4. *Das Zusammenfliessen zweier Flüssigkeitsmassen; von E. Kaiser.*

(Auszug des Hrn. Verf. aus seiner Inaugural-Dissertation, Bonn 1894.)

Die bekannten Versuche von Lord Rayleigh¹⁾ und Boys²⁾ mit zwei gegeneinander treffenden Wasserstrahlen und zwei aneinander gelegten Seifenblasen haben uns gezeigt, welche eigenthümlichen Erscheinungen bei der Vereinigung der Seifenblasen und dem Zusammenfliessen der Wasserstrahlen eintreten. In vielen Fällen findet das Zusammenfliessen der Wasserstrahlen wie der Seifenblasen nicht statt. Dem Wasser beigemengte Verunreinigungen befördern eine Vereinigung der Strahlen. Wird durch Annäherung electrisirter Körper eine Potentialdifferenz zwischen den beiden Wasserstrahlen oder Seifenblasen hervorgerufen, so findet unter der Einwirkung derselben ein Zusammenfliessen statt. Für diese Einwirkung einer electrischen Potentialdifferenz können uns zwei verschiedene Annahmen eine Erklärung bieten.

1. Es können zunächst die einander gegenüberliegenden Oberflächen, bei Wasserstrahlen wie bei Seifenblasen, deren Potentialdifferenz nicht Null ist, wie die Belegungen zweier Condensatorplatten wirken, und kann infolgedessen eine Anziehung dieser Flächen erfolgen. Infolge dieser Anziehung wird auf die zwischen beiden eingeschlossene Luft ein Druck ausgeübt, wodurch diese ebenso wie durch mechanische Drucke gezwungen wird, abzufließen. Dadurch tritt eine Annäherung der Wasserstrahlen wie der Seifenblasen ein, bis in beiden Fällen der Abstand auf den Radius der Molecularwirkungssphäre gesunken ist, und ein Zusammenfliessen stattfindet.

2. Andererseits könnte aber die Vereinigung bei einem bestimmten Abstände auch nur durch eine bestimmte Potentialdifferenz herbeigeführt werden, indem der Contact durch

1) Proc. Roy. Soc. **28**. p. 406. 1879; **29**. p. 71. 1879; **34**. p. 130. 1882.

2) Phil. Mag. (5) **25**. p. 409. 1888; Boys, Soap-Bubbles, London 1890. Deutsch von Meyer, Leipzig 1893.

einen Funken bewirkt wird, der die Luft bez. Gashaut zwischen den Seifenblasen oder Wasserstrahlen durchbricht.¹⁾

Bei zwei Seifenblasen lässt sich die Erscheinung in ziemlich einfacher Weise verfolgen und dabei ein Entscheid zu Gunsten der einen von beiden Annahmen fällen, was im Folgenden dargelegt werden soll.

Benutzte Seifenlösung.

Es wurde zu den Versuchen eine Seifenlösung nach einem, dem Princip nach von Terquem²⁾ angegebenen Recepte hergestellt. Seiner grossen Vorzüge wegen möge das Recept hier wiedergegeben werden. Es werden 20 g fein geschabter und vollkommen getrockneter Marseiller Seife in 1 l warmen Wasser gelöst. Diese Lösung lässt man 24 Stunden bei niedriger Temperatur (ca. 10°) stehen. Darauf filtrirt man dieselbe solange durch dasselbe Filter, bis sie vollkommen klar durchläuft. Zu je 100 g Seifenlösung werden 30 g Zucker hinzugefügt. Dabei ist es von grosser Wichtigkeit, dass einerseits als Lösungswasser kein Wasserleitungswasser, sondern nur destillirtes Wasser (speciell kein kalkhaltiges Wasser) benutzt wird, und andererseits die Aufbewahrungsflaschen und die als Behälter für die Gebrauchsflüssigkeit dienenden Gefässe vollständig trocken in Gebrauch genommen werden, da sonst eine Trübung der Flüssigkeit eintritt, die von grossem Nachtheile sein kann. Diese Seifenzuckerlösung verdient vor der von Plateau angegebenen Glycerinseifenlösung unbedingt den Vorzug, da sie sehr viel leichter herzustellen ist als letztere. Es ist diese Lösung ausserordentlich brauchbar zur Darstellung Plateau'scher Lamellensysteme, wie zur Demonstration Newton'scher Farben.

Vereinigung zweier Seifenblasen infolge mechanischer Drucke.

Die Annahme 2 wird schon durch die Beobachtung ziemlich hinfällig, dass man zwei Seifenblasen dadurch zur Vereinigung bringen kann, dass man auf die zwischen beiden eingeschlossene Luft einen Druck ausübt und sie so zwingt,

1) Aehnliche Erklärungen gibt Rayleigh, Proc. Roy. Soc. **34**. p. 145. 1882.

2) Journal de physique, 7. p. 340. 1878; Beibl. **3**. p. 150. 1879.

abzufließen. Legt man zwei Seifenblasen aneinander, so findet eine Vereinigung derselben in fast allen Fällen nach einiger Zeit statt. Diese Zeit wie der dabei ausgeübte Druck werden nach folgender Methode gemessen. An die Stelle zweier Seifenblasen treten eine Seifenblase und eine Seifenlamelle. Diese Lamelle wird an einem kreisförmigen Ringe rr (vgl. Fig. 1, welche unter anderem einen Durchschnitt durch einen Theil der Aufhängevorrichtung zeigt) aufgehängt. Dieser Ring wird an einen Bügel $rbbr$ und dieser an das untere Ende einer sehr empfindlichen Federwaage angelöthet. Gegen diese Lamelle wird eine Blase ange-
 gedrückt, welche an eine Metall-
 öffnung von wechselndem
 Durchmesser angeblasen ist
 und sich an dem einen Arm
 eines Hebels befindet, dessen
 anderer Arm nach einer be-
 stimmten Senkung durch eine
 Stütze an der Weiterbewegung
 verhindert wird. Durch das
 Andrücken der Blase an die
 Lamelle wird letztere um ein
 bestimmtes Stück gehoben
 und dadurch ein Druck auf
 die Luft zwischen Blase und
 Lamelle hervorgerufen. Der
 Druck entspricht genau der
 Verkürzung der Feder und
 kann durch dieselbe ermittelt,
 indem durch Auflegen von

Fig. 1.

Gewichten auf den Ring rr auf empirischen Wege die bestimmten Gewichten entsprechenden Verkürzungen ermittelt werden. Zur Messung der Verkürzung ist hinter der Feder (vom Beobachter abgewandt) eine Scala und vor derselben, parallel zur Scala, eine Glasplatte angebracht, wodurch es ermöglicht ist, den an der Feder befindlichen Zeiger (z der Fig. 1) auf das Spiegelbild des Auges einzustellen, sodass die jedesmalige Ruhelage der Feder genau bestimmt werden kann. Die zwischen der ersten Berührung und dem Zusammenfliessen

verstreichende Zeit wird mittels einer sogenannten Tertienuhr gemessen. Da, wie schon bemerkt, jede electriche Potentialdifferenz einen grossen Einfluss auf das Zusammenfliessen ausübt, so sind Blase und Lamelle mit einander in leitender Verbindung. Die Vereinigung von Blase und Lamelle kann auf verschiedene Weise stattfinden. Fig. 1 zeigt beide vor der Vereinigung. Die Berührungsfläche ist eben aufgefasst, welche Annäherung, wie sich später zeigen wird, vollständig gestattet ist. Die gestrichelte Linie deutet die Blase vor dem Andrücken, also vor der Deformation an. Fliessen Blase und Lamelle ruhig zusammen, so erhalten wir die Form Fig. 2, platzt eine von beiden beim Zusammenfliessen, so Fig. 3. Es kann nun auch ein Zerreißen von einer oder von beiden stattfinden, welche Beobachtungen nicht mit aufzunehmen sind.

Fig. 2.

Fig. 3.

Auf diese Weise erhaltene Beobachtungsreihen zeigten, dass die bei verschieden starken Drucken erhaltenen Zeiten ungefähr die gleichen waren, trotzdem von einer genauen Constanz bei gleichem Drucke nicht die Rede war. Es war eine Divergenz bei verschiedenen Drucke kaum zu bemerken. Dies rührt nun vielleicht von der schon von Decharme¹⁾ beobachteten Thatsache her, dass die Lamellen dieser Seifen-zuckerlösung immer eine Reihe von Knoten und Bläschen zeigen, sodass man keine reine und gleichmässige Flüssigkeitsoberfläche erhält. Wenngleich die von mir benutzte Lösung mit möglichster Sorgfalt hergestellt war, so konnten diese Bläschen doch mikroskopischer Natur sein und auf diese Weise Unregelmässigkeiten in der Erscheinung hervorrufen. Aus den

1) Decharme, Ann. de chim. et de phys. (5) 22. p. 344. 1881.

Versuchen ergab sich aber auf jeden Fall, dass *eine Vereinigung durch rein mechanische Drucke auch hervorgerufen werden könne*, was im Gegensatz zu der Behauptung von Boys steht, dass eine Druckverstärkung zum Zwecke der Vereinigung von Blase und Lamelle nur ein Platzen derselben bewirke.¹⁾

**Einwirkung electrischer Potentialdifferenzen bei
zwei Seifenblasen.**

Die weitere Beobachtung von Boys, dass bei Einwirkung einer solchen electrischen Potentialdifferenz eine augenblickliche Vereinigung stattfindet²⁾, muss dahin modificirt werden, dass nicht schon die allergeringste Potentialdifferenz eine momentane Vereinigung herbeiführe. Es wird vielmehr die zur Vereinigung nöthige Zeit nur abgekürzt und zwar um so mehr, je grösser die Potentialdifferenz ist. Schon diejenige eines Daniellelements kürzt dieselbe merklich ab. Um diese Zeit zu bestimmen, wurde die vorhin angegebene Versuchsanordnung mit der Maassgabe benutzt, dass in den Blase und Lamelle verbindenden Draht 0, 1, 2, 3 Daniellelemente eingeschaltet wurden. Der Hebel wurde so bewegt, dass der von der Blase auf die Lamelle ausgeübte Druck im Mittel 0,016 g (entsprechend 2,5 mm Verkürzung) betrug. Auf diese Weise wurde Tabelle 1 erhalten.

Eine electrische Potentialdifferenz führt, wie sich aus der Tabelle ergibt, wenigstens bei geringeren Drucken *keine momentane Vereinigung herbei*. Der Durchmesser der Fläche, mit der Blase und Lamelle an einander lagen, war jedesmal, da der Druck annähernd derselbe blieb, ungefähr constant. Durch die Erregung electrischer Potentialdifferenzen wird ein stärkerer Druck auf die Luftschicht zwischen beiden ausgeübt, ohne dass die Berührungsfläche vergrössert wurde. Ist diese kleiner (bei kleineren Blasen), so ist die auszu-treibende Luftmenge geringer, also auch die Zeit kürzer, wie Tabelle 1 zeigt.

1) Boys, Phil. Mag. (5) 25. p. 410. 1888.

2) Boys, Phil. Mag. (5) 25. p. 417. 1888.

Tabelle 1.

Durchmesser der Blase	3,5—4 cm				1,5—2 cm	
Durchmesser des Ringes <i>rr</i> (Fig. 1)	5,5 cm				4,5 cm	
Zahl der eingeschalte- ten Elemente	0	1	2	3	0	1
Zeit von der ersten Berührung bis zur Vereinigung in Secunden	4 $2\frac{3}{5}$ $2\frac{4}{5}$ 2 $1\frac{2}{5}$ $4\frac{1}{5}$ $3\frac{2}{5}$ $2\frac{2}{5}$ $4\frac{3}{5}$ $3\frac{1}{5}$ $3\frac{2}{5}$ $2\frac{4}{5}$	$1\frac{2}{5}$ $1\frac{3}{5}$ $2\frac{4}{5}$ $2\frac{3}{5}$ $1\frac{3}{5}$ $1\frac{4}{5}$ $2\frac{3}{5}$ $1\frac{2}{5}$ $4\frac{4}{5}$ $1\frac{1}{5}$ $9\frac{1}{5}$ 1 $1\frac{1}{5}$ $3\frac{1}{5}$ 1 $1\frac{3}{5}$	$\frac{4}{5}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{2}{5}$ $\frac{2}{5}$ Die Ver- einigung findet fast sofort statt	Eine Messung ist nicht mehr möglich. Die Ver- einigung findet sofort unter so starker Er- schütterung statt, dass Blase und Lamelle zerplatzen.	$\frac{3}{5}$ $\frac{4}{5}$ 1 $1\frac{2}{5}$ $2\frac{3}{5}$ $3\frac{1}{5}$ 1 $\frac{3}{5}$ $1\frac{1}{5}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{4}{5}$	Es tritt eine so- fortige Ver- einigung ein.
Mittelwerth	$3\frac{1}{5}$	$1\frac{2}{5}$	$\frac{2}{5}$?	?	1	

Bemerkung: Die weiten Grenzen, innerhalb deren die Werthe schwanken, finden theilweise ihre Erklärung durch die Schwankungen der Lamelle, von denen diese fast nie ganz frei war.

Bestimmung der Grösse der Berührungsfläche.

In dem zwischen Blase und Lamelle (Versuchsanordnung: Lamelle an Feder, Blase von unten angedrückt) eingeschlossenen Luftraume kommt eine Interferenz des Lichtes zu stande, welche am besten bei Benutzung einfarbigen Lichtes sichtbar wird. Dass diese Interferenzfigur vollständig mit der Berührungsfläche übereinstimmt, ersieht man daraus, dass die Figur nach aussen hin scharf abgegrenzt ist. Es deutet diese scharfe Grenze auf einen plötzlichen Sprung in der Dicke der Luftschicht hin. Den Durchmesser der Interferenzfigur und damit der Berührungsfläche misst man mittelst einer an der Glasplatte befestigten Scala.

Theoretisch bestimmt sich der Durchmesser der Berührungsfläche folgendermassen: Blase und Lamelle erleiden bei dem Andrücken eine Deformation und können die der Be-

rührungsfläche angehörigen Theile beider annäherungsweise als einander parallel und eben angesehen werden.¹⁾ In jeder Seifenblase herrscht nun ein Ueberdruck über die äussere Atmosphäre von der Grösse²⁾

$$P = 4\alpha \frac{1}{R},$$

wo α die zweite Capillaritätsconstante der Seifenlösung und R den Radius der Seifenblase (innerer und äusserer einander gleich) bezeichnet. Nach dem Andrücken der Seifenblase an die Lamelle wirkt dieser Druck auf den eben gedachten Theil der Blase, auf die Berührungsfläche vom Radius ρ , welche demselben aber nicht das Gleichgewicht hält, sodass er sich durch die Luftschicht zwischen Blase und Lamelle fortpflanzt und ihm erst das Gleichgewicht gehalten wird durch das Gewicht w der um ein bestimmtes Stück zusammengedrückten Feder. Daraus ergibt sich dann

$$(I) \quad \rho^2 = \frac{w R}{4\pi\alpha}.$$

Die Constante α wurde von mir nach der von Sondhauss³⁾ angegebenen Methode zu $\alpha = 2,75$ mg pro mm bestimmt. In Tab. 2 sind die beobachteten ($2r$) und berechneten Werthe (2ρ) des Durchmessers der Berührungsfläche zusammengestellt.

Es ergibt sich hieraus, dass wenigstens bei den grösseren Blasen die Voraussetzung einer ebenen Berührungsfläche und damit einer gleichmässigen Druckvertheilung über dieselbe nicht sehr weit von der Wirklichkeit entfernt ist. Bei Blasen von kleinerem Durchmesser tritt diese Uebereinstimmung nicht so hervor, woraus man ersieht, dass dort die gemachten Vernachlässigungen von grösserem Einfluss sind. Die zwischen erster Berührung und Vereinigung verfliessende Zeit wurde zur Bestätigung für die p. 670 angegebenen Resultate mit angeführt, jedoch wurden auch eine Reihe von (mit ? versehenen) Beobachtungen mit in die Tabelle aufgenommen, bei denen eine Vereinigung gemäss Fig. 2 und 3 nicht statthatte, sondern Blase und Lamelle zerplatzten, ohne zusammenzufliessen.

1) Vgl. p. 670.

2) Kurz, Rep. d. Phys. 19. p. 339. 1883, nebst den Berichtigungen von König, Verh. d. phys. Ges. Berlin Nr. 19. p. 52. 1883. Beides Wied. Beibl. 7. p. 751. 1883.

3) Sondhauss, Pogg. Ann. Ergbd. 8. p. 266. 1878.

Tabelle 2.

Durchmesser der Seifen- blasen in mm $2R$	Ver- kürzung der Feder in mm	Druck in g w	Zeit in Secunden t	Durchmesser der Berührungsfläche in mm		Differenz zwischen Berechnung und Beob- achtung $2q - 2r$
				beob- achtet $2r$	be- rechnet $2q$	
30	5	0,034	6	6,0	7,7	+ 1,7
33	6	0,041	11	7,0	8,8	+ 1,8
35	6	0,041	$16\frac{3}{5}$	7,0	9,1	+ 2,1
35	7	0,048	6	8,0	9,9	+ 1,9
35	7	0,048	15	8,5	9,9	+ 1,4
35	8	0,054	$5\frac{3}{5}$	9,3	10,5	+ 1,2
35	8	0,054	23	9,0	10,5	+ 1,5
35	9	0,061	25	9,5	11,1	+ 1,6
40	12	0,082	20	11,0	13,8	+ 2,8
50	3	0,020	7	8,0	7,6	- 0,4
50	4	0,027	$4\frac{3}{5}$	9,0	8,8	- 0,2
50	4	0,027	$8\frac{1}{5}$?	10,0	8,8	- 1,2
50	5	0,034	7	9,0	9,9	+ 0,9
50	7	0,048	$8\frac{1}{5}$?	11,0	11,8	+ 0,8
55	5,5	0,037	$10\frac{4}{5}$	11,5	10,9	- 0,6
55	6	0,041	$4\frac{1}{5}$?	12,0	11,4	- 0,6
55	6	0,041	$5\frac{3}{5}$	10,0	11,4	+ 1,4
55	6	0,041	$5\frac{4}{5}$	10,0	11,4	+ 1,4
55	6	0,041	$8\frac{3}{5}$	11,5	11,4	- 0,1
55	6	0,041	$11\frac{2}{5}$	11,3	11,4	+ 0,1
55	7	0,048	10	12,0	12,4	+ 0,4
55	8	0,054	3	14,0	13,1	- 0,9
55	8	0,054	$14\frac{3}{5}$	13,0	13,1	+ 0,1
55	8	0,054	25	13,0	13,1	+ 0,1
60	4	0,027	$5\frac{2}{5}$	9,0	9,7	+ 0,7
60	4	0,027	$24\frac{3}{5}$	9,0	9,7	+ 0,7
60	5	0,034	6	10,0	10,9	+ 0,9
60	5	0,034	$8\frac{1}{5}$?	11,0	10,9	- 0,1
60	5	0,034	$9\frac{4}{5}$	11,3	10,9	- 0,4
60	5	0,034	13	11,0	10,9	- 0,1
60	6	0,041	$6\frac{1}{5}$?	12,5	11,9	- 0,6
60	6	0,041	$12\frac{2}{5}$	11,3	11,9	+ 0,6
60	6	0,041	$13\frac{4}{5}$	11,5	11,9	+ 0,4
60	7	0,048	$14\frac{1}{5}$	13,0	12,9	- 0,1
60	7	0,048	$17\frac{1}{5}$	12,3	12,9	+ 0,6
60	8	0,054	6	14,0	13,7	- 0,3
60	9	0,061	$5\frac{2}{5}$	15,0	14,6	- 0,4

Das Herausfließen der Luft.

Dass ein Herausströmen der Luft aus dem Raume zwischen Blase und Lamelle stattfindet, zeigt sich an der fortwährenden Abnahme des Abstandes zwischen Blase und La-

melle, welche sich bemerkbar macht durch das Wandern der Newton'schen Ringe, die man bei Beleuchtung des Luft-
raumes zwischen Blase und Lamelle mit einfarbigem Lichte
sieht. Die Durchmesser der einzelnen Ringe nehmen immer
mehr zu, bis sie den Durchmesser der Berührungsfläche er-
reicht haben. Diese Bewegung wird rascher, wenn man zw-
ischen Blase und Lamelle eine electriche Potentialdifferenz
hervorruft. Es wird dadurch evident, dass die Luft aus dem
Raume zwischen beiden herausgepresst wird und zwar unter
dem Einfluss electriccher Potentialdifferenzen, also electriccher
Kräfte stärker wie sonst.

Bei Beleuchtung mit weissem Lichte würde man gleich-
zeitig eine Bestimmung der Dicke der Luftschicht in bestimm-
ten Momenten machen können. Eine Beobachtung auf diese
Weise lässt sich aber bei der bis jetzt benutzten Seifenzucker-
lösung nur sehr schwer durchführen. Wird nämlich die Blase
angedrückt und mit weissem Lichte beleuchtet, so lagern sich
drei verschiedene Interferenzfiguren übereinander, von denen
die in der Luftschicht entstehende fast immer durch die der
Lamelle verdeckt wird. Man muss deshalb zu einer Seifen-
lösung mit dickeren Lamellen greifen. Eine solche erhält
man, wenn man ca. 50 ccm von der früher benutzten Seifen-
zuckerlösung mit dem Eiweiss eines frischen Hühnereies zu
Schaum schlägt und mehrere Tage stehen lässt. Man erhält
dann eine vollständig homogene Flüssigkeit, die bis zur voll-
kommenen Klarheit filtrirt werden muss. Besonders haltbar
ist die Lösung nicht.¹⁾ Eine Lamelle von dieser Lösung wird
in einem Metallringe in verticaler Lage mittels zweier äusserst
feiner Neusilberdrähte bifilar an einem Stative aufgehängt.
An der unteren Seite des Ringes ist ein Draht angelöthet, der
mit einem als Dämpfung dienenden Glimmerplättchen ver-
sehen ist, welches in ein Gefäss mit Wasser taucht. Die
Ebene des Plättchens fällt mit der Ebene des Ringes und der
der Aufhängefäden zusammen. Die Neusilberdrähte sind durch
einen Metalldraht mit der Oeffnung, an der die Seifenblasen

1) Es leidet diese Lösung ebenso wie die Seifenzuckerlösung sehr
durch das Stehen an der Luft. Die letztere muss man in gut schliessen-
den Glasgefässen, in denen sie kochend verschlossen wird, aufbewahren.

erzeugt werden, verbunden. Wird an die Lamelle eine Seifenblase angedrückt, so werden sofort nach der Annäherung die der Luftschicht ihre Entstehung verdankenden Newton'schen Ringe sichtbar. Die dünnste Stelle der Luftschicht gibt die Farbe niedrigster Ordnung. Zu Beginn der Beobachtung ist das eine Farbe vierter Ordnung. Als angenäherten Werth für die Dicke kann man bei Beginn der Beobachtung $950 \cdot 10^{-6}$ mm ¹⁾ annehmen. Von diesen Farben vierter Ordnung wechseln die Farben, wenn kein Daniellelement eingeschaltet ist, rasch bis ungefähr zu dem Strohgelb der ersten Ordnung (Dicke der Luftschicht ¹⁾ $140 \cdot 10^{-6}$ mm). Von da ab ist der Wechsel durch die weissen und grauen Farben der ersten Ordnung sehr viel langsamer und endigt meist beim Auftreten des Graublau ($79 \cdot 10^{-6}$ mm). Kurz nach dem Sichtbarwerden dieser Farbe vereinigen sich Blase und Lamelle. Die Beobachtung eines schwarzen Fleckes fand nicht statt und ist ja auch ausgeschlossen, da Blase und Lamelle sich vereinigen müssen, sobald der Abstand dem Radius der Molecularwirkungssphäre gleich geworden ist.

Schaltet man nun zwischen Blase und Lamelle ein Daniellelement ein, so wird unter dem Einfluss der electricischen Potentialdifferenz die Luft rascher herausgetrieben, was man daran erkennt, dass die Farben rascher wechseln. Man sieht die Farben bis zu dem Grün zweiter Ordnung ($400\text{—}300 \cdot 10^{-6}$ mm) abnehmen.

Kann ein Funken noch nach einer bestimmten Dickenabnahme überspringen?

Es zeigte sich, dass die angewandten mechanischen Kräfte ebenso wie die auf electricischem Wege hervorgerufenen eine Vereinigung herbeiführen konnten; beide sind nun auch von derselben Grössenordnung.

Die Kraft, mit der sich Blase und Lamelle anziehen, reducirte sich auf die zwischen den Theilen *ad* und *gh* (Fig. 1) wirkenden Kräfte. Diese beiden kreisförmigen Platten vom Radius ρ befinden sich im Abstände a von einander und sind

1) Quincke, Pogg. Ann. 129. p. 180. 1866.

mit Electricitätsquellen vom Potentiale V_1 und V_2 in Verbindung. Auf beiden befindet sich dann die Electricitätsmenge

$$e = \pm \frac{(V_1 - V_2) q^2}{4 a}$$

Die mechanische Kraft, die von der einen, beweglich gedachten Platte des Systems ausgeübt wird, ist

$$(II) \quad X = \frac{1}{2} \left(\frac{(V_1 - V_2) q}{2 a} \right)^2.$$

Hierin sind die Zahlenwerthe der Tab. 1 einzusetzen. Die in Gleichung (II) einzusetzenden Werthe müssen in electrostatischen Einheiten ausgedrückt sein, sodass an Stelle von Z Daniell der Werth $^{11}/_{30} \cdot 10^{-2} Z$ zu setzen ist. Unter Benutzung von Gleichung (I) ergeben sich zunächst die Durchschnittswerthe für die Durchmesser der Berührungsfläche in Tab. 1 und dann mit Hülfe von Gleichung (II) diejenigen für die zwischen Blase und Lamelle infolge des Einschaltens von 0, 1, 2, 3 Daniell hervorgerufenen mechanischen Kräfte, welche in Tab. 3 wiedergegeben sind

Tabelle 3.

$$(I) \quad q^2 = \frac{w R}{4 \pi a}; \quad (II) \quad X = \frac{1}{2} \left(\frac{(V_1 - V_2) q}{2 a} \right)^2$$

$$w = 0,016 \text{ g}; \quad \alpha = 0,0275 \frac{\text{g}}{\text{cm}}; \quad a = 95 \cdot 10^{-6} \text{ cm}.$$

$2 R$ in cm	$2 q$ in cm	X_1 Daniell in g	X_2 Daniell in g	X_3 Daniell in g
3,75	0,59	0,0165	0,0660	0,1485
1,75	0,40	0,0076	0,0304	0,0684

Die so für 1, 2, 3 Daniell erhaltenen Werthe geben eine Zunahme des Druckes an. Im Ganzen ist also der im Augenblicke eines Abstandes von $95 \cdot 10^{-6} \text{ cm}$ ausgeübte Druck (mechanischer Druck vermehrt um den auf electrischem Wege hervorgerufenen)

Bei der Blase von — cm Durchmesser	Nach Einschalten von			
	0	1	2	3 Daniell
3,75	0,016 g	0,033 g	0,082 g	0,165 g
1,75	0,016 „	0,024 „	0,046 „	0,084 „

Wir sehen, wie sehr erheblich sich die Drucke infolge des Einschaltens der Elemente vermehren, ohne dass sich der Durchmesser der Berührungsfläche verändert. Es muss also nach Einschalten der Elemente ein sehr viel rascheres Heraustreiben der Luft stattfinden.

Nach Einschalten eines Daniellelementes haben wir die Annäherung von Blase und Lamelle bis zu dem Grau und Blau zweiter Ordnung verfolgen können. Unter Benutzung von (II) und der dort gemachten Vernachlässigungen finden wir, dass bei der Dicke der Luftschicht von $35 \cdot 10^{-6}$ cm der infolge Einschaltens von 1 Daniell hervorgerufene Druck 0,134 g, der Gesamtdruck also 0,150 g beträgt. Dieser ist nun aber von derselben Grössenordnung, wie der durch 3 Daniell bei dem ursprünglichen Abstände hervorgerufene Druck. Nun wissen wir, dass bei dem ursprünglichen Abstände bei Einschalten von 3 Daniell eine momentane Vereinigung erfolgte. Es wird dann also bei Einschalten von 1 Daniell nach einer gewissen Dickenabnahme eine momentane Vereinigung stattfinden müssen. Daraus erklärt sich, weshalb wir die Farben nach Einschalten von 1 Dan. nicht über die der zweiten Ordnung hinaus beobachten konnten. Diese Betrachtung ist nur angenäherter Natur, indem bei Einschalten der Daniellelemente die gemachte Vernachlässigung einer gekrümmten Berührungsfläche von grösserem Einflusse ist.

Weiter ist von Schuster¹⁾ an der Hand der Beobachtungen von Gaugain, Baille und Paschen über das Minimum der Potentialdifferenz, das bei einer gegebenen Entfernung noch einen Funken zwischen zwei Condensatorkugeln überspringen lässt, nachgewiesen worden, dass dieses Minimum sich ändert beim Verschieben der Kugeln, und zwar in der Weise, dass das Minimum dieser geringsten Potentialdifferenz noch bei einer gut messbaren Grösse des Abstandes beider Kugeln eintritt. Es beträgt diese Entfernung ca. 0,4 cm.²⁾ Eine grössere Annäherung beider Kugeln erfordert immer grössere Potentialdifferenzen zum Ueberspringen eines Funkens. Baille fand, dass die eine Funkenentladung herbeiführende electromotorische Kraft bei einer Dicke der Luftschicht von 0,0015 cm neunmal

1) Schuster, Phil. Mag. (5) 29. p. 182. 1890; Beibl. 14. p. 410.

2) l. c. p. 190.

so gross ist wie bei einer Dicke von 1 cm. Von Lord Kelvin¹⁾ ist dasselbe nachgewiesen worden.

Diese Beobachtungen lassen sich nun ohne weiteres auch auf Seifenblase und Lamelle anwenden, denn es liegt kein Grund vor, eine an der Oberfläche verdichtete Luftschicht, wie sie Schuster als Erklärung für die Erscheinung bei den Condensatorentladungen annimmt, auch für die Seifenblasen anzunehmen. Wollte man dann noch behaupten, das Ueberspringen eines Funkens führe die vollständige Vereinigung herbei, so wäre es nicht erklärlich, weshalb diese erst bei so ausserordentlich geringer Dicke der Luftschicht stattfinden soll. Durch die von W. Thomson²⁾ angeführten Beobachtungen von Smith und Ferguson sind für einen Abstand der Condensatorkugeln von 0,00254 cm 527,7 absolute Einheiten der electrostatischen Kräfte nöthig, um eine Funkenentladung hervorzurufen, während für grössere Abstände eine geringere Kraft genügen würde. Die für die angegebene Funkenlänge erforderliche Kraft entspricht ungefähr 160 000 Volt pro Centimeter. In meinem Falle war nur die electrostatische Kraft eines Daniells bei einem Abstände der Platten von $95 \cdot 10^{-6}$ cm oder von 11 600 Volt pro Centimeter angewandt worden. Der Abstand in letzterem Falle war 26mal kleiner als der in ersterem. An das Ueberspringen eines Funkens ist also in meinem Falle nicht zu denken; selbst, wenn wir bis zu 3 Daniell übergehen, kann von einer Funkenentladung nicht die Rede sein.

Auch eine Beobachtung von Joly³⁾ stände der Annahme einer Funkenentladung im Wege. Derselbe liess zwischen zwei mit Platinblech belegten, wenig gewölbten Glasplatten, die sehr nahe aneinander gebracht waren, die Funken eines Ruhmkorff überspringen. Die Funken sprangen dann nicht an der engsten Stelle über, sondern an Stellen grösseren Abstandes, welcher immer Farben vierter und höherer Ordnung entsprach, an welchen Stellen sie immer infolge mechanischer Effecte Spuren

1) Lord Kelvin, Ges. Abh. zur Lehre von der Electr. und des Magn. Deutsch von Levy und Weinstein. Berlin 1890. p. 244.

2) W. Thomson, Ges. Abh. (vgl. Anm. 1) p. 248.

3) Joly, Proc. Roy. Soc. 47. p. 78. 1890; J. J. Thomson, Recent Researches on Electr. and Magnetism. Oxford 1893. p. 176.

des Ueberspringens hinterliessen. Nach diesen Beobachtungen musste, wenn die angewandte electromotorische Kraft hinreichend gewesen wäre, der Funke schon bei grösserem Abstände übergesprungen sein.

Es ergibt sich aus diesen Betrachtungen, dass die Vereinigung infolge electrostatischer Potentialdifferenzen von der Anziehung der beiden Platten herrührt, dass also die Luft, welche die Vereinigung verhindert, aus dem Raume herausgepresst wird, ehe eine Vereinigung stattfindet. Dadurch wäre aber in Bezug auf die beiden p. 667 gemachten Annahmen der Entscheid zu Gunsten der ersteren gefällt worden.

Die von Lord Rayleigh ausgesprochene Vermuthung, dass das Ueberspringen eines Funkens die Vereinigung zweier Wasserstrahlen herbeiführe¹⁾, sucht Newall²⁾ durch die Rechnung zu beweisen. Dabei kommt er auch zu dem Schlusse, dass ein Funken unter normalen Umständen nicht überspringen könne. Um aber bei der gemachten Annahme, die Vereinigung werde durch einen Funken hervorgerufen, bleiben zu können, sagt er, es sei denkbar, dass in der Luft zwischen beiden ein verminderter Druck herrsche. Daraus solle sich dann das Ueberspringen der Funken erklären. Es konnten ihm nun bei dieser Annahme nicht die Versuche von Peace³⁾ bekannt sein, denn diese stehen mit der Annahme in vollem Widerspruche. Es hat dieser nämlich bewiesen, dass bei Verminderung des Luftdruckes zwischen zwei Condensatorkugeln, bei so ausserordentlich kleinen Abständen, wie sie hier in Betracht kommen, immer grössere Werthe für das Minimum der Potentialdifferenz erforderlich sind, das noch einen Funken überspringen lässt. Die von Newall gemachten Annahmen sind also nicht mehr zu Gunsten des überspringenden Funkens stichhaltig. Nun ist aber, wie sich aus dem Ausströmen der Luft zwischen Seifenblase und Lamelle ergibt, zwischen beiden kein verminderter Druck, sondern ein gegenüber der äusseren Atmosphäre um sehr wenig erhöhter Druck. Für zwei Wasserstrahlen kann man nun auch auf keinen Fall die Annahme machen,

1) Lord Rayleigh, Proc. Roy. Soc. **34**. p. 145. 1882.

2) Newall, Phil. Mag. (5) **20**. p. 35. 1885.

3) J. J. Thomson, Recent Researches etc. p. 89.

dass die Luft zwischen ihnen unter niedrigerem Drucke stehe. Es muss von den Wasserstrahlen immer soviel Luft mitgeführt werden, wie durch den Druck aus dem Raume zwischen beiden herausgetrieben wird. Denn sonst liesse sich nicht erklären, weshalb bei Newall die Farben immer an einer ganz bestimmten Stelle blieben.¹⁾

Schwimmende Tropfen.

Eine Anwendung finden die hier erhaltenen Resultate auf eine bis jetzt nur wenig bekannte und beobachtete Erscheinung. Es ist nämlich jede Flüssigkeit im Stande, auf der Oberfläche derselben Flüssigkeit in Tropfenform umherzurollen. Diese Erscheinung, die sich bei *allen* Flüssigkeiten beobachten lässt, zeigt sich auch sehr oft im Freien. Man sieht diese Tropfen, die wir kurz als „*schwimmende Tropfen*“ bezeichnen wollen, auf dem Wasser zu den Seiten eines in der Bewegung befindlichen Nachens dort, wo das Ruder aus dem Wasser gehoben wurde, und an den Stellen, über die es sich beim Rückwärtsführen hinwegbewegte. Ebenso sieht man sie beim Aufschlagen mit einem Stocke oder Zweige auf eine Wasseroberfläche auf derselben umherlaufen. An jedem Springbrunnen spritzen infolge des Aufschlagens der Wassermassen Tropfen in die Höhe, welche, wenn die Flüssigkeit nicht zu sehr bewegt ist, längere Zeit auf derselben ruhen. Beim Filtriren von Flüssigkeiten ist ebendasselbe bemerkbar, wenn die Tropfen aus nicht zu grosser Höhe auf die untere Flüssigkeit fallen. Auch eine von Wüllner²⁾ erwähnte Erscheinung gehört hierher. Streicht man eine bis zu ihrer halben Höhe mit Wasser gefüllte Glocke mit einem Violinbogen an, so wird dieselbe in Schwingungen versetzt, die sich durch die Bewegungen des Wassers kund thun. Häufig werden dabei „Tröpfchen von der Stelle der stärksten Schwingung auf die Oberfläche der Flüssigkeit geworfen, welche sich eine Zeit lang halten und in regelmässigen Figuren angesammelt werden können“.

Das Rollen dieser Tropfen auf *gekrümmten* Flüssigkeitsoberflächen ist schon von Gossart²⁾ beobachtet worden, jedoch

1) Newall, l. c. p. 32.

2) Wüllner, Lehrb. der Experimentalphysik. IV. Aufl. 1. p. 652.

2) Gossart, Compt. rend. 113. p. 537. 1891; Beibl. 16. p. 181. 1892.

kann man dieselben auch auf jeder *ebenen* Oberfläche bemerken, wenn man aus einer ausgezogenen Glasröhre einen Flüssigkeitsstrahl gegen eine Oberfläche der Flüssigkeit des Strahles austreten lässt und den Zufluss so regelt, dass sich der Strahl 5—10 mm oberhalb der Oberfläche in einzelne Tropfen auflöst. Die einzelnen Tropfen rollen dann in lebhafter Bewegung auf der Oberfläche umher. Lässt man einen einzelnen Tropfen aus wenigen Millimetern Höhe auf die Oberfläche fallen, so ruht derselbe längere Zeit auf derselben, ohne sich mit ihr zu vereinigen.

Eine grosse Aehnlichkeit mit diesen schwimmenden Tropfen besitzt das sogenannte Leidenfrost'sche Phänomen. Beide Erscheinungen verdanken *verschiedenen* Gründen ihre Entstehung, jedoch sehen wir in der Natur immer nur Complicationen beider auftreten. So kann man zunächst die schwimmenden Tropfen unter der Luftpumpe beobachten, wenn sich die Luft unter dem Recipienten vollständig mit dem Dampfe der betreffenden Flüssigkeit gesättigt hat (Verdampfung, also auch Leidenfrost'sches Phänomen, ausgeschlossen). Von dieser Erscheinung ab kann man sie um so besser beobachten, je stärker die Verdunstung der Unterlage und des Tropfens selbst ist. Während des Auspumpens des Recipienten bleiben die Tropfen besonders lange liegen und erreichen durch das Zusammenfliessen mehrerer kleineren eine ziemliche Grösse. Ebenso sieht man an der freien Luft die Tropfen grösser werden und länger liegen bleiben, zu je höheren Temperaturen man übergeht (Leidenfrost'sches Phänomen plus schwimmende Tropfen).

Dass diese Tropfen ebenfalls durch eine Luftschicht von der Unterlage getrennt sind, ergiebt sich daraus, dass eine Totalreflexion des Lichtes an allen Punkten stattfindet, in denen die Tropfen auf der Unterlage aufzuliegen scheinen. *Es wird also auch hier eine Vereinigung des Tropfens mit der Unterlage erst dann eintreten können, wenn die zwischen beiden eingeschlossene Luft durch den Druck des auf ihr lastenden Tropfens herausgepresst ist.*

Auch die schwimmenden Tropfen sind gegen die Annäherung electricisirter Körper ebenso empfindlich, wie zwei Wasserstrahlen oder Seifenblasen. Nur ist hier der Unter-

schied, dass sich der Tropfen mit der Unterlage nur dann vereinigt, wenn die angewandte Flüssigkeit ein Leiter oder guter Halbleiter der Electricität ist, welche Erscheinung sich wohl auch bei den Strahlen zeigen würde, wenn man verschiedene Flüssigkeiten untersuchte. Bei der Annäherung eines electrisirten Körpers an den Strahl darf die Entfernung beider nur wenige Centimeter betragen, damit eine Einwirkung auf den Strahl vermieden wird.¹⁾

Eine Erscheinung ähnlicher Art ist von Elster und Geitel²⁾ erwähnt. Dieselben liessen auf eine leitende Wasseroberfläche die Tropfen eines Zerstäubers auffallen, welche von derselben reflectirt wurden, ohne dass eine Vereinigung stattfand, trotzdem die Tropfen mit der Oberfläche in electrisch leitende Verbindung traten.

Eine vollständige Anwendung des bei zwei Seifenblasen gesagten auf die schwimmenden Tropfen ergiebt sich ohne weitere Erläuterung.

Bonn, im August 1894.

1) G. Wiedemann, *Electricität* (Braunschweig 1887) 1. p. 27; Beetz, *Pogg. Ann.* 144. p. 443. 1891.

2) Elster u. Geitel, *Wied. Ann.* 25. p. 129. 1885.