

Neue
hydrodynamische Experimente.

Von

Prof. Dr. Gustav Jäger.

Vortrag, gehalten den 1. März 1905.

Mit 9 Abbildungen im Texte.

Die Hydrodynamik befaßt sich mit den Gesetzen, nach welchen die Bewegungen der Flüssigkeiten stattfinden. Im folgenden wollen wir uns mit derartigen Bewegungen beschäftigen, und zwar hauptsächlich mit einer ganz neuartigen Erscheinung.

Da die Flüssigkeiten meist durchsichtig sind, so ist es nicht nur leicht möglich, deren Bewegungen direkt zu beobachten, sondern sie gestatten auch, falls wir sie in durchsichtigen Gefäßen haben, mit Hilfe eines Projektionsapparates die Vorgänge auf eine weiße Wand vergrößert zu projizieren und sie gleichzeitig einem größeren Publikum vorzuführen. Wir benützen zu dem Zwecke zweierlei Arten von Gefäßen: solche, welche wir von unten nach oben durchleuchten, und solche, bei welchen wir das Licht horizontal durchgehen lassen können. Bei ersteren ist es natürlich nötig, daß der Boden des Gefäßes aus einer durchsichtigen Spiegelscheibe besteht, während letztere zwei parallele, senkrechte Wände aus Spiegelglas besitzen müssen. Der Apparat, welchen wir zur Projektion benützen, besteht im wesentlichen aus dem bekannten Skioptikon, nur muß an Stelle der Öffnung, welche beim Skioptikon die zu projizierenden Bilder aufnimmt, ein größerer Raum vorhanden sein, welcher gestattet, das ganze Gefäß mit den parallelen Spiegelscheiben hineinzuschieben. Füllen wir dieses Gefäß dann

mit Wasser und lassen in das Wasser irgend eine gefärbte Flüssigkeit fließen, so lassen sich deren Bewegungen sowie alle Formen, die sie annimmt, deutlich auf einer Wand vergrößert darstellen.

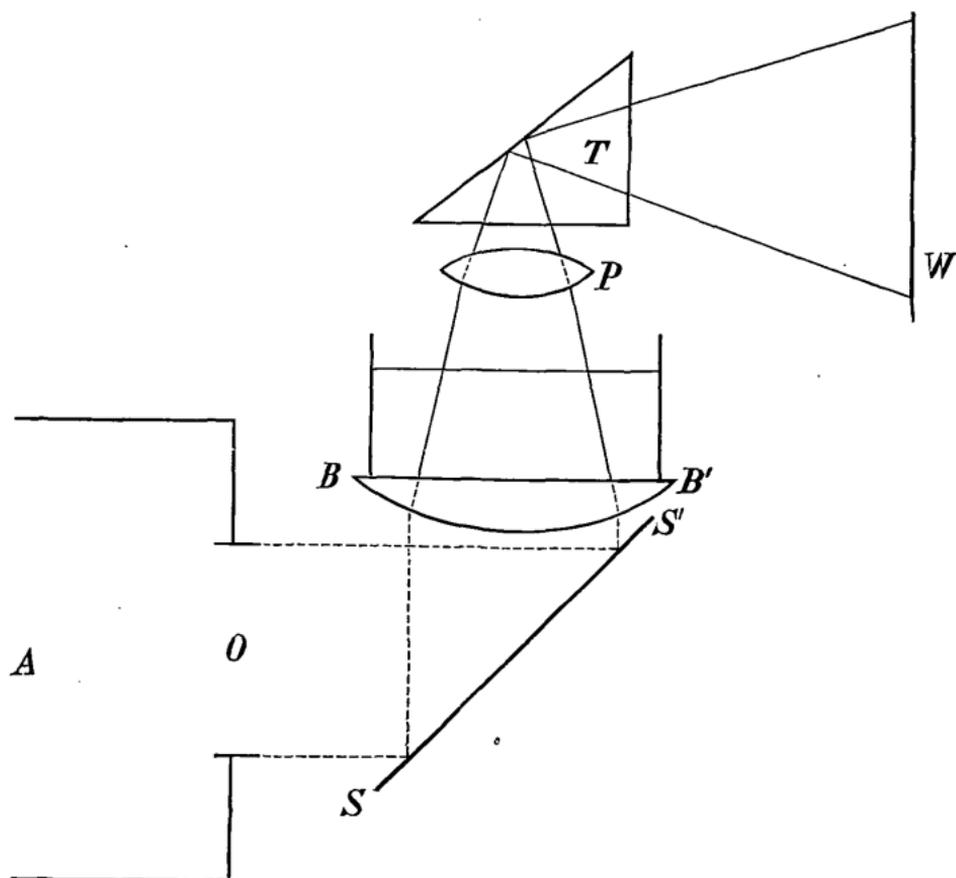


Fig. 1.

Will man jedoch Vorgänge projizieren, welche hauptsächlich in einer horizontalen Ebene angeordnet sind, etwa auf einer Flüssigkeitsoberfläche, so ist dies mit der geschilderten Anordnung nicht möglich, sondern

wir müssen unserem Apparate folgende Einrichtung geben. Wir entfernen vom Skioptikon (*A*) die Projektionslinse und stellen vor der Öffnung (*O*), aus welcher das Licht austritt, unter einer Neigung von 45° einen Spiegel (*SS'*) auf, welcher das Licht, wie aus der Fig. 1 zu ersehen ist, senkrecht nach oben wirft. Dort trifft es zuerst auf eine Beleuchtungslinse (*BB'*), welche das Licht auf die eigentliche Projektionslinse (*P*) wirft, die auf einem darüber befindlichen Schirme ein Bild erzeugen könnte. Um aber in gewohnter Weise das Bild auf einer senkrechten Wand zu erhalten, werden die Strahlen durch ein total reflektierendes Prisma (*T*) aus ihrer senkrechten Richtung in eine horizontale abgelenkt, so daß man auf der senkrechten Wand (*W*) das Bild auffangen und betrachten kann. Stellen wir nun auf die Beleuchtungslinse (*BB'*) unser Gefäß mit dem durchsichtigen Boden, füllen dasselbe mit Wasser und erzeugen mit irgend einem gefärbten Gegenstande Figuren auf der Oberfläche des Wassers, so können wir alle Vorgänge auf der Wand in vergrößerter Darstellung beobachten. Wir wollen vorerst zwei bekannte Versuche erwähnen, welche sich mit Hilfe dieser Darstellungsweise in besonders schöner Art zeigen lassen.

Wir füllen unser Gefäß, das kreisrund ist und einen Durchmesser von 12 *cm* hat, etwa 1 *cm* hoch mit Wasser. Auf die Wasseroberfläche werfen wir einige kleine Stückchen Kampfer, die leichter als Wasser sind und infolgedessen nicht untersinken, sondern auf der Wasserfläche in lebhaftige Bewegung geraten. Wir können beobachten,

wie die einzelnen Kampferstückchen sowohl ihren jeweiligen Ort verlassen, als auch gleichzeitig eine drehende Bewegung vollführen. Man pflegt diese Beweglichkeit des Kampfers durch Kapillarkräfte zu erklären, die zwischen Kampfer und Wasser bestehen und die je nach der Benetzung des Kampfers verschieden groß sind, so daß sie sich gegenseitig nicht im Gleichgewichte halten können, sondern eine Bewegung des Kampfers erzeugen.

Einen zweiten hübschen Versuch, einen sogenannten Verseifungsprozeß, können wir folgendermaßen darstellen. Wir füllen unser Gefäß etwa wieder bis zur Höhe von 1 cm mit einer 5 prozentigen Sodalösung, die eine Temperatur von etwa 40° C. besitzt. In diese Lösung lassen wir einige Tropfen Lebertran fallen. Der Lebertran verbindet sich nun mit der Soda zu einer Seife und vollführt dabei äußerst interessante Bewegungen, die in Vergrößerungen und Verkleinerungen der Tropfen bestehen, welche dann jedoch zerfallen und die mannigfaltigsten Figuren auf der Flüssigkeitsoberfläche bilden. Besonders durch die vergrößerte Darstellung auf dem Schirme lassen sich diese Figuren in allen ihren Details genau erkennen, wie es bei der direkten Beobachtung mit unbewaffnetem Auge gar nicht möglich wäre.

Wir wollen uns jetzt zu dem eigentlichen Gegenstand unserer Betrachtung wenden. Anlässlich eines Versuches, färbige Photographien mit Hilfe des Gummi-druckes herzustellen, benützte ich als die drei Farben, aus welchen alle anderen zusammengesetzt werden sollten, Berlinerblau, Krapplack und Gummigutt. Es ergab der

Zufall, daß sich das Wasser, welches ich zum Waschen des Pinsels benützte, in einem zylindrischen Gefäße befand, und da beobachtete ich nun einmal, daß auf der Oberfläche des Wassers sich eine vollkommen regelmäßige Spirale aus Gummigutt gebildet hatte. Diese Beobachtung bewog mich, der Erscheinung nachzugehen und zu versuchen, ob sich dieselbe in willkürlicher Weise erzeugen lasse.

Füllen wir ein Gefäß mit reinem Wasser und tauchen wir die Spitze eines Pinsels, der Gummigutt enthält, für ganz kurze Zeit in das Wasser ein, so gewahrt man, daß das Gummigutt sehr rasch sich auf der Oberfläche des Wassers verbreitet. Bleibt die Pinselspitze nur einen Augenblick im Wasser, so kann es bei absolut ruhiger Flüssigkeit gelingen, daß sich ein vollkommen kreisrunder Gummiguttfleck bildet, der dadurch ausgezeichnet ist, daß sein Rand sehr scharf begrenzt ist. Ein derartig kreisrunder Fleck entsteht aber in der Regel nur in Ausnahmefällen, da es nur sehr selten gelingt, die Flüssigkeit vollkommen ruhig zu erhalten. Gewöhnlich sind Flüssigkeitsströmungen vorhanden, die sich natürlich bis an die freie Oberfläche fortsetzen, so daß auch diese nie in Ruhe ist. Erzeugen wir demnach in der beschriebenen Weise einen Gummiguttfleck, so verliert derselbe sofort seine kreisförmige Gestalt, bildet zuerst eine Ellipse, später dann eine wurstförmige, längliche Figur, die mitunter auch ziemlich unregelmäßig sich gestalten kann, besonders wenn vorher das Wasser in der willkürlichsten Weise durch Umrühren mit einem Stabe in Bewegung ge-

setzt wurde. Trotzdem herrscht in dieser scheinbar willkürlichen Bewegung, wie man bei längerer Beobachtung merkt, stets eine strenge Gesetzmäßigkeit. Infolge der inneren Reibung des Wassers kommt dasselbe nämlich allmählich zur Ruhe und bei dieser Beruhigung nähert sich seine Bewegung immer einem und demselben Endzustande, welcher in einer Drehung der Flüssigkeit um die Achse des zylindrischen Gefäßes besteht. Diese Drehung vollzieht sich am raschesten in der Mitte des Gefäßes und nimmt gegen die Wände zu ab, an welchen vollkommene Ruhe herrscht. Befinden sich an der Oberfläche der Flüssigkeit Gummiguttaschen, so machen sie die Bewegung der Flüssigkeit mit und lassen an ihren Formen erkennen, welchem Ziele die Bewegung zustrebt, und man kann so bemerken, daß das Endziel tatsächlich immer dasselbe ist, indem die Gummiguttaschen schließlich eine sehr regelmäßige Spiralform annehmen, deren Enden in der Mitte und am Rande der Oberfläche zu finden sind.

Zwecks genaueren Studiums schien es mir nicht uninteressant, die dabei entstehenden Figuren zu photographieren. Der Vorgang war dabei folgender: „Das Wasser wurde in ein kreisrundes Gefäß mit durchsichtigem Glasboden eingefüllt und auf den eingangs beschriebenen Projektionsapparat aufgesetzt. Mit einer Bogenlampe wurde das Glasgefäß von unten nach oben durchleuchtet und darüber eine photographische Kamera mit Momentverschluß angebracht. Erzeugte man nun irgendeine willkürliche Figur auf der Oberfläche des Wassers, so konnte man die Kamera danach einstellen und die Er-

scheinungen auf der Wasseroberfläche photographieren. Da das Gummigutt die Lichtstrahlen teilweise zurückhält, so erscheinen die Figuren auf den photographischen Po-

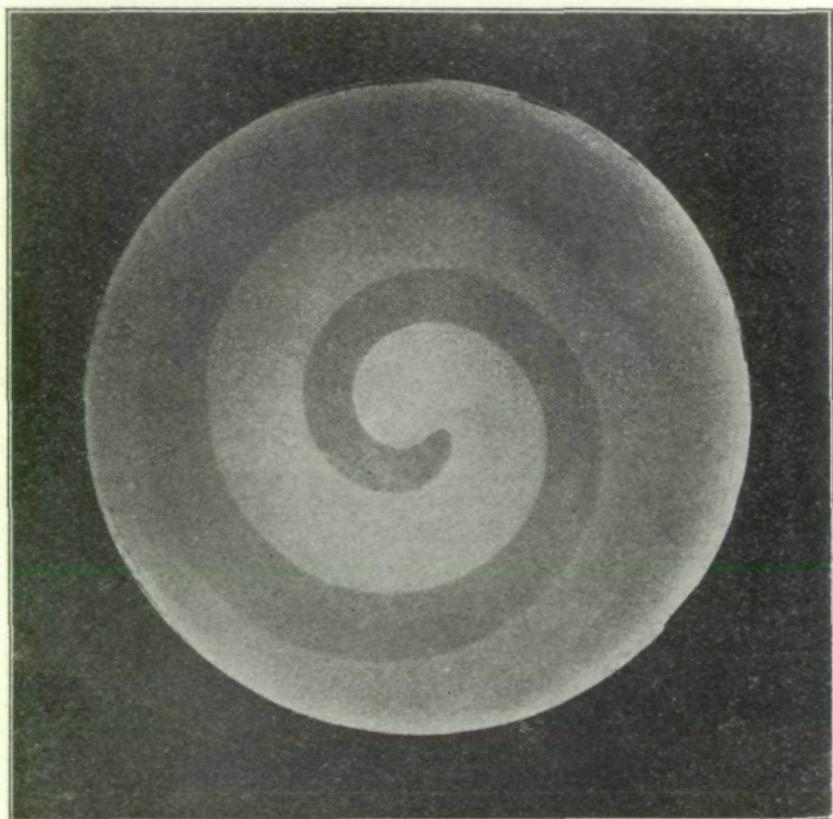


Fig. 2.

sitivbildern dunkel auf hellem Grunde. Die Fig. 2 stellt die Photographie einer Spirale dar, welche auf die Art erzeugt wurde, daß das Gefäß entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers um seine Achse gedreht, dann sich selbst

überlassen wurde. Im ersten Viertel des Radius des Gefäßes, vom Rande ab gerechnet, wurde ein kleiner Gummiguttkreis erzeugt. Dieser nimmt alsbald eine unregel-

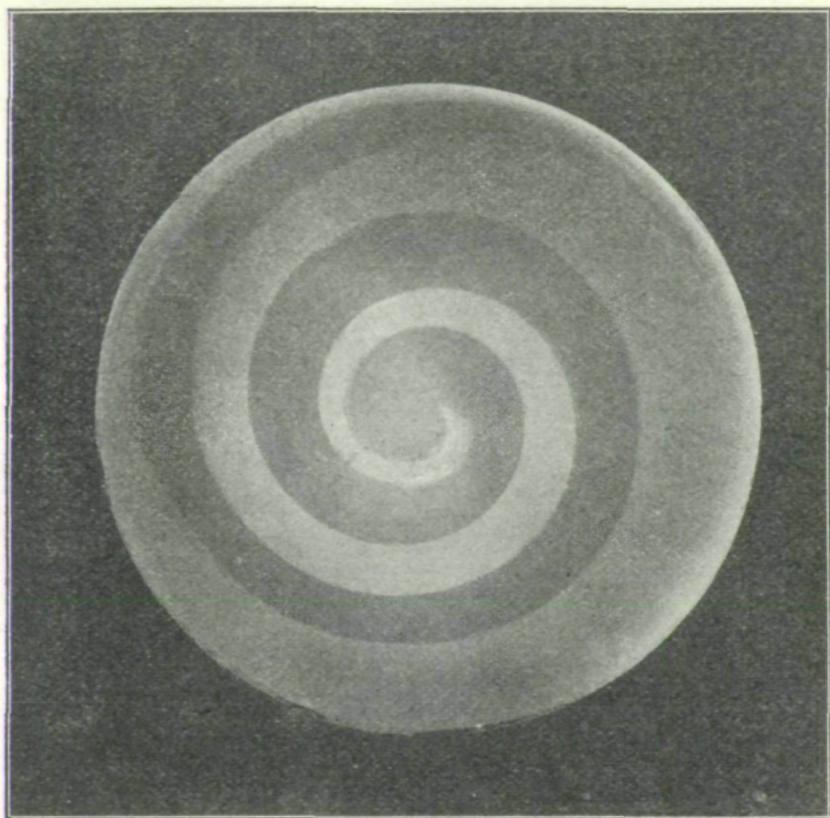


Fig. 3.

mäßige Form an, die mit ihrer Längsrichtung in die Bewegungsrichtung der Flüssigkeit hineinfällt, wobei die vorangehende Spitze sich rascher bewegt als das Ende, während sie sich gleichzeitig der Mitte des Gefäßes nähert,

so daß alsbald die Spirale auftritt, die unter günstigen Umständen bis zu vier und noch mehr Windungen erreichen kann.

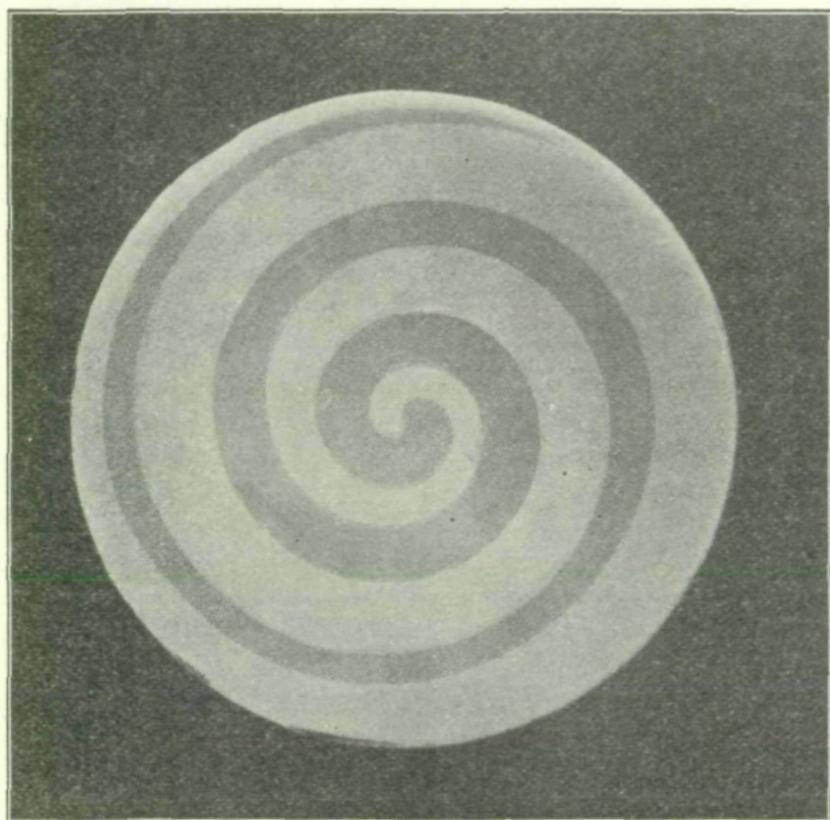


Fig. 4.

Während in dieser Figur die Spirale an ihrem inneren Ende spitz zuläuft, kann es auch, wie Fig. 3 zeigt, vorkommen, daß das innere Ende einen runden Kopf besitzt. Diese Form entsteht immer, wenn der

ursprüngliche Gummiguttkreis groß ausgefallen ist, während für die erste Form ein kleiner Anfangskreis notwendig ist.

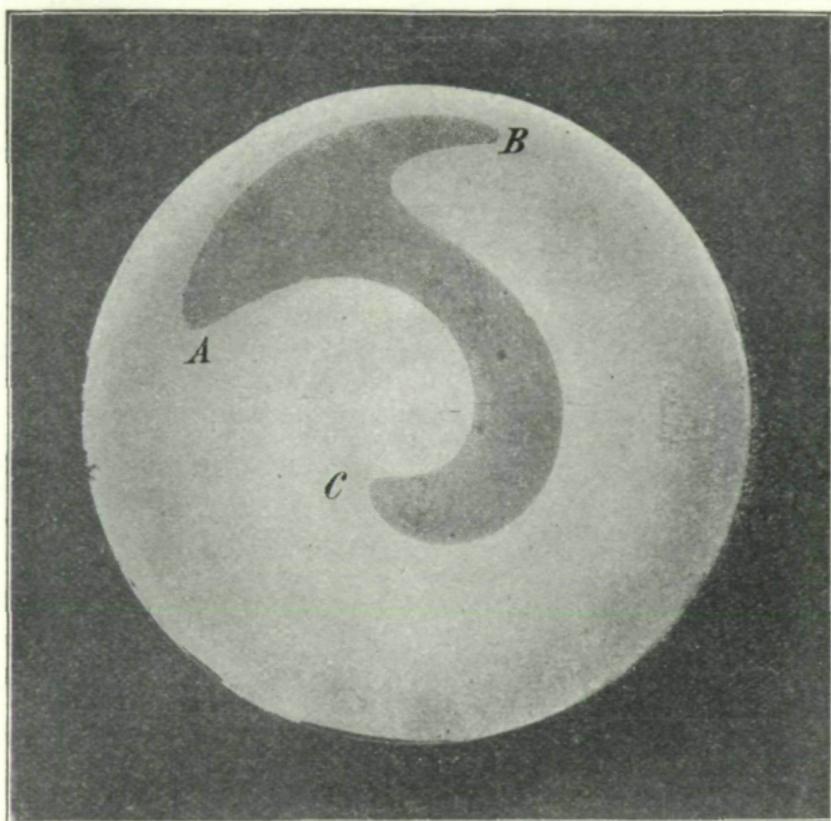


Fig. 5.

Ist der ursprüngliche Kreis von einer entsprechend mittleren Größe, so entsteht ein Bild, wie es Fig. 4 zeigt. Es trägt dann das innere Ende der Gummiguttspirale weder einen Kopf noch eine Spitze, sondern ist einfach

abgerundet, während die freie Wasseroberfläche eine ganz analoge Spirale bildet.

Bei all diesen Spiralen entsteht anfänglich eine Form des Gummiguttflottes, wie sie Fig. 5 zeigt, in der sich der Kreis sowohl gegen die Mitte als auch gegen den Rand des Gefäßes ausgedehnt hat. Die Spitze *A* wandert voraus, *B* und *C* werden nachgezogen. Bei der weiteren Entwicklung zieht sich der Sack *C* immer mehr ein, bis er schließlich ganz in der Spirale verschwindet, während *A* dann das innere und *B* das äußere Ende darstellt. Bei Erzeugung dieser Figur wurde, wie man unmittelbar ersieht, dem Gefäße ursprünglich eine Drehung nach links erteilt.

Geben wir gleichzeitig mehrere Gummiguttkreise auf die Wasseroberfläche, so nehmen alle diese Kreise, ohne sich gegenseitig zu vermischen, im Laufe der Zeit die angedeuteten Formen an und bilden so mehrere ineinanderliegende Spiralen. In Fig. 6 sehen wir deren drei, welche gleichzeitig die verschiedenen Entwicklungsstadien darstellen. Der Fleck I zeigt bereits die Spiralform. Es ist *A*₁ die vorauswandernde Spitze, welche der Mitte des Gefäßes zustrebt, *B*₁ ist das äußere Ende. Der Fleck II zeigt bei *C*₂ noch deutlich den anhaftenden Sack, während *A*₂ und *B*₂ wieder inneres und äußeres Ende der künftigen Spirale darstellen. Der Fleck III schließlich besitzt noch einen voll ausgebildeten Sack *C*₃ und auch hier sind durch *A*₃ und *B*₃ die Stellen bezeichnet, welche dem künftigen inneren, bezüglich äußeren Ende der Spirale entsprechen.

Es seien noch einige Bilder angeführt, bei welchen die Bewegung des Wassers nicht in der gewöhnlichen Weise durch Drehen des Gefäßes, sondern in ganz will-

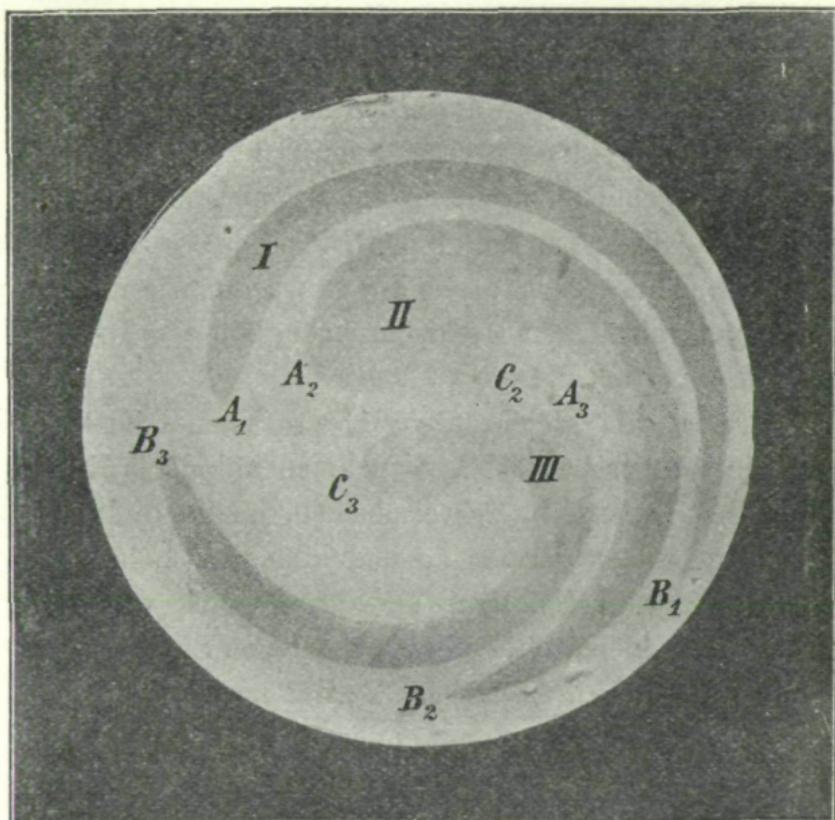


Fig. 6.

kürlicher Art durch Umrühren der Flüssigkeit mit einem Glasstabe erzeugt wurde. Das Endresultat war jedoch immer die Erzielung spiraler Formen. So sehen wir z. B. in Fig. 7 vier Gummigtüpflecke, die trotz ihrer Unregel-

mäßigkeiten schon ganz deutlich die Spiralform erkennen lassen, der sie zustreben. Gleichzeitig ist in diesem Bilde sehr deutlich ersichtlich, wie die einzelnen Gummigutt-

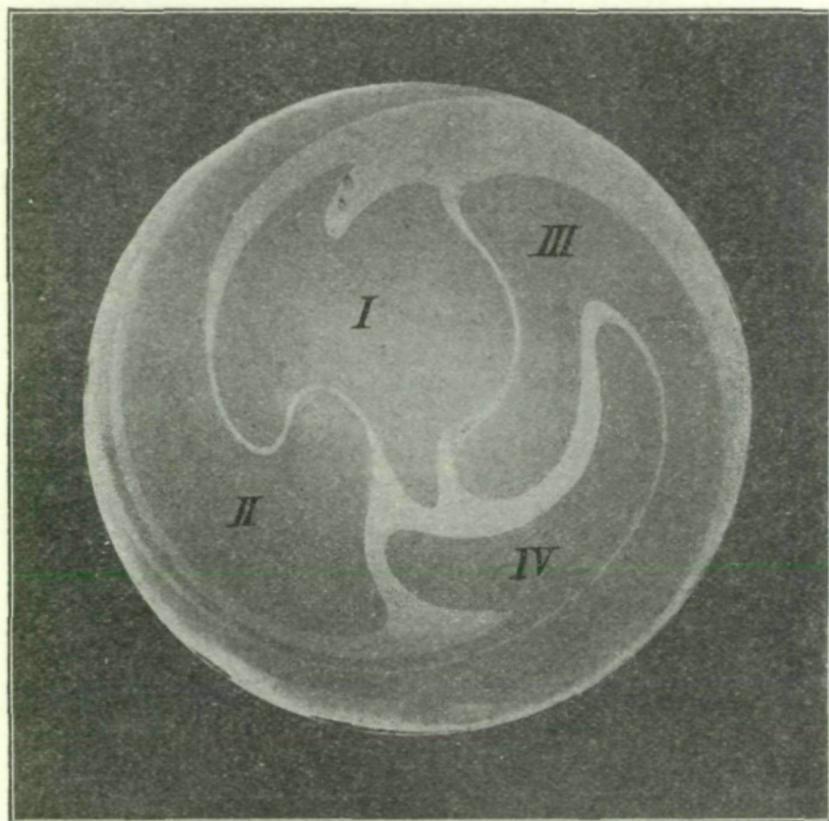


Fig. 7.

flecke einander ausweichen, indem sie zwischen sich schmale Wasseradern freilassen.

Auch in den Figuren 8 und 9 beobachten wir denselben Vorgang; dabei ist zu bemerken, daß bei Fig. 9

die Bewegung dadurch erzeugt wurde, daß ein Glasstab längs eines Durchmessers des Gefäßes mehrmals in derselben Richtung durch die Flüssigkeit geführt wurde. Es entstanden so ursprünglich zwei Wirbel, die sich aber,

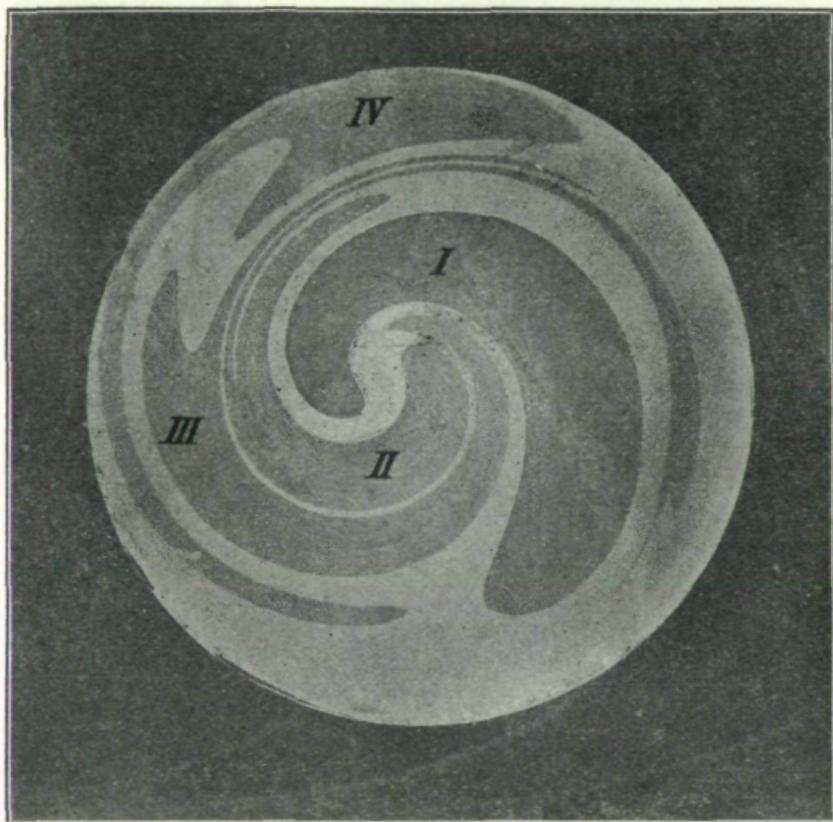


Fig. 8.

wie die Figur erkennen läßt, schließlich doch wieder der spiralförmigen Endbewegung nähern, indem infolge der nicht völligen Symmetrie der beiden Wirbel der stärkere das Übergewicht erlangt.

Es wirft sich nun die Frage auf, wie wir uns die Erscheinung der Gummiguttspirale zu erklären haben. Es spielen dabei im wesentlichen drei Momente eine



Fig. 9.

Rolle. Erstens haben wir die Beobachtung gemacht, daß die einzelnen Gummiguttflecken nie ineinander fließen. Es ist dies eine Eigenschaft, welche hauptsächlich dem Gummigutt zukommt und welche wir an anderen Farb-

stoffen nicht in der Art beobachten können. Es läßt sich z. B. leicht zeigen, daß auch Tusche in derselben Art wie Gummigutt, auf die Oberfläche reinen Wassers gebracht, sich sehr rasch über die Oberfläche ausbreitet, daß aber die Begrenzungen der Tuscheflecken nicht scharf bleiben, sondern daß sie verwaschene Formen annehmen, was auch ein Ineinanderfließen mehrerer Tuscheflecken zur Folge hat. Es wäre demnach zuerst die Frage zu beantworten, warum gerade die Gummiguttflecken nie ineinanderfließen. Obwohl sie einander vollkommen verdrängen und umschlingen können, so zeigt sich, daß doch immer, wenn auch manchmal nur ein haarschmaler Zwischenraum von freier Flüssigkeit vorhanden ist.

Wir erkennen die Ursachen davon vielleicht durch folgenden Versuch. Bestreuen wir die Oberfläche vollkommen reinen Wassers mit Bärlappsamen, so ordnet sich derselbe leicht in gleichmäßiger Verteilung auf der Wasseroberfläche an. Fetten wir nun einen Glasstab, welcher vollkommen rein ist, an seinem Ende dadurch etwas an, daß wir ihn lediglich mit der Haut der Hand oder des Gesichtes in Berührung bringen, und tauchen wir jetzt diesen Glasstab in die Flüssigkeit ein, so stieben die einzelnen Teilchen des Bärlappsamens in weitem Kreise um den Glasstab auseinander. Die nähere Untersuchung zeigt, daß die Ursache davon lediglich die überaus dünne Fettschicht ist, welche sich vom Glasstabe rasch über das Wasser hin verbreitet und den Bärlappsamen vor sich herschiebt. Rühren wir nun mit dem Glasstabe die Flüssigkeit um, so verteilt sich der Bär-

lappsamen wieder regelmäßig über die Oberfläche und wir können den Versuch von neuem, jedoch schon mit geringerem Erfolge machen, indem sich weitere Fettschichten auf dem bereits mit Fett versetzten Wasser offenbar nicht mehr mit jener Geschwindigkeit wie die ersten Schichten ausbreiten. Bei mehrmaliger Wiederholung dieses Vorganges hört die Wirkung überhaupt gänzlich auf, d. h. wir sind nicht mehr imstande, durch neue Zufuhr von Fett den Bärlappsamen vom Glasstabe wegzuführen. Eine ähnliche Ursache dürfte nun jene sein, welche bewirkt, daß die einzelnen Gummiguttflecken nicht ineinanderfließen. Haben wir nicht völlig reines Wasser vor uns und tauchen jetzt einen Pinsel mit Gummigutt ein, so breitet es sich nur sehr schwer auf der Oberfläche des Wassers aus. Dasselbe geschieht, wenn wir einen dünnen Gummigutt fleck auf der Oberfläche erzeugt haben und einen zweiten Fleck herstellen wollen. Auch in diesem Falle breitet sich das Gummigutt nur langsam über die Oberfläche aus. Das Gummigutt ist ein kompliziertes Harz und es scheint, daß beim Eintauchen desselben in Wasser ein leichter öliger Bestandteil sofort die Wasserfläche erfüllt, während ein schwerer den eigentlichen sichtbaren Gummigutt fleck erzeugt. Vor diesem leichteren öligen Bestandteile weicht nun ein zweiter Gummigutt fleck ebenso zurück wie etwa der Bärlappsamen vor dem Öle, so daß, wenn wir mehrere Gummigutt flecken auf einer Wasseroberfläche haben, sich dieselben, auch wenn sie einander noch so nahe kommen, doch nie vereinigen.

Jeder Gummigutfleck auf einer Wasseroberfläche macht im allgemeinen die Bewegung des Wassers mit. Da nun bei einem sich drehenden Wasserzylinder die inneren Teile sich rascher bewegen als die äußeren, so muß sich ein kreisrunder Gummigutfleck, den wir excentrisch auf die Flüssigkeitsoberfläche bringen, sofort ausdehnen, indem sich jene Teile, welche gegen die Mitte des Gefäßes zu liegen kommen, rascher bewegen als die äußeren. Es ist daraus jedoch noch nicht ersichtlich, wieso der Fleck eine spiralige Form annehmen muß, sondern man sollte meinen, daß die Folge dieses Mitbewegens mit dem Wasser ein ringförmiges Gebilde sein werde. Es scheint nun, daß die Gummigutteilchen auch noch eine Bewegung relativ zum Wasser machen, welche dorthin gerichtet ist, wo das Wasser die geringsten Reibungskräfte erfährt, das ist gegen die Mitte des Gefäßes. Solche Bewegungen fein verteilter Körperchen in einer Flüssigkeit finden tatsächlich statt, und zwar immer von Stellen stärkerer Reibung zu jenen geringerer Reibung der Flüssigkeit. Auf diese Art werden die der Spirale voraneilenden Gummigutteilchen demnach nicht nur die Bewegung des Wassers mitmachen, sondern auch gleichzeitig das Bestreben haben, gegen die Mitte des Gefäßes zu wandern, und damit ist direkt die Bildung einer Spirale gegeben. Wir können auch zeigen, daß kleine leichte Körperchen in einer rotierenden Flüssigkeit, wie sie sich in unserem zylindrischen Gefäße befindet, das Bestreben haben, gegen die Mitte des Gefäßes zu wandern. Bringen wir nämlich kleine Pa-

pierschnitzel in das Wasser und rühren wir dasselbe mit einem Glasstabe um, so fliegen die Papierschnitzel wirr durcheinander. Überlassen wir jedoch jetzt die Flüssigkeit sich selbst, so sieht man, wie sich die Papierschnitzel gegen die Mitte des Gefäßes sammeln.

Wir wollen nun noch einige Versuche beschreiben, welche im Prinzipie zwar nicht neu sind, sich jedoch in der von uns gewählten Anordnung besonders schön vorführen lassen. Wir bringen vor das Skioptikon ein Gefäß aus senkrechten parallelen Spiegelplatten — es eignet sich am bequemsten dazu der Wasserkühler des Skioptikons selbst — und stellen die Projektionslinse des Skioptikons so auf, daß wir die im Gefäße vorsichgehenden Erscheinungen auf einen Schirm projizieren können. Wir füllen das Gefäß mit Wasser und tauchen mit Hilfe eines Holzstäbchens ein kleines Gummiguttstückchen unter die Oberfläche des Wassers. Es löst sich von diesem Stäbchen das Gummigutt allmählich ab und fällt auf den Boden des Gefäßes, beschreibt aber während des Fallens die bekannten schönen Figuren, welche man gewöhnlich mit Hilfe des hypermangansauren Kalis in einem hohen Glaszylinder zeigt. Wir sehen auf das beste das Entstehen von pilzförmigen Gebilden, welche durcheinander schießen und auf dem Schirme die Erscheinung des Wachstums eines grotesken Baumes hervorbringen.

Besonders hübsch sind auch die Figuren, welche entstehen, wenn wir Tropfen von färbigen Tinten in das Wasser fallen lassen. Man macht das auf die Art, daß

man einen Glasstab erst in die Tinte und dann in das Wasser taucht. Man kann auf diese Weise auf der Wand wunderschöne färbige Gebilde erscheinen lassen. Gießen wir in reines Wasser Lackmustinktur, so erscheint dieselbe auf der Wand als dunkelviolette Wolke, welche zyklonartige Bewegungen macht, wenn wir mit dem Glasstabe die Flüssigkeit umrühren. Hat sich die Lackmustinktur im Wasser vollständig verteilt, so erhalten wir auf der Wand eine helle blauviolette Fläche. Lassen wir jetzt in die verdünnte Lackmustinktur in der angegebenen Weise Schwefelsäure tropfen, so entstehen auf der Wand orangerote Figuren, indem die Säure die Lackmustinktur wieder rot färbt, und wir erhalten durch Verrühren die prächtigsten Farbenspiele. Wir können nun soviel Säure zusetzen, bis das ganze beleuchtete Feld gleichmäßig rot wird. Lassen wir nun, wie früher die Säure, jetzt eine Lösung von Natronlauge in die Flüssigkeit tropfen, so entstehen blaue Gebilde, da Natronlauge als Basis die rotgefärbte Lackmustinktur wieder blau färbt. So können wir auf die mannigfaltigste Weise einen bunten Wirbel von Farben auf unserem Schirm erzeugen, den wir mit prächtig schwarzen Formen noch mehr beleben können, falls wir in das Ganze noch einige Tropfen Tusche hineinfallen lassen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [45](#)

Autor(en)/Author(s): Jäger Gustav

Artikel/Article: [Neue hydrodynamische Experimente. 411-432](#)