Seite, dann nimmt er das Mittel von allen Uebrigen, und zeigt dann, um wie viel die von jeder Säure entwickelte Wärme sich von der Mittelzahl entfernt. Er glaubt, daß diese Abweichungen noch in den Gränzen der Versuchsfehler liegen. Dessen ungeachtet berechtigt ihn nichts dazu das Mittel aus verschiedenartigen Versuchen zu ziehen, und Hr. Andrews hätte wenigstens bemerken müssen, daß die Abweichungen bei gewissen Säuren immer +, bei anderen dagegen — waren, und das mit allen Basen, was also auf keinen Fall zufällig seyn konnte. Endlich muß ich bemerken, daß am Ende der Abhandlung, welche Hr. Andrews in diesen Annalen eingerückt hat ¹⁾, er sich auf die von mir erhaltenen Resultate bezieht; er berechnet einige seiner Versuche auf die Weise, wie ich die meinigen berechnet habe, und findet, daß sie auf eine erfreuliche Weise übereinstimmen. Nun zeigen aber meine Versuche, die er selbst anführt, auf das Bestimmteste, daß ein und dieselbe Base mit verschiedenen Säuren *verschiedene* Wärmemengen entwickelt. Man kann daher mit Recht erstaunen, daß der Anblick der so berechneten Versuche bei Hrn. Andrews keine Zweifel über die von ihm gezogenen Schlüsse erweckte.

157) Zum Schluß brauche ich nur zu erwähnen, daß Andrews zweites Gesetz über die Bildung der sauren Salze falsch ist, wie ich es oben bewiesen zu haben glaube.

VI. *Experimentelle Untersuchungen über die Bewegung der Wellen; von Hrn. Aimé.*

(*Ann. de chim. et de phys. S. III T. V p. 417.*)

Die Bewegung der Wassertheilchen in einem aufgeregten Meere ist bisher noch von Niemand experimentell be-

1) Bd. LIV S. 208.

stimmt worden. Verschiedene Physiker haben freilich über diesen Gegenstand mehr oder weniger verführerische Theorien aufgestellt; allein sie alle fehlten in einem Hauptpunkt: unterliessen die Versuche. Die Kenntniß dieser Erscheinung ist indels von wahren Interesse für Baumeister, welche Hafendämme oder andere Wasserbauten am Meere unternehmen wollen, und darum ist zu bewundern, daß sie so wenig ausgebildet ist. Wahrscheinlich sind Diejenigen, welche sich an die Lösung des Problems machten, durch die physischen Schwierigkeiten desselben darin gehemmt worden.

Selbst ich würde diese Arbeit weder angefangen noch durchgeführt haben, wenn mich nicht Hr. Ober-Ingenieur Poirel, der mit der Erbauung des Molo zu Algier beauftragt ist, mit seinem Rath und mit allen zu den Versuchen erforderlichen Materialien unterstützt hätte.

Ich habe zum Anfang die Aufgabe nicht in ihrer ganzen Allgemeinheit zu studiren gesucht, sondern damit begonnen, verschiedene besondere Fälle zu untersuchen. Diese Abhandlung enthält nur die Gesammtheit meiner Versuche über die Tiefe, in welcher die Wellenbewegung auf der Rhede von Algier aufhört sichtbar zu seyn, und über die Natur dieser Bewegung am Boden des Meeres.

Gewisse Personen haben geglaubt, daß die Tiefe, in welcher die Wellenbewegung unmerklich wird, nur eine geringe sey. Bélidor setzte sie auf 20 Fufs; Bayle glaubt sogar, daß unter 7 bis 8 Fufs keine Bewegung mehr stattfindet. Die Ingenieure von Cherbourg schlossen aus der Anordnung, welche die Steine des Deiches annehmen, daß bei 14 Fufs unter dem Ebbestand die Bewegung des Meers eine sehr geringe sey.

Andere Personen waren abweichender Meinung. So behauptet der Oberst Emy in einem *Mémoire sur les travaux hydrauliques maritimes*, daß die Aufregung sich in gewissen Gegenden bis zu einer Tiefe von 500 Fufs

erstrecke. Bremontier in seinen *Recherches sur les mouvement des ondes* sagt, die Bewegung pflanze sich bis in bedeutende Tiefe fort, ohne die Gränze anzugeben ¹).

Inmitten so entgegengesetzter Meinungen war es schwierig ein Urtheil zu fassen: man mußte nothwendig zu directen Versuchen greifen, um die Frage zu entscheiden.

Meine Versuche begannen im December 1838 und dauerten bis Ende 1839. Sie wurden vorzugsweise angestellt, wenn Nord- und Nordostwinde bliesen, welche eine Neer (*houle*) auf der Rhede von Algier hervorbrachten.

Allemaal, wenns möglich war, wurde die Höhe der Wellen nach dem von der Academie der Wissenschaften angegebenen Verfahren bestimmt, d. h. in einem Boote, welches sich in einem Wellenthal (*creux*) zwischen zwei Wellenbergen (*lames*) befand, wurde gemessen, bis zu welcher Höhe der Beobachter sich erheben mußte, um den Horizont zu sehen.

Die erste Maschine wurde auf einen Sandgrund hinabgelassen, welcher elf Meter unter dem Meeresspiegel lag. Sie blieb daselbst zwanzig Tage lang. Das Meer war mehrmals unruhig, und die Wellen hatten an dem Ort, wo der Apparat, Fig. 15 Taf. III, aufgestellt war, eine Höhe bald von einem, bald von zwei Meter.

AB ist eine Holzscheibe, belastet mit Eisenstäben, und überzogen mit einer Bleiplatte. Die Kugel *C*, die durch ein Seil von 6 Met. Länge an der Scheibe befestigt ist, wiegt 12 Kilogramm. Der Durchmesser der Scheibe beträgt 60 Centimeter. Der hölzerne Kreisel (*toupie*) *D* ist mit drei Eisenspitzen besetzt und hat 25 Centimeter

1) Die Herausgeber der *Annales* verweisen auf einen Aufsatz von Hrn. Siau, den Hr. Aimé bei Absendung seines Manuskripts vermuthlich noch nicht gekannt hätte. — Wir haben denselben auf gegenwärtigen folgen lassen.

Höhe. Er ist an der Mitte der Bleiplatte durch eine kleine Schnur befestigt.

Eine zweite Scheibe *G* dient als Schwimmer, und wird von drei parallelen Schnüren, jede von $1\frac{1}{2}$ Meter Länge, zurückgehalten. Diese Scheibe *G* steht durch ein Seil von 14 Meter Länge mit einem Signal *P* in Verbindung.

Die Figur *K* stellt die Bleischeibe vor, wie sie nach dem Herausziehen war. Die beiden Kreisbogen *a*, *b* bestehen aus einer sehr großen Menge kleiner Löcher, erzeugt durch die Stöße des Kreisels.

Dieser Versuch zeigt, daß die Wellenbewegung noch in 11 Met. Tiefe merklich ist, und die Symmetrie der Löcher beweist zugleich, daß dieselben durch eine oscillatorische Bewegung müssen erzeugt worden seyn.

Nach der Einrichtung des Apparats hätte man fürchten können, daß der obere Schwimmer, mit Gewalt von den Wellen getroffen, die Maschine stoßweise fortgerissen und somit die Oscillationen des Kreisels veranlaßt hätte; allein die Schwierigkeit, mit welcher sich der Apparat vom Meeresgrund abheben liefs, und, was noch merkwürdiger ist, der Sand, welcher mit solcher Gewalt unter die Bleiplatte gespült worden, daß er diese aufgetrieben hatte, scheinen die Richtigkeit der eben gezogenen Folgerungen zu bestätigen.

Hierauf liefs man den, wie Fig. 16 Taf. III, abgeänderten Apparat in eine Tiefe von 18 Met. hinab. Ein Eisenring *B* war an der Mitte der schwimmenden Scheibe angebracht, so daß ein Seil *AA* daran befestigt werden konnte, alleinig deshalb, um die Maschine bis zum Grunde des Meeres hinablassen zu können. So wie sie dort angelangt war, zog man das Seil an einem Ende heraus und liefs das andere los, so daß der Schwimmer *P* nur noch mit der Kugel *C* in directer Verbindung stand. Bei dieser Einrichtung konnte der Schwimmer *P* höchstens die Kugel *C* heben, und da die Schnur, welche diese mit

der Bleischeibe verknüpfte, hinreichend lang war, so stand von den Oscillationen des Schwimmers *P* nichts mehr zu fürchten, da derselbe nur eine senkrechte Wirkung auf das Seil ausüben konnte.

Vierzehn Tage nach dem Hinablassen wurde die Maschine wieder heraufgezogen. Das Meer war mehrmals unruhig gewesen, und die größte Höhe der Wellen hatte 2 bis 3 Meter betragen. Man erkannte die Spuren der heftigsten Aufregung. Der Kreisel war abgerissen. Stiele von Meerpflanzen, Zäsern von altem Täuwerk schlangen sich um die drei Seile, welche die Holzscheibe hielten. An mehren Stellen war die Bleiplatte zerschnitten, in Folge der vielen Stöße, welche sie durch die Eisenspitzen des Kreisels erhalten hatte. Endlich fand man unter der Bleiplatte ein halbes Kilogramm Sand, dessen Körner einen Durchmesser von 1 bis 2 Millimeter hatten. Der Apparat war, wie im ersten Fall, in den Sand eingegraben, denn man fand ziemliche Schwierigkeit, ihn vom Grunde abzulösen.

Aus der Beschaffenheit und Stärke der beobachteten Wirkung stand zu hoffen, daß man sie in noch größerer Tiefe würde nachweisen können. Zu dem Ende construirte man eine zweite Maschine nach einem etwas anderen Plane als bei der ersten befolgt worden war. Sie wurde 26 Meter tief hinabgelassen auf einen fast horizontalen Sandgrund.

Die Maschine (Fig. 17 Taf. III) bestand aus einem tannenen Kasten *CAB* von parallelepipedischer Form mit quadratischer Basis, und gefüllt mit Kieselsteinen. Seine Höhe betrug 2,5 Decimeter, die Länge einer Seite seiner Basis 6 Decimeter, und sein Gewicht mit den Steinen fast 130 Kilogramm. Der erste Schwimmer war eine quadratische Holztafel und an dem Kasten durch vier Stricke von $1\frac{1}{2}$ Meter Länge befestigt.

Nach vierzehntägiger Untertauchung, während die Wellen eine Höhe von zwei Meter gehabt, zog man die

Maschine herauf, und fand die Wirkungen fast den früheren ähnlich. Das Bleiblatt zeigte tiefe und symmetrische Eindrücke in Bezug auf die Mitte des Befestigungspunkts der Schnur des Kreisels. Unter dem Bleiblatt war noch Sand, aber in geringerer Menge als bei den früheren Versuchen.

Das Wasser der Rhede war in Folge von Regen und der heftigen Bewegung der Wellen schlammig; und beim Herausziehen der Maschine merkte man an der Schwierigkeit, mit welcher sich das Seil handhaben liefs, dafs sich auf dessen ganze Länge, mit Ausnahme der letzten drei oder vier Meter an dem der Maschine zulaufenden Ende hin, Schlamm abgesetzt hatte. Diese Thatfache scheint mir zu beweisen, dafs sich die Wellenbewegung bis in 20 und einige Meter Tiefe erstreckte. In der That ist es wahrscheinlich, dafs das Wasser in der dem Grunde zunächst liegenden Schicht von 3 bis 4 Meter schlammig war, wie die darüber liegende Schicht. Ueberdies ist klar, dafs der mit Schlamm bedeckte Theil des Taues in Ruhe blieb gegen die umgebende Flüssigkeit, während der, welcher entblöfst davon gefunden ward, gegen die Wasserschicht, in welcher er sich befand, in Bewegung seyn mußte. Eins von beiden mußte der Fall seyn: entweder ward die untere Schicht in Bewegung gesetzt, dann wäre der Satz festgestellt; oder die untere Schicht blieb in Ruhe und der untere Theil des Seils wurde bewegt. In diesem Fall könnte diese Bewegung nur herrühren von einer durch den Schwimmer und die oberen Wasserschichten mitgetheilten Bewegung in seiner ganzen Länge. Da nun aber, wie gesagt, der mit Schlamm bedeckte Theil des Seils in Bezug auf die Flüssigkeit in Ruhe seyn mußte, so folgt nothwendig, dafs das Seil und die Flüssigkeit eine gemeinschaftliche Bewegung hatten, welche die Erschütterung des unteren Theils des Stricks bewirkte.

Der Zweck dieser Untersuchungen war nicht blofs

zu wissen, bis zu welcher Tiefe die Bewegung merklich sey, sondern auch wo möglich zugleich zu bestimmen, welchen Wellenhöhen diese Gränze entspräche. Zu dem Ende wurden gleichzeitig zwei Maschinen in's Meer versenkt, die eine 28 Meter, die andere 18 Meter tief. Nach einer ziemlich geringen Wellenbewegung, bei welcher die Wellen nicht über zwei Drittel-Meter hoch gingen, untersuchte man sie. Die erste zeigte keine Spur von Bewegung; die zweite dagegen bot zwei kleine Kreisbogen, jeden von etwa 20 Grad, dar, die in Bezug auf die Mitte der Scheibe symmetrisch lagen, und solchen Abstand von dieser Mitte hatten, als es die Schnur des Kreisels erlaubte.

Die beiden Maschinen wurden wiederum an denselben Orten in's Meer hinabgelassen, und blieben daselbst etwa zwanzig Tage lang. Während dieser Zeit war das Meer mehrmals unruhig, und die Wellen bald ein, bald zwei Meter hoch. Nach einem früheren Versuch durfte man Spuren einer starken Aufregung erwarten, und wirklich war dem so. Die 18 Met. tief versenkte Maschine war mit Kraut, Werg und Holzstücken bedeckt, die an den vier Stricken des unteren Schwimmers so fest haften, daß man diese durchschneiden mußte, um die Maschine reinigen zu können. Ein Stück Gurt war so fest aufgerollt und verknotet, daß es schwer zu begreifen stand, wie die bloße Bewegung des Meeres solches hatte bewirken können. Die Maschine leistete beim Herausziehen großen Widerstand, da sie zum Theil eingesandet war. Der Kiesel, gehindert in seinen Bewegungen durch die an ihn sich ansetzenden Substanzen, hatte nicht ganz die erwartete Wirkung gethan. Unter dem Bleiblatt fand sich ein halbes Kilogramm ziemlich grobkörnigen Sandes.

Die in 28 Met. Tiefe gewesene Maschine bot einen anderen Anblick dar. Kein fremdartiger Körper hatte den Kiesel behindert, er hatte frei oscilliren können. Die auf

der Bleiplatte eingedrückten Marken waren zahlreich und tief. Sie lagen auf mehren Kreisbogen, entsprechend den verschiedenen Zuständen des Meers und der Richtung der Wellen.

Wie streng auch die Folgerungen aus vorstehenden Versuchen seyn mochten, so war doch wünschenswerth, sie durch einen Apparat zu prüfen, der keine Gemeinschaft durch ein Seil mit dem oberen Schwimmer hatte.

Demgemäß construirte ich die Maschine Fig. 18 Taf. III. Ein Kasten, ein Parallelepipedon mit quadratischer Base bildend und gefüllt mit zerklopfen Steinen, hängt mittelst vier von seinen Ecken auslaufenden Schnüren an einem eisernen Anker (*grappin*) mit vier gekrümmten Armen. Dieser Anker ist befestigt an einem Holzklotz *A*, der, wenn der Apparat sich unter dem Wasser befindet, den Anker zu heben und die Stricke anzuziehen vermag.

Diese Maschine wurde in eine Tiefe von 18 Meter hinabgelassen an einem Ort, der durch wohl angebundene schwimmende Signale bezeichnet war.

Einige Tage hernach, da das Meer sehr aufgeregter war, wurde der Klotz, der den Anker trug, losgerissen und an's Ufer geworfen, wo man ihn fand. Dafsungewacht versuchte man die Maschine herauszufischen; allein nach mehrstündiger unnützer Arbeit gab man es auf.

Das Resultat dieses Versuchs, obwohl ganz der Erwartung zuwider, ist dennoch entscheidend. Indessen glaubten wir doch die Operationsweise abändern zu müssen, befürchtend, bei großen Tiefen weder Schwimmer noch Maschine wiederfinden zu können.

Der Apparat, durch den man zuletzt alle übrigen ersetzte, ist in Fig. 19 Taf. III abgebildet. Ein Kasten von der Gestalt eines Parallelepipedums mit quadratischer Basis ist gefüllt mit zerstoßenen Steinen. Seine Basis hat 1 Meter Länge, seine Höhe ist 2,5 Decimeter. An den vier Ecken des Kastens sind vier dicke Eisenstan-

gen befestigt, die sich nach aussen krümmen und, jede, in einem Ringe endigen. Durch diese Ringe gehen vier Stricke, die einerseits an dem Schwimmer *G* befestigt sind, andererseits in vier Kugeln *B*, *B*, *B*, *B*, jede von 18 Kilogramm., auslaufen. Der Kreisel *M* ist am Schwimmer *G* befestigt mittelst einer Schnur, in deren Mitte sich ein kleiner Schwimmer *N* von Kork befindet. Diese Schnur hat eine solche Länge, daß sie nur gespannt seyn kann, wenn der Schwimmer *G* die Kugeln bis an die Ringe *A* gehoben hat. Aus dieser Einrichtung ist klar, daß der Kreisel nur oscilliren kann, wenn der Kasten *CDE* auf den Meeresgrund stößt; denn so wie er ihn verläßt, werden die vier Stricke *GA*, so wie die Schnur *NN* durch den oberen Schwimmer straf gezogen. Das gesammte Gewicht der Maschine beträgt ungefähr 200 Kilogramm. Sie wurde in eine Tiefe von 40 Meter abgelassen, und da das Seil, welches die beiden Schwimmer vereinigte, ein bedeutendes Gewicht hatte, so hatte man längs dieses Seiles in gleichen Abständen noch drei andere kleine Schwimmer angebracht.

Man liefs den Apparat einen Monat im Meer. Während dieser Zeit herrschte mehrmals starker Wind und große Aufregung des Meers. Man schätzte die Höhe der Wellen am Orte der Maschine, etwa ein Kilometer von der Küste, auf drei Meter. Dessenungeachtet erhielt man nur sehr schwache Eindrücke, allein in hinreichender Anzahl, um zu beweisen, daß eine kleine Bewegung stattgefunden. Unter dem Bleiblattfand sich äußerst feinkörniger Sand.

Ich glaubte die Gränze erreicht zu haben, wo auf der Rhede die Wellenbewegung noch merklich ist, und liefs demnach die Maschine an demselben Ort wieder hinab. Vierzehn Tage hernach untersuchte ich sie wieder. Das Meer schien eben so bewegt gewesen zu seyn wie vorhin, und ich erwartete demnach Narben auf der Platte zu finden. Dem war aber nicht so. Das Bleiblat
war

war unverletzt. Ich brachte die Maschine wiederum an ihren Ort und untersuchte sie abermals nach 20 Tagen; allein mit gleicher Erfolglosigkeit. Bei diesem Versuch hatte man die Schnur, welche den Scheitel des Kreisels mit dem ersten Schwimmer verband, durchgeschnitten, in der Furcht, sie möge die Bewegung dieses hindern.

Aus der Gesammtheit dieser Versuche folgt, daß die Gränze der Wellenbewegung auf der Rhede von Algier in 40 Meter Tiefe liegt; doch wird sie wahrscheinlich bei Stürmen, wie sie im Winter an den Küsten der Algieri häufig sind, überschritten. Wenn mehre Tage Nordwind weht, so langen Wellen an, die den Zwischenraum von Frankreich und Afrika ohne Widerstand durchlaufen haben. Unterhalb der Wellen von gewöhnlicher Dimension giebt es andere, welche das Auge vermöge ihrer ungeheuren Breite schwer unterscheiden kann. Es giebt welche, deren Breite 100 bis 200 Meter beträgt. Diese Wellen machen den mittleren Wasserstand im Hafen von Algier abwechselnd steigen und fallen. Die Dauer der Oscillationen geht von 1 bis 3 Minuten und die Veränderung des Wasserstandes von 5 bis 10 Decimeter. Die Schiffe sind bei diesem abwechselnden Steigen und Fallen des Wassers im Hafen der Gefahr ausgesetzt, nicht bloß an einander, sondern auch auf den Grund zu stoßen.

Aus vorstehenden Versuchen folgt, daß die Bewegung des Meeres eine oscillatorische ist, da die beobachteten Narben auf der Bleiplatte immer symmetrisch lagen gegen die Mitte dieser. Ich lege große Wichtigkeit auf meine Beobachtung; denn die Physiker haben angenommen, daß die Wassertheilchen bei der Wellenbewegung keine horizontale Verschiebung erleiden, und diese Meinung wurde bisher als richtig angesehen ¹⁾

1) Nicht alle Physiker theilen diese Meinung. E. H. und W. Weber haben in ihrem vortreflichen Werke: „*Die Wellenlehre auf Experimente gegründet*“ (Leipzig 1825), das aber Hrn. Aimé, Poggendorff's Annal. Bd. LVII.

Ich halte es für nützlich hier wörtlich die charakteristischen Aussprüche derjenigen Verfasser anzuführen, die diesen Gegenstand behandelt haben.

De la Coudraye, in seiner *Théorie des Ondes*, sagt, daß die Theilchen der Wellen sich nur heben und senken in fast verticaler Richtung.

Bremontier drückt sich noch entschiedener aus, indem er sagt, »daß in einem sehr tiefen Meere, wo die Wellen ohne Hinderniß ihrer natürlichen Bewegung folgen können, ein Pfropfen, ein Wachskügelchen, ein Stück Holz oder jeder andere auf den Wellen schwimmende Körper nur eine Bewegung von oben nach unten oder von unten nach oben hat: und wenn er sich für einen Augenblick von der Verticalen entfernt, er immer zu seiner früheren Lage zurückkehrt. Diese geringe Abweichung ist Wirkung der Schwere auf den zum Wasser herausragenden Theil des schwimmenden Körpers, welcher herabzusinken sucht und wirklich, dem Gravitationsgesetz gemäß, herabsinkt. Wenn man einen Körper von nur wenig größerem specifischem Gewicht als das des Wassers auf das Meer wirft, so sinkt er desto langsamer hinab, als der Unterschied zwischen diesen beiden specifischen Gewichten geringer ist, aber immer senkrecht.« Aus diesen Thatsachen schließt Bremontier, daß alle eine Welle zusammensetzenden Theilchen, die gegen ein-

so wie überhaupt dessen Landsleuten, nicht bekannt zu seyn scheint, die Bahn der Wassertheilchen bei der Wellenbewegung genau bestimmt, und auch durch anderweitige sehr sorgfältige Versuche im Kleinen gefunden, daß die schwingende Bewegung der Flüssigkeitstheilchen selbst noch in einer Tiefe, welche der 350maligen Wellenlänge gleich kommt, durch Vergrößerungsgläser und selbst noch mit bloßem Auge wahrnehmbar ist. — Selbst in dem neueren Werke eines französischen Hydrotechnikers, des Obersten Em y: „*Sur le mouvement des Ondes etc.*“ (dessen Uebertragung in's Deutsche wir Hrn. Prof. Wiesenfeld in Prag verdanken), ist die Bewegung der Wassertheilchen in den Wellen keineswegs als eine bloß auf- und abgehende bezeichnet

P.

ander im vollkommenen Gleichgewicht sind, ebenfalls vertical und absolut im Wasser sich heben und senken, ohne die mindeste Störung gegen diese Fläche noch gegen die Verticale zu erleiden.

Bremontier's Folgerungen sind falsch, wie man weiterhin sehen wird, und die von ihm erwähnten Versuche unausführbar. In der That ist es unmöglich, daß ein Beobachter sich weit aufs unruhige Meer begeben, und daselbst in Ruhe verweilen könne, um zu sehen, ob ein kleiner sphärischer Körper dort, je nach seiner Dichtigkeit, oscillire oder vertical herabsinke. Selbst wenn der Beobachter auf unruhigem Meer einen festen Standpunkt hätte, würde er nicht erkennen, ob eine Bleikugel senkrecht in's Wasser hinabsinke; denn die Wirkung der durch die Wellenbewegung erzeugten Refraction ist solchergestalt, daß ein ruhig im Wasser befindlicher Körper sich zu bewegen scheint.

Um einen entscheidenden Versuch anzustellen, müßte man, nachdem ein fester Standpunkt über dem Meere gefunden worden, von einem und demselben Punkt eine gewisse Anzahl kleiner Kugeln von größerer Dichte als das Wasser hinabsinken lassen, und untersuchen, in welcher Anordnung sie auf den Grund des Meeres anlangen. Wenn die Bewegung der Wassertheilchen bloß senkrecht ist, wie es Bremontier glaubt, so müssen die Kugeln in der Verticale des Ausgangspunktes den Boden erreichen, wogegen, wenn diese Bewegung zugleich horizontal und vertical ist, sie sich ringsum die Verticale ordnen und mehr oder weniger von derselben abweichen müssen, je nach der Stärke der horizontalen Kräfte.

Unglücklicherweise ist es aber eben so schwierig zu untersuchen, was auf dem Meeresgrund vorgeht, als einen festen Standpunkt über der Meeresfläche zu finden. Mithin kann der angedeutete Versuch nicht angestellt werden. Anders ist es mit dem umgekehrten Versuch, wel-

cher ziemlich einfach ist, und zu eben so entschiedenen Resultaten als der erste führt. In der That stellt man auf den Meeresboden ein Gefäß, welches kleine Körper von geringerer Dichte als die des Wassers nach und nach entweichen läßt, so ist klar, daß ein Beobachter in einem Boot wird beurtheilen können, in welcher Ordnung dieselben zur Oberfläche gelangen; mithin wird er auch entscheiden können, ob eine horizontale Schwingung stattfand oder nicht.

So bin ich verfahren, um die Folgerungen, zu denen ich mittelst der Kreisel-Maschine gelangte, zu prüfen.

Fig. 20 Taf. III zeigt den Luftblasen-Apparat, welchen ich anwandte. AB ist ein quadratisches Brett, 5 Decimeter in Seite, belastet mit dicken Eisenstäben CC . Ein Kegel G von Weisblech, oben mit einer Oeffnung K , ist mit seiner Grundfläche auf dem Brett befestigt. DA eine rechtwinklich gekrümmte Eisenstange, mit einem Ende an dem Brett befestigt, an dem andern Ende in einem Ringe D endigend, welcher das zum Hinablassen der Maschine dienende Seil aufnimmt.

Der Kegel enthält Luft, die Blasen bilden soll, deren GröÙe man abändert, indem man die Oeffnung durch Pfropfen mit Löchern von verschiedener Weite verschließt. Der Apparat wiegt 13 Kilogramm.

Beim ersten Versuch wurde er am Eingang des Hafens 7 Meter tief versenkt. Das Wasser war so klar, daß man den Grund sehen konnte.

Es erwies sich, daß die Wassertheilchen eine horizontale Schwingungsbewegung hatten; denn die Luftblasen stiegen in einer auf der Welle senkrechten Ebene in einer Schlangenlinie auf. Ein gespanntes Seil, das an einem Ende befestigt ist und am andern hin und her bewegt wird, stellt diese Curve ziemlich gut dar. Die Bewegung des Meeres war sehr schwach, und daher ging die Schwingungsweite nicht über zwei Decimeter.

Man brachte den Apparat an einen Ort des Meeres,

wo die Tiefe drei Meter und die Wellenhöhe zwei Drittel-Meter betrug. Die Schwingungsweite schien nicht bedeutender wie zuvor.

Die Anwendung dieser Maschine, die, wie man sieht, einigen Unbequemlichkeiten ausgesetzt ist, erfordert einige Erläuterungen.

Wenn man bei großer Tiefe experimentirt, wird die Luft im Blechgefäß zusammengedrückt, und also auf ein kleines Volum zurückgeführt. Jede Blase erleidet beim Aufsteigen einen fortwährend abnehmenden Druck; sie schwillt daher auf und zertheilt sich in mehrere, ehe sie zur Oberfläche gelangt. Inmitten dieser Gruppe von Blasen ist es schwierig die Schwingung zu unterscheiden.

Der Apparat ist also nur bei geringen Tiefen anwendbar. Ueber 10 Meter hinaus giebt er im Allgemeinen keine guten Resultate.

Man muß auch ein stürmisches Meer vermeiden; denn die Unregelmäßigkeit der Wellenbewegung schadet sehr dem Urtheil über die relativen Lagen der Blasen. Die günstigste Zeit ist die, wo nach einer vom Winde erregten starken Bewegung die Luft wieder ruhig wird. Das Meer behält dann noch Stunden lang seine Bewegung, ein System von sehr großen und glatten Wellen bildend, auf welchem die Lenkung eines Bootes keine Schwierigkeit hat.

Ersetzt man die Luft durch gefärbtes Oel, so vermeidet man die eben bezeichneten Uebelstände, denn die Blasen ändern ihr Volum nun nicht mehr mit dem Druck, und da sie in Dichte wenig vom Wasser verschieden sind, so kann das Auge sie leicht während ihres Aufsteigens verfolgen.

Wendet man Oel an, so muß man den Apparat ein wenig abändern. Das konische Gefäß muß mit zwei Oeffnungen versehen seyn, eine zum Austritt des Oels, die andere zum Eintritt des Wassers.

Mit dieser Abänderung prüfte ich ihn bei 10 Meter

Tiefe und bei 1,5 Meter Wellenhöhe. Da die Klarheit des Wassers erlaubte die Oelblasen in einer gewissen Tiefe wahrzunehmen, und sie bis zu ihrer Ankunft auf der Meeresfläche zu verfolgen, so konnte man eine oder zwei Biegungen der von ihnen durchlaufenen Schlangenlinie unterscheiden. Eine Messung zeigte, daß die größte Ablenkung der Blasen nahe ein Meter betrug.

Zur richtigen Bestimmung der Gröfse dieser Ablenkung mufs man sich gegen die die Resultate störenden Strömungen in Acht nehmen, und untersuchen, in welcher Richtung sie gehen, damit man die nöthigen Berichtigungen an den Messungen anbringen könne.

An demselben Tage wurde der Apparat, ziemlich entfernt von der Küste, in eine Tiefe von 14 Meter versenkt. Die Wellen hatten fast dieselben Dimensionen wie beim früheren Versuch. Die Schwingungsweite war indess gering; sie wurde auf 7 bis 8 Decimet. geschätzt.

Die eben beschriebenen Versuche beweisen klärlich, daß die Wassertheilchen in einem unruhigen Meer eine horizontale Schwingungsbewegung haben; allein sie zeigen nicht, ob die Schwingung vom Meeresboden an bis zur Oberfläche statthabe, auch nicht, wie die Schwingungsweite sich ändert mit der Tiefe. Auf diesen Gegenstand werden wir in einer anderen Abhandlung zurückkommen.

VII. *Ueber die Wirkung der Wellen in grossen Tiefen; von Hrn. Siau.*

(*Ann. de chim. et de phys. S. III T II p. 118.*)

Die nachstehenden Beobachtungen sind auf einen Meeresgrund von Madreporensand, weißem und basaltischem schwarzem Sand angestellt, und zwar auf Veranlassung