XIII. *Untersuchungen auf dem Gebiet der inneren Wärmeleitung; von Richard Wachsmuth.*

§ 1.

Die innere Wärmeleitung von Flüssigkeiten ist vielfach und nach sehr verschiedenen Methoden untersucht worden. Die Hauptschwierigkeit, die zu überwinden war, bot das Auftreten von Strömungen in der untersuchten Flüssigkeit, hervorgerufen durch die verschiedenen Temperaturen im Innern und das geringere specifische Gewicht der wärmeren Schichten. Im allgemeinen resultirte daraus ein Apparat, bei welchem die Flüssigkeitsschicht von oben her erwärmt oder von unten her abgekühlt wurde — bisweilen auch beides —, weil die wärmeren Schichten ihre höhere Lage beibehalten sollten.

Bei den meisten der erdachten Methoden benutzt man entweder eine lange Flüssigkeitssäule, die an einem Ende eine constante Temperaturänderung erleidet, und messen das Wärmegefälle an verschiedenen Stellen dieser Säule; oder man wendet eine dünne Flüssigkeitslamelle zwischen zwei Kupferplatten an, lässt den Wärmeaustausch zwischen den zwei Platten vor sich gehen und misst in diesen den Temperaturverlauf. Der Kürze halber will ich die erste Art *Säulenmethode*, die zweite *Lamellenmethode* nennen.

Nach den ersten rein qualitativen Untersuchungen von Rumford¹⁾, Th. Thomson²⁾, Nicholson, Pictet und Murray³⁾ unternahm es zuerst Despretz⁴⁾, die *Säulenmethode* quantitativ zu verwerthen. Die ersten brauchbaren absoluten Werthe bestimmte dann Hr. Lundquist⁵⁾ auf einem

1) Count Rumford, *Essays* 2. p. 199.

2) Th. Thomson, *Journal of Nicholson* 1. p. 81.

3) J. Murray, *Arch.* 42. p. 195.

4) Despretz, *Pogg. Ann.* 46. p. 340. 1839; *Comp. rend.* 7. p. 933. 1838. *Ann. chim. et phys.* 61. p. 206. 1839 (fast überall falsch angegeben).

5) Lundquist, *Undersökning etc.* Upsala Universitets Årsskrift 1869.

von Ångström¹⁾ angegebenen Wege und auch Hr. Chree²⁾ hat sich dieser Methode bedient.

Die *Lamellenmethode* wurde zuerst von Hrn. Guthrie³⁾ angewandt, doch rührt die wesentlichste Vervollkommnung von Hrn. H. F. Weber⁴⁾ her. Weiterhin haben dann Hr. De Heen⁵⁾, Hr. Christiansen⁶⁾, Hr. Henneberg⁷⁾ und Hr. Jäger⁸⁾ die Weber'sche Methode benutzt und ihren Zwecken angepasst.

Ausser der Lamellen- und Säulenmethode sind noch einige andere Arten der Bestimmung der inneren Wärmeleitung zu erwähnen.

Hr. Winkelmann⁹⁾ setzte zwei Metalcyylinder ineinander, füllte den Zwischenraum mit Flüssigkeit und kühlte von aussen. Der innere Cylinder mit einem engen Ansatzrohr diente als Thermometer. Es ist dies eine Methode, die bereits von Hrn. Narr angewandt wurde, wie Beetz¹⁰⁾ angibt, und die dann Hr. Stefan¹¹⁾ für Gase benutzte.

Beetz¹⁰⁾ bediente sich derselben Methode in der Kundt'schen Modification, dass zwei dünne Reagenzgläser ineinander gesteckt wurden. Seine Resultate sind von Hrn. Weber¹²⁾ widerlegt worden, bei dem überhaupt eine eingehende Kritik und Correctur der brauchbaren älteren quantitativen Methoden zu finden ist.

Hr. Grätz¹³⁾ wandte gegen die Weber'sche Methode ein, dass sie die äussere Wärmeleitungsfähigkeit benutze, und dass die vollständige oder partielle Diathermansie der Flüssigkeiten

1) Ångström, Pogg. Ann. **123**. p. 638. 1864.

2) Chree, Proc. Roy. Soc. London **42**. p. 300, **43**. p. 30. 1887.

3) Guthrie, Phil. Trans. **159**. p. 637. 1869; Phil. Mag. (4) **35**. p. 283. 1868; **37**. p. 468. 1869.

4) H. F. Weber, Wied. Ann. **10**. p. 103. 1880.

5) De Heen, Bull. Ac. Belg. (3) **18**. p. 192. 1889.

6) Christiansen, Wied. Ann. **14**. p. 23. 1881.

7) Henneberg, Wied. Ann. **36**. p. 146. 1889.

8) G. Jäger, Wien. Ber. **99**. p. 245. 1890.

9) Winkelmann, Pogg. Ann. **153**. p. 481. 1874.

10) Beetz, Wied. Ann. **7**. p. 435. 1879; Sitzb. bayr. Ac. p. 86. 1879.

11) Stefan, Wien. Ber. **65**. p. 45.

12) H. F. Weber, l. c. p. 480 ff.

13) Grätz, Wied. Ann. **18**. p. 79. 1883; **25**. p. 337. 1885.

nicht berücksichtigt sei. Von diesen zwei Fehlern sollte seine Methode frei sein. Ein Flüssigkeitsstrahl von constanter Geschwindigkeit wurde nämlich vor und nach dem Hindurchgehen durch ein dünnes, in einem Wasserbad auf constanter Temperatur erhaltenes Metallrohr mit dem Thermometer auf seine Temperaturen geprüft und aus deren Differenz die Leitfähigkeit ermittelt. Da um die Flüssigkeit in dem Rohr rings herum die Temperatur überall gleich war, so war eine Wärmestrahlung von den Wänden unmöglich. Auch trat die Flüssigkeit zwischen den zwei Thermometern mit der Luft nirgends in Berührung, die äussere Leitungsfähigkeit gegen Luft wurde also hier vermieden. Dagegen ist durch die Gestaltung der Flüssigkeit in einen dünnen langen Strahl innerhalb der Röhre für das gleiche Volumen bei dem Grätz'schen Apparat eine ca. 7mal so grosse Flüssigkeitsoberfläche geboten, als bei der Weber'schen Anordnung einer dünnen Flüssigkeitslamelle. Eine Discontinuität der Wärmeleitung an der Grenze der Flüssigkeit wird dabei also eine viel grössere Rolle spielen. Ausserdem gestattet das zweite Thermometer keine sehr genauen Temperaturangaben; denn der Flüssigkeitsstrahl besteht aus lauter concentrischen Cylindern von verschiedener Temperatur, die sich nach Verlassen der Röhre mehr oder minder vermischen, gibt also bloss einen mittleren Werth, der bei langsamem Strömen auch von der Grösse der Thermometerkugel abhängig ist.

In der folgenden Tabelle ist eine Zusammenstellung der hauptsächlichsten Bestimmungen¹⁾ für die Constante der inneren Wärmeleitung der verschiedenen untersuchten Flüssigkeiten unter Anwendung der Weber'schen Correcturen gegeben.

Es bedeuten Lu Lundquist, Wi Winkelmann Apparat I, We Weber, Lo Lorberg, Ch Chree, Gr Grätz, (DH) De Heen, (Chr) Christiansen, (He) Henneberg, (Jä) Jäger; wobei die Klammern anzeigen sollen, dass die mitgetheilten Werthe relative sind, bezogen auf Wasser = 100.

1) Gänzlich werthlose Resultate sind fortgelassen. Die Lundquist'schen Werthe gebe ich nach Wüllner, Exp. Phys. 3. p. 316. 1885, da mir die Originalarbeit nicht zugänglich.

We* sind absolute Werthe, die Hr. Weber später nach etwas veränderter Methode¹⁾ bestimmte. Zum Vergleich sind noch die Werthe für Quecksilber von An Ångström, Weber und Be Berget hinzugefügt. Alle nicht eingeklammerten Zahlen sind in cm g min ausgedrückt.

Quecksilber: 1,06 (50°) An; 0,9094 (4,5°), 0,9720 (17°) We; 0,925 (4°) Lo; 1,2090 (0°—100°) Be.

Wasser: 0,0937 (40,8°) Lu; 0,0624 Wi; 0,0745 (4°), 0,0857 (23°) We; 0,0816 We*; 0,08317 (4°), 0,09108 (23°) Lo; 0,0747 (18°), 0,0815 (19,5°) Ch; 0,0945 (30°) Gr.

KCl: (20 Proc. 92,0 Jä); spec. Gew. 1,187, 0,0669 Wi.

KClO₃: 0,0695 Gr.

NaCl: spec. Gew. 1,178, 0,0901 (43,9°) Lu; spec. Gew. 1,110, 0,0658 Wi; 0,0692 (4°), 0,0809 (26°) We; 0,0671 Gr; (25 Proc. 93,9, 12,5 Proc. 96,8 Jä).

BaCl₂: (21 Proc. 96,3 Jä).

SrCl₂: (25 Proc. 94,6 Jä).

CaCl₂: (30 Proc. 90,7, 15 Proc. 95,4 Jä).

MgCl₂: (22 Proc. 89,0, 11 Proc. 94,9 Jä).

ZnCl₂: (35 Proc. 83,7, 17,5 Proc. 91,5 Jä).

KNO₃: (20 Proc. 92,2, 10 Proc. 97,4 Jä).

NaNO₃: (44 Proc. 90,4, 22 Proc. 94,1 Jä).

Sr(NO₃)₂: (36 Proc. 92,3 Jä).

Pb(NO₃)₂: (36 Proc. 92,8 Jä).

K₂SO₄: (10 Proc. 99,3 Jä).

Na₂SO₄: (10 Proc. 99,8 Jä).

MgSO₄: (22 Proc. 97,5 Jä).

CuSO₄: 0,0710 We; 0,0922 Gr; (18 Proc. 95,1 Jä).

ZnSO₄: spec. Gew. 1,237, 0,0984; spec. Gew. 1,252, 0,0948; spec.

Gew. 1,382, 0,0948 Lu; 0,0872 (45°) Lu corr. von We; 0,0711, 0,0698, 0,0691 (4°), 0,0776 (23°) We (32 Proc. 91,5, 16 Proc. 95,3 Jä). KHO: (42 Proc. 90,6, 21 Proc. 95,5 Jä).

K₂CO₃: (10 Proc. 97,4 Jä).

Na₂CO₃: (10 Proc. 96,8 Jä).

HCl: (38 Proc. 72,6, 25 Proc. 79,4, 12,5 Proc. 87,0 Jä).

H₂SO₄: spec. Gew. 1,128, 0,0900; spec. Gew. 1,207, 0,0870; spec. Gew. 1,372, 0,0756 Lu; sp. Gew. 1,05, 0,076; spec. Gew. 1,18, 0,078 Ch; (90 Proc. 58,4, 60 Proc. 72,2, 30 Proc. 85,8 Jä); 0,0459 We*.

Methylalkohol: 0,0354 (19,5°), 0,0346 (18°) Ch; (27,34 DH); 0,0297 We*.

Aethylalkohol: spec. Gew. 0,795, 0,0295 Wi; 0,0292 We; 0,0254 We*; 0,0327 Gr; (24,16 DH); (37,08 Chr); (30,09 He).

Propylalkohol: 0,0224 We*.

Butylalkohol (iso): 0,0204 We*.

Amylalkohol: (18,55 DH); 0,0197 We*.

Ameisensäure: 0,0389 We*.

Essigsäure: 0,0283 We*.

Propionsäure: 0,0234 We*.

Buttersäure (norm.): 0,0216 We*.

Isobuttersäure: 0,0204 We*.

Valeriansäure (norm.): 0,0195 We*.

Isovaleriansäure: 0,0187 We*.

Isocaprionsäure: 0,0179 We*.

Methylacetat: (22,06 DH); 0,0231 We*.

1) H. F. Weber, Berliner Berichte p. 809. 1885.

Aethylformiat: 0,0227 We*.	Aethyljodid: 0,0122 We*.
Aethylacetat: (20,00 D H); 0,0209 We*.	Benzol: (19,08 D H); 0,0200 We*.
Propylformiat: 0,0214 We*.	Toluol: 0,0184 We*.
Propylacetat: 0,0196 We*.	Aethylbenzol: (19,68 D H).
Methylbutyrat: 0,0201 We*.	Amylbenzol: (17,26 D H).
Aethylbutyrat: 0,0191 We*.	Xylol: (17,14 D H).
Methylvalerat: (17,63 D H); 0,0189 We*.	Cymol: (15,93 D H); 0,0163 We*.
Aethylvalerat: (17,34 D H); 0,0184 We*.	Amylbromür: (13,75 D H).
Amylacetat: (16,98 D H); 0,0181 We*.	Aether: 0,0243 We; 0,0227 Gr; 0,0182 We*.
Amylvalerat: (16,37 D H).	Schwefelkohlenstoff: sp. Gew. 1,268, 0,0357 Wi; 0,0250 We; 0,0160 Gr; 0,0322 (15,5°) Ch; 0,0206 We*.
Chlorbenzol: 0,0181 We*.	Benzin: 0,0200 We.
Chloroform: 0,0220 We; 0,0173 We*.	Glycerin: sp. Gew. 1,220, 0,0404 Wi; 0,0402 We; 0,0382 Gr; (59,93 Chr); 0,0402 We*.
Chlorkohlenstoff: 0,0151 We*.	Petroleum: 0,0213 Gr.
Propylchlorid: 0,0170 We*.	Paraffinöl: 0,0264 (19°), 0,0273 (20°) Ch.
Isobutylchlorid: 0,0167 We*.	Terpentinöl: 0,0195 Gr; 0,0189 (18°) Ch; 0,0156 We*.
Amylchlorid: 0,0170 We*.	Olivenöl: 0,0235 We; (32,10 Chr).
Brombenzol: 0,0159 We*.	Citronenöl: 0,0210 We; (32,10 Chr).
Aethylbromid: 0,0148 We*.	Senföl: 0,0229 We*.
Propylbromid: 0,0154 We*.	Aethylsulfid: 0,0197 We*.
Isobutylbromid: 0,0167 We*.	Anilin: 0,0245 We*.
Amylbromid: 0,0142 We*.	
Aethyljodid: 0,0133 We*.	
Propyljodid: 0,0132 We*.	
Isobutyljodid: 0,0125 We*.	

§ 2.

Bei der grossen Auswahl von Bestimmungsmethoden erschien es mir interessant zu untersuchen, bei welchen von ihnen die Strömungen in der Flüssigkeit wirklich vermieden werden.

Ich habe daher zuerst die Säulenmethode geprüft, indem ich in einem von oben her erhitzten Becherglas das Fortschreiten der Wärme verfolgte, und bin zu dem Resultat gekommen, dass hier selbst bei möglichst guten Vorkehrungen gegen seitliche Einflüsse Strömungen auftraten. Alle Messungen nach dieser Methode müssen also erst sehr sorgfältigen Prüfungen unterliegen, ehe man sich ihrer zu wirklich genauen Bestimmungen bedienen darf. Offenbar genügen bei der langen und dünnen Flüssigkeitssäule schon sehr geringe Unregelmässigkeiten, sei es in dem Erwärmungsgefäss, sei es im um-

gebenden Mantel, um das statische Gleichgewicht der aufeinander geschichteten Lagen verschiedener Temperatur und daher verschiedenen specifischen Gewichtes zu stören.

Als Lamellenmethode habe ich dann die Weber'sche benutzt und durch Gelatiniren der dadurch am Strömen gehinderten Flüssigkeit untersucht, ob die hier für die Wärmeleitung gefundenen Werthe nicht durch Strömungserscheinungen vergrößert seien. Es existiren darüber meines Wissens noch keine Untersuchungen, nur Beetz hat für seine Methode mit Quittenschleim und Stärkemehl derartige Versuche angestellt. Ich fand, dass der benutzte Abstand der beiden Kupferplatten (ca. 2 mm) versechsfacht werden kann, ohne dass die geringsten Unterschiede in der Leitfähigkeit sich ergaben, die auf eine Strömung hinweisen könnten. Es scheint, dass bei diesem Apparate die hier fortwährend abnehmende geringe Differenz der Temperaturen der beiden Kupferplatten zur Erzeugung von Strömungen nicht genügt.

Mit Benutzung dieser nun als zuverlässig nachgewiesenen Methode suchte ich weiterhin zu finden, ob ein Zusatz eines intensiven Farbstoffes das Leitvermögen des Wassers beeinflusse, habe aber keine Aenderung wahrnehmen können.

Ebenso waren Versuche, eine Beziehung zwischen der Dielectricitätsconstante und dem Wärmeleitvermögen aufzufinden, erfolglos.

Das Hauptresultat meiner Untersuchungen ist daher der Nachweis, dass *die innere Wärmeleitung unabhängig ist von der inneren Reibung in der Flüssigkeit.*¹⁾

Zur weiteren Prüfung habe ich noch eine Reihe von Bestimmungen der inneren Leitfähigkeit für einige Oele und Balsame hinzugefügt.

1) Analoges für die electricische Leitfähigkeit hat ja Arrhenius gezeigt, nämlich dass ein geringer Zusatz von Gelatine ebenfalls ohne Wirkung ist, während freilich später für grosse Quanta eine Beeinflussung nachgewiesen wurde.

§ 3.

Um das Fortschreiten der Wärme in einer Flüssigkeitssäule beobachten zu können, benutzte ich Flüssigkeiten, die mit der Temperatur ihre Farbe ändern.

Eine bei Zimmertemperatur hergestellte sehr verdünnte blaue *Jodstärkelösung* wird ziemlich plötzlich beim Erhitzen farblos, je nach dem Grade der Verdünnung zwischen ca. 30 bis 70° und färbt sich bei Abkühlung wieder blau, jedoch tritt die Blaufärbung erst bei etwas tieferer Temperatur wieder ein. *Eisenchlorid* ist in sehr verdünnter Lösung hellgelb, wird aber bei ca. 80° dunkelbraun. Doch ist der Uebergang ein ganz allmählicher, sodass es sich als zu Beobachtungen untauglich erwies.

In einigen Fällen wurde Wasser mit *Phenolphthalein* versetzt und durch geringen Zusatz von Ammoniak scharlachroth gefärbt. Bei ca. 65° trat Entfärbung ein.

Brauchbar erwies sich *Cyanin*, das mit Spuren von Salzsäure farblos gemacht beim Erwärmen wieder blau wird.

Meine Versuche verliefen nun folgendermaassen: Ein Becherglas wurde mit Jodstärkelösung gefüllt und so aufgestellt, dass sein oberer Rand horizontal war. Darauf wurde als Erwärmungsapparat ein Messingcylinder gesetzt, der oben im Deckel zwei Oeffnungen hatte, durch deren eine ein Dampfstrom eintrat, während durch die andere ein Rohr bis fast auf den Boden des Cylinders ging, um von dort den Dampf wieder austreten zu lassen. Dieser Cylinderboden berührte die ganze Oberfläche der Flüssigkeit und stand auf dem Rande des Becherglases auf. Er wurde vor Beginn jedes Versuches frisch geputzt. Auch benutzte ich zur möglichsten Vermeidung von Luftblasen nur ausgekochtes Wasser.

Wurde der Dampf eingeleitet, so bildete sich mit ziemlich deutlicher horizontaler Grenze eine wasserhelle Schicht, die anfangs regelmässig abwärts fortschritt. Nach etwa einer halben Stunde bildete sich aber eine schwache zweite Grenze unterhalb der ersten, bald entstanden weitere Schichtungen, die Grenzen wurden undeutlich und diejenige Grenzlinie, welche für die gewählte Verdünnung die Entfärbungstemperatur angab, verlor sich.

Da ich die Schichtungen äusseren Einflüssen zuschrieb, so wandte ich die Berget'sche Methode¹⁾ des Schutzringes an, d. h. ich setzte das Becherglas voll Wasser mit Zusatz von Jodstärke in ein zweites Becherglas mit etwas grösserem Durchmesser und füllte dieses mit reinem, ebenfalls ausgekochtem Wasser. Der Erhitzungskessel wurde so gross gewählt, dass sein Boden auf dem oberen Rande beider Gläser aufstand.

Anfangs war das Fortschreiten der Grenzlinie ein regelmässiges. Als Beispiel sei folgender Versuch angeführt:

1892 Feb. 15. Zimmertemp. 17°. Entfärbungstemp. 52°.

Zeit in Min. 0, 5, 15, 25, 35, 45, 55.

Millimeter Abstand von der Oberfläche: 0, 0.6, 0.85, 1.2, 1.5, 1.7, 1.85.

Dann aber trat wieder die Trennung in Bänder ein, die sich jetzt sehr scharf voneinander abhoben und ebenfalls langsam nach unten fortschritten. Wiederholte Versuche, bei denen ich die Dicke des Schutzmantels variierte oder ihn ganz fortlies, zeigten mir, dass die Schichtungen nicht durch seitliche Beeinflussungen, wie die Lage des Fensters etc. hervorgerufen waren; denn je stärker der Schutzring, um so schärfer die Grenzen.

Anzunehmen, dass die Grenzen Wirbelgrenzen seien, lag nahe; auch zeigten sich die blauen Schichtungen an ihren oberen Grenzen entschieden dunkler, waren also dort kühler als an den unteren. Doch habe ich auch unmittelbar wahrnehmbar Wirbelströmungen nachgewiesen. Bei einem Becherglas von 8.2 cm Länge entstand nach anfänglich normalem Fortschreiten der Entfärbungsgrenze genau in der Mitte des Glases eine zweite Grenze in hellerem und dunklerem Blau, welche bei seitlicher Ansicht einfache regelmässige Wellenlinien zeigte, die sich nach 5 Min. sogar zu Maeander-förmigen Windungen ausbildeten.²⁾ Nun denke man sich einen Thermometer an dieser Stelle oder auch einen feinen Bolometerdraht, der mit jeder Windung vier Schnittpunkte haben würde; beide

1) Berget, Compt. rend. 106. p. 1152. 1888.

2) Auf die hydrodynamische Seite dieses Versuches behalte ich mir vor in einer späteren Arbeit zurückzukommen.

vermöchten die Erscheinung gar nicht oder nur sehr undeutlich anzuzeigen, da sie beide nur das Integral der umliegenden Temperaturen geben können.

Ein weiterer Versuch zum Nachweis der Wirbel war folgender: Eine verdünnte Gelatinelösung mit einem Zusatz von eben farblos gewordenem Cyanin wurde in ein Becherglas gefüllt und nach dem Erstarren wie gewöhnlich von oben erhitzt. Jetzt konnten sich keine Schichtungen in Gebieten zeigen, die tiefer lagen, als die zum Schmelzen nöthige Temperatur vorgeדרungen war. Ausserdem war die ganze Flüssigkeit so zäh, dass ich kaum mehr Strömungen erwartete. In der That traten keine Bänder mehr auf, ebensowenig wie bei einem analogen Versuch mit Phenolphthalein. Brachte ich jedoch auf die schon etwas vorgerückte Grenzfläche der geschmolzenen Gelatine gegen die feste ein Tröpfchen intensiv blauer Cyaninlösung, indem ich eine feine Capillare einschob und den Tropfen hinabsinken liess, so zertheilte er sich in feine Fäden, die alle von einem wellenförmigen Wirbel erfasst und auf der Grenzfläche gegen die Mitte fortgeführt wurden.

Ohne Gelatinezusatz bildeten sich in der farblosen Cyaninlösung wieder Bänder gefärbter und also wärmerer Flüssigkeit, ganz ähnlich wie bei der Jodstärkelösung.

Um über die Natur des Wirbels ins Klare zu kommen und zu sehen, ob die Schichtungen vielleicht durch chemische Veränderungen in den Lösungen entstanden seien, habe ich noch eine Reihe von Versuchen mit reinem Wasser gemacht, dem ich, um die Strömungen verfolgen zu können, einige Tropfen Anilinroth hinzusetzte. Ein Becherglas mit oben abgeschliffenem Rand wurde in das gewöhnliche Mantelglas gesetzt; doch hatte ich beide nicht ganz mit Wasser gefüllt, vielmehr zu oberst eine dünne Schicht Knochenöl gegossen. In das Oel gebrachte Tropfen der Anilinrothlösung sanken bloss bis an die Grenzschicht und drangen erst bei beginnender Erhitzung in das Wasser ein. Bei wenig Farbstoff bildeten sich ebenfalls wieder Bänder. Während aber bei Jodstärkelösung die Farbenbänder nicht bis dicht an den Rand des Becherglases gingen, vielmehr eine farblose, d. h. heissere Schicht sich dort zeigte, die an den Stellen, wo zwei Bänder einander berührten, sogar etwas zwischen sie hineindrang, so trat dies-

mal das Umgekehrte auf, weil die farbigen Streifen die heisse-
ren waren.

Unter Anwendung von soviel Farbstoff, dass er vor Beginn der Erwärmung die Grundfläche der Knochenölschicht bedeckte, stellte sich schliesslich die Natur der Wirbel wie in Fig. 1 dar. Die weiss gebliebenen Theile sind die bei der Jodstärke auftretenden Bänder. Uebertrieben gezeichnet scheinen sich die einzelnen Schichten wie in Fig. 2 aufeinander zu legen.

Fig. 1.

Fig. 2.

Schliesslich soll noch eines Versuchs Erwähnung geschehen, der angestellt wurde, um die Erscheinungen nächst dem Boden des Becherglases zu prüfen: Es wurden drei auf Siegellackfüssen central ineinander gestellte Bechergläser mit oben abgeschliffenen in einer Horizontalebene liegenden Rändern verwendet. Die beiden Schutzmäntel enthielten Wasser, oben mit einem Oelring; der innersten Becherfüllung war noch etwas Alkohol zugesetzt, um eine auf dem Boden des innersten Glases eingedampfte blaue Cyaninlösung leichter wieder aufzulösen. Es bildete sich bei längerem ruhigem Stehen auf dem Boden eine dünne Schicht von intensiv blauer Farbe.

In das Oel, das auch hier den oberen Abschluss bildete, hatte ich wie früher etwas Anilinroth gebracht, um die in den früheren Versuchen regelmässig auftretenden Bänder wieder beobachten zu können. Nach einer halben Stunde zeigte sich über der farbigen Bodenschicht ein Band und zehn Minuten darauf hatte sich zwischen beiden eine blaue Verbindung mit einer tiefen Einschnürung in der Mitte gebildet. Offenbar war am Rand ein ringförmiger Wirbel, wie der Rauchring einer Cigarre, entstanden, der keine Farbe in sich hineinliess, wohl aber, da er aussen nach unten und innen nach oben ging, die blaue Farbe innen mit heraufriess, sodass sich ein Mantel bildete.

Durch diese Versuche scheint mir die Schwierigkeit strömungsfreier Erwärmung einer längeren Flüssigkeitssäule hinlänglich dargethan und der Nachweis gebracht zu sein, dass

die auftretenden Schichtungen auf innere Wirbel zurückzuführen sind.

§ 4.

Hr. H. F. Weber¹⁾ hat eine Methode angegeben, die die Messung der inneren Wärmeleitung an Flüssigkeitslamellen gestattet. Er nimmt zwei genau eben geschliffene cylindrische Kupferplatten, trennt sie durch drei kleine Glasklötzchen und füllt den so entstandenen Zwischenraum durch eine Oeffnung in der oberen Platte mit Flüssigkeit. Dies genau horizontal aufgestellte Plattensystem wird, nachdem es in seiner ganzen Masse von der Zimmertemperatur durchdrungen ist, auf eine horizontal abgeschliffene Eisplatte herabgesenkt und mit einer Hülle von 0° umgeben; den Verlauf der Abkühlung zeigt ein in die obere Kupferplatte eingelassenes Thermoelement, dessen andere Löthstelle auf 0° gehalten wird. Hieraus berechnet sich die Constante der inneren Wärmeleitung.

Leider fehlt eine Beschreibung der zum Aufhängen wie Herablassen nöthigen Vorrichtungen. Ich habe mir daher folgenden Apparat construirt.

Eine gleichseitig dreieckige gusseiserne Platte (*a*) (Fig. 3) von 30,5 cm Seitenlänge und 1 cm Stärke war an ihren Ecken mit drei 23,5 cm hohen und 1,3 cm dicken Füßen versehen und trug im Mittelpunkt einen rechteckigen 11 cm hohen, 1,5 cm breiten und 1 cm dicken Messingstab (*b*), der senkrecht nach oben stand. Eine daraufgepasste messingene Hülse (*c*) mit Schleiffeder und Vorrichtung zum Einschnappen bei höchster Stellung liess sich an dem Messingstab verschieben und war an ihrem unteren Ende mit einer Messingscheibe von 6 cm Durchmesser versehen. Auf dieser Scheibe schloß eine in der Mitte 3 cm weit durchbohrte zweite dreieckige Eisenplatte (*d*), die von drei Schrauben festgehalten wurde und durch drei Ausschnitte einen Spielraum zur Drehung um die Verticalaxe erhielt. Zwei Messinggriffe (*e e*) erleichterten die Bewegung. In je 15 cm Abstand voneinander waren an den drei Ecken dieser kleineren Eisenplatte drei 15 cm lange und 0,2 cm starke Drahtstäbe (*f*) eingelassen und mit Doppel-

1) H. F. Weber, Wied. Ann. 10. p. 107. 1880.

schrauben verstellbar gemacht. Unten trugen sie je ein 1,5 cm breites und 0,1 cm dickes Messingscheibchen, auf welches je einer der drei gleich zu erwähnenden Zapfen der unteren Kupferplatte (*h*) aufgelegt werden konnte. Für die Drahtstäbe und ihrer Drehung des oberen Eisendreiecks entsprechende seitliche Bewegung waren in dem Hauptdreieck Schlitzte angebracht. Dieser ganze so montirte Dreifuss konnte auf drei mit einer Steinplatte fest verbundene Unterlegplatten gestellt werden.

Fig. 3.

Die Kupferplatten (*g*, *h*) selbst waren mit einem grossen Ansatzkopf gegossen, um das Auftreten innerer Blasen möglichst zu verhindern. Nachdem sie glatt gedreht waren, erhielt die zur oberen Platte bestimmte eine centrale Durchbohrung von 0,1 cm Stärke, die später für die Einfüllung der zähen Balsame bis auf 0,3 cm vergrössert wurde. Die untere liess ich an der Peripherie mit drei dünnen kurzen Zapfen versehen, mit denen ich sie anfänglich direct auf die oben erwähnten Scheibchen legte. Beim Herabsenken auf die Eisplatte lag die Kupferplatte eher auf, als die Scheibchen berührten, und diese konnten dann, wie oben beschrieben, seitlich unter den Zapfen hinweggedreht werden. Später hängte ich die Zapfen in Seidenfadenringe, die über die Scheibchen gelegt waren und nach der Berührung der Platte mit der Eisfläche herabfielen. Doch war auch dann noch die Möglichkeit einer seitlichen Bewegung der Drahtstäbe von Werth, schon um bei dem schnellen Fortnehmen des Dreifusses nach Herablassen des Plattensystems Verwickelungen mit den Drähten des Thermoelements (*z*) zu vermeiden. Zur Beobachtung der Temperaturen war nämlich nach Hrn. Weber's Vorbild nahe der centralen Durchbohrung ein Thermoelement in die obere Platte eingelöthet. Ich benutzte dünne Drähte von Eisen und Neusilber und liess die andere Löthstelle in ein mit Petro-

leum gefülltes Röhrchen tauchen, das in schmelzendem Eis stand (*k*).

Der Radius der Kupferplatten beträgt 8,0368 cm, die obere Platte hat ein Gewicht von 1737,4 g und eine Dicke von 0,9895 cm, ihre Gesamtoberfläche beträgt also 455,82 cm². Die Dicke der unteren Platte ist 0,5598 cm. Die beide Platten trennenden Glasklötzchen haben eine Dicke von 0,219 cm. Die spezifische Wärme des Kupfers habe ich zu 0,0932 angenommen und das spezifische Gewicht der von mir verwandten Sorte zu 8,71 bestimmt.

Der unterzulegende Eisklotz wurde auf einer zweiten Steinplatte vorbereitet. Dort befanden sich für eine runde Eisenscheibe (*l*) mit Fortsätzen für drei verstellbare Füße drei Unterlegplatten, die ebenso horizontirt waren, wie drei entsprechende, die ich auf dem ersten Stein zwischen den für den Dreifuss bestimmten angebracht hatte. Eine Horizontalstellung der Eisenscheibe auf dem zweiten Stein stellte diese dann auch für den ersten sicher. Diese Eisenscheibe sollte auf ihrer Oberfläche die Eisplatte tragen und erhielt noch drei Zacken, um das Herabgleiten des Eises zu verhindern. Die Abstände der Fusschrauben voneinander betrugen nur 25 cm, so dass die Scheibe (*l*) mit horizontirtem Eisklotz im letzten Moment zwischen zwei der 30 cm voneinander abstehenden Beine des Dreifusses bequem hineingeschoben werden konnte.

Mit einem Durchmesser von ca. 50 cm war um die zweimal drei Unterlegplatten auf dem Stein ein Ring (*m*) von Filz geklebt, der nur an einer Stelle eine Durchbrechung erlitt für zwei dicke Kupferdrähte, die zum Platze des Beobachters gingen, dort in einen Stromwender und dann weiter zu einem aperiodischen Wiedemann'schen Galvanometer geführt waren. An die Kupferdrähte waren gleich innerhalb des Filzringes die zwei dünnen Eisendrähte des Thermoelements angelöthet. Alle Löthstellen, die hätten Beeinflussungen der Resultate hervorrufen können, sollten nämlich innerhalb des Filzringes bleiben, weil auf diesen ein doppelwandiger Kupfermantel (Fig. 4) mit Füllung von schmelzendem Eis aufgesetzt wurde, um eine gleichmässige Temperatur von 0° herzustellen, sobald ein Versuch begann. Der Kupfermantel war nach Hrn. Kro-

nauer's¹⁾ Vorgang doppelwandig gewählt, hatte 44 cm inneren und 49 cm äusseren Durchmesser und es befanden sich an seiner Oberfläche drei grosse mit Korken verschliessbare Oeffnungen für die Füllung.

Der einzelne Versuch verlief nun folgendermaassen: Die Platten wurden frisch gereinigt und die untere in den Dreifuss mit dem verschiebbaren Dreieck in Hochstellung eingehängt, danach die obere Kupferplatte mit Dazwischenlegung der drei Glasklötzchen darauf gebracht. Das so aufgehängte Plattensystem stellte ich genau horizontal und füllte den Zwischenraum mit Flüssigkeit. Während

Fig. 4.

es der Einwirkung der Zimmertemperatur überlassen blieb, bereitete ich den Eisklotz vor und schob ihn dann unter die Kupferplatten. Diese wurden herabgelassen, die obere Eisenplatte wieder hochgehoben, der Dreifuss fortgenommen und der Eismantel über das Plattensystem gestülpt. Den Verlauf der Abkühlung beobachtete ich dann von 10 Sec. zu 10 Sec. mit dem Ablesefernrohr am Galvanometer. Von der Proportionalität von Temperaturdifferenz und Galvanometerausschlag innerhalb des benutzten Bereiches hatte ich mich durch besondere Vorversuche überzeugt. Zum Zweck grösserer Constanz war die Kupferplatte mit dem Thermoelement vor den Versuchen wiederholt grossen Temperaturwechseln unterworfen worden. Ausserdem wurde nach jedem Versuch, später nur nach mehreren die Grösse des Auschlags mit einem Greiner'schen Normalthermometer verglichen.

§ 5.

Die Berechnung der Weber'schen Beobachtungen ist von Hrn. Lorberg²⁾ einigen Correcturen unterworfen worden und

1) H. Kronauer, Das innere Wärmeleitungsvermögen von Blei, Wismut und Wood's Metall. Diss. 1880.

2) Lorberg, Wied. Ann. 14. p. 291. 1881.

ich habe mich daher seiner verbesserten Formeln bedient. Lorberg leitet für das innere Wärmeleitungsvermögen k folgende Gleichung ab:

$$a^2 = \frac{k}{\zeta} = \frac{\xi^2 \mu^2}{q_0^2} \frac{1 - \frac{1}{N\mu^2} \left[\left(\frac{2}{\varrho} + \frac{1}{\xi_1} \right) \frac{h_1}{\zeta_1} + \frac{1}{3} \mu^2 \xi_1 \frac{h_1}{k_1} + (N-1) \frac{2}{\varrho} \frac{h}{\zeta} \right]}{1 - \xi_1^2 \frac{\zeta_1}{k_1} \frac{\mu^2}{N} \left[\frac{1}{3} + \alpha \left(1 + \frac{\alpha^2}{q_0^2} \right) \right]}$$

Hierin ist

ϱ = Radius der Kupferplatte = 8,0368 cm

ξ = Dicke der Flüssigkeitsschicht = 0,219 cm

ξ_1 = Dicke der oberen Kupferplatte = 0,9895 cm

$\alpha = \frac{\text{Dicke der unteren Kupferplatte}}{\text{Dicke der oberen Kupferplatte}} = 0,5657$

c = spec. Wärme der Flüssigkeit } $\zeta = c \cdot s$
 s = Dichtigkeit „ „ }

Speciell für Wasser $c = 1$ } $\zeta = 1$
 $s = 1$ }

c_1 = spec. Wärme des Kupfers = 0,0932 } $\zeta_1 = c_1 \cdot s_1 = 0,8118$
 s_1 = Dichte des Kupfers = 8,71 }

$\alpha = \frac{\zeta}{\xi_1 \xi_1}$. Für Wasser $\alpha = 0,2726$

q_0 = erste Wurzel aus der Gleichung $q \operatorname{tg} q = \alpha$

Für Wasser $q_0 = 0,2497$

$N = \frac{1 + \alpha}{2} + \frac{q_0^2}{2\alpha} = 1,0943$ für Wasser

k_1 = innere Leitfähigkeit des Kupfers = 50

h = äussere Leitfähigkeit der Flüssigkeit

h_1 = äussere Leitfähigkeit des Kupfers. Sie wurde nach Weber's Methode¹⁾ wiederholt bestimmt und ergab 0,004, während Weber 0,006 findet. Die benutzte Formel ist

$$\log \left(\frac{x_0}{x} \right) \frac{h_1 o}{M_1 c_1} \cdot t$$

worin die x = Galvanometerausschläge

o = Oberfl. der oberen Kupferplatte = 455,82

M_1 = Masse der oberen Kupferplatte = 1737,4

t = Zeit = 1, da die Berechnungen auf die Zeiteinheit reducirt wurden.

1) H. F. Weber, l. c. p. 128.

Bei meinen Dimensionen ergab sich aus diesen Werthen für Wasser die Formel:

$$a^2 = \frac{k}{\zeta} = \frac{0,19206 \mu^2 - 0,00109 - 0,0045 \frac{h}{\zeta}}{1 - 0,01579 \mu^2}$$

Die Differenzen der Logarithmen zweier um eine Minute voneinander getrennter Galvanometerablesungen ergeben dann die Gleichung¹⁾

$$^{10}\log x_n - ^{10}\log x_{n+1} = M\mu^2$$

worin $M = 0,43429$ der Modul der dekadischen Logarithmen ist. Ich beobachtete aber alle 10 Secunden, also sind die Differenzen der Logarithmen zweier bei mir aufeinander folgenden Galvanometerausschläge $= \frac{1}{6} M \mu^2$.

Meine ersten Versuche waren Wiederholungen der Weber'schen Bestimmungen der inneren Wärmeleitung für Wasser.

Als Mittel aus mehreren Bestimmungen ergibt sich für eine Mitteltemperatur von $4,1^\circ$

$$k = 0,07742.$$

Da ich im Zweifel war, ob die so erhaltenen Werthe nicht vielleicht durch Strömungen vergrößert seien, so setzte ich dem Wasser etwa 1 Proc. Gelatine zu, eine gerade hinreichende Menge, um die Flüssigkeit zum Erstarren zu bringen. Gleich die erste Versuchsreihe ergab für

$$\frac{1}{6} M \mu^2 = 0,02990$$

und hieraus

$$k = 0,07876.$$

Dies ist fast genau derselbe Werth, wie ich ihn bei meinem ersten Versuche mit reinem Wasser fand.

Folgende war nämlich meine erste Beobachtungsreihe:

1) Lorberg, l. c. p. 437.

1892 Mai 30. Wasser 0,219 cm dicke Schicht.

Galvanometer- ausschlag x (mm)	Temperatur t	$^{10} \log x_n$	$\log \frac{x_n}{x_{n+1}}$
142,0	15,0°	2,15 229	0,02 551
133,9	14,2°	2,12 678	0,03 371
123,9	13,1°	2,09 307	0,03 313
114,8	12,2°	2,05 994	0,03 056
107,0	11,3°	2,02 938	0,02 765
100,4	10,6°	2,00 173	0,03 231
93,2	9,8°	1,96 942	0,03 040
86,9	9,2°	1,93 902	0,03 161
80,8	8,5°	1,90 741	0,02 889
75,6	7,9°	1,87 852	0,02 972
70,6	7,4°	1,84 880	0,02 926
66,0	7,0°	1,81 954	0,03 066
61,5	6,5°	1,78 888	0,02 997
57,4	6,0°	1,75 891	0,02 813
53,8	5,7°	1,73 078	0,02 921
50,3	5,3°	1,70 157	0,03 132
46,8	5,0°	1,67 025	0,02 878
43,8	4,7°	1,64 147	0,03 081
40,8	4,3°	1,61 066	0,02 860
38,2	4,0°	1,58 206	0,02 939
35,7	3,8°	1,55 267	

Mitteltemperatur 4,1°

$$0,02\,998 = \frac{1}{6} M \mu^2$$

also ist:

$$\mu^2 = 0,17\,988$$

und hieraus

$$k = 0,07\,898 - 0,0042\,h.$$

Aus einem anderen Versuche für 1 proc. Gelatine ergibt sich

$$k = 0,07\,750$$

d. h. fast genau gleich dem vorhin für Wasser angegebenen Mittelwerth.

Nimmt man freilich einen starken Zusatz von Gelatine, so macht sich eine Verringerung des Leitungsvermögens geltend. So fand ich bei 5 Proc. nur noch

$$k = 0,06\,943.$$

Immerhin war es mir aber sehr überraschend, dass die Veränderung der Zähigkeit (die Vergrösserung der inneren Reibung) so gänzlich ohne Einfluss blieb. Um mich zu überzeugen, dass nicht etwa bloss die Dünnhheit der untersuchten Schicht die Wahrnehmung erschwere und gleichzeitig um zu prüfen, ob die Grenze, bei der Strömungen innerhalb der

Flüssigkeit leicht eintreten, schon bei geringer Dicke erreicht sei, vergrößerte ich den Plattenabstand auf 0,666 cm. Um das Auslaufen des Wassers zu verhindern, umgab ich die untere Kupferplatte mit einem Ring von Guttaperchapapier, der bis etwas unterhalb der oberen Platte reichte und an der unteren Platte mit Chloroform angeklebt wurde.

Die Mitteltemperatur musste jetzt auf 8,5° erhöht werden, um nicht zu kleine Ausschläge berücksichtigen zu müssen, da der Abfall der Temperatur ein viel langsamerer geworden war. Als Beispiel führe ich diesmal einen Versuch mit 1 $\frac{1}{2}$ proc. Gelatinezusatz an. Beobachtet wurde wieder alle 10 Sekunden.

1892 Juli 1. Gelatine 1,5 Proc. 0,666 Dicke.

Galvanometer- ausschlag x (mm)	Temperatur t	$^{10} \log x_n$	$\log \frac{x_n}{x_{n+1}}$
252,9	22,3°	2,40 295	0,00 797
248,3	21,9°	2,39 498	
244,2	21,5°	2,38 775	723
239,7	21,2°	2,37 967	808
235,6	20,8°	2,37 218	749
231,4	20,4°	2,36 436	782
227,1	20,0°	2,35 622	814
223,1	19,7°	2,34 850	772
219,2	19,4°	2,34 084	766
215,4	19,0°	2,33 325	759
211,4	18,6°	2,32 510	815
207,5	18,3°	2,31 702	808
203,3	17,9°	2,30 814	888
199,9	17,7°	2,30 081	733
195,9	17,3°	2,29 203	878
192,1	17,0°	2,28 353	850
188,6	16,7°	2,27 554	799
185,4	16,4°	2,26 811	743
182,1	16,1°	2,26 031	780
178,5	15,7°	2,25 164	867
175,5	15,5°	2,24 428	736
172,1	15,2°	2,23 578	850
168,8	15,0°	2,22 737	841
165,6	14,7°	2,21 906	831
162,1	14,3°	2,20 978	928
158,9	14,1°	2,20 112	866
155,9	13,8°	2,19 285	827
153,0	13,5°	2,18 469	816
149,9	13,3°	2,17 580	889
146,9	13,0°	2,16 702	878
144,1	12,7°	2,15 866	836
141,1	12,5°	2,15 045	821
139,0	12,3°	2,14 301	744

Mitteltemperatur 8,5°

$$0,00\ 812 = \frac{1}{6} M \mu^2$$

Hieraus ergibt sich

$$\mu^2 = 0,04874.$$

Ein analoger Versuch mit reinem Wasser lieferte

$$\mu^2 = 0,04979.$$

Rechnet man die Lorberg'sche Formel für diese Dicke von 0,666 cm aus und bestimmt danach k , so ergibt sich aus obigen Werthen

für Wasser: $k = 0,07568 - 0,0398 h$,

für $1\frac{1}{2}$ proc. Gelatine: $k = 0,07402 - 0,0398 h$.

Streng genommen darf man überhaupt die Formel in dieser Gestalt nicht mehr anwenden, denn es besitzt die Dicke der Schicht nicht mehr die von der Theorie geforderte Kleinheit gegenüber der Dicke der oberen Kupferplatte. Ausserdem spielt die seitliche Ausstrahlung eine nicht mehr zu vernachlässigende Rolle. Wie sich die von der Formel ohne Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte gelieferten Werthe ändern, davon geben Versuche mit abermals vergrößerter Schichtdicke Zeugniß.

Bei einem Plattenabstand von 1,209 cm fand ich z. B. für Wasser:

Juli 8. $k = 0,06592 - 0,1238 h$.

Der Werth von μ^2 ergab sich dabei zu

$$\mu^2 = 0,05496,$$

während ein Versuch mit $1\frac{1}{2}$ proc. Gelatine bei derselben Dicke

Juli 11. $\mu^2 = 0,05496$,

also genau denselben Werth aufwies.¹⁾

Wenn auch natürlich diese haarscharfe Uebereinstimmung nur als Zufall bezeichnet werden darf, so zeigt sich doch deutlich darin, dass weder Strömungen im reinen Wasser gewesen sein können, noch die Vergrößerung der Reibung das Wärmeleitungsvermögen beeinflusst.

Einen Versuch möchte ich noch anführen, der den Einfluss der Zähigkeitsänderung deutlich hätte zeigen müssen.

1) Bei dieser Schichtdicke genügte es, wenn die Ablesungen am Galvanometer alle 30 Sec. vorgenommen wurden.

Bei einer Schichtdicke von 0,666 cm verfolgte ich die Abkühlung einer so dünnen Gelatinelösung, dass sie bei Beginn des Versuches noch flüssig war und erst während der Abkühlung erstarrte. Eine Aenderung des Leitvermögens hätte sich durch Aenderung der Differenzen der Logarithmen der Galvanometerausschläge sofort gezeigt. Ihre Constanz im Verlauf des ganzen Versuches bewies wieder die *Unabhängigkeit von der inneren Reibung*.

Gleichzeitig ergibt sich aus diesen Versuchen, dass die Weber'sche Methode von Strömungseinflüssen frei ist.

§ 6.

Ferner suchte ich über die Frage, ob Wärmeleitung eine *Strahlung* von Molecül zu Molecül sei, Aufschluss zu erhalten, indem ich Wasser durch Zusatz geringer Mengen von intensiven Farbstoffen (z. B. Nigrosin) färbte. Eine Aenderung der Leitfähigkeit würde ein Beweis für die Strahlung sein, indem ein farbiges Molecül anders leitete, als ein ungefärbtes. — Die Dicke der untersuchten Schicht betrug 1,209 cm, die Galvanometerablesungen geschahen jede halbe Minute. Es ist mir indessen nicht gelungen, einen Unterschied zu finden. Zwei aufeinander folgende Versuche ergaben z. B.

Juli 18. Wasser mit Zusatz von Nigrosin

$$\mu^2 = 0,05\ 669.$$

Juli 19. Reines Wasser

$$\mu^2 = 0,05\ 549.$$

Eine die Versuchsfehler übersteigende Differenz hätte hier eine Entscheidung zu bringen vermocht, diese Uebereinstimmung der beiden Werthe aber löst die Frage nicht. Auch war dies negative Resultat von vornherein wahrscheinlich. Fasst man nämlich die Leitung als einen gesonderten Begriff auf, so würde kaum durch einen minimalen Zusatz einer fremden Substanz eine Aenderung hervorgerufen werden können. Andererseits, wenn Leitung Strahlung von Molecül zu Molecül ist, so war ebenfalls nur eine geringe Beeinflussung zu erwarten, da Wasser ja schon an und für sich die Wärmestrahlung in so hohem Grade absorbirt, man möchte sagen, für Wärmestrahlen dunkel ist. Es könnte dann also viel eher das Wasser als Färbstoff für Wärmestrahlung benutzt werden.

Weiterhin schien sich bei einer ersten Zusammenstellung von Flüssigkeiten, deren inneres Wärmeleitungsvermögen und deren Dielectricitätsconstante bekannt sind, eine umgekehrte Proportionalität zwischen beiden zu ergeben; bei eingehenden Vergleichen konnte indessen diese Beziehung nicht aufrecht erhalten werden.

§ 7.

Zum Schluss habe ich noch bei zehn Oelen und Balsamen die Constante k der inneren Wärmeleitung bestimmt, um nochmals die Unabhängigkeit von der Zähigkeit zu prüfen.

Die Constanten des Apparates waren dieselben, wie bisher, nur betrug jetzt die Dicke der Schicht 0,220 cm statt 0,219 cm. Auch erfolgte die Berechnung wieder nach der p. 20 angegebenen Formel, bei deren Anwendung die Kenntniss des specifischen Gewichtes s und der specifischen Wärme c erforderlich war. Die specifischen Wärmen bestimmte ich nach der Kopp'schen Erkaltungsmethode und benutzte die Mittelwerthe aus je drei Messungen.

So erhielt ich $\zeta = c \cdot s$ und leitete daraus jedesmal α , q_0^2 und N ab. Der Werth des Correctionsgliedes für die äussere Wärmeleitung der Flüssigkeit kann bei der dünnen Schicht wieder ausser Rechnung gelassen werden; er beträgt z. B. für Olivenöl:

$$0,0041 k.$$

In der folgenden Tabelle habe ich meine Resultate zusammengestellt. Darin bedeutet s das specifische Gewicht, c die specifische Wärme, $M\mu^2$ den sechsfachen Mittelwerth der Differenzen der Logarithmen der von mir beobachteten Ausschläge des Galvanometers (vgl. p. 173) und k ist die mit Hülfe dieser Werthe abgeleitete Constante der inneren Wärmeleitung.

Substanz	s	c	$M\mu^2$	k
Balsamum Copaivae	0,985	0,345	0,03 951	0,0155
Balsamum Canadense.	0,989	0,349	0,03 958	0,0155
Oleum Nucistae (express.)	0,943	0,408	0,05 258	0,0211
Oleum Arachis	0,915	0,385	0,05 659	0,0227
Oleum Amygdalarum dulcium Germanicum	0,915	0,397	0,05 882	0,0237
Oleum Olivarum Provinciale (Vierge) . .	0,912	0,396	0,05 891	0,0237
Oleum Sesami	0,922	0,387	0,05 894	0,0237
Oleum Papaveris	0,919	0,337	0,05 919	0,0237
Oleum Amygdalarum dulcium verum				
Angelicum	0,918	0,353	0,06 055	0,0243
Oleum Ricini.	0,961	0,434	0,06 268	0,0255

Nun war aber im Temperaturbereich meiner Untersuchungen Oleum Nucistae fest, Balsamum Canadense sehr zähflüssig, Balsamum Copaivae leichter fließend; weiter wäre Ricinusöl anzuschliessen, das aber noch wesentlich schwerflüssiger war, als die anderen Oele. Dass sich die Reihenfolge bei Ordnung nach dem Wärme-Leitvermögen ganz anders ergibt, scheint mir die Unabhängigkeit von der inneren Reibung zu beweisen.

Untersucht war bisher nur das Olivenöl, für welches Hr. Weber $k = 0,0235$ ermittelt hat, und mein Resultat $k = 0,0237$ stimmt mit diesem Werth sehr gut überein.

Vorliegende Arbeit habe ich auf Anrathen des Hrn. Geheimrath Wiedemann unternommen, dem ich auch für die vielfache gütige Unterstützung während ihres Verlaufes zu aufrichtigstem Danke mich verpflichtet fühle.

Leipzig, Physikalisches Institut, 1892 October 15.