

**Kgl. Bayer. Akademie
der Wissenschaften**

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XIV. Jahrgang 1884.

München.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1885.

~
In Commission bei G. Franz.

Herr Wilhelm v. Bezold spricht:

„Ueber Strömungsfiguren in Flüssigkeiten.“

(Mit einer Tafel.)

Vor Kurzem ¹⁾ habe ich eine Methode beschrieben, durch welche man Strömungen an der Oberfläche und im Inneren von Wassermassen oder stark verdünnten Lösungen sehr schön anschaulich machen kann.

Diese Methode besteht darin, dass man verschiedene Arten von Tinten, am besten die zum Hektographiren dienende, vorsichtig auf die Oberfläche der Flüssigkeit bringt. Durch die Strömungen in der Flüssigkeit wird die Tinte mitgerissen, so dass bei der Neigung zur Fadenbildung, welche insbesondere die hektographische Tinte (eine concentrirte wässerige Lösung von Methylviolett mit einem kleinen Beisatze von Glycerin) in so auffallendem Maasse besitzt, die Stromfäden sichtbar werden und man ein deutliches ja oftmals geradezu überraschendes Bild der Strömungsverhältnisse in der Flüssigkeit erhält.

In der oben citirten ersten Mittheilung habe ich dem Vorgange von Tomlinson folgend die so erhaltenen Figuren als Cohäsionsfiguren bezeichnet.

1) S. diese Berichte S. 355—365.

Diese Bezeichnung ist unter dem von Tomlinson festgehaltenen Gesichtspunkte auch eine vollkommen zutreffende. Da ich jedoch bei den nachstehend zu beschreibenden Versuchen wesentlich die Strömungserscheinungen im Auge hatte und da die Figuren, mit denen ich mich beschäftigt habe, thatsächlich in erster Linie ein Bild der Strömungen geben, so möchte ich für diese besondere Art von Figuren den Namen „Strömungsfiguren“ in Vorschlag bringen.

Im Folgenden soll nun von solchen Strömungen die Rede sein, wie sie durch kleine Temperaturdifferenzen hervorgerufen werden.

Dass die Untersuchung solcher Strömungen mit Rücksicht auf die Analogieschlüsse, welche sich in anderen Gebieten der Physik daran knüpfen lassen, hohes Interesse darbietet, braucht wohl kaum besonders betont zu werden.

Bevor ich jedoch auf diesen Punkt näher eingehe, mögen hier noch einige Bemerkungen Platz finden, welche sich auf die Ausbreitung der Probeflüssigkeit, so will ich die benützte Tinte nennen, auf dem Wasser oder auf anderen Flüssigkeiten beziehen.

Schon in der ersten Mittheilung wurde darauf hingewiesen, dass die Ausbreitung der Tinte nur bei Beobachtung bestimmter Vorsichtsmassregeln rasch und in grosser Ausdehnung von statten geht. Die Reissfeder, die ich immer als bestes Hilfsmittel zum Aufbringen der Tinte befunden, muss rasch aus dem Tintengefässe auf die Oberfläche der Flüssigkeit gebracht und die Bildung irgend welcher Haut sorgfältig vermieden werden. Dass die Tinte nicht zu dick und nicht zu flüssig sein darf, ist wohl ohnehin selbstverständlich, und wird man wenn nöthig durch passende Verdünnung mit Wasser gerade den geeignetsten Concentrationsgrad schon Anfangs durch einige Vorversuche zu erhalten suchen.

Aber auch bei Anwendung ganz gleicher Probeflüssigkeit

erfolgt die Ausbreitung auf den Oberflächen verschiedener Flüssigkeiten in sehr ungleicher Weise und zwar können höchst geringfügige Umstände hierauf von entscheidendem Einflusse sein.

Nicht nur die unbedeutendsten Beimischungen verschiedener Körper können die Ausbreitung der Probeflüssigkeit erschweren oder ganz verhindern, nicht nur die Temperaturen sind von Bedeutung, sondern sogar Spuren von Staub auf der freien Oberfläche sind hinreichend, um den Erscheinungen an dieser Fläche selbst ein wesentlich anderes Ansehen zu verleihen.

Auf Brunnenwasser, wenigstens auf dem sehr kalkhaltigen Münchener Wasser erfolgt die Ausbreitung der hektographischen Tinte viel leichter als auf destillirtem Wasser. Ein Tropfen Schwefelsäure, ein Tropfen concentrirter Kali- oder Natronlauge auf ein Liter Wasser, einigermassen nennenswerthe Mengen Kochsalz und verschiedene andere Beimischungen genügen um die Ausbreitung vollkommen zu hindern, dagegen zeigen ganz kleine Mengen reiner Salzsäure keinen nachtheiligen Einfluss.

Ähnliche Erscheinungen haben auch die Gebrüder Weber bei der Ausbreitung von Oel auf Wasser beobachtet¹⁾ und mögen dieselben als dem eigentlichen Zwecke dieser Abhandlung ferne liegend nur im Vorbeigehen Erwähnung finden.

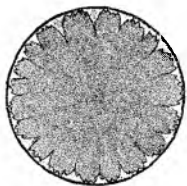
Sehr auffallend ist auch der Einfluss einer dünnen, sonst gar nicht bemerkbaren Staubdecke auf der flüssigen Oberfläche.

Stellt man zwei gleiche Gläser mit Wasser gefüllt neben einander und bedeckt man das eine mit einer Glasplatte, während das andere offen bleibt, so verhalten sich beide Oberflächen nach einigen Stunden ganz verschieden. Auf

1) Wellenlehre S. 84.

der geschützten Fläche verbreitet sich die Tinte rasch und ungehindert, auf der anderen, die unbedeckt war, hingegen findet die Ausbreitung nicht so rasch, vor Allem aber nicht so regelmässig statt. Der Rand der farbigen Scheibe, der im ersten Falle scharf begrenzt, bei cylindrischem Gefässe nahezu kreisrund war, erscheint im zweiten Falle vielfach eingeschnitten und zerrissen (Fig. 1), so dass die zwischen

Fig. 1.



diesen Einschnitten liegenden Endstücke an die Blätter mancher Blüten erinnern.

Diess Zerreißen deutet auf das Vorhandensein einer Haut an der Oberfläche der Flüssigkeit, wie man am besten sieht, wenn man mit verdünnter hektographischer Tinte zuerst eine solche herstellt. Bringt

man alsdann einen zweiten Tropfen auf die Mitte der Oberfläche, so verbreitet sich dieser nicht mehr kreisförmig, sondern in Gestalt eines Sternes mit 5, 6 oder auch mehr Strahlen. Erfolgt jedoch das Aufbringen solcher Tropfen dünnerer Tinte sehr rasch nacheinander, so dass die Haut noch nicht Zeit fand zu erstarren, dann geht auch die Ausbreitung der Tropfen in Kreisform von statten und man erhält ein System concentrischer Kreise.

Dabei sind diese Kreise im Augenblicke ihres Entstehens immer grösser als nachher, so dass man den Eindruck gewinnt, als werde ein elastischer Ring durch die nachfolgende innere Scheibe Anfangs ausgedehnt um nachher wieder in eine gegen die alte etwas verschobene Gleichgewichtslage zurückzukehren. Eine der letzteren analoge Erscheinung findet man übrigens auch schon in der oben citirten „Wellenlehre“ beschrieben¹⁾, nur bietet der Versuch in der eben erwähnten Weise deshalb besonderes Interesse, da man bei einer Anzahl von solchen concentrischen Ringen recht deutlich

1) A. a. O. S. § 66 und § 77.

sieht, dass sich die Flüssigkeitshaut wie eine elastische Membrane verhält.

Ein noch schönerer Versuch nach dieser Richtung lässt sich machen, wenn man zuerst die in der früheren Abhandlung beschriebene Radfigur herstellt. Hat man diese Figur in einer recht vollkommenen Weise hervorgebracht, so dass rings am Rande der Flüssigkeit die Farbe am Glase adhärirt und dreht man nun das Glas um seine verticale Axe, je nachdem um 30 oder 40 oder noch mehr Grade im Sinne eines Uhrzeigers, so nehmen sämmtliche ursprünglich diametrale Linien eine Krümmung an im Sinne eines lateinischen S und strecken sich erst langsam wieder. Man sieht auf diese Weise ganz vortrefflich, wie ein Ring nach dem andern allmählig in die Bewegung hineingezogen wird. Wenn aber nun die gerade Linie wieder hergestellt ist, so bewegen sich die inneren Ringe noch weiter im Sinne des ursprünglich gegebenen Anstosses, und nun zeigt sich eine wenn auch schwache Krümmung der Radien im entgegengesetzten Sinne. Man sieht demnach ganz deutlich wie nach einer solchen Drehung in der Flüssigkeit Schwingungen eintreten, die freilich sehr rasch zur Ruhe kommen.

Zugleich bemerkt man auch in einer recht anschaulichen Weise, dass die Elasticität in der Oberfläche ungleich grösser ist als im Inneren der Flüssigkeit. Die einzelnen Farblinien, welche bei der besprochenen Figur die Speichen des Rades bilden, sind nämlich nicht cylindrisch sondern vielmehr Körper, die auf hoher Kante stehend sich mehr oder minder tief in das Wasser einsenken. Sowie nun die Drehung vorgenommen wird, bleiben die unteren Theile zurück und die einzelnen Flächen legen sich schief übereinander, wie Jalousien oder wie die Blätter eines geöffneten Fächers.

Haben sich bereits Fäden von der Oberfläche nach der Tiefe hinabgesenkt, so kann man an ihnen die gleiche Eigenthümlichkeit der Flüssigkeit sichtbar machen, indem eine

förmliche Drillung eintritt, die bei fortgesetzter Drehung des Glases auf viele Umgänge steigen kann.¹⁾

Es war oben von dem Einflusse gesprochen worden, den Staub auf die Ausbreitung des Tropfens ausübt, aber auch wenn man Gläser frisch mit Wasser gefüllt hat, kann die Ausbreitung des Tropfens in sehr verschiedener Weise erfolgen, je nachdem das Wasser am Glase adhärirt oder nicht. Dass es wesentlich hievon abhängt, ob auch die Tinte am Rande der Wasserfläche in die Höhe gezogen wird oder nicht, dies wurde schon in der ersten Mittheilung bemerkt und ist auch leicht verständlich. Viel auffallender aber ist es, dass dieser Einfluss der Adhäsion des Wassers am Glase sich bereits merkbar macht, wenn der Tropfen erst in der Ausdehnung begriffen und mit seinem äusseren Rande noch weit von dem Rande der Oberfläche überhaupt, d. h. von den Berührungsstellen zwischen Glas und Wasser entfernt ist.

In einem Glase, in welchem das Wasser schlecht adhärirt, breitet sich der Tropfen überhaupt nicht bis zu dem Rande hin aus, sondern es macht gerade den Eindruck, als ob der Rand eine Abstossung auf die Probeflüssigkeit äussere, während er im entgegengesetzten Falle dieselbe anzuziehen scheint, Erscheinungen, die natürlich nur in der Oberflächenspannung ihren Grund haben.

Da nun die Adhäsion zwischen Wasser und Glas nicht selten bei einem scheinbar ganz reinen Glase nur gering ist, während sie ein andermal bei einem ziemlich unreinen sehr beträchtlich sein kann und da auch scheinbar sorgfältiges Reinigen sich oft als fruchtlos erweist, so verfiel ich schliesslich auf ein Mittel, welches ich als sehr zweckentsprechend erkannt habe.

Dieses Mittel besteht darin, dass ich die Gläser, in denen

1) Vgl. Roiti. *Cim.* (3) III. S. 5—49.

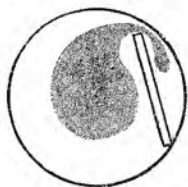
ich eine sehr vollkommene Adhäsion zwischen Wasser und Glas zu erzielen wünsche, stets mit Wasser gefüllt stehen lasse. Will ich alsdann einen Versuch ausführen, so fülle ich frisch aber nicht ganz so hoch ein als das Wasser vorher stand und dann kann ich mit ziemlicher Sicherheit darauf rechnen, dass der Tropfen sich bis zum Glase verbreitet und noch an diesem etwas in die Höhe gezogen wird.

Alsdann gelingt aber auch die Erzeugung der in der frühern Abhandlung beschriebenen Radfigur vortrefflich. Uebrigens ist auch die Beschaffenheit des Glases von Einfluss und erweist sich oft das eine dauernd geeigneter als ein anderes.

Dass diese Wirkung der Adhäsionsverhältnisse auf die Ausbreitung des Tropfens nur in der Oberflächenspannung der Flüssigkeit zu suchen ist, geht aus dem folgenden Versuche hervor:

Stellt man in ein cylindrisches mit Wasser gefülltes Glas einen rechteckigen Streifen ebenen Glases so, dass die eine Längsseite dieses Streifens an der Wandung anliegt, während die andere nur so wenig von derselben absteht, dass ein capillarer Raum frei bleibt, dann wird der Tropfen in diesen Raum hineingezogen und gewährt alsdann von oben den in Fig. 2 versinnlichten Anblick.

Fig. 2.



Bei diesem Versuche sieht man vortrefflich, wie der scheibenförmig sich ausbreitende Tropfen, noch bevor er die capillare Oeffnung erreicht, nach dieser Seite sich verlängert, um schliesslich mit einer rasch vorgeschobenen Spitze in den capillaren Raum einzudringen.

Ich habe diesen Versuch in einer eigenthümlichen Weise abgeändert, bei welcher die Empfindlichkeit gegen minimale

chemische Beimischungen in einer recht auffallenden Weise zu Tage trat.

Da an einem Stück Fliesspapier das Wasser so stark in die Höhe gezogen wird, so setzte ich nämlich voraus, dass ein an der einen Seite in das Gefäss eingetauchter Streifen solchen Papiers die Wirkung äussern müsse, dass der Farbtropfen sich gerade nach jener Seite hin besonders rasch ausbreiten würde. Zur Ausführung des Versuches bediente ich mich eines sehr schönen weissen Filtrirpapiers und war nicht wenig erstaunt, als der gewünschte Erfolg nicht nur ausblieb, sondern die Ausbreitung auf der Wasserfläche überhaupt nicht erfolgte, sondern der Tropfen schwer zu Boden sank, gerade als ob man etwas Schwefelsäure, Natronlauge oder sonst einen der oben erwähnten Körper in das Wasser gebracht hätte. Offenbar rührte dieses auffallende Verhalten auch wirklich nur daher, dass das benutzte Filtrirpapier lösliche Bestandtheile enthielt, welche die Ausbreitung des Tropfens hinderten, denn nachdem es mit viel Wasser ausgewaschen worden war, trat die Erscheinung wirklich in der ursprünglich vermutheten Weise ein. Nun schoss der Tropfen bei der Ausbreitung thatsächlich nach der Seite des Streifens hin, und wurde die Farbe daran in die Höhe gezogen noch bevor er sich im Uebrigen bis zum Rande hin ausgebreitet hatte, und selbst in Fällen, in welchen die Ausbreitung an den anderen Stellen überhaupt nicht so weit erfolgte.

Bei Gelegenheit dieser Versuche, welche sich auf die Spannung der Flüssigkeitshaut beziehen, mag noch erwähnt werden, dass die hektographische Tinte sich auch sehr dazu eignet ein Experiment anzustellen, das zwar im Grunde genommen nicht neu ist, sondern dem Wesen nach ebenfalls schon in der Weber'schen Wellenlehre beschrieben ist¹⁾,

1) A. a. O. S. 80 § 66.

das jedoch auf diese Weise noch auffallender und besonders für ein Auditorium leichter sichtbar wird. Lässt man nämlich die Ausbreitung auf der Oberfläche eines grösseren Gefässes erfolgen und bringt man an verschiedenen Stellen desselben Schwimmer an, z. B. kleine Scheiben aus Paraffinpapier oder Korkplättchen, die sogar ziemlich schwer sein können, so sieht man vortrefflich, wie diese Körper im Sinne der Ausbreitung fortgeschleudert werden noch lange bevor der Rand der farbigen Scheibe denselben nahe gekommen ist. Gerade durch die intensive Färbung wird der Versuch sehr auffallend.

I. Strömungen in Wasser unter dem Einflusse kleiner Temperaturunterschiede.

Dies vorausgeschickt, sollen nun einige Versuche beschrieben werden, welche sich auf Strömungen im Innern von Wassermassen beziehen, die kleinen Temperaturdifferenzen unterworfen sind.

Der einfachste Fall, in welchem Wasser, dessen Temperatur niedriger ist als jene des Zimmers, der allmählichen Erwärmung durch die umgebende Luft ausgesetzt wird, ist schon in der früheren Mittheilung behandelt worden.

Hiebei wurden jedoch vorzugsweise nur die Figuren an der Oberfläche berücksichtigt, während die Vorgänge im Innern weniger Beachtung fanden, so dass hier noch eine Ergänzung nöthig ist.

Zunächst verweise ich auf einige Abbildungen (S. d. Tafel Fig. 2a bis Fig. 2e), welche die Erscheinung in verschiedenen Phasen der Entwicklung darstellen.

Hiebei ist vorausgesetzt, dass die Farbmenge eine sehr geringe sei, da sich alsdann die Vorgänge im Innern der Flüssigkeit klarer und übersichtlicher abspielen als wenn grössere Mengen aufgegeben wurden.

Kurz nach dem Aufbringen der Farbe, etwa nach 5 Minuten, entwickelt sich unter der Mitte des Fleckes ein quastenartiges Gebilde (Fig. 2 a) mit herabhängenden Fäden, deren jeder einen verdickten Kopf hat.

Diese Fäden sind dünner und dabei intensiver gefärbt, wenn das Wasser sehr kalt ist, dicker und stärker aufgequollen, wenn das Wasser wärmer ist. In gleichem Sinne wie tiefe Temperaturen wirken kleine Beimischungen von Kochsalz und überhaupt von solchen Körpern, welche die rasche Ausbreitung des Tropfens auf der Oberfläche beeinträchtigen.

Zwischen der auf der Oberfläche ruhenden Scheibe und der Quaste wird die Verbindung durch ein scharf eingeschnürtes Stück hergestellt.

Diese Einschnürung erklärt sich leicht, wenn man den Vorgang in einer späteren Phase, also in dem hier abgebildeten Falle, etwa fünf Viertelstunden nach Beginn des Versuches in's Auge fasst.

Die oben beschriebene Quaste hatte sich nämlich inzwischen zu einem in der Mitte des Glases absteigenden Stamme ausgebildet, der sich bei ungleichseitiger Erwärmung, wie sie im Allgemeinen immer vorhanden ist, etwas nach der kälteren Seite hinzieht. Dabei sinkt der obere Rand desselben immer tiefer herab und steht derselbe schliesslich nur noch durch einen ganz dünnen Faden mit der inzwischen stark zusammengeschmolzenen Scheibe in Verbindung (Fig. 2 b).

Diese Scheibe sowie ihre Verbindung mit dem Stamme verlieren sich später gänzlich, so dass es einen Zeitpunkt giebt, zu welchem die Oberfläche aller Farbe beraubt ist.

Inzwischen steigt die herabgesunkene Flüssigkeit, nachdem sie in Fäden mit scheibenartig verdickten Enden den Boden des Glases überschritten hat, an der Wandung des Glases wieder empor und zwar als dünne cylindrische Haut, wenn die Erwärmungsverhältnisse ringsum sehr gleichartige

sind, in einseitig gelagerten Fäden, wenn dies nicht der Fall ist, und schliesslich erhält man nun das Bild Fig. 2 c. Dabei ist in der hier wiedergegebenen Figur sehr symmetrische Erwärmung, wenigstens von den beiden einander gegenüberliegenden Seiten vorausgesetzt. Wenn dies nicht der Fall ist, so fehlt das eine der scheinbar hakenförmigen Gebilde, die übrigens bei ringsum gleich starker Erwärmung nichts anderes sind als die von der Seite gesehenen Stücke eines hyperboloidischen Mantels. In ihnen findet man die Erklärung der oben erwähnten Einschnürung. Man sieht nämlich, wie sich die Köpfe dieser Gebilde mehr und mehr nähern, d. h. wie das Hyperboloid der Rotationsaxe immer näher rückt, so dass nun eine auf der Oberfläche ruhende und eine etwas unterhalb schwebende Schicht entsteht, die abermals durch eine Einschnürung verbunden sind, welche der anfänglich vorhandenen sehr ähnlich ist. Dabei liegt es auf der Hand, dass diese Einschnürung ihren Grund darin hat, dass der Strom etwas unterhalb der Oberfläche — bei den Dimensionen, mit welchen ich gewöhnlich arbeitete — Bechergläser von 17 cm Höhe und 10 cm Durchmesser — ungefähr 6 mm unterhalb derselben ein Maximum der Geschwindigkeit besitzt und dadurch in diesem Niveau zuerst die Begegnung der von beiden Seiten herkommenden Ströme stattfinden muss.

Nachdem nun diese Einschnürung erfolgt ist, beginnt das oben beschriebene Spiel gewissermassen von Neuem. Die untere Schicht verdickt sich, indem sie von oben immer Zufuhr erhält. Zugleich schwindet die Einschnürung abermals zu einem dünnen Faden zusammen und man hat nun wieder ein quastenartiges Gebilde freilich von viel geringerer Consistenz und mit sackartig aufgeschwollenen Endigungen nach unten (Fig. 2 d). Der hier abgebildete Zustand war bei der Versuchsreihe, welche den hier mitgetheilten Figuren zu Grunde liegt, nach 3 Stunden erreicht.

Von da an wird die ganze Erscheinung jedoch nicht leicht mehr symmetrisch bleiben. Je mehr sich die Temperatur des Wassers im Allgemeinen jener des Zimmers nähert, um so mehr gewinnen die kleinen Ungleichheiten in der Aus- und Einstrahlung auf verschiedenen Seiten an Einfluss und schliesslich hat man in einem Glase, das seit Tagen im Zimmer steht, nur mehr Strömungen, wie sie durch diese Ungleichheiten bedingt werden.

Diese Assymetrie trat auch bei der Versuchsreihe auf, von welcher ich eben gesprochen habe; nach 5 Stunden nämlich hatte man die Figur, wie sie in Fig. 2e abgebildet ist, es war dies offenbar die Wiederholung des in Fig. 2d abgebildeten Zustandes, nur dass jetzt die Stelle des Stammrestes, welcher in Fig. 2d noch klar ausgebildet vorhanden war, von dem inzwischen herabgesunkenen diffusen Gebilde eingenommen wird, welches in Fig. 2d noch die Stelle der in Fig. 2a vorhandenen Quaste vertreten hat.

Der neue Stamm aber, der nun nachrückt, zeigt schon ganz deutlich den Einfluss der einseitigen Erwärmung, die diesmal von der linken Seite her erfolgte, auch hat er mehr die Gestalt eines verkrümmten Bandes, dem einige Parallelbänder beigeordnet sind, die sämmtlich auf der Ebene der grössten Erwärmung und grössten Abkühlung senkrecht stehen, vorausgesetzt, dass die letztere durch die Axe des Glases geht.

Verfolgt man nun die Erscheinung noch weiter, so werden die Stromlinien immer complicirter, zugleich immer diffuser und schwerer kenntlich. Auch ist es charakteristisch, dass mit der Zeit die Querschnitte, die sich aus den Köpfen der Fäden gebildet haben, mehr hervortreten als die Stromlinien, was zu Schichtenbildung Veranlassung giebt.

Dabei beansprucht die vollständige Diffusion der Farbe im Wasser stets viel Zeit und ist nach 8 oder 10 Stunden noch nicht beendet.

Bei der Beurtheilung der Vollständigkeit der Diffusion ist man jedoch grossen Täuschungen ausgesetzt. Es kommt nämlich nicht selten vor, dass man eine vollständig homogen gefärbte Flüssigkeit vor sich zu haben glaubt, während nur die an der Wandung emporsteigende oder wenn das Wasser wärmer war als die Umgebung, herabsinkende gefärbte Flüssigkeit das Ganze wie mit einem Mantel umgiebt, gerade als ob man ein farbiges Glas angewendet habe.

Man kann sich davon überzeugen, wenn man das Glas auf einen hellen Grund gestellt hat und nun von oben hineinsieht, wobei dann der Mantel als Ring erscheint. Am besten sieht man dies, wenn man das Glas auf eine auf kleinen Stützen ruhende ebene farblose Glasplatte gestellt und weisses Papier untergelegt hatte.

Auf die hier möglichen Täuschungen wurde ich zuerst dadurch aufmerksam, dass ich mehreremale die Diffusion bereits für beendet hielt, während nachher wieder Figuren erschienen, was nun darin begründet war, dass der Mantel, welcher zuerst die Täuschung hervorgebracht, sich bei der Fortbewegung nach der Axe begeben hatte und dort wieder, wenn auch sehr diffuse, so doch erkennbare Stromfäden gebildet hatte.

Nach diesen Versuchen ist man nun im Stande, ein Schema der Strömung zu entwerfen und zwar für den Anfangs vorhandenen Fall einer grösseren Temperaturdifferenz, d. h. etwa 6° , zwischen der Wasser- und Lufttemperatur.

Dieses Schema zeigt Fig. 2 f und aus ihr lässt sich entnehmen, inwieferne die Gebilde, welche oben beschrieben wurden, Stromfäden oder Querschnitte repräsentiren.

Hiebei giebt die Entfernung der einzelnen Linien einen Anhaltspunkt für die Geschwindigkeit, mit welcher die Strömung an einer bestimmten Stelle vor sich geht, indem der Querschnitt jedes einzelnen Stromfadens der Geschwindigkeit umgekehrt proportional sein muss, da man die Dichtig-

keitsänderungen bei den kleinen Temperaturdifferenzen, soweit es sich um die hier aufgeworfene Frage handelt, ausser Betracht lassen kann. Freilich gilt dies nur von den im Schema enthaltenen Stromfäden, d. h. von den Stromfäden im mathematischen Sinne, die Fäden der Farbmasse vermehren ihr Volumen und mithin auch ihren Durchmesser schon in Folge der Diffusion.

Die obige Beschreibung bezieht sich, wie schon bemerkt, auf Versuche, bei welchen die Temperatur des Zimmers etwa 18 bis 19° C., jene des Wassers wenigstens Anfangs 10 bis 12° beträgt.

Unterscheidet sich die Wassertemperatur von der Zimmertemperatur nur um Bruchtheile eines Grades, so zeigen die Versuche schon bald nach Beginn jene Eigenthümlichkeiten, wie sie bei der oben gegebenen Beschreibung als charakteristisch für den Schluss angeführt wurden.

Die Vorgänge sind gleich von Anfang an einseitig entwickelt, die einzelnen farbigen Fäden schwellen rasch an und alle Bewegungen gehen mit verhältnissmässig grosser Geschwindigkeit von statten, so dass die Diffusion in weit kürzerer Zeit beendigt ist als wenn man kälteres Wasser anwendet.

Dies muss auf den ersten Blick sehr auffallen, da man bei grösseren Temperaturdifferenzen stärker beschleunigende Wirkung und demnach auch lebhaftere Bewegungen in der Flüssigkeit erwarten möchte.

Thatsächlich findet, wie eben bemerkt, das umgekehrte statt und wirken offenbar eine Reihe von Umständen zusammen, um dies Anfangs so auffallende Resultat hervorzurufen.

Hierher gehört zunächst das absolut höhere Temperaturniveau und die dadurch bedingten weit höheren Ausdehnungscoëfficienten des Wassers.

Während nämlich bei 9° eine Temperaturerhöhung von 1° eine Dichtigkeitsänderung $8 \cdot 10^{-5}$ zur Folge hat, beträgt diese Aenderung bei 19° mehr als doppelt so viel, nämlich $20 \cdot 10^{-5}$. Ferner ist bei höheren Temperaturen die Zähigkeit des Wassers viel geringer und endlich kann auch noch der Umstand in Betracht kommen, dass bei Wassermassen, welche lange Zeit den nämlichen Einflüssen ausgesetzt waren, die stets in demselben Sinne wirkenden Beschleunigungen sich beträchtlich summiren und dadurch grössere Geschwindigkeiten hervorrufen können.

Von einer Beschreibung der Erscheinungen bei ganz kleinen Temperaturdifferenzen muss abgesehen werden, da sie so mannfaltig und so sehr von Kleinigkeiten beeinflusst sind, dass die Erörterung unverhältnissmässig viel Raum beanspruchen würde.

Dagegen ist es der Mühe werth, eines Falles zu erwähnen, bei welchem die einseitige Erwärmung sich recht auffallend geltend macht:

Schwärzt man, wie dies Herr v. Beetz in der Vorlesung bei den Versuchen über strahlende Wärme zu thun pflegt, den Cylinder eines Argandbrenner zur Hälfte mit Russ, während man die andere Hälfte mit ganz dünnem blanken Platinblech überzieht und stellt man diesen Brenner gerade in die Mitte zwischen zwei mit Wasser gefüllte Gläser, so tritt nach Aufbringen der Probeflüssigkeit die ungleiche Ausstrahlung der beiden Cylinderhälften ausserordentlich scharf hervor. Während in dem Glase auf Seite der mit Blech bedeckten Hälfte der absteigende Stamm nur unbedeutend zur Seite gerückt wird, so kommt in dem anderen ein solcher Stamm gar nicht mehr zu Stande, sondern die Farbe sinkt auf der dem Brenner abgewendeten Seite dieses Glases in Gestalt eines mit Fransen besetzten Tuches herab, gerade wie in Fig. 1 der Tafel versinnlicht ist.

Weit mehr Interesse aber bieten die Strömungen, wenn

bei Bewahrung der Symmetrie um die Axe dennoch gleichzeitig Erwärmung und Abkühlung vorhanden ist, oder wenn es sich um Temperaturen handelt, welche dem Dichtigkeitsmaximum des Wassers nahe liegen. Versuche, bei welchen man sich um dies Temperaturniveau bewegt, zeigen nämlich die ähnlichen Erscheinungen wie andere, bei welchen man in einem höheren Temperaturniveau theils Erwärmung, theils Abkühlung einwirken lässt, da ja in der Umgebung des Dichtigkeitsmaximums eine weitere Abkühlung ebenso wirkt als bei höheren Temperaturen eine Erwärmung.

Man kann demnach zu jedem Versuche, bei welchen innerhalb des Glases gleichzeitig Temperaturen vorkommen, welche zu beiden Seiten der Temperatur des Dichtigkeitsmaximums liegen, einen analogen Versuch machen, bei welchem man höhere Temperaturen benützt, aber dafür an jenen Stellen, wo man bei dem ersten Versuche Temperaturen unter 4° hatte, Erwärmung und Abkühlung mit einander vertauscht.

Hiebei treten jedoch der Ausführung der Analogie-Versuche Schwierigkeiten dadurch entgegen, dass die Probenflüssigkeit bei den verschiedenen Temperaturen, wie schon oben bemerkt, sehr verschiedenes Verhalten zeigt und dass sie in der Nähe des Gefrierpunktes ausserordentlich zähe wird, eigenthümliche Schalenbildungen zeigt und überhaupt viel weniger diffundirt, so dass die Anzahl der auftretenden Fäden viel geringer und dadurch der Gesamteindruck minder vollkommen wird.

Ich werde deshalb von den Versuchen, bei welchen das Dichtigkeitsmaximum des Wassers eine Rolle spielt, nur einen einzigen genauer beschreiben, bei welchem die Temperatur nur wenig unter 4° herabsinkt und dadurch die Ausführung leichter wird, im Uebrigen werde ich mich auf blosse Andeutung der Analogien beschränken.

Zunächst soll die Figur beschrieben werden, welche

entsteht, wenn bei Wasser von über 4° im oberen Theile des Cylindermantels Abkühlung, im unteren Erwärmung wirkt.

Diese Bedingungen lassen sich leicht erfüllen, wenn man in ein mit Brunnenwasser von gewöhnlicher Temperatur gefülltes Cylinderglas oben einen heissen Körper einige Centimeter tief einsenkt, also etwa das untere Ende eines mit kochendem Wasser gefüllten Reagenzgläschens.

In diesem Falle erhält man Strömungen nach dem Schema Fig. 3 a der Tafel und eine Strömungsfigur, wie sie in Figur 3 b abgebildet ist.

An dem heissen Röhrchen steigt das Wasser in die Höhe, strömt über die Oberfläche nach dem Rande hin, kühlt sich dort ab und sinkt nun an der Peripherie herab. Dieses Sinken muss aber bald sein Ende erreichen, da die fallende Masse in geringer Entfernung unterhalb der Oberfläche einem aufsteigenden Strome begegnet, der durch die Erwärmung hervorgerufen wird, welche das kältere Wasser in dem wärmeren Zimmer an der Wandung des Glases erfährt. So hat man an der Peripherie der Wassermasse im oberen Theile einen absteigenden, im unteren einen aufsteigenden Strom, welche durch eine neutrale Kreislinie von einander getrennt sind.

In Folge dessen entstehen zweierlei Kreisläufe, der obere im Sinne einer Flüssigkeit, die wärmer ist als die Umgebung, der untere im entgegengesetzten.

Dies liess sich von vorneherein voraussehen, dagegen bietet der Versuch besonderes Interesse dadurch, dass man nun gleichzeitig das Bild einer vom Centrum nach Peripherie und einer von Peripherie nach Centrum gehenden Strömung vor sich hat, und dass die charakteristischen Eigenthümlichkeiten dieser beiden Fälle hier durch die farbige Flüssigkeit recht schlagend anschaulich gemacht werden.

An der Oberfläche nämlich wird die Farbhaut von dem heissen Proberöhrchen fortgeschoben, einen scharf kreisrund

begrenzten freien Ring zurücklassend; in dem unteren Niveau dieses Kreislaufes hingegen bildet sich ein schwebender Stern mit scharf radialer Streifung, der bei vollkommener Ausbildung einen reizenden Anblick gewährt. Man sieht hier die Analoga der beiden Lichtenberg'schen Figuren gleichzeitig nebeneinander entstehen.

Den Analogieversuch im tieferen Temperaturniveau erhält man, wenn man Wasser mit einer Temperatur von etwa 3° anwendet und in das Proberöhrchen anstatt des heissen Wassers eine Kältemischung bringt.

Eine sehr schöne Erscheinung bietet auch der umgekehrte Versuch: Erwärmung im oberen Theile des Glases und Abkühlung im unteren, in Wasser, dessen Temperatur höher als 4° und niedriger als jene der Zimmerluft ist.

Man erreicht diesen Zustand sehr leicht, indem man das mit frischem Brunnenwasser gefüllte Becherglas in ein weites niedriges Gefäss stellt, das noch kälteres Wasser enthält, wie man es durch Zugabe von Schnee oder Eisstückchen in Wasser leicht erhalten kann.

Alsdann hat man das Stromlaufschema Fig. 4 a der Tafel und eine Strömungsfigur, wie sie in Fig. 4 b dargestellt ist.

Es ist sehr anziehend, die Entwicklung dieser Figur genau zu verfolgen. Anfangs bildet sich dieselbe Quaste wie sie schon bei dem allerersten Versuch in Fig. 2 a dargestellt wurde, nur mit dem Unterschiede, dass die herabsinkenden Fäden keine Neigung zur Convergenz zeigen, sondern zuerst senkrecht, sehr bald aber schwach divergirend herabsinken. Zugleich fällt die äusserst geringe Geschwindigkeit auf, mit welcher dieses Sinken statt hat, eine Erscheinung, die mit der Divergenz der Fäden im engsten Zusammenhange steht, da eine Verminderung der Geschwindigkeit eine Vergrösserung des Stromquerschnitts zur Folge haben muss.

Diese Verminderung der Geschwindigkeit wird aber schon durch den Strom bedingt, der im unteren Theile des Gefässes in der Axe desselben emporsteigt und das Herabsinken im oberen Stücke derselben hemmt.

Diese Hemmung hat nun ein eigenthümliches Aufblähen des quastenartigen Gebildes zur Folge, wodurch dieses schliesslich die Gestalt einer Glocke annimmt, deren Kranz sich bis zu dem neutralen Ringe erstreckt, der auch hier vorhanden ist. Von diesem Kranze senken sich nun einzelne Fäden herab, die an der Wandung des Glases geradlinig abwärts steigen, am unteren Rande scharf rechtwinklig umbiegen und der Mitte des Bodens zustreben. Dort angelangt, biegen sie noch einmal fast rechtwinklig um und steigen nun wieder ein Stück senkrecht in die Höhe um noch eine Biegung nach auswärts zu erfahren. Diese zuletzt umgebogenen Stücke erweitern sich später zu Platten, welche sich mit den übrigen gleichartigen Platten schliesslich zu einem hutartigen Gebilde vereinigen. Jeder der eben beschriebenen erst senkrecht herabsinkenden, dann horizontal weiter schreitenden und dann noch einmal senkrecht ansteigenden Fäden bleibt streng in einer verticalen Ebene, so dass sie vollkommen den Anblick umgebogener Drähte darbieten.

Hiebei ist es für die Klarheit des Bildes von Vorthail, dass die Probeflüssigkeit bei niedrigeren Temperaturen weniger diffundirt, da in Folge dessen die Fäden im unteren Theile des Gefässes weit compacter werden als im oberen.

Bei der Versuchsreihe, nach welcher die Zeichnung entworfen wurde, war der in Fig. 4 b dargestellte Zustand in einer Stunde erreicht. Als ich inzwischen fortgegangen war und das Ganze sich selbst, also auch die Flüssigkeit im unteren Gefässe der Erwärmung durch die Zimmerluft überlassen hatte, fand ich, dass sich nach drei weiteren Stunden die ganze Farbmenge wesentlich in zwei Theile getrennt hatte. Die Erscheinung bot den in Fig. 4 c versinnlichten

Anblick dar. Offenbar hatte sich die Flüssigkeit, welche drei Stunden früher die Glocke gebildet hatte, an der Wandung des Glases in die Höhe gezogen, wie man schon nach den beiden Gebilden vermuthen konnte, welche in Fig. 4 b auf Seiten der Einschnürung angedeutet sind. Diese Masse hat alsdann wieder den Weg nach abwärts angetreten, während im unteren Theile des Glases ein eigener Kreislauf die Diffusion bereits zu ziemlich vollständigem Abschlusse gebracht hat.

Der eben beschriebene Versuch erfährt eine sehr interessante Modification, wenn man die Abkühlung im unteren Theile des Glases soweit treibt, dass die Temperatur unter 4° herabsinkt.

Man erreicht dies, indem man das Gefäß, welches den Fuss des Becherglases umgiebt, anstatt mit Wasser mit Eis füllt.

In diesem Falle hat man an dem Umfange des Glases ebenso wie bei dem vorigen Versuche oben eine Zone der Erwärmung unten eine solche der Abkühlung, da diese Abkühlung aber in dem untersten Theile so weit geht, dass die Wassertemperatur unter 4° herabsinkt, so wirkt sie dort ebenso wie im oberen Theile des Glases eine Erwärmung d. h. sie hat Aufsteigen des Wassers zur Folge.

Man hat demnach unter diesen Bedingungen an der Gefäßwandung oben und unten einen aufsteigenden, zwischen drin einen absteigenden Strom und die Grenzlinie von beiden wird eben in der Gegend des Dichtigkeitsmaximums des Wassers liegen.

Den hiebei zu Stande kommenden Stromlauf findet man in Fig. 5 a schematisch dargestellt. Fig. 5 b dagegen zeigt die Figur, wie sie etwa nach einer Stunde erhalten wurde. Sie erinnert im oberen Theile lebhaft an Fig 4 b und thatsächlich spielen sich die ersten Phasen des Versuches ebenso ab, wie bei dem vorigen und erst wenn das glockenartige

Gebilde nahezu fertig ist, machen sich Unterschiede geltend. Während nämlich bei dem vorigen Versuche der Rand der Glocke nach aussen nur wenig connex war, so ist er es nun viel mehr und während im vorigen Versuche von diesem Rande aus einzelne Fäden senkrecht abwärts fielen, so ziehen sie sich nun in beinahe horizontaler Richtung vom Rande nach innen um bei Annäherung an die Axe allmählig in anscheinend parabolischen Bahnen herabzusinken.

Führt man die beiden zuletzt beschriebenen Versuche nebeneinander aus, so hat man in ihnen ein vortreffliches Mittel, das Vorhandensein eines Dichtigkeitsmaximums des Wassers auch einem grossen Auditorium in recht augenfälliger Weise anschaulich zu machen.

Ich habe diese Versuche noch in der mannigfaltigsten Weise abgeändert, will jedoch von der weiteren Beschreibung absehen, da hiebei kein principiell neues Resultat erzielt worden ist. Nur einige wenige mögen noch ganz kurze Erwähnung finden.

Zunächst hat es schon ein gewisses Interesse die Strömungen zu verfolgen, welche man erhält, wenn man Wasser von weniger als 4^0 einfach der Erwärmung durch die Zimmerluft überlässt. Alsdann tritt eine Umkehr in der Strömungsrichtung ein sowie an einzelnen Stellen das Dichtigkeitsmaximum überschritten wird, ein Umschlag, der sich auch beim Gefrieren unserer Gewässer in grossem Maassstabe geltend machen muss.

Eine hübsche Erscheinung erhält man auch, wenn man ein hohes Cylinderglas ungefähr in der Mitte mit einer durch Kautschukringe gedichteten Blechrinne umgiebt und diese mit Eis füllt. Die Farbmengen, welche früher die Quasten bildeten, gestalten sich alsdann zu flach gedrückten Schichten um, wie sie z. B. in Fig. 6 der Tafel dargestellt sind.

Auch ein anderer Versuch darf nicht unerwähnt bleiben, da er nach verschiedenen Richtungen hin weitere Verfolgung

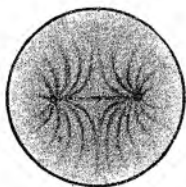
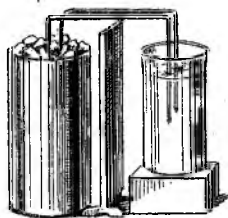
gestattet. Er entsprang aus dem Bestreben auf der Oberfläche Cohäsionsfiguren mit mehreren Centren hervorzubringen.

Dies kann man dadurch erreichen, dass man in einzelnen senkrechten Linien eine länger andauernde Abkühlung unterhält und hiezu bietet die Wärmeleitung ein bequemes Hilfsmittel.

Biegt man dicke Kupferdrähte U-förmig Fig. 3 um und stellt man jeweils den einen Schenkel eines solchen U in ein mit Eis gefülltes Gefäß, während man den anderen Schenkel in das Becherglas mit Wasser eintauchen lässt, wobei man natürlich für einen Schirm Sorge tragen muss, der einen Wärme-Austausch durch Strahlung zwischen den beiden Gefäßen verhindert, dann sieht man alsbald nach Aufbringen der Probeflüssigkeit einen farbigen Strom an jedem der beiden Drähte niedersteigen, auf der Oberfläche aber entsteht die

Fig. 3.

Fig. 4.



hier nebenan in Fig. 4 dargestellte Figur. Uebrigens hat man gar nicht nöthig, abgekühlte Körper in die Flüssigkeit einzutauchen, es genügt vielmehr zwei mit Schnee gefüllte Proberöhrchen von oben her bis auf wenige Millimeter der Oberfläche zu nähern um in Folge von Strahlung und Herabsinken kalter Luft sofort unterhalb jedes Röhrchens einen absteigenden Strom und damit die nämliche Figur wie oben beschrieben zu erhalten.

Wie bedeutend solche Strahlungseinflüsse von oben her einwirken, kann man auch sichtbar machen, indem man

einen erhitzten Glasstab nahe über der Flüssigkeitsoberfläche anbringt. Hiedurch wird unterhalb ein aufsteigender Strom hervorgerufen, der in dem Falle, wo man zuerst die Radfigur erzeugt hatte, zu höchst interessanten Deformationen Veranlassung gibt.

Die in Fig. 4 verzeichneten Stromlinien tragen das charakteristische Gepräge der stationären Strömung an sich und erinnern insoferne an die Stromlinien, welche man erhält, wenn in eine unendliche leitende Platte an zwei Punkten gleichstarke galvanische Ströme eintreten oder auch an die Kraftlinien zwischen zwei gleichstarken gleichnamigen Magnetpolen, vorausgesetzt, dass diese Pole in einer auf beiden Magneten senkrechten Ebene liegen.

Dagegen unterscheiden sich diese Linien in ihrem Verlaufe ganz wesentlich von den Strahlen, welche zwei gleichzeitig erzeugte positive Lichtenberg'sche Figuren zeigen. Die letzteren stossen zum Theile an der Symmetralaxe unter stumpfen Winkeln zusammen und lassen dadurch sofort erkennen, dass sie weder Stromlinien einer stationären Strömung noch Kraftlinien im gewöhnlichen Sinne des Wortes sind. Diese Eigenthümlichkeit weist vielmehr darauf hin, dass bei ihrer Entstehung die Zeit in Frage kommt, welche verstreicht bis sich die Gleichgewichtsstörung von den Einstromungspunkten aus fortpflanzt und spricht dadurch ausserordentlich zu Gunsten der schon früher von mir gegebenen Erklärung dieser Erscheinungen.¹⁾

Ich behalte mir vor, bei einer anderen Gelegenheit auf diesen Punkt zurückzukommen.

Dass man in der eben geschilderten Anordnung ein vortreffliches Mittel besitzt, um den bekannten Ingenhouss'schen Versuch über Wärmeleitung in eine neue Form zu bringen, bedarf wohl nur der Erwähnung.

1) Poggdff. Ann. Bd. CXLIV S. 532.

[1884. Math.-phys. Cl. 4.]

II. Strömungen in geschichteten Flüssigkeiten.

Bei Ausführung der eben geschilderten Versuche lag die Frage nahe, ob man in der benutzten farbigen Flüssigkeit nicht auch für das Studium der Diffusionserscheinungen ein passendes Hilfsmittel besitze.

Ich füllte deshalb das benutzte Becherglas einige Centimeter hoch mit concentrirter Kochsalzlösung, legte auf dieselbe ein leichtes rundes Brettchen und gab nun in der bekannten Weise mit einer Pipette Wasser auf und schliesslich die Probeflüssigkeit.

Das Resultat war äusserst überraschend.

Während ich erwartet hatte, dass erst in der Nähe der durch die totale Reflexion erkennbaren Trennungsfläche von Salzlösung und Wasser eine Aenderung der bei Wasser allein beobachteten Erscheinungen eintreten würde, zeigte sich, dass die Verhältnisse schon in geringer Entfernung unter der Oberfläche ganz andere waren als bei den oben beschriebenen Versuchen.

Von der oft erwähnten Quaste kam nur das oberste Stück zu Stande, die einzelnen Fäden bogen nach der Einschnürung rasch um und erweiterten sich etwa 2 Centimeter unter der Oberfläche zu einer horizontalen Schicht, die bei Annäherung an den Rand sich aufbog, so dass man in diesem obersten Theile des Glases einen in sich geschlossenen Kreislauf hatte, aus dem kaum Spuren in die unteren Schichten übertraten.

Um nun die Vorgänge unterhalb der genannten Schicht zu beobachten, blieb nichts anderes übrig, als die erneute Aufgabe einer kleinen Menge Probeflüssigkeit.

Wenn nämlich die Oberfläche schon einmal mit der Tinte überzogen war, so breitet sich ein neu aufgegebenener Tropfen der Probeflüssigkeit nicht mehr aus, quillt auch nicht mehr viel auf, sondern sinkt einfach in die Tiefe, einen

violetten Faden hinter sich nachziehend. Dieser Faden muss nun allmählig von den im Inneren vor sich gehenden Bewegungen ergriffen werden und dadurch ein Bild derselben geben.

Dieser Faden erfuhr in dem vorliegenden Falle eine Menge Knickungen und eine genauere Untersuchung ergab, dass die Anzahl dieser Knickungen von der Zahl der Füllungen abhing, welche man mit der Pipette vorgenommen hatte. Mit der Zeit aber wurden von dem Probefaden Anhängsel abgetrennt, die deutlich zeigten, dass die Knickungen einzelnen Schichten der Flüssigkeit entsprachen, in deren jeder ein eigener Kreislauf vor sich ging.

In die concentrirte Lösung konnten auch diese Probefäden nicht mehr eindringen und wurde die Grenze zwischen Wasser und Salzlösung nur von einzelnen kleinen Farbpartikelchen, die den Anblick von Stäubchen boten, durchsetzt.

Die eigenthümliche Schichtenbildung hatte ihren Grund offenbar darin, dass der Schwimmer, auf welchen ich das Wasser aus der Pipette fließen liess, jedesmal eine Erschütterung erfuhr, wenn von neuem mit der Aufgabe von Wasser begonnen wurde.

Dadurch wurde die jeweils oberste Schichte jedesmal in Unruhe versetzt, was eine ähnliche Wirkung haben musste wie ein leichtes Umrühren und den Transport von etwas Salz aus der darunter liegenden Schichte in die eben entstehende zur Folge hatte.

Durch das absatzweise Aufgeben von Wasser wurden demnach Schichten verschiedener Concentration erzeugt, wobei jedoch die Unterschiede im Concentrationsgrade nur sehr geringfügige sein konnten.

Um dies nachzuweisen stellte ich nun absichtlich solche Schichten verschieden concentrirter Kochsalzlösung her und bemühte mich anderseits Beunruhigungen des Schwimmers bei

Aufgabe neuer Wassermengen so viel als irgend möglich zu vermeiden.

Dass es sich hiebei nur um Minimaldifferenzen handelt geht schon aus dem eben Gesagten hervor, noch mehr aber aus den folgenden Versuchen.

1. Bringt man in ein etwa 800 cbcm fassendes mit Wasser gefülltes Becherglas einen einzigen Tropfen concentrirter Kochsalzlösung, so entsteht am Boden des Glases eine etwa 1 cm hohe Schicht Salzlösung, in welche die Probenflüssigkeit nicht mehr eindringt, sondern über welche die Köpfe der Fäden nach dem Umbiegen hinweggleiten wie über eine feste Unterlage. Nach einer rohen Schätzung enthält diese Schicht nicht einmal $\frac{1}{100}$ Procent Kochsalz und trotzdem ist dieser kleine Unterschied hinreichend die Betheiligung dieser Schicht an dem allgemeinen Kreislaufe zu hindern. Im specifischen Gewichte würde dies einen Unterschied von weniger als 0,0001 bezeichnen.

2. Das Glas wurde mit Brunnenwasser gefüllt, aber nicht ganz, so dass noch eine Schicht destillirten Wassers aufgegeben werden konnte. Der freilich grössere Unterschied zwischen dem specifischen Gewichte des Münchener Brunnenwassers (Quellen des Mangfallthales) von 0,001 war ebenfalls hinreichend, um ein Eindringen der hektographischen Tinte, sofern sie nicht ein zweitesmal als sogenannter Probetropfen aufgebracht wurde, aus der oberen Wasserschicht in die untere zu verhindern.

Zum Zwecke der genaueren Untersuchung wurden nun Schichten von ganz bestimmtem Salzgehalte hergestellt und zwar folgendermassen:

Zu 10 cbcm bei Zimmertemperatur (etwa 18° C.) gesättigter Kochsalzlösung fügte ich 100 cbcm Brunnenwasser und goss von der so erhaltenen Lösung 100 cbcm in das zur Untersuchung bestimmte Becherglas.

Die übrigbleibenden 10 cbcm der Lösung verdünnte ich

wieder mit 100 cbcm Wasser und brachte mit Hülfe einer Pipette und unter Anwendung des Schwimmers hievon wieder 100 cbcm vorsichtig in das Becherglas. Diess wiederholte ich noch 5 mal und fügte ganz zum Schlusse noch 100 cbcm Brunnenwasser als oberste Schicht hinzu.

Auf diese Weise wurden 8 Schichten erhalten, von denen die oberste, abgesehen von dem dem Münchener Brunnenwasser eigenen Salzgehalte gar kein Kochsalz enthielt, die übrigen aber von unten her der Reihe nach folgende Mengen in Procenten der Lösung: I 2,84; II 0,26; III 0,02; IV 0,002; V 0,0002; VI 0,00002; VII 0,000002.

Die oberste Schichte (VIII) und die ihr benachbarte (VII) unterscheiden sich demnach nur um einen Salzgehalt von $\frac{1}{500000}$ Procent, was einer Differenz des specifischen Gewichtes von etwa 0,000 00001 entsprechen würde.

Hiebei kann ich freilich nicht verschweigen, dass ich diese Angabe nur für eine sehr rohe Annäherung halte, da es mir nicht unwahrscheinlich dünkt, dass der Holzschwimmer bei dem allmäligen Uebergange von den tieferen Schichten zu der höheren concentrirten Lösung von unten mitnimmt.

Eine nachträgliche Untersuchung des Concentrationsgrades der oberen Schichten scheint mir schon deshalb unmöglich, weil man zu diesem Zwecke den betreffenden Schichten bestimmte Mengen entnehmen müsste, womit jederzeit die Gefahr verbunden wäre, durch Aufrühren der Lösung die Concentration zu verändern.

Aber selbst wenn man den oben angegebenen Zahlenwerthen keinen hohen Grad von Genauigkeit beimisst, so sind sie doch jedenfalls genügend um die Ueberzeugung zu begründen, dass ganz minimale Differenzen im specifischen Gewichte hinreichen, um eine solche Schichtung hervorzurufen und getrennte Kreisläufe in den einzelnen Schichten zu bedingen.

Denn thatsächlich bot sich etwa eine Stunde nach dem

Aufgeben der Anblick wie in Fig. 7 der Tafel versinnlicht, nach Hinzufügung eines Probetropfens aber bald darauf das Bild, das Fig. 8 wiedergiebt.

Alles zusammengefasst kommt man zu dem Ergebnisse, dass man mit Hülfe der hektographischen Tinte in Wassermassen eine Menge Vorgänge sichtbar machen kann, deren Studium sonst grosse Schwierigkeiten bietet.

„Zunächst eignet sich diese Substanz vortrefflich zur Anstellung verschiedener Versuche über die Spannung der Flüssigkeitshaut beziehungsweise über Oberflächenelasticität und elastische Nachwirkung in Wasser“.

„Ferner kann man durch dieses Hilfsmittel, stationäre oder nahezu stationäre Strömungen in der Oberfläche und im inneren von Wassermassen sichtbar machen, deren Verfolgung wegen der Analogieschlüsse, die man in anderen Gebieten der Physik daran knüpfen kann, erhöhtes Interesse darbietet“.

„Endlich kann man auf diesem Wege nachweisen, wie leicht in Lösungen, selbst bei Minimaldifferenzen im Concentrationsgrade, Schichtenbildung eintritt, und wie alsdann die kleinsten Unterschiede in der Temperatur hinreichen, um in jeder solchen Schichte einen besonderen Kreislauf hervorzurufen, ein Umstand, der bei Untersuchungen über Diffusion nicht unberücksichtigt bleiben darf“.

Herr W. v. Beetz überreicht eine in dem physikalischen Institute der Würzburger Universität ausgeführte Arbeit des Herrn Dr. Karl Strecker:

„Ueber eine Reproduktion der Siemens'schen Quecksilbereinheit“;

welche in den Denkschriften veröffentlicht werden wird.

