

# Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

**k. b. Akademie der Wissenschaften**

zu München.

---

1884. Heft IV.

---

**München.**

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1885.

In Commission bei G. Franz.

Herr Wilhelm von Bezold sprach:

„Ueber eine neue Art von Cohäsionsfiguren.“

(Mit einer Tafel.)

Bei Gelegenheit einer Untersuchung über das Bildungsgesetz der Lichtenbergischen Figuren<sup>1)</sup> habe ich darauf hingewiesen, dass Figuren, welche denselben ausserordentlich ähnlich sind, durch Bewegung von Flüssigkeiten hervorgerufen werden können.

Ich bediente mich damals einer durch Aufquellen von Traganth gewonnenen dünnen Gallerte, deren Oberfläche durch Bespritzen mit feinen Farbtröpfchen bedeckt wurde. Durch Ansaugen der Traganthmasse mittelst eines feinen Röhrchens ordneten sich die Farbtröpfchen zu Figuren, welche mit den positiven Lichtenberg'schen die grösste Aehnlichkeit hatten, während durch Ausbreitung eines Tropfens verdünnterer Farblösung stumpf begrenzte Figuren erhalten wurden, welche an die negativen Staubfiguren erinnerten.

Ich zeigte damals, dass die Analogie zwischen den beiden Gruppen von Erscheinungen eine ausserordentlich enge sei, und baute darauf die Hypothese, dass die Lichtenbergischen Figuren wesentlich ein Resultat der Bewegung der Luft, beziehungsweise des Gases seien, in welchem man das Experiment macht.

Hiebei würden sich die charakteristischen Eigenthümlichkeiten der positiven und negativen elektrischen Figuren

1) Poggdfr. Ann. Bd. CXLIV S. 337—363 u. 526—556.

dadurch erklären, dass man es in dem einen Falle mit einem Strömen nach einem Centrum also mit einem Aufsaugen, im anderen aber mit einem Ausströmen von einer Spitze zu thun habe.

Auch heute habe ich noch keine Ursache von meinen damals ausgesprochenen Anschauungen abzugehen, da ich die von Einzelnen dagegen erhobenen Einwände durchaus nicht als stichhaltig anerkennen kann.

Der Verbreitung meiner Ansicht war es jedoch offenbar hinderlich, dass die Wiederholung des Experimentes mit dem Traganthschleim immerhin etwas umständlich ist, so dass sie wohl kaum jemals versucht wurde.

Da spielte mir kürzlich der Zufall ein Verfahren in die Hand, durch welches sich nicht nur der Versuch mit dem Ausströmen und Aufsaugen ausserordentlich leicht und schön wiederholen lässt, sondern welches überdies gestattet, noch eine Menge von Fragen in einfacher Weise zu behandeln, deren Untersuchung bisher mit mancherlei Schwierigkeiten verbunden war.

Die Entstehungsgeschichte dieses Verfahrens war die folgende:

Ich ging gerade vorüber, als Herr Schultheiss, Assistent der meteorologischen Centralstation, die Spitze einer mit rother Korallintinte gefüllten Reissfeder zum Reinigen in ein Glas mit Wasser getaucht hatte.

Dabei fiel mir auf, dass die Tinte sich als ein scharf begrenzter Fleck auf der Oberfläche des Wassers verbreitet hatte und dies rief mir die Erinnerung an die negative Lichtenberg'sche Figur wach und veranlasste mich der Sache Aufmerksamkeit zu schenken.

Da sich nämlich zeigte, dass von der Mitte des Fleckes aus ein Theil der Tinte als feiner Faden mit eigenthümlich verdicktem Ende durch das Wasser nach dem Boden des Gefässes hinabsank, so erwartete ich sofort, dass in Folge

des Mitreissens von Theilen des Fleckes hier ähnliche radiale Streifen auftreten würden, wie ich sie seinerzeit bei dem Saugversuche in der Traganthgallerte beobachtet hatte.

Als ich jedoch das gewünschte Resultat nicht augenblicklich erhielt, veranlasste ich Herrn Schultheiss, seine Feder in die gerade neben stehende hektographische Tinte zu tauchen und zu versuchen, wie diese sich auf der Wasserfläche verhalten werde.

Das Ergebniss war geradezu überraschend. Die mit Anilinviolett intensiv gefärbte Tinte breitete sich mit Blitzesschnelle auf der Wasserfläche bis zum Rande hin aus und sehr bald machten sich Anfänge einer radialen Streifung merkbar, die sich innerhalb weniger Minuten so vollkommen ausbildete, dass man an ein Rad mit vielen Speichen etwa an das eines Velocipedes erinnert wurde. (Fig. 1.)

Diese Erscheinung war so schön — das Glas hatte einen inneren Durchmesser von 9 cm — dass ich mich augenblicklich daran machte, die Bedingungen ihres Zustandekommens genauer zu studiren.

Dabei bemerkte ich zunächst, dass es wesentlich ein Bild der Strömungen im Gefässe ist, welches man auf diese Weise sichtbar macht, so dass z. B. die Strahlenfigur immer dann auftritt, wenn das Wasser kälter ist als die umgebende Luft, da man alsdann am Umfange des Gefässes einen auf in der Axe desselben einen absteigenden Strom hat.

Gerade dieser Punkt scheint mir von wesentlicher Bedeutung zu sein.

Es sind nämlich schon zahlreiche Untersuchungen ausgeführt worden über die Verbreitung von Tropfen auf der Oberfläche und zum Theil auch im Innern anderer Flüssigkeiten. Aber bei all' diesen Versuchen und Studien war die Aufmerksamkeit wesentlich auf die molecularen Vorgänge gerichtet.

Theils waren es die Capillarerscheinungen, welche man

dabei in erster Linie in Betracht zog, theils waren die Versuche darauf berechnet, in der eigenthümlichen Verbreitungsweise der verschiedenen Flüssigkeiten Kennzeichen für deren Reinheit und überhaupt für deren chemische Beschaffenheit zu gewinnen.<sup>1)</sup>

Einen ziemlich vollständigen Nachweis der hierauf bezüglichen Literatur findet man in der Abhandlung von Quincke über Capillaritätserscheinungen an der gemeinschaftlichen Oberfläche zweier Flüssigkeiten.<sup>2)</sup>

Seitdem sind über den gleichen Gegenstand noch einige weitere Arbeiten erschienen, so von Marangoni,<sup>3)</sup> F. Cintolesi<sup>4)</sup> und A. Obermayer.<sup>5)</sup>

In all' diesen Untersuchungen wird jedoch mit einziger Ausnahme der zuletzt erwähnten, wie schon bemerkt, das hier von mir betretene Gebiet kaum gestreift. Die Flüssigkeiten, deren Ausbreitung auf anderen insbesondere auf Wasser beobachtet wurde, stehen meist dem Wasser so ferne, dass eine Mischung gar nicht oder nur sehr schwer möglich ist, während bei den von mir benutzten Farben eine solche sehr wohl eintritt, aber nur so allmählig, dass sich der Vorgang leicht verfolgen lässt.

Die Farben, deren Ausbreitung auf der Wasserfläche und deren allmähliche Vermischung ich untersucht habe, dienen wesentlich nur dazu, die Bewegungen der Wassermasse sichtbar zu machen und ihr Cohäsionsvermögen kommt vorzugsweise insofern in Betracht, als dadurch die Stromfäden in dem Wasser deutlich markirt werden.

1) Tomlinson: *Phil. Mag.* (4) XXIII (1862) S. 186—195. — (4) XXVII (1864) S. 425—432 u. 528—537. — (4) XXVIII (1864) S. 354—364.

2) *Poggdff. Ann.* CXXXIX S. 1—86. S. insbes. S. 74.

3) *Nuov. Cim.* (2) III (1870) S. 105—120. — (2) V—VI (1872) S. 239—273.

4) *Rendic. Lomb.* (2) IX S. 187—192.

5) *Poggdff. Ann.* CLI (1874) S. 130—132.

Ich hätte deshalb der ganzen Abhandlung vielleicht auch den Titel geben dürfen „über die Bewegungen in Wassermassen, welche allmäliger Erwärmung oder Abkühlung unterworfen sind.“

Das Uebersehen der Bedeutung, welche diese Bewegungen für das Verhalten solcher Farbhäutchen haben, war auch der Grund, weshalb Herr Obermayer, der wie bereits angegeben den hier zu beschreibenden Versuchen sehr nahe kam, dennoch beim ersten Schritte stehen blieb.

Herr Obermayer hatte nämlich bemerkt, dass intensiv gefärbte Lösungen von Anilinfarben sich auf Wasserflächen rasch zu Scheiben verbreiten, und dass solche Scheiben später am Rande Risse zeigen und in einzelne Strahlen zerfallen können.

Die wenigen Versuche, die er beschreibt, sind jedoch wesentlich anderer Art als die von mir angestellten, indem er offenbar viel dickere Farbhäute bildete — er giebt an, dass sie Oberflächenfarben zeigten — wodurch thatsächlich die Cohäsionsverhältnisse in den Vordergrund treten, die Strömungen im Wasser aber nur mehr untergeordnete Rolle spielen, so dass er deren Bedeutung ganz übersehen konnte.

Dies vorausgeschickt sollen nun die oben kurz ange deuteten Versuche eingehender beschrieben werden.

Zur Anstellung derselben bedient man sich mit Vortheil verschiedener Arten von Tinten, am Besten jener aus Anilinviolett unter Beisatz von Glycerin dargestellten, welche man zu der hektographischen Vervielfältigung verwendet.

Bringt man mit Hilfe einer Reissfeder oder eines Pinsels eine kleine Menge solcher Tinte auf eine reine Wasserfläche, so breitet sie sich wie schon bemerkt ausserordentlich rasch zu einer feinen Haut aus. Hiebei ist es wichtig, Reissfeder oder Pinsel nicht senkrecht, sondern unter möglichst spitzem Winkel an die Fläche zu bringen, damit die Ausbreitung seitlich erfolge und nicht gleich Anfangs eine

grössere Menge zum Niedersinken komme. Aus diesem Grunde ist auch die Benutzung eines Glasstabes, Tropfglases u. s. w. für diese Versuche durchaus ungeeignet.

Ferner muss man, wenn rasche ungehinderte Ausbreitung stattfinden soll, dafür Sorge tragen, dass die Feder ganz frisch mit Tinte gefüllt sei. Je besser die Reissfeder vorher gereinigt war und je rascher sie von dem Tintengefässe auf die Wasseroberfläche gebracht wird, um so rascher erfolgt die Ausbreitung, um so ausgedehnter wird der Fleck und um so dünner die Haut.

Der Versuch, mit dem Reste der Tinte, die zur Herstellung der Haut auf einem Gefässe gedient hat, noch in einem zweiten Gefässe einen ausgedehnten kreisförmigen oder bis an die Gefässwand reichenden Fleck herzustellen, schlägt jedesmal fehl. Ebensowenig ist es möglich, einen Fleck, der durch Mangel an Tinte oder durch zu langsames zaghafte Auftragen zu klein geworden ist, durch Zugabe einer zweiten Portion nennenswerth zu vergrössern. Die zuletzt aufgetragene Menge wird sich höchstens zu einer ganz kleinen dafür natürlich sehr intensiv gefärbten Scheibe ausbreiten, meist aber nur einen ganz unregelmässig begrenzten Flecken liefern, so dass die Durchführung des Versuches von vorneherein unmöglich wird.

Aber auch wenn die Ausbreitung ungehindert erfolgt, wird das Ergebniss noch ein sehr verschiedenes, je nachdem die Farbe den Rand der flüssigen Oberfläche erreicht oder nicht.

Weitaus am schönsten gelingt der Versuch, wenn die Farbe den Rand nicht nur erreicht, sondern sogar noch etwas an dem Glase in die Höhe steigt.

Ist dies der Fall, und ist überdies die aufgegebene Menge Tinte so bemessen, dass die Haut nicht zu dick und damit zu undurchsichtig wird, dann entstehen im Laufe weniger Minuten auf der Oberfläche Figuren, wie sie in Fig. 1 und Fig. 3 dargestellt sind, immer vorausgesetzt, dass das Wasser kälter sei als die Luft des umgebenden Raumes.

Zunächst bemerkt man in der Mitte der Oberfläche — ich setze hier die Benutzung eines Becherglases oder eines cylindrischen Glases voraus — dass ein Faden nach abwärts sinkt, der meist ein verdicktes Ende besitzt, und dem besonders wenn die Schicht etwas mächtiger war, in der Umgebung des Centrums allmählig noch mehrere nachfolgen.

Gleichzeitig gewinnt die Oberfläche ein eigenthümlich gekörntes Ansehen, indem man unzählige hellere Fleckchen wahrnimmt. Diese verlängern sich rasch im Sinne des Radius und bald werden Anfänge eine Streifung sichtbar. Am Rande treten nun auch tropfenartige Verdickungen auf, die sich nach dem Centrum zu verlängern und bald zu vollkommenen Strahlen ausbilden, so dass man eben das Bild erhält, wie es in Fig. 1 dargestellt ist. Die Ausbildung desselben nimmt je nach den Temperaturen, sowie nach der Menge der aufgebrauchten Flüssigkeit sehr verschiedene Zeit in Anspruch, die zwischen wenigen Minuten und einer Viertelstunde schwanken kann.

Von der Seite gesehen hat inzwischen das Ganze die in Fig. 4 versinnlichte Gestalt angenommen.

Der centrale Faden hat sich bis zum Boden herabgesenkt, das verdickte Ende desselben hat sich zuerst wie ein Knopf an dem Boden ausgebreitet und schiebt sich allmählig nach der wärmsten Seite der Wandung, um dort umbiegend wieder nach aufwärts zu steigen.

War die aufgegebenen Tintenmenge einigermaßen grösser, so hat es auch nicht bei einem Faden sein Bewenden, sondern es treten deren mehrere auf, von denen die mittleren gleich von Anfang an den Weg nach abwärts einschlagen, während die begleitenden mehr seitlich gelegenen sich viel langsamer in gekrümmten Bahnen bewegen, so zwar, dass sie sich zuerst der Axe nähern, dann aber wieder von derselben abwenden. Die gefärbte Masse erhält dadurch unterhalb der Oberfläche eine Einschnürung, der nach abwärts

eine bedeutende scheibenartige Erweiterung folgt, an welche sich alsdann noch weiter unten ein mit der Spitze nach abwärts gekehrter Kegel anschliesst.

Der letztere ist bei grösseren Farbmengen sehr unregelmässig aus vielen einzelnen Fäden bestehend, bei kleineren und bei Vermeidung von Erschütterungen und von störenden Temperatureinflüssen sehr regelmässig. (Fig. 4.)

Sowie seine Spitze am Boden des Glases ankommt, biegt sie um und folgt nun der Bahn des ersten Fadens, der schon früher vorangegangen ist und nie unterbrochen wurde.

Dabei wird die Einschnürung unterhalb der Oberfläche immer stärker und stärker, während die Scheibe, welche die nach oben gekehrte Grundfläche des genannten Kegels bildete, kaum merklich gesunken ist, so dass letztere schliesslich nur durch einen ganz dünnen Faden mit der nun vollkommen farblos gewordenen Oberfläche verbunden ist.

Während der Kegel tiefer und tiefer sinkt, steigt nun die Farbe an den Wänden in kaum sichtbaren Bändern empor, verbreitet sich allmähig an und unter der Oberfläche in wolkenartigen (stratus-artigen) Schichten, aus welchen sich mit der Zeit wieder ein conisches sackartiges Gebilde nach abwärts senkt, um in der Bahn oder neben der Bahn des ersten Kegels ebenfalls langsam herabzusteigen.

Wenn die Temperaturdifferenzen keine bedeutenden sind, so kann dieser Vorgang mehrere Stunden in Anspruch nehmen.

Für die Untersuchung der Vorgänge im Innern der Wassermasse ist es vortheilhaft, nur sehr kleine Farbmengen in Anwendung zu bringen und schadet es keineswegs, wenn diese so gering sind, dass der auf der Flüssigkeit ausgebreitete Tropfen den Rand der Oberfläche nicht mehr erreicht.

Anders wenn man die Strahlenfigur auf der Oberfläche rein und schön erhalten will, dann ist ein Adhären der Farbe am Glase unerlässlich.

Man erhält zwar auch in dem ersteren Falle einen

strahligen Stern, aber die Strahlen erscheinen alsdann nur wie Schattenstreifen in einem nach der Peripherie zu verwaschenen Felde und nicht entfernt so scharf und deutlich als wenn sie durch die am Glase emporgezogenen und dann allmählig wieder herabsinkenden und dem Mittelpunkte der Wasserfläche zuströmenden Farbmengen gebildet werden.

Soll dieses Adhären am Glase erfolgen, so hat man durch passende Reinigung des Glases schon vorher dafür Sorge zu tragen, dass die Adhäsion zwischen Wasser und Glas eine sehr vollkommene sei, wovon man sich schon durch die blosse Betrachtung der Grenzlinie von Glas und Wasser leicht überzeugen kann.

Nach dieser Einschaltung wollen wir nun zu der Betrachtung der Versuche zurückkehren, und vor Allem jene kennen lernen, welche den Beweis liefern, dass wir in den zu besprechenden Erscheinungen wirklich nur ein Bild der Bewegungen zu erblicken haben, welche in dem Wasser durch Temperaturdifferenzen erzeugt werden.

Dies geht aus den folgenden Versuchen hervor:

1. Ist die Temperatur des Wassers höher als jene der Umgebung, so gibt es im Innern keinen absteigenden Strom. Thatsächlich bildet sich in einem solchen Falle auch der starke Stamm im Innern nicht und ebensowenig die Strahlenfigur an der Oberfläche. Die Farbe begibt sich alsdann von der Mitte dieser Fläche nach der Peripherie und steigt an den Wandungen als dünner Mantel herab.

2. Ist das Wasser kühler als die umgebende Luft, die Wärmezufuhr aber einseitig, so rückt der Stamm nach der kühleren Seite hin. Die Strahlenfigur wird deformirt, jedoch so, dass sie eine Symmetralaxe besitzt, welche in der Ebene der grössten und der geringsten Erwärmung liegt.

3. Die allerkleinste Einseitigkeit in der Wärmezufuhr macht sich in dieser Hinsicht bereits geltend. Die Aus- oder Einstrahlung durch ein mehrere Meter entferntes Fenster

genügt, um die Figur zu orientiren und den absteigenden Stamm aus der geometrischen Axe des Glases zu verdrängen.

Ein Glas voll Eiswasser macht die durch Strahlung bedingte Abkühlung auf mehrere Decimeter hin geltend.

Eine Gasflamme endlich wirkt noch in beträchtlicher Entfernung stark genug, um den absteigenden Strom ganz nach der abgewendeten Seite des Glases hindrängen. In diesem Falle zeigen sich auf der Oberfläche nun parallele Streifen, während die farbige Flüssigkeit an der kühlen Seite in Gestalt eines mit Fransen behangenen Tuches herabsinkt.

4. Hat das Gefäß keinen kreisförmigen Querschnitt, so findet die Erwärmung an stärker gekrümmten Stellen rascher statt, als an den minder gekrümmten und muss an solchen Stellen der aufsteigende Strom lebhafter werden.

Dass dies thatsächlich der Fall ist, übersieht man sehr gut bei Anwendung eines Gefäßes mit quadratischem Querschnitt und abgerundeten Kanten.

In einem solchen Gefässe zeigen die Strahlen (Fig. 3) keinen so einfachen Verlauf als man wohl erwarten sollte, sondern sie haben Wendepunkte, die wie man leicht sieht einfach davon herrühren, dass an den Kanten stärker aufsteigende Ströme vorhanden sind, welche die Strahlen dort auseinander drängen.

5. Den Einfluss solcher stärker aufsteigenden Ströme sieht man sehr deutlich, wenn man die Erwärmung beschleunigt. Stellt man z. B. ein Becherglas voll Wasser wie es aus dem Brunnen kommt d. h. von der Temperatur des gewöhnlichen Trinkwassers in ein niedriges Gefäß, das mit lauwarmem Wasser von etwa 30° gefüllt ist, so wird der an der Wand aufsteigende Strom viel zu lebhaft, als dass die Ausbildung einer Strahlenfigur wie Fig. 1 noch möglich wäre. Es theilt sich vielmehr alsdann das ganze Gefäß in etwa 6 bis 8 Fächer, deren jedes für sich seinen eigenen Kreislauf hat und die nun eine gemeinschaftliche Axe besitzen.

6. Besonders hübsch ist der Versuch, wenn man zuerst eine gleichseitige Erwärmung einleitet, wie sie sich einfach durch den Einfluss der wärmeren Zimmerluft auf kälteres Wasser bildet und wenn man alsdann plötzlich eine einseitige Erwärmung eintreten lässt. Gesetzt es habe sich der Fig. 4 versinnlichte Zustand ausgebildet, so genügt eine kurze Berührung mit der warmen Hand, um diesen Zustand zu stören, den starken Stamm zur Seite zu biegen und jenes Bild zu erhalten, wie es in Fig. 5 wiedergegeben ist.

Diese Versuche mögen hinreichen, um die Ueberzeugung zu erwecken, dass man es hier thatsächlich mit Strömungen zu thun hat, die durch die Erwärmung und Abkühlung hervorgerufen werden und dass die Beschaffenheit der Farbe, welche gewissermassen als Reagens für diese Ströme gilt, nur in zweiter Linie in Betracht kommt.

Ganz gleichgiltig ist sie jedoch durchaus nicht, nimmt man z. B. an Stelle der hektographischen Tinte sogenannte Alizarincopirtinte, so erhält man anstatt der aus gröberen, radspeichenartigen Strahlen zusammengesetzten Figur eine andere, die aus vielen ganz feinen Strahlen besteht, die unter sich wieder gruppenweise zu Blättern vereinigt sind, wie es in Fig. 2 versinnlicht ist.

Auch die Fäden im Innern zeigen einen etwas anderen Charakter insbesondere eigenartig gestaltete Köpfe, je nach der Art der in Anwendung gebrachten Flüssigkeit.

Im Grossen und Ganzen aber bleiben die Erscheinungen doch dieselben, vor Allem zeigen sie immer jene enorme Empfindlichkeit gegen thermische Einflüsse, so dass sie sich zu Versuchen über Wärmestrahlung als empfindliches Thermoskop benutzen lassen, und besonders bei Vorlesungen in vielen Fällen mit Vortheil an die Stelle der Thermosäule treten können.

---

Fig. 1.

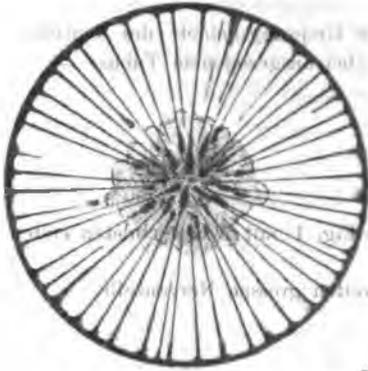


Fig. 2.

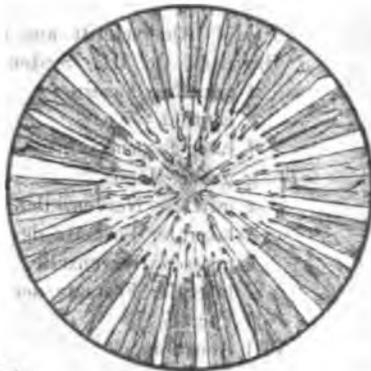


Fig. 3.

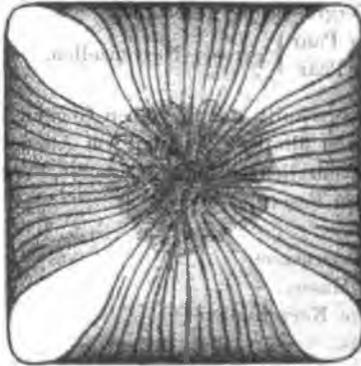


Fig. 4.



Fig. 5.

