

Experimente über die Reibung zwischen Öl und Luft

von

Stefan Markovits.

(Mit 1 Textfigur.)

Dass zwischen Wasser und Luft starke Reibung stattfindet, „so starke, dass sie sich kaum von völliger Adhäsion unterscheidet“, hat Prof. v. Lang mit Hilfe eines von ihm zu diesem Zwecke construirten Apparates unzweifelhaft bewiesen.¹ Aus einigen wenigen Versuchen, welche er mit anderen Gasen (Leuchtgas, Kohlensäure) angestellt hat, ergab sich dasselbe Resultat.

Bei der Wichtigkeit, welche dieses Phänomen (die Reibung zwischen Flüssigkeiten und Gasen) hat, war es wünschenswerth, die Untersuchungen auf die anderen Flüssigkeiten zu erweitern. Somit habe ich auf den Vorschlag des Herrn Prof. v. Lang zuerst das Öl der Untersuchung unterzogen und mit Hilfe des Lang'schen Apparates die Versuche gemacht.

Die Wahl dieser Flüssigkeit ist dadurch gerechtfertigt, dass erstens das Öl sich vom Wasser durch seine Zähigkeit stark unterscheidet (somit müsste die Abhängigkeit der Reibung von Flüssigkeiten gegen Luft von der Natur derselben sicher auftreten, wenn eine solche überhaupt existiren würde), und zweitens war es seit lange von Wichtigkeit, zu entscheiden: ob ein Unterschied zwischen Wasser und Öl in Bezug auf die Reibung gegen Luft besteht, weil eben diese Frage zuerst zu lösen ist, bei der Erklärung der beruhigenden Wirkung des Öls auf Wasserwellen. Es besteht nämlich in Bezug auf die Erklärung dieser lange

¹ Wied. Ann. d. Phys. u. Chem., N. F., Bd. III.

bekanntes Thatsache, „welche den Stempel der physikalischen Antiquität erworben zu haben scheint“, eine Anzahl von Theorien. Die eine dieser Theorien geht von der Annahme aus, dass Wasserwellen ihr Entstehen bloss der Reibung an bewegter Luft verdanken und zieht aus der beruhigenden Wirkung des Öls den Schluss: dass die Reibung zwischen dem Öl und der Luft eine geringere sein muss als jene zwischen dem Wasser und Luft, „dass sozusagen das Öl den Wind schmiere“. Die Versuche, welche Mr. J. Aitken¹ zur Prüfung dieses supponirten Schlusses im Kleinen angestellt hat, zeigten aber, wie er behauptet, dass die an die beölte Wasseroberfläche geblasene Luft der letzteren dieselbe Bewegungsgrösse mittheilte wie der reinen Wasseroberfläche, „dass das Öl somit die Reibung zwischen der Luft und dem Wasser nicht vermindert.“ Obwohl man es bei der Anwendung des Öles zur Beruhigung der Wasserwogen mit dünnen Ölschichten zu thun hat, schien es mir für nicht überflüssig, die Experimente über die Reibung zwischen Öl und Luft nach der Methode des Prof. v. Lang auszuführen, weil die Bewegung des dabei benützten Ölstrahls, welcher an der Luft sich reibt, eine viel regelmässiger ist als jene des Ölhäutchens (respective der Luft), mit welcher Mr. J. Aitken operirt hat; diese Regelmässigkeit aber ist bei der Ausführung der Messungen unentbehrlich.

Die Experimente, die ich ausgeführt habe, stimmen mit denjenigen des Mr. J. Aitken darin überein, dass kein nachweisbarer Unterschied zwischen Wasser und Öl bezüglich der Reibung an der Luft besteht. Dadurch verliert die in Rede stehende Theorie über die beruhigende Wirkung des Öls ihre Grundlage; wir haben eine Theorie weniger, und das ist ein Fortschritt.

I.

Die Beschreibung des Apparates, welchen Prof. v. Lang zur Demonstration und Messung der Reibung zwischen Wasser und Luft construirt hat, und welchen ich bei den Experimenten mit Öl benützte, findet man in der oben citirten Abhandlung des Prof. v. Lang und im Novemberheft der Zeitschrift für Instrumenten-

¹ Über die Wirkung des Öles auf eine stürmische See. Proc. Edinb. Roy. soc. 1883.

kunde 1884. Ich muss hier bei der Angabe der nöthigen Modificationen des Apparates diese Beschreibung theilweise wiederholen.

Prof. v. Lang setzte an den Hahn der Wasserleitung einen 1 m langen Kautschukschlauch (inn. Durchm. 11 mm) und führte diesen in einiger Höhe zu einem kurzen gläsernen Ausflussrohre von gleicher Breite, welches äusserst solid und vertical aufgestellt war. So erzeugte er einen continuirlichen vertical nach abwärts fließenden Wasserstrahl, dessen Länge innerhalb gewisser Grenzen regulirt werden konnte.

An Stelle der Wasserleitung musste ich ein Gefäss nehmen, aus welchem das Öl mit constanter Geschwindigkeit ausfließen konnte, und als solches benützte ich eine Mariotte'sche Flasche *F* (Fig. 1) von circa 5 l Inhalt. In den mittleren Hals der Flasche setzte ich einen Trichter *T* luftdicht ein, welcher mit einem Hahn *H* versehen war, um in die Flasche das Öl eingiessen, beziehungsweise das

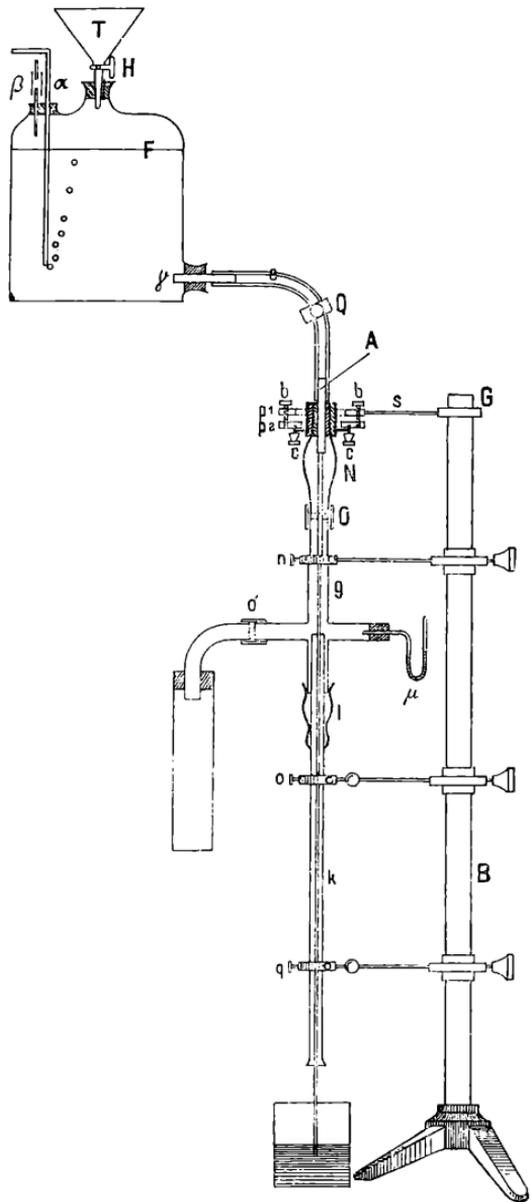


Fig. 1.

Innere derselben von der äusseren Luft absperrn zu können. In einen zweiten Hals der Flasche waren zwei Röhren mittelst

Kork und Siegellack luftdicht eingesetzt. Das eine dieser Röhren α war an beiden Enden offen, hatte ungefähr die Länge der Flasche selbst, konnte auf- und abwärts verschoben werden und gestattete dadurch den Druck, unter welchem das Öl ausfließt, zu ändern. Das zweite Röhren β war kurz, oben mittelst eines Kautschukröhrens und eines Glasstäbchens verschliessbar und hatte den Zweck, beim Füllen der Flasche das Entweichen der Luft aus derselben zu ermöglichen. Die Flasche stand auf einem an die Wand des Zimmers befestigten Brette, um von Erschütterungen frei zu sein. In den seitlichen Hals der Flasche, dort wo das Öl ausfließen sollte, wurde eine kurze Glasröhre γ (inn. Durchm. 9 mm, L. 70 mm) mittelst Korkpropfen eingesetzt; an diese brachte ich einen Kautschukschlauch e (inn. Durchm. 10 mm, L. 250—300 mm), welcher dann an die eigentliche Ausflussröhre a des Lang'schen Apparates angesetzt wurde. Ich habe zwei solche Ausflussröhren benützt; ihre inneren Durchmesser waren respective 8.5 mm und 7 mm, L. 90 mm. Der Kautschukschlauch trug einen verschiebbaren Quetschhahn Q , mit Hilfe dessen die Ausflussmenge des Öls regulirt wurde.

Die übrigen Theile des Apparates von v. Lang wurden beibehalten. Der Ölstrahl ging zunächst durch eine Glasröhre N (inn. Durchm. 18 mm, L. 105 mm), in welche das Ausflussrohr luftdicht eingekittet war. Das letzte Rohrstück N ist in seiner Mitte erweitert, damit der Strahl sich nicht anlege, und sein oberes Ende ist in eine röhrenförmige, mit einem Ring versehene metallische Hülse h aus Messing (äuss. Durchm. 24½ mm) eingebettet, welche von einer besonderen Vorrichtung getragen wurde. Zu dem Zwecke dient ein schwerer Träger: eine auf einem Dreifuss m befestigte Messingsäule B , welche durch eine Messingscheibe G gekrönt ist. In diese Scheibe ist von der Seite ein horizontaler Stiel s aus Messing (L. 65 mm) eingeschraubt, und an diesen schliesst sich eine horizontale ringförmige Messingplatte p_1 (äuss. Durchm. 74 mm, inn. Durchm. 42 mm, H. 8 mm). Von dieser Platte ist eine zweite der ersten nahe parallele Messingplatte p_2 (äuss. Durchm. 74 mm, inn. Durchm. 25 mm, H. 8 mm) mittelst zwei Schrauben bb in der Entfernung von 7 mm unterhalb der ersten Platte getragen und ihre Lage mittelst zwei

Stemmschrauben (deren Verbindungslinie zu bb senkrecht ist) so regulirt, dass die metallische Hülse, welche in die zweite ringförmige Platte von unten eingesetzt und mittelst zwei Klemmschrauben cc gehalten wurde und mit ihr die Ausflussröhre vertical gestellt wird. An das Rohr N gliedert sich ein aus gleichem Glasrohr verfertigtes Kreuzstück g , welches mit dem ersten durch ein Kautschukrohr O luftdicht verbunden ist. An dem einen der beiden horizontalen Arme (L. 65 mm) des Kreuzstückes ist ein offenes Wassermanometer μ mittelst eines Kautschukpfropfens angesetzt; der andere Arm ist durch ein ähnliches Kautschukrohr O' wie O mit dem Massrohre luftdicht verbunden. Die letztere Röhre besteht aus zwei Theilen: aus einem knieförmig gebogenen (inn. Durchm. 18 mm) und einem cylindrischen (inn. Durchm. 47 mm , L. 200 mm) Glasrohre; das letzte Rohr bildet die eigentliche Massröhre i ; beide Theile sind durch Kork und Siegellack luftdicht verbunden. Zur grösseren Sicherheit ist die Massröhre mittelst eines Drahtes an dem zu diesem Zwecke bestimmten Arm f der Messingsäule befestigt, welcher der Deutlichkeit halber in der Figur ausgelassen ist. Der Strahl ging dann frei durch eine bis zu dem Kreuzungspunkte des Kreuzstückes hineinreichende Glasröhre (inn. Durchm. $5\text{--}8\text{ mm}$, L. bis 480 mm), Saugröhre k , welche mit dem unteren Schenkel (L. 65 mm) des Kreuzes mit Hilfe eines Kautschukmundstückes l luftdicht verbunden ist. Das untere Ende der Saugröhre ist trichterförmig erweitert, damit die hier angesammelten Tropfen von dem Strahle genügend entfernt seien.

An der Messingsäule sind schliesslich drei verschiebbare Arme, welche an ihren Enden je einen Ring mit drei Schrauben tragen, angebracht. Der erste dieser Arme n dient dazu, das Kreuzstück festzuhalten; die anderen zwei Arme o und q gestatten vermöge ihrer Construction, die Saugröhre immer coaxial mit dem Strahle zu stellen.

II.

Mit Hilfe des beschriebenen Apparates kann man die Reibung zwischen dem Strahle und der anliegenden Luft, welche sich durch die Bewegung der letzten in der Saugröhre offenbart, in zweifacher Weise demonstrieren. Erzeugt man nämlich an dem offenen Ende

des Massrohres Seifenlamellen, was durch successive Berührung desselben mit der Seifenlösung gelingt, so folgen die Seifenlamellen der Luftbewegung in dem Saugrohre, derart, dass, wenn einmal die ganze Massröhre benetzt ist, solche Seifenlamellen sogar bis an die Mündung der Saugröhre gelangen und dort platzen. Oder man führt in die Massröhre etwas Rauch ein — der einer Cigarre genügt dafür — so steigt der Rauch empor, bewegt sich abwärts in der Nähe des Strahles und hüllt den letzten nach dem Verlassen des Saugrohres noch ein, soweit der Strahl ruhig und continuirlich ist; ein Zeichen dafür, dass die Lufttheilchen sehr regelmässig durch das Saugrohr in parallelen Geraden fliessen. Wir sind also zu der Annahme berechtigt: die in der Zeiteinheit ausgesaugte Luftmenge als Mass für die zwischen Strahl und Luft stattfindende Reibung zu nehmen.

Es handelt sich nun darum, diese Grösse zu messen. Es wurde eine Papierskala an dem Massrohre angebracht, eine Seifenlamelle erzeugt, und aus dem Wege, welchen die Lamelle gemacht hat, aus der entsprechenden Zeit und aus dem Durchmesser des Massrohres wurde die in der Zeiteinheit ausgesaugte Luftmenge ausgerechnet.

Dass das Gewicht der Seifenlamelle auf die ausgesaugte Luftmenge keinen beobachtbaren Einfluss hat, zeigte v. Lang dadurch, dass das offene Ende der Massröhre nach aufwärts gerichtet wurde. Die beiden Stellungen der Massröhre gaben für die unter sonst gleichen Bedingungen aspirirte Luftmenge dieselben Zahlen. Damit aber die Reibung der Lamelle möglichst vermindert wird, wurde dafür Sorge getragen, dass die Massröhre mit Seifenlösung immer benetzt war; auch gab man der Röhre eine genügende Weite. Es zeigte sich nämlich, dass weitere Röhren ein grösseres Volumen ausgesaugter Luft gaben, dass aber von einem gewissen Durchmesser an das Volumen nicht mehr wuchs. Es verschwand sodann die nachtheilige Einwirkung der Reibung. Dasselbe bestätigt auch das Verhalten des Wassermanometers. Wenn während der Aussaugung die Massröhre offen war, daun wurde kein Druckunterschied beobachtet; wurde die Röhre mit einer Seifenlamelle geschlossen, so zeigte das Manometer eine umso geringere Druckverminderung, je weitere Massröhren man benützte. Prof. v. Lang gibt an, dass

für seine Versuche mit dem Wasser eine Massröhre von 48 mm Durchmesser genügend war. Ich bediente mich zweier Massröhren von 47 und 87 mm Durchmesser und fand namentlich beim Öl sehr kleine Differenzen in der ausgesaugten Luftmenge.

Die Versuche von Prof. v. Lang ergaben, dass die aspirirte Luftmenge mit der Länge des Saugrohres sich einem Maximum näherte, dieses jedoch nicht erreichen konnte, wahrscheinlich wegen der konischen Form des Strahles. v. Lang fand,¹ dass ein Saugrohr von 47 cm Länge das Maximum der ausgesaugten Luftmenge näherungsweise gibt, wenn sein Halbmesser unter 0·29 cm ist. Die Resultate meiner diesbezüglichen Messungen beim Öl sind folgende:

Saugröhre		Ausgesaugte Luftmenge <i>A</i> auf 16 cm ³ des ausgeflossenen Öls
Radius	Länge	
0·3759 cm	48 cm	27·14 cm ³
	38	26·85
	28	25·56
"	18	22·90
	48	19·54
0·2964	38	18·62
	28	17·13
	48	18·93
"	38	18·03
	28	17·21
	48	

Die Zahlen für *A* sind nicht direct beobachtet, sondern zuerst wurde das Mittel genommen aller Ablesungen für *A*, für die ausgeflossene Ölmenge in der Nähe von 16 cm³, und dann wurde die verlangte Grösse aus diesen zwei Mitteln einfach interpolirt.

Für alle drei Saugröhren verringert sich das ausgesaugte Luftvolumen *A* zunächst langsam (in der Nähe des Maximums), dann schneller, wenn ihre Länge um 10 cm abnimmt.

Daraus ist nun ersichtlich, dass ich den Saugröhren mindestens die Länge von 48 cm geben musste. Längere Röhren konnte ich nicht nehmen, da in der Distanz $z = 70$ cm unterhalb der Mündung des Ausflussrohres die „Anschwellungen“ — wenn auch sehr schwache — des Ölstrahles begannen, welche die umliegende Luft viel kräftiger in Bewegung setzten, und nur an dem con-

¹ Wied. Ann., N. F., Bd. III, S. 230.

tinuirlichen Theile des Strahles lässt sich die reine Reibung¹ nachweisen. Da nun mit beschränkter Quantität des Öles es mir nicht gelungen ist, einen noch längeren Ölstrahl zu erzeugen, so wurde ich genöthigt, den langen Schenkel des Kreuzrohres zu kürzen, und zwar so weit, dass der Anfang des Saugrohres 20·5 *cm* von dem Ausflussrohre entfernt war; hingegen betrug diese Distanz bei den Experimenten mit dem Wasser 35 *cm*. Selbstverständlich war es nothwendig, zuerst sich zu überzeugen, dass der Theil des Ölstrahles, welcher in Folge dieser Abkürzung in die Saugröhre aufgenommen wurde, von der cylindrischen Form nur sehr wenig abweiche. Das geschah durch Messung der Dimensionen des Ölstrahles. Ich operirte mit dem käuflichen filtrirten Brennöl (Baumöl). Bei der Ausflussmenge des Öls $\dot{O} = 15\cdot5 \text{ cm}^3$ pro Secunde fand ich für den Radius ρ des Strahles in der Distanz z von der Ausflussöffnung folgende Werthe in Centimetern:

z	ρ	z	ρ
0	0·425	40	0·128
5	0·217	45	0·125
10	0·178	50	0·123
15	0·163	55	0·121
20	0·154	60	0·118 ₅
25	0·146	65	0·116
30	0·138	70	0·114 ₇
35	0·132	75	0·115

Aus der Messung der Dimensionen des Wasserstrahles bei verschiedenen Ausflussmengen und mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate hat v. Lang zwischen dem Radius r des Strahles und der Ausflussmenge W pro Secunde folgende Relation² gefunden:

$$r = 0\cdot09246 + 0\cdot002709 \cdot W + (0\cdot42748 + 0\cdot025918 \cdot W) \frac{1}{\sqrt{z}},$$

welche den Radius des Wasserstrahles für jede Höhe und Wassermenge in Centimetern gibt. Setzen wir also $W = 15\cdot5 \text{ cm}^3$, so bekommen wir folgende Tabelle:

¹ v. Lang a. a. O.

v. Lang a. a. O., S. 227.

z		z	r
25	0·3003	55	0·2463
30	0·2858	60	0·2415
35	0·2746	65	0·2373
40	0·2656	70	0·2336
45	0·2581	75	0·2302
50	0·2517	80	0·2272

Aus diesen zwei Tabellen lässt sich leicht ersehen, dass der Ölstrahl in allen Höhen innerhalb der Grenzen $z = 20$ und 70 von der cylindrischen Form weniger abweicht, wie der Wasserstrahl innerhalb der Grenzen $z = 35$ und 80 bei derselben Ausflussmenge. Dadurch sind wir zu dem Schlusse berechtigt, dass wir die von v. Lang gegebene angenäherte Theorie der Reibungsversuche mit gleichem Recht für meine Experimente mit dem Öl annehmen dürfen, mit welchem v. Lang diese Theorie für seine Experimente mit dem Wasser gegeben hat. Das letztere wurde von ihm genügend gerechtfertigt.

III.

Unter den Annahmen: 1. dass der Strahl innerhalb der Saugröhre cylindrisch sei, 2. dass, den Rauchexperimenten entsprechend, alle Lufttheilchen durch die Saugröhre zu dem Strahl parallel fließen, also dass nur in dieser Richtung eine Geschwindigkeit der Lufttheilchen existirt und folglich der Luftdruck in jedem Querschnitte der Saugröhre constant sei und, weil er am Anfang wie am Ende der Röhre gleich dem Druck der Atmosphäre ist, wie das Manometer zeigt, dass der Druck in der ganzen Röhre constant sei; ferner mit Rücksicht darauf, dass die Bewegung der Luft in der Saugröhre eine stetige, von der Zeit unabhängige ist, dass keine äusseren Kräfte thätig sind — leitete v. Lang aus den hydrodynamischen Gleichungen für die Geschwindigkeit u der Lufttheilchen in der Entfernung q von der Axe des Strahles die Gleichung ab:

$$u = L \log \text{nat } q + M.$$

Bezüglich der Bestimmung der Constanten L und M macht man zweierlei Voraussetzungen:

a) Es wird angenommen, dass die Luft sowohl an dem Strahle, als an der inneren Fläche des Saugrohres, welche immer

benetzt war, vollständig adhäriert. Dann findet man mit Rücksicht auf die Bedingungsgleichungen, die sich daraus ergeben, für die durch Reibung der Flüssigkeit gegen Luft in der Zeiteinheit ausgesaugte Luftmenge A folgende Gleichung:

$$A = \int_r^R u \, 2\pi q \, dq = Q \left[\frac{R^2 - r^2}{2r^2 (\log \text{nat } R - \log \text{nat } r)} - 1 \right]$$

Es war vorauszusehen, dass die Grösse A von den Radien R und r der Saugröhre und des Strahles und von der Geschwindigkeit der Flüssigkeit in dem Strahle abhängig sein muss. Die letzte Grösse ist durch die pro Secunde ausgeflossene Flüssigkeitsmenge Q vertreten. Die Abhängigkeit der ausgesaugten Luftquantität von den Radien R und r ist eine ziemlich complicirte.

Es handelt sich nun darum, die Messungen, welche ich mit dem Öl gemacht habe, mit den aus der letzten Gleichung sich ergebenden Werthen von A zu vergleichen. Es ist zu bemerken: der Radius R der Saugröhren wurde durch die Gewichte der die Röhren füllenden Quecksilberfäden gefunden; die Ermittlung des Radius r des Ölstrahles geschah mit Hilfe eines Kathetometers, dessen Fernrohr ein Ocularmikrometer besass; und zwar wurde für den numerischen Werth von r das Mittel aus den Werthen am Anfang und Ende des Rohres in die Formel eingesetzt. Die ausgesaugte Luftmenge A wurde aus mindestens 10 Ablesungen an der Skala des Massrohres gefunden.

Ich stelle in der folgenden Tabelle die Resultate meiner Messungen zusammen.

R	Q	A	A'	$A - A'$	$R - r$	
0·2627	0·0887	6·93	19·58	17·93	+1·65	0·1740
	0·1153	11·65	19·16	18·08	+1·08	0·1474
	0·1335	15·99	18·81	18·04	+0·77	0·1292
	0·1344	16·13	18·53	17·92	+0·61	0·1283
0·2745	0·1355	16·37	18·51	17·84	+0·67	0·1272
	0·1432	17·40	17·89	18·36	-0·47	
0·2964	0·1134	11·80	24·11	24·01	+0·10	0·1830
	0·1154	11·77	22·17	23·15	-0·98	0·1810
	0·1254	13·20	20·79	21·99	-1·20	0·1710
	0·1332	14·67	19·76	21·62	-1·86	0·1632
	0·1403	16·00	19·66	21·04	-1·38	0·1564
	0·1429	16·44	19·69	20·76	-1·07	0·1535
	0·1454	17·03	19·42	20·70	-1·28	0·1510
0·3108	0·1348	16·25	23·46	25·72	-2·26	
0·3759	0·1426	17·45	30·18	36·10	-5·92	

Also unter der Supposition vollständiger Adhäsion der an dem Ölstrahl wie an der beölten Saugröhre anliegenden Luftschichten erhalten wir eine ziemlich gute Übereinstimmung zwischen den beobachteten Werthen von A und den berechneten A' . Es lässt sich aus dieser Tabelle insbesondere Folgendes herauslesen:

Die Differenzen $A - A'$ sind bei dem Saugrohre I durchwegs positiv, bei den übrigen Röhren, welche alle grösseren Radius haben, vorwiegend negativ. Bei der Röhre I nimmt die Differenz $A - A'$ ab, wenn die Differenz $R - r$ abnimmt, so dass, wenn es gelingen würde, einen dickeren Ölstrahl durch diese Röhre zu führen, es möglich wäre, die Differenz $A - A'$ zum Verschwinden zu bringen, für welchen Fall eben die Theorie genauer gültig sein dürfte. Da die Differenz $A - A'$ bei der Röhre III vorwiegend negativ ist, so folgt daraus, dass diese Röhre für die angegebene Ölstrahldicke zu weit ist — dass unsere Annahmen, welche wir über die Geschwindigkeit u gemacht haben, nicht genau zutreffen. In der That überschreitet der Radius III die Grenze 0.29 cm , welche v. Lang bei den Wassereperimenten angegeben hat.

Diese Grenze scheint auch bei diesen Experimenten die gleiche zu sein. Bei den Röhren IV und V, deren Radien noch mehr die angegebene Grenze überschreiten, sind die Differenzen $A - A'$ noch grösser. Man würde aber auch bei diesen Röhren übereinstimmende Werthe für A und A' bekommen, wenn sie genügend lang wären und wenn der Strahl genügende Dicke hätte.

Es ist noch zu bemerken, dass die Differenzen $A - A'$ bei den Röhren IV und V kleiner sind als diejenigen, welche v. Lang bei den Röhren von nahe gleichen Radien für Wasser gefunden hat. Dies dürfte in den Verschiedenheiten des Druckes und der Geschwindigkeiten des Strahles seinen Grund haben. Ich operirte bei einem Überdruck von $18 - 25 \text{ cm}$ der Ölhöhe.

Prof. v. Lang hat bei den Experimenten mit dem Wasser auch eine zweite Art der Vergleichung der Beobachtungen mit der Theorie versucht, indem er voraussetzte, dass ein Gleiten der Luft sowohl am Strahle, als an dem Saugrohre stattfindet, und fand für die Gleitungscoëfficienten (welche einander gleich sind, weil die Saugröhre inwendig benetzt war) den Werth $\xi = \psi = 0.029$.

Da aber der auf diesem Wege ermittelte Werth der Gleitungscoëfficienten kein Vertrauen verdient (weil er sogar negativ wird, wenn man nur einen Theil der Beobachtungen zu seiner Bestimmung verwendet); da weiter die Übereinstimmung der beobachteten Werthe A mit den berechneten A' , welche auf diesem Wege von v. Lang gefunden wurden, von derselben Ordnung war wie die auf dem ersten Wege gefundene; und da schliesslich gezeigt wurde, dass die erste Art der Vergleichung beim Öl dasselbe ergab, was sie für Wasser ergeben hat: so habe ich es auch nicht nöthig gefunden, diese zweite Art der Vergleichung beim Öl vorzunehmen.

Durch das Vorstehende wird gezeigt, dass zwischen Öl und bewegter Luft eine Reibung stattfindet von derselben Grössenordnung wie zwischen Wasser und Luft. Doch ist dadurch nicht der wahre Werth des Reibungscoëfficienten gegeben; er könnte nur gefunden werden, wenn man die konische Form des Ölstrahles berücksichtigt.

Bemerkung. Die Beobachtungsfehler bei meinen Experimenten sind etwas grösser als diejenigen bei v. Lang. Es ist aber klar, dass ich grösseren Schwierigkeiten begegnete, und dass auch grössere Fehlerquellen beim Experimentiren mit dem Öl vorlagen. Namentlich bestand die grösste Schwierigkeit darin, den Radius des Ölstrahles richtig zu ermitteln, weil man diesen durch die Saugröhre, an welcher verschieden dicke Ölschichten hafteten, anvisiren musste. Weiter habe ich bemerkt, dass beim wiederholten Füllen der Flasche und fortgesetztem Ausfliessenlassen des Öls die Consistenz desselben sich änderte (wahrscheinlich wegen der Erwärmung in Folge der verschiedenen Reibungen), so dass die Ausflussmenge mit der Zeit, wenn auch langsam, wuchs und die Querdimension des Strahles sich änderte. Da nun die Messungen der erforderlichen Grössen immer einen beträchtlichen Zeitraum in Anspruch nahmen, so ist ersichtlich, dass der Einfluss auch dieses Umstandes unvermeidlich war.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1891

Band/Volume: [100_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Markovits Stefan

Artikel/Article: [Experimente über die Reibung zwischen Öl und Luft. 785-796](#)