond
10	10	46 Erstes Viertel	8	7	Mond in Erdferne	8	2	Mond in Erdferne
11	9	Mond in Erdferne	9	8	25 Erstes Viertel	11	4	28 Erstes Viertel
18	9	17 Vollmond	16	23	11 Vollmond	18	10	28 Vollmond
25	3	Mond in Erdnähe	20	2	Mond in Erdnähe	20	1	Mond in Erdnähe
25	9	9 Letztes Viertel	23	16	44 Letztes Viertel	25	1	0 Letztes Viertel.
<b>Aufgang der Planeten.</b>			Jan. 16	♃ 20 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	♀ 21.48	♂ 0.18	♄ 8.10	♅ 15.34
			Febr. 14	18. 16	20.29	22.39	5.52	13.49
			März 16	18. 5	18.48	21.29	3.32	11.56
<b>Untergang der Planeten.</b>			Jan. 16	4. 34	8.26	17.30	21.58	0.31
			Febr. 14	2. 41	9.42	15.58	19.55	22.39
			März 16	4. 31	10.33	14.53	17.50	20.42

**Constellationen.** Januar 4 7<sup>h</sup> ♃ ♂ ☾; 6 5<sup>h</sup> ♃ in größter östlicher Ausweichung; 6 8<sup>h</sup> ♀ ♂ ☾; 14 10<sup>h</sup> ♃ im Perihel; 14 16<sup>h</sup> ♂ ♂ ☾; 21 10<sup>h</sup> ♃ ♂ ☾; 22 3<sup>h</sup> ♃ in unterer Sonnen-Conjunction, wird Morgenstern; 27 3<sup>h</sup> ♃ ♂ ☾; 30 22<sup>h</sup> ♃ ♂ ☾. — Februar 1 ringförmige Sonnenfinsternis, in Europa unsichtbar; 5 12<sup>h</sup> ♀ ♂ ☾; 11 9<sup>h</sup> ♂ ♂ ☾; 15 17<sup>h</sup> ♃ in größter westlicher Ausweichung; 15 20<sup>h</sup> ♀ in größter östlicher Ausweichung; 17 13<sup>h</sup> ♃ ♂ ☾; 18 8<sup>h</sup> ♃ ☐ ☾; 23 3<sup>h</sup> ♃ ♂ ☾; 23 10<sup>h</sup> ♃ ♂ ☾ 27 9<sup>h</sup> ♃ in Sonnenferne; 28 2<sup>h</sup> ♂ ♂ β *Tauri*. — März 1 2<sup>h</sup> ♃ ♂ ☾; 4 14<sup>h</sup> ♀ in Sonnennähe; 7 2<sup>h</sup> ♀ ♂ ☾; 11 13<sup>h</sup> ♂ ♂ ☾; 16 17<sup>h</sup> ♃ ♂ ☾; 18 11<sup>h</sup> ♂ ☐ ☾; 19 21<sup>h</sup> ☐ im Widder, Frühlings-Nachtgleiche; 22 17<sup>h</sup> ♃ ♂ ☾; 22 20<sup>h</sup> ♀ im größten Glanze.

<sup>1)</sup> Die Planetentabelle geht nur bis Mitte März.

☾ Mond, ♀ Merkur, ♀ Venus, ♂ Erde, ☉ Sonne, ♂ Mars,  
♃ Jupiter, ♄ Saturn. — ☊ Konjunktion, ☐ Quadratur, ☌ Opposition.

Monatstag	Januar							Februar					März			
	0	5	10	15	20	25	30	4	9	14	19	24	1	6	11	
Helio- centrische Längen.	356°	20	48	80	110	138	163	183	201	218	232	247	260	274	289	♃
	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124	132	141	♀
	100	105	111	116	121	126	131	136	141	146	151	156	161	166	171	♄
	90	92	95	97	99	102	104	107	109	111	113	116	118	120	123	♂
	151	152	152	152	153	153	153	154	154	155	155	155	156	156	157	♁
	233	233	234	234	234	234	234	234	234	235	235	235	235	235	235	♂
Aufst. Knoten. Mittl. Länge.	317 242	317 308	317 14	316 79	316 145	316 211	316 277	315 343	315 49	315 115	315 181	314 247	314 312	314 18	313 84	☉ ☉
Geo- centrische Rekt- ascensionen.	240	316	13	74	143	207	282	347	43	111	177	248	320	16	78	☉
	300	307	311	312	307	301	296	295	298	302	307	314	321	328	336	♀
	325	331	336	342	347	352	357	2	7	11	16	20	24	28	32	♄
	281	287	292	298	303	308	313	318	323	328	333	338	343	347	352	♂
	71	70	70	70	70	70	71	72	73	75	76	78	80	83	85	♁
	162	162	162	162	161	161	160	160	159	159	158	157	157	156	156	♁
	235	236	236	237	237	237	238	238	238	239	239	239	239	239	239	♂
Geo- centrische Dekli- nationen.	-26	-17	+10	+27	+14	-17	-26	-3	+22	+24	-3	-27	-15	+12	+27	☉
	-22	-20	-18	-16	-16	-17	-18	-19	-20	-20	-19	-18	-17	-15	-12	♀
	-16	-14	-11	-9	-6	-4	-1	+1	+4	+6	+9	+11	+13	+15	+17	♄
	-23	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-16	-14	-13	-11	-9	-7	-5	-4	♂
	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+26	+26	+26	♁
	+9	+9	+9	+9	+9	+9	+9	+10	+10	+10	+10	+11	+11	+11	+12	♁
	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	♂
Aufgang.	20 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> 18 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	20.12 21.53	20.9 22.48	20.5 0.30	19.59 6.39	19.53 13.49	19.45 19.17	19.37 20.32	19.28 21.50	19.18 1.25	19.8 8.34	18.57 15.44	18.46 18.18	18.34 19.15	18.23 21.55	☉ ☉
	3 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> 0 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	4.0 6.49	4.6 13.1	4.14 18.43	4.23 20.58	4.32 22.12	4.41 1.34	4.50 8.18	5.0 14.20	5.10 18.28	5.19 19.44	5.28 22.13	5.38 3.25	5.47 9.37	5.56 15.12	☉ ☉
Zeitgch.	+ 3m31s	+ 5.50	+ 7.57	+ 9.49	+11.23	+12.39	+13.35	+14.11	+14.27	+14.22	+13.59	+13.20	+12.26	+11.20	+10.4	☉

**Jupitermonde.** Januar. I. 1 17<sup>h</sup> 42<sup>m</sup> E; 3 12<sup>h</sup> 10<sup>m</sup> E; 10 14<sup>h</sup> 3<sup>m</sup> E; 17 15<sup>h</sup> 56<sup>m</sup> E; 19 10<sup>h</sup> 25<sup>m</sup> E; 24 17<sup>h</sup> 50<sup>m</sup> E; 26 12<sup>h</sup> 18<sup>m</sup> E. — II. 1 18<sup>h</sup> 10<sup>m</sup> E; 12 10<sup>h</sup> 5<sup>m</sup> E; 19 12<sup>h</sup> 41<sup>m</sup> E; 26 15<sup>h</sup> 17<sup>m</sup> E. — III. 14 10<sup>h</sup> 0<sup>m</sup> M, halbe Dauer 1<sup>h</sup> 44<sup>m</sup>; 21 13<sup>h</sup> 57<sup>m</sup> M, h. D. 1<sup>h</sup> 44<sup>m</sup>; 28 17<sup>h</sup> 55<sup>m</sup> M, h. D. 1<sup>h</sup> 44<sup>m</sup>. — IV. 6 11<sup>h</sup> 25<sup>m</sup> M, h. D. 2<sup>h</sup> 16<sup>m</sup>. — Februar: I. 2 14<sup>h</sup> 11<sup>m</sup> E; 4 8<sup>h</sup> 40<sup>m</sup> E; 9 16<sup>h</sup> 5<sup>m</sup> E; 11 10<sup>h</sup> 33<sup>m</sup> E; 16 17<sup>h</sup> 59<sup>m</sup> E; 18 12<sup>h</sup> 27<sup>m</sup> E; 20 6<sup>h</sup> 55<sup>m</sup> E; 25 16<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> A; 27 11<sup>h</sup> 4<sup>m</sup> A. — II. 2 17<sup>h</sup> 54<sup>m</sup> E; 6 7<sup>h</sup> 11<sup>m</sup> E; 13 9<sup>h</sup> 48<sup>m</sup> E; 20 12<sup>h</sup> 24<sup>m</sup> E; 27 17<sup>h</sup> 49<sup>m</sup> A. — III. 26 9<sup>h</sup> 47<sup>m</sup> M, h. D. 1<sup>h</sup> 43<sup>m</sup>. — IV. 25 17<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> M, h. D. 2<sup>h</sup> 11<sup>m</sup>. — März: I. 6 12<sup>h</sup> 58<sup>m</sup> A; 8 7<sup>h</sup> 26<sup>m</sup> A; 13 14<sup>h</sup> 52<sup>m</sup> A; 15 9<sup>h</sup> 21<sup>m</sup> A; 20 16<sup>h</sup> 46<sup>m</sup> A; 22 11<sup>h</sup> 15<sup>m</sup> A; 29 13<sup>h</sup> 9<sup>m</sup> A; 31 7<sup>h</sup> 38<sup>m</sup> A. — II. 10 9<sup>h</sup> 43<sup>m</sup> A; 17 12<sup>h</sup> 19<sup>m</sup> A; 24 14<sup>h</sup> 55<sup>m</sup> A. — III. 5 13<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> M, h. D. 1<sup>h</sup> 42<sup>m</sup>. — IV. 14 11<sup>h</sup> 19<sup>m</sup> M, h. D. 2<sup>h</sup> 9<sup>m</sup>. — Die lateinischen Zahlen bezeichnen die Galileischen Monde vom innersten bis zum äußersten, die Zeitangaben E und A Eintritt und Austritt, wovon sich bei den zwei inneren Monden immer nur der eine Moment beobachten läßt. Bei den äußeren zwei Monden wird mit M der Zeitpunkt der Mitte der Finsternis angegeben, mit h. D. die halbe Dauer der Verfinsternung. — Zeitangaben nach mitteleuropäischer Zählung.

**Veränderliche Sterne.** 1. Algols-Minima treten ein: Jan. 15 13<sup>h</sup>, 18 9<sup>h</sup>, 21 6<sup>h</sup>; Febr. 4 14<sup>h</sup>, 7 11<sup>h</sup>, 10 8<sup>h</sup>, 27 13<sup>h</sup>; März 2 10<sup>h</sup>, 25 8<sup>h</sup>. 2. *R, β Lyrae* im Januar gleich nach dem Dunkelwerden und auch noch in der Morgendämmerung zu beobachten. Später nur mehr morgens. Von *η Aquilae* sind vor dem Frühuntergange noch Abendbeobachtungen zu gewinnen, dann nach mehrwöchiger Pause Morgenbeobachtungen. Abends ferner *ζ, η Geminorum, ε Aurigae, β* und *ρ Persei*; — *α Cassiopeiae, δ* und *μ Cephei* sind circumpolar.

**Meteore und Zodiakallicht.** Die Sternschnuppen-Maxima Jan. 1—3 und z. T. Febr. 22 werden durch Abwesenheit des Mondlichtes begünstigt. — An den mondfreien Abenden aller drei Monate ist das Zodiakallicht als eine schief nach links gerichtete Pyramide etwa 1<sup>h</sup> nach Sonnenuntergang am Westhimmel aufzufinden.

J. Pfaffmann, Warendorf.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagsbandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.



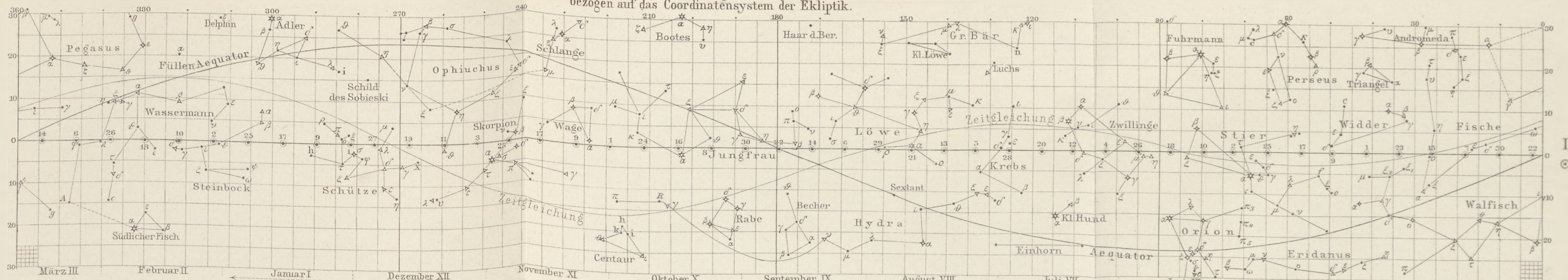
# Die scheinbaren Bahnen der beweglichen Gestirne im Jahre 1897. bezogen auf das Coordinatensystem der Ekliptik.

## I. Tierkreisgürtel

Orter der Sonne ☉  
 (Intervall 8 Tage)

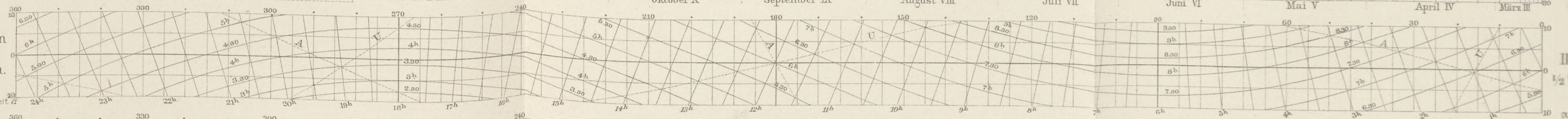
Zeitgleichung

Sterngrößen  
 ☆ ☆ ☆ ☆  
 1 2 3 4



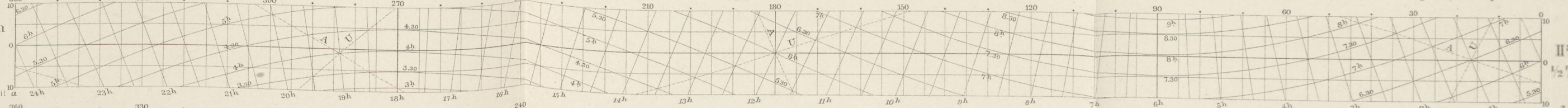
## II. Halbe Tagesbogen für die Polhöhe von Berlin. 1/2 T.

Culmination nach Sternzeit

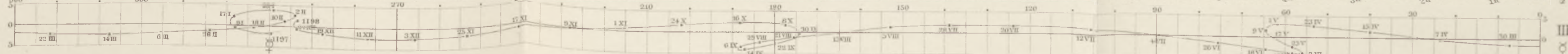


## II<sup>a</sup> Halbe Tagesbogen für die Polhöhe von Wien. 1/2 T.

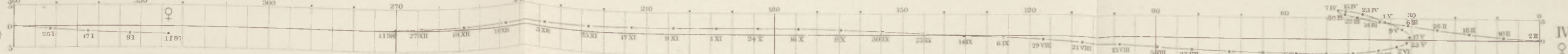
Culmination nach Sternzeit



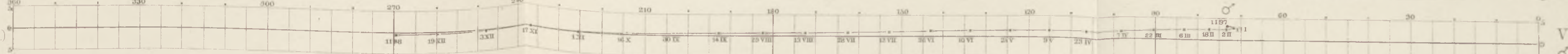
## III. Merkur ☿ (Intervall 8 Tage)



## IV. Venus ♀ (Intervall 8 Tage)



## V. Mars ♂ (Intervall 16 Tage)



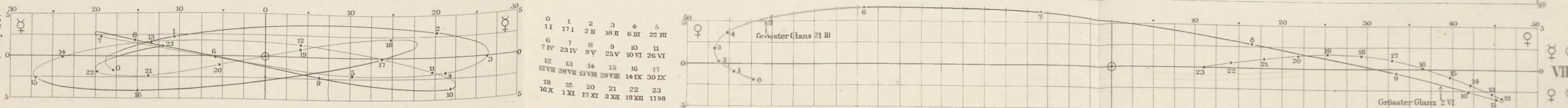
## VI. Jupiter ♃, Saturn ♄, Neptun ♆



## VII. Uranus ♅, Mond ☾ (Intervall 1 Tag)



## VIII. Relative Bewegung des Merkur und der Venus um die Sonne. (Intervall 16 Tage). Doppelter Maßstab.



0	1	2	3	4	5
11	17	21	23	24	25
6	7	8	9	10	11
7 IV	23 IV	9 V	25 V	10 VI	26 VI
12	13	14	15	16	17
12 VII	28 VII	13 VIII	29 VIII	14 IX	30 IX
18	19	20	21	22	23
16 X	1 XI	17 XI	3 XII	19 XII	1198

