

Über eine verbesserte Methode, Wärmecapacitäten mittelst des elektrischen Stromes zu bestimmen

von

L. P f a u n d l e r,
w. M. k. Akad.

(Mit 1 Tafel.)

Im Jahre 1869 habe ich in diesen Berichten¹ eine neue Methode zur Bestimmung der Wärmecapacität von Flüssigkeiten beschrieben, welche auf dem Joule'schen Gesetze beruht, wonach ein und derselbe Strom in hintereinander geschalteten Drahtspiralen Wärmemengen entwickelt, welche den Widerständen dieser Spiralen proportional sind.

Tauchen die beiden Spiralen in gewogene Mengen m und m' von Flüssigkeiten, welche in Calorimetern enthalten sind, deren Wasserwerthe inclusive Rührer, Thermometer und Spiralen mit w und w' bezeichnet werden; sind ferner r und r' die Widerstände dieser Spiralen, Δt und $\Delta t'$ die corrigirten Temperaturanstiege, endlich c und c' die Wärmecapacitäten der Flüssigkeiten, so gilt die Proportion:

$$(mc + w)\Delta t : (m'c' + w')\Delta t' = r : r'$$

Ist die eine Capacität c , z. B. die des Wassers, bekannt, so erhält man für die andere den Ausdruck:

$$c' = \frac{r'}{r} \frac{\Delta t}{\Delta t'} \frac{(mc + w)}{m'} - \frac{w'}{m'}$$

Die Methode wird am einfachsten, wenn man die Widerstände r und r' einander gleich macht. Ich habe in der citirten

¹ Über eine neue Methode zur Bestimmung der Wärmecapacität von Flüssigkeiten, diese Berichte, 1869.

Abhandlung gezeigt, wie man durch successive Vertauschung der Spiralen und der Thermometer kleine Unterschiede in den Widerständen und in den Angaben der Thermometer eliminiren kann.

Sind die Wärmecapacitäten der beiden Flüssigkeiten sehr verschieden, so fallen bei Anwendung gleicher Flüssigkeitsmengen und gleicher Widerstände die Temperaturanstiege sehr ungleich aus, wodurch die Genauigkeit leidet, und zwar einmal, weil sich die Fehler bei der Correction wegen der Wärmeverluste an die Umgebung weniger leicht eliminiren lassen, insbesondere aber deshalb, weil das Verhältniss der Widerstände der Spiralen durch die verschiedene Temperaturhöhe geändert wird. Ich habe zwar darauf hingewiesen, dass der letztere Fehler durch eine Correction mit Hilfe des bekannten Temperaturcoefficienten des Metalles der Spiralen beseitigt werden kann und dass man ausserdem beide Missstände dadurch vermeidet, indem man durch passende Wahl der Flüssigkeitsmengen oder des Widerstandsverhältnisses die Temperaturanstiege nahe gleich macht.

Ein wesentlicher Nachtheil der Methode bestand aber darin, dass sie nur auf nicht leitende oder doch sehr wenig leitende Flüssigkeiten, wie Wasser, Anwendung finden konnte, da sonst Nebenschlüsse durch die Flüssigkeit und elektrolytische Prozesse störend einwirken.

Einige Jahre später hat zwar Jamin unabhängig von mir eine ähnliche Methode beschrieben, bei welcher dieser Nachtheil nicht auftritt, indem die stromführenden Drähte an der Aussen- seite des Calorimeters isolirt aufgewickelt waren. Selbstverständlich gewährt diese letztere Methode eine viel geringere Genauigkeit, da bei ihr unbestimmbare Mengen von Wärme nach aussen verloren gehen.

Meine Methode wurde meines Wissens bisher nur noch von Dr. Lecher,¹ und zwar zur Untersuchung der Wärmecapacitäten von Methylalkohol-Wassergemischen angewendet.

Ich habe leider viele Zeit damit verloren, die Methode dadurch auch für leitende Flüssigkeiten zugänglich zu machen, indem ich versuchte, die Drahtspiralen mit isolirenden Überzügen zu versehen. Dieselben wurden stets bald theils durch den Strom

¹ Diese Berichte, 1877.

selber, theils durch die Wärme oder chemische Einwirkung elektrisch undicht gemacht.

Neuerlich habe ich aber mit bestem Erfolge die Drahtspiralen durch dünnwandige Glasspiralen mit Quecksilberfüllung ersetzt, so dass jetzt die Methode für alle Flüssigkeiten ausser Flusssäure und Fluorsalzlösungen anwendbar ist.

Die Anwendung des die Wärme schlecht leitenden Glases als Umhüllung des Leiters liess jedoch befürchten, dass die Temperatur desselben von jener, welche das in die Flüssigkeit getauchte Thermometer anzeigt, merklich verschieden sein werde, so dass die Anbringung der Temperaturcorrection an den Widerständen der beiden Spiralen eine Unsicherheit mit sich bringt, welche der Genauigkeit der Methode Abbruch thun muss. Es war dies umso mehr zu besorgen, als anderseits ziemlich starke Ströme angewendet werden mussten, um die Zeit der Erwärmung abzukürzen.

Dazu kommt noch die weitere Erwägung, dass durch die Ausdehnung des Glases Änderungen des Querschnittes und damit bedeutendere Änderungen des Widerstandes eintreten müssen, welche sich bei beiden Spiralen nicht genau compensiren, da es nicht möglich ist, sie genau gleich anzufertigen.

Ich habe desshalb den weiteren Kunstgriff angewendet, das Widerstandsverhältniss der beiden Spiralen während der ganzen Zeit des Stromdurchganges zu controliren, beziehungsweise zu messen, indem ich die Spiralen als Zweige einer Wheatston'schen Brückenvorrichtung in den Strom einschaltete.

Dabei bieten sich noch zwei Modificationen der Versuchsanordnung dar. Bei der ersten werden die Widerstände der Spiralen auf constantem Verhältnisse erhalten, indem man durch Einschleiben von Glasfäden in die geradlinigen Enden der Spiralen eine Querschnittänderung des Quecksilbers bewirkt, wodurch der Ausschlag des Brückengalvanometers auf Null erhalten wird.

Bei der zweiten Modification lässt man die Änderungen der Widerstände uncompensirt, misst aber ihr Verhältniss in gleichen kleinen Zeitintervallen während des Stromdurchganges, indem man den Brückencontact entsprechend verschiebt und abliest. Die erstere Modifikation ist theoretisch vollkommener, da sie von

der Constanz des Stromes unabhängig ist; die zweite ist experimentell leichter auszuführen. Beide Modificationen habe ich sowohl mit Gleichstrom als mit Wechselstrom durchprobirt, wobei im ersten Falle ein Projectionsgalvanometer, im zweiten ein Dynamometer oder (bequemer) ein Telephon angewendet wurde.

Die Methode erwies sich nach diesen Anordnungen als so genau, dass sie die Genauigkeit der Quecksilberthermometer bei weitem überholte. Jeder erfahrene Physiker weiss, dass die letzteren, auch wenn sie in Zehntelgrade getheilt sind, keine grössere Genauigkeit als etwa $\frac{2}{100}^{\circ}$ gewährleisten, so dass also die Differenz der Angaben zweier Thermometer im ungünstigsten Falle um $\frac{4}{100}^{\circ}$ unrichtig sein kann. Bei einem Temperaturanstiege von 4° macht dies bereits einen Fehler von 1% .

Da nun die Methode gestattet, die Temperaturanstiege der beiden Thermometer nahe einander gleich zu machen, indem man entweder die Flüssigkeitsmengen oder das Widerstandsverhältniss entsprechend wählt, so versuchte ich folgende Verbesserung. Ich benützte die Ablesungen an den Thermometern nur zur möglichst angenäherten Messung der Höhe des Anstieges; die Differenz dieser Anstiege aber bestimmte ich mittelst einer Thermosäule, deren entgegengesetzte Löthstellen in die beiden Calorimeterflüssigkeiten tauchten und deren Strom an einem empfindlichen Thermogalvanometer beobachtet werden konnte. Das letztere war so weit astasirt, dass 1 mm Scaleauschlag ungefähr 0.01° C. entsprach, also noch Tausendstel Grade abgelesen werden konnten. Die Thermosäule war aus fünf Elementen von Neusilber und Eisendraht gebildet. Ich gehe nun zur Beschreibung des Apparates über.

Beschreibung des Apparates.

Derselbe ist auf beistehender Tafel zum Theil in halber natürlicher Grösse, und zwar auf der linken Seite perspectivisch, auf der rechten Seite im Verticalschnitte abgebildet. Die Wheatston'sche Brücke nebst Brückengalvanometer und Zuleitung, sowie das Thermogalvanometer sammt Zuleitung sind nur schematisch in kleinerem Massstabe angefügt; die Vorrichtung zur Bewegung der Rührer und der das Ganze bedeckende Glaskasten sind aus der Zeichnung fortgelassen.

Auf dem mit Paraffin getränktem Grundbrette B erheben sich drei massive Messingsäulen S, S_1, S' , an deren oberen Enden die starken prismatischen Klemmen aus Messing M, M_1, M' angeschraubt und angelöthet sind. An den äusseren Säulen S und S' sind Hülsen H, H' zu verschieben und in beliebiger Höhe festzuklemmen, welche die Tischchen P, P' und auf diesen die Calorimeter C, C' mit deren Umhüllungsgefässen U, U' tragen.

Die aus dünnstem vergoldeten Messingbleche hergestellten Calorimeter sind in der gebräuchlichen Weise auf Korkspitzen montirt. Zwischen die Klemmen M und M_1, M_1 und M' sind die starken parallelipedischen Messingplatten m, m und m', m' einzusetzen. m und m , sowie m' und m' , sind unter sich durch isolirende Hartgummiplatten h und h' mittelst Schrauben verbunden. Nach unten setzen sich die Messingplatten in 5 mm starke angelöthete Messingcylinder $zz, z'z'$ fort, welche als Zuleiter des Stromes in das Quecksilber der Spiralen dienen. Ihre unteren Enden schliessen sich mit kegelförmigen Zuspitzungen an die trichterförmigen Verengungen der Glasröhren G, G, G', G' an, welche die Enden der Glasspiralen bilden. Diese Glasröhren sind an die Zuleitungen $zz, z'z'$ oberhalb mittelst Wachs angekittet. Die Glasspiralen haben die aus der Zeichnung ersichtlichen Dimensionen und Form. Ihre Länge würde in gestrecktem Zustande ungefähr 120 cm betragen. Der innere Durchmesser der Spiralen ist durchschnittlich etwas kleiner als 1 mm , der äussere ungefähr 1.5 mm , mithin die Wandstärke ungefähr $\frac{1}{4}\text{ mm}$.

Um zwei Spiralen von möglichst gleichem Leitungswiderstande zu erhalten, wurde deren eine grössere Anzahl hergestellt, mit Quecksilber gefüllt und auf den Widerstand vorläufig untersucht. Die einander am nächsten kommenden wurden für die nachfolgend zu beschreibenden Versuche ausgewählt. Ihre Widerstände betragen bei mittlerer Zimmertemperatur 1.344 und 1.389 Ohm .

Die vollständige Ausgleichung dieser Widerstände erfolgte, wie erwähnt, durch Einführung von Glasfäden $gg, g'g'$. Zu diesem Behufe sind sowohl die Hartgummiplatten h, h' , als auch die Messingplatten $mm, m'm'$ und die Zuleiter $zz, z'z'$ mit verticalen Bohrungen von 1.5 mm Weite versehen, so dass die Glasfäden ungehindert bis ans untere Ende der geradlinigen Theile der Spirale eingeführt werden können, in welchen sie durch ihre

Reibung in beliebiger Höhe festgehalten werden. Hiedurch war es möglich, den Widerstand einer Spirale um 5—6% zu erhöhen. Durch Einführung von Platindrähten an Stelle der Glasfäden war auch eine (wenn auch geringere) Verminderung des Widerstandes erzielbar.

Die Wasserwerthe der Spiralen bis zu ihrer Eintauchstelle unterhalb der Verengung wurden durch Bestimmung des Auftriebes in Wasser aus dem spec. Gewichte des Glases und aus dem Gewichte des bis zu den Marken reichenden Quecksilbers erhalten. Die Versuchsergebnisse waren folgende:

	Spirale I	Spirale II
Auftrieb der Spiralen in Wasser.	2·6315	2·6655
Gewicht des Quecksilbers	14·4135	15·2995
Volum des Quecksilbers	1·0601	1·1252
„ „ Glases	1·5714	1·5403
Gewicht des Glases (sp. Gew. = 2·6)	4·0856	4·0048
Wasserwerth des Quecksilbers	0·4800	0·5095
„ „ Glases	0·7763	0·7609
Wasserwerth der gefüllten Spiralen	1·2563	1·2704

Die Wasserwerthe der Calorimetergefäße und Rührer waren durch Wägung, die der eingetauchten Theile der Thermometer und der Thermosäule durch eigene Versuche in einem sehr kleinen Calorimeter bestimmt worden. Sie betragen:

	I.	II.
Calorimeter sammt Rührer	0·6875	0·7590
Thermometer	0·1316	0·1316
Thermosäule	0·1360	0·1360

Die Stielchen der Rührer r, r' waren an der Eintauchstelle durch Glasfäden unterbrochen, um die Wärmeleitung längs derselben möglichst zu vermeiden.

Von den Bodenklemmen a und b gingen Leitungen von verschwindend kleinem Widerstande zu dem Commutator und durch diesen zu den Enden des Messdrahtes der Wheatston'schen Brücke. Derselbe bestand aus 1 mm dickem Neusilberdraht und hatte eine Länge von 10 m, von denen nur der mittlere Meter längs des in Millimeter getheilten Massstabes ausgespannt war. Die übrigen Drahtlängen waren frei im Zickzack zwischen Hartgummiwalzen ausgespannt. Es waren alle Vorsichtsmaßregeln getroffen, um eine Gleichheit der Temperatur aller Theile des

Messdrahtes zu sichern. Die von der Klemme *c* und von dem Contacte *d*, respective von *e*, ausgehenden Leitungen führten zu einem astasirten Projectionsgalvanometer, dessen durchsichtige Scala dem Experimentator gerade gegenüber aufgestellt war, so dass er sich in jedem Momente durch Niederdrücken des Tasters von der Abwesenheit eines Brückenstromes überzeugen eventuell den Lichtzeiger wieder auf die Ruhelage zurückführen konnte. Bei Benützung von Wechselstrom trat an die Stelle dieses Galvanometers ein Dynamometer oder bequemer (da letzteres zu langsam anzeigte) ein Telephon. Die Empfindlichkeit war eine solche, dass bei Anwendung des Galvanometers das Widerstandsverhältniss sicher auf $\frac{1}{20000}$, bei Anwendung des Telephons sicher auf $\frac{1}{5000}$ ermittelt, beziehungsweise eingehalten werden konnte.

Der Halbierungspunkt am Messdrahte wurde durch Vertauschung zweier gleicher Widerstände von je 1 Ω , deren Enden statt der Spiralen, beziehungsweise statt der Messingplatten *m*, *m'* zwischen die Klemmen *kk* und *k'k'* geschaltet wurden, ausgemittelt. Hiedurch war es auch möglich, die fehlerfreie Beschaffenheit der Zuleitungen und des Commutators zu controliren.

Der Werth eines Scalentheiles des Messdrahtes wurde nicht aus dem Längenverhältnisse zum ganzen Drahte, sondern dadurch ermittelt, dass man zwischen die Klemmen einerseits ein Normalohm, anderseits ein eben solches parallel geschaltet mit einem 10 Ohm Etalon einlegte und umtauschte.

Die Thermosäule *th th* bestand aus fünf Neusilber- und vier Eisendrähten nebst Enddrähten von Kupfer von ungefähr $\frac{1}{2}$ mm Dicke, welche an den Löthstellen zugespitzt und oben durch Rahmen von Hartgummi in ihrer Lage erhalten wurden. Von ihr ging eine wohlverwahrte Leitung zu einem astasirten Wiedemann'schen Spiegelgalvanometer, welches aus der Distanz von 1720 mm mit Fernrohr und Scala abgelesen wurde. Die Constante dieses Instruments wurde bei jedem Versuche neu bestimmt, indem man den beiden Calorimetern um 4—5° verschiedene Temperaturen nahe der Umgebungstemperatur gab und während des Umrührens eine Anzahl gleichzeitiger Ablesungen an den Thermometern und am Galvanometer machte. Dass die beiden Thermometer sorgfältigst unter sich und mit einem calibrirten Normalthermometer verglichen waren, ist selbstverständlich.

Versuche zur Prüfung der Genauigkeit der Methode.

Zum Zwecke dieser Prüfung wurden beide Calorimeter zunächst mit solchen Wassermengen beschickt, durch welche die Gesamtwasserwerthe auf den gleichen Betrag gebracht wurden, dann mit ungleichen Wassermengen, wodurch derselbe Effect erzielt wurde, wie wenn man gleiche Mengen von Flüssigkeiten verschiedener Capacität angewendet hätte. Indem dabei die Capacität im linksseitigen Calorimeter als Eins angenommen wurde, ermittelte man die Capacität im rechtsseitigen Calorimeter durch den Versuch. Der Betrag, um den dieselbe von Eins abwich, ergab den Fehler der Methode.

1. Versuch mit Gleichstrom von $3 \cdot 14$ Ampère mit gleichen Wasserwerthen und gleichen Widerständen.

Beschickung und Wasserwerthe der Calorimeter:

	Links	Rechts
Wasserwerthe der Calorimeter sammt Rührer	0·6875	0·7590
Wasserwerthe der Spiralen .	1·2563	1·2704
Thermometer	0·1316	0·1316
„ „ Thermosäule	0·1360	0·1360
Gewicht des Wassers . .	<u>.133·789</u>	<u>133·703</u>
Gesamtwasserwerthe .	.136·000	136·000

Der Rührapparat und eine Signaluhr, welche halbe Minuten schlägt, werden in Gang gesetzt, die Temperaturen des Calorimeters mittelst des Stromes auf nahe gleiche Höhe gebracht, indem man denselben nur durch das kältere Calorimeter gehen lässt. Der Contact am Messdrahte wird auf den Halbirungspunkt des Widerstandes gesetzt und mittelst des Commutators controlirt. Hierauf werden die Glasfäden so adjustirt, dass weder der Schluss des Brückenstromes, noch die Umschaltung des Commutators den Lichtzeiger aus der Ruhelage verschieben. Der Strom wird dann unterbrochen und zunächst in einer Vorperiode von fünf Zeitintervallen der Gang der Thermometer und der Scalenausschlag am Thermogalvanometer beobachtet. Selbstverständlich wurde durch Umlegen des Commutators am letzteren die Ruhelage jedesmal controlirt. Die Ablesungen von Intervall zu Intervall dienten nur zur Constatirung des ungestörten regelmässigen Ganges. Für die Rechnung werden nur die Ablesungen

an Beginne und am Schlusse dieser Periode benöthigt. Dieselben seien mit t_0 und t_5 am linksseitigen, mit t'_0 und t'_5 am rechtsseitigen Calorimeter, mit s_0 und s_5 an der Scala des Galvanometers bezeichnet.

Mit dem Signal 5 wird der Strom geschlossen, sofort der Lichtzeiger des Brückengalvanometers beobachtet und, wenn nöthig, durch Verschiebung eines Glasfadens genau auf die Ruhelage gebracht. Durch periodisches Schliessen des Tasters wird das Widerstandsverhältniss genau controlirt.

Diese Hauptperiode dauert 10 Intervalle; nach Ablauf der Hälfte derselben wird der Commutator umgeschaltet, um etwaige Änderungen der Messdrahthälften zu eliminiren. Der Strom wird schon ein Intervall vor Ende dieser Hauptperiode geschlossen, um der zugeführten Wärme Zeit zu gestatten, sich gleichmässig zu vertheilen. Mit dem Signale 15 beginnt die Nachperiode, während welcher wiederum die Thermometer und der Scalenausschlag von Intervall zu Intervall notirt werden. Mit dem Signal 20 endet der eigentliche Versuch, worauf sofort das eine Calorimeter um einige Grade abgekühlt und die Beobachtungen zur Ermittlung der Constanten des Thermogalvanometers angestellt werden.

Ich gebe, um das Zahlenmateriale nicht unnöthig zu vermehren, im Nachfolgenden nur die corrigirten Temperaturen und die (mittelst der Czermak'schen Tafeln reducirten) Scalenausschläge. Die letzteren werden positiv gerechnet, wenn $t' - t$ positiv ist.

	Zeit-signal	Thermo-meter I	Thermo-meter II	Galvano-meter	
Vorperiode	0	$t_0 = 11 \cdot 32^\circ$	$t'_0 = 11 \cdot 55^\circ$	$s_0 = 22 \cdot 9 \text{ mm}$	
	5	$t_5 = 11 \cdot 53$	$t'_5 = 11 \cdot 76$	$s_5 = 22 \cdot 8$	{ Strom geschlossen.
Hauptperiode	10				{ Commutator umgeschaltet
	14				{ Strom geöffnet
Nachperiode	15	$t_{15} = 16 \cdot 97$	$t'_{15} = 17 \cdot 21$	$s_{15} = 23 \cdot 1$	
	20	$t_{20} = 16 \cdot 95$	$t'_{20} = 19 \cdot 19$	$s_{20} = 22 \cdot 9$	

Ausmittlung der Galvanometerconstanten:

Thermom. I	Thermom. II	Galvanometer
14·61	17·97	348·9
14·62	17·97	347·1
14·64	17·99	347·0
Mittel = 14·623	17·977	347·7
$\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Differenz} = 3\cdot354}$		

$$1 \text{ mm Scala entspricht } \frac{3\cdot354}{347\cdot7} = 0\cdot00962^\circ \text{ C.}$$

Die Berechnung des Versuches wird nun auf folgende Weise durchgeführt:

Die Temperatur steigt durch den Strom in dem Calorimeter links von t_5 auf t_{15} , rechts von t'_5 auf t'_{15} , dabei wirkt aber auch der Einfluss der Umgebung mit. Da jedoch der Strom constant ist, so steigt die Temperatur proportional mit der Zeit. Die mittlere Änderung per Intervall, so weit sie von der Umgebung stammt, ist somit gleich dem arithmetischen Mittel der Änderungen per Intervall der Vor- und der Nachperiode. Die Änderungen per Intervall der Vorperiode sind

$$\frac{t_5 - t_0}{5} \quad \text{und} \quad \frac{t'_5 - t'_0}{5},$$

die Änderungen per Intervall der Nachperiode sind

$$\frac{t_{20} - t_{15}}{5} \quad \text{und} \quad \frac{t'_{20} - t'_{15}}{5},$$

die mittleren Änderungen per Intervall der Hauptperiode (so weit sie von der Umgebung stammen), sind demnach

$$\frac{t_5 - t_0 + t_{20} - t_{15}}{10} \quad \text{und} \quad \frac{t'_5 - t'_0 + t'_{20} - t'_{15}}{10}$$

Da die Hauptperiode 10 Intervalle umfasst, so erhält man demnach die an den Temperaturen t_{15} und t'_{15} anzubringenden Correctionen:

$$t_5 - t_0 + t_{20} - t_{15} \quad \text{und} \quad t'_5 - t'_0 + t'_{20} - t'_{15},$$

die corrigirten (vom Einflusse der Umgebung befreiten) Temperaturanstiege sind demnach:

$$t_{15} - t_3 - (t_5 - t_0 + t_{20} - t_{15}) \quad \text{und} \quad t'_{15} - t'_5 - (t'_5 - t'_0 + t'_{20} - t'_{15}) \\ = 2t_{15} + t_0 - (2t_5 + t_{20}) \quad 2t'_{15} + t'_0 - (2t'_5 + t'_{20}).$$

Bezeichnet man diese corrigirten Temperaturanstiege mit Δ und Δ' , so würde das Verhältniss $\frac{\Delta}{\Delta'}$, die gesuchte Wärmecapacität c' im rechtsseitigen Calorimeter geben, wenn die im linksseitigen $= 1$ gesetzt wird. Aber diese Messung ist nicht genau, weil die Thermometer nicht empfindlich genug sind. Durch die Thermosäule wird aber die Differenz zwischen Δ und Δ' genauer gemessen. Ist diese Differenz $\Delta' - \Delta = \delta$, so erhält man den genaueren Werth aus

$$c' = \frac{\Delta}{\Delta + \delta} = \frac{\Delta' - \delta}{\Delta'} = 1 - \frac{\delta}{\Delta'}.$$

Die Grösse δ , nämlich die vom Einflusse der Umgebung corrigirte Differenz der Temperaturanstiege, wird aus den Scalenausschlägen auf analoge Weise abgeleitet wie Δ und Δ' aus den Thermometerangaben. Da nämlich die Änderung der Temperatur eines Calorimeters dem Temperaturüberschusse proportional ist, so muss auch die Änderung der Temperaturdifferenz beider Calorimeter (per Intervall) proportional sein der Temperaturdifferenz derselben. Da aber anderseits wegen der Constanz der Stromstärke die Temperaturen beider Calorimeter während der Hauptperiode proportional der Zeit gesteigert werden, so muss sich auch die Temperaturdifferenz derselben proportional der Zeit verändern und daher auch die von der Umgebung stammende Änderung der Temperaturdifferenz per Intervall in linearer Weise von der Zeit abhängen. Man hat deshalb zur Correction des Scalenausschlages s_{15} am Schlusse der Hauptperiode genau die analoge Formel. Die Correction beträgt:

$$-(s_5 - s_0 + s_{20} - s_{15}).$$

Mithin erhält man für die Grösse δ :

$$\delta = R[s_{15} - s_5 - (s_5 - s_0 + s_{20} - s_{15})] = R[2s_{15} + s_0 - (2s_5 + s_{20})],$$

worin R die Constante des Galvanometers zur Umrechnung von Scalentheilen in Grade bedeutet.

Um obigen Versuch zu berechnen, suchen wir also zunächst

$$\Delta = 2t_{15} + t_0 - (2t_5 + t_{20}) = 33 \cdot 94 + 11 \cdot 32 - (23 \cdot 06 + 16 \cdot 95) = 5 \cdot 25^\circ \text{ C.}$$

$$\Delta' = 2t'_{15} + t'_0 - (2t'_5 + t'_{20}) = 34 \cdot 42 + 11 \cdot 55 - (23 \cdot 52 + 17 \cdot 19) = 5 \cdot 26^\circ \text{ C.}$$

$$R = \frac{3 \cdot 354}{347 \cdot 7} = 0 \cdot 00962$$

$$\delta = R[2s_{15} + s_0 - (2s_5 + s_{20})] = 0 \cdot 00962[46 \cdot 2 + 229 - (45 \cdot 6 + 229)] = 0 \cdot 00577^\circ \text{ C.}$$

endlich

$$c' = 1 - \frac{\delta}{\Delta'} = 1 - 0 \cdot 0011 = 0 \cdot 9989.$$

Aus den Thermometern allein würde sich

$$c' = \frac{\Delta}{\Delta'} = \frac{5 \cdot 25}{5 \cdot 26} = 0 \cdot 9981$$

ergeben. Wie ersichtlich, benötigt man für die Rechnung nur die Angaben eines Thermometers, doch liefert das zweite eine Controlle gegen grössere Fehler und ist für die Leitung des ganzen Versuches und die Ausmittlung der Constante R unentbehrlich.

2. Versuch mit Wechselstrom von 5·7 Ampère,¹ Telephon, gleichen Wasserwerthen und Widerständen.

Die Beschickung der Calorimeter war dieselbe, wie oben.

$t_0 = 11 \cdot 84$	$t'_0 = 11 \cdot 85$	$s_0 = 0 \cdot 7$
$t_5 = 11 \cdot 94$	$t'_5 = 11 \cdot 96$	$s_5 = 2 \cdot 1$
$t_{15} = 27 \cdot 70$	$t'_{15} = 27 \cdot 73$	$s_{15} = 2 \cdot 9$
$t_{20} = 27 \cdot 30$	$t'_{20} = 27 \cdot 31$	$s_{20} = 0 \cdot 5$

$$R = \frac{3 \cdot 886}{404 \cdot 9} = 0 \cdot 00959$$

$$\Delta = 16 \cdot 06$$

$$\Delta' = 16 \cdot 08$$

$$\delta = 0 \cdot 0173$$

$$c' = 1 - 0 \cdot 00106 = 0 \cdot 99894.$$

¹ Der Wechselstrom wurde der Beleuchtungsanlage des Innsbrucker Elektrizitätswerkes entnommen.

3. Versuch. Mit Gleichstrom, ungleichen Wasserwerthen, aber gleichen Widerständen.

Das rechtsseitige Calorimeter erhielt um 2 g Wasser weniger, daher die Wasservorräthe betragen:

Links	Rechts	
136·00	134·00	
$t_0 = 12·98$	$t'_0 = 13·09$	$s_0 = 11·0$
$t_5 = 13·01$	$t'_5 = 13·12$	$s_5 = 10·5$
$t_{15} = 15·16$	$t'_{15} = 15·31$	$s_{15} = 13·0$
$t_{20} = 15·17$	$t'_{20} = 15·33$	$s_{20} = 12·5$

$$R = \frac{2 \cdot 325}{232 \cdot 2} = 0 \cdot 0010$$

$$\Delta = 2 \cdot 11$$

$$\Delta' = 2 \cdot 14$$

$$\delta = 0 \cdot 035$$

Zur Berechnung von c' haben wir in diesem Falle zu setzen:

$$136 \cdot (2 \cdot 14 - 0 \cdot 035) = 134 \cdot 2 \cdot 14 \cdot c',$$

woraus

$$c' = 0 \cdot 9980$$

erhalten wird.

4. Versuch. Mit Wechselstrom und Telephon, mit ungleichen Wasserwerthen und Widerständen.

Bei diesem Versuche wurden die Glasfäden ganz entfernt, so dass die beiden Spiralen ungleiche Widerstände im Betrage 1·344 und 1·389 Ω darboten. Es wurde deshalb das Telephon dadurch zum Schweigen (beziehungsweise auf das Minimum des Tones) gebracht, dass man den Brückencontact so weit aus der Mitte des Messdrahtes verschob, bis das Minimum eintrat. Während des Stromdurchganges änderte sich diese Lage nur wenig. Von Intervall zu Intervall wurde dieselbe notirt, in Mitte der Hauptperiode wurde der Strom auf einen Moment unterbrochen und nach Umschaltung des Commutators die entsprechende Stelle der Messbrücke auf der anderen Seite zum Contacte gebracht. Durch einen Vorversuch waren diese Contactstellen ausgemittelt, um sie nachher rasch aufzufinden, damit

nicht merkliche Zeit hindurch ungleiche Stromstärken durch die Spiralen geführt wurden.

Zeit- signal	Thermometer		Galvanometer	Contact auf	
0	$t_0 = 16 \cdot 95$	$t'_0 = 16 \cdot 96$	$s_0 = 1 \cdot 1$		
5	$t_5 = 16 \cdot 94$	$t'_5 = 16 \cdot 95$	$s_5 = 1 \cdot 0$	- 83	} Mittel -82·3
6	—	—	—	- 82	
7	—	—	—	- 82	
8	—	—	—	- 82	
9	—	—	—	- 82	
					Umlegung des Commutators
10	—	—	—	+ 83	} +82·3
11	—	—	—	+ 81	
12	—	—	—	+ 82	
13	—	—	—	+ 82	
14	—	—	—	+ 83	
15	$t_{15} = 27 \cdot 73$	$t_{15} = 28 \cdot 26$	$s_{15} = 53 \cdot 0$		$R = 0 \cdot 0010$
20	$t_{20} = 27 \cdot 43$	$t_{20} = 27 \cdot 95$	$s_{20} = 52 \cdot 8$		

Die Ablesungen der Contactstellen sind bereits corrigirt und auf Tausendtheile des ganzen Messdrahtes reducirt. Es betrug daher das mittlere Widerstandsverhältniss $5000 - 82 \cdot 3 : 5000 + 82 \cdot 3$

$$\Delta = 11 \cdot 10$$

$$\Delta' = 11 \cdot 63$$

$$\delta = 0 \cdot 523$$

Zur Berechnung des c' hat man die Proportion:

$$136 \cdot (11 \cdot 63 - 0 \cdot 523) \quad 134 \cdot 11 \cdot 63 \quad c' = \\ = (5000 - 82 \cdot 3) \quad (5000 + 82 \cdot 3),$$

woraus

$$c' = 1 \cdot 0019.$$

Die vier mitgetheilten Versuche ergaben also für die Wärmecapacität des Wassers im rechtsseitigen Calorimeter, wobei die im linksseitigen als Eins angenommen wurde, die Werthe:

$$0.9989 = 1 - 0.0011$$

$$0.9989 = 1 - 0.0011$$

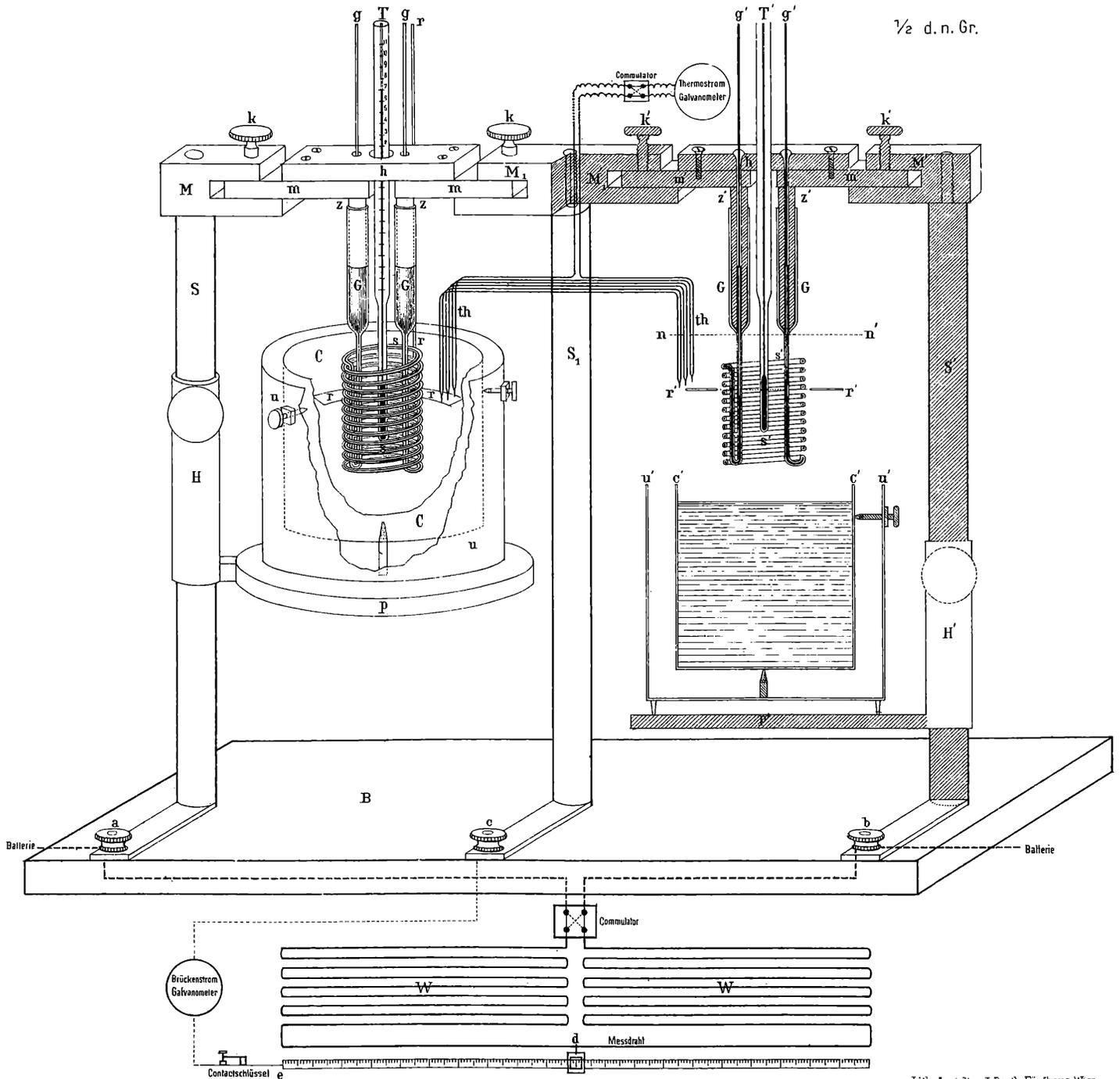
$$0.9980 = 1 - 0.0020$$

$$1.0019 = 1 + 0.0019$$

Wie man sieht, stimmen die ersten drei sehr gut unter sich überein, während der vierte, wie wegen der ungünstigen Umstände zu erwarten war, etwas differirt. Die constante Abweichung der zwei ersten Versuche dürfte den Umstand zum Grunde haben, dass der Wasserwerth eines der beiden Calorimeter durch etwas tieferes Eintauchen einer der zuführenden, Quecksilber haltenden Glasröhren vergrössert war. Unter den sämmtlichen angestellten Versuchen waren eine Anzahl durch zufällige Störungen verunglückt, insbesondere war das Thermogalvanometer manchmal stärkeren Verschiebungen seiner Ruhelage ausgesetzt.¹ Von den gelungenen Versuchen wurden die obigen deshalb ausgewählt, um für die extremen Umstände grosser und kleiner Temperaturanstiege, sowie die verschiedenen Modificationen der Methode Beispiele darzubieten. Eine weitere Steigerung der Genauigkeit dürfte durch Vergrösserung des Apparates zu erzielen sein, da dann sowohl die Unsicherheiten der Wasserwerthe, als auch des Einflusses der Umgebungstemperatur verringert werden können.

Ich war eben im Begriffe, die Methode zur Bestimmung der Wärmecapacität des Wassers bei verschiedenen Temperaturen anzuwenden. Da ich aber wegen eingetretener Übersiedlung an die Universität Graz diese Versuche abbrechen musste, so glaubte ich vorläufig die bisherigen Ergebnisse bekannt geben zu sollen.

¹ Die gesammte Gasleitung der Stadt Innsbruck ist fast fortwährend von elektrischen Strömen durchflossen. Dieselben stammen zum Theile daher, dass sie an einigen Punkten als Erdleitung von Telegraphen und Telephonen benützt wird, dann aber wohl auch daher, dass sie einen kleinen Theil der Wechselströme aufnimmt, deren Leitung im Verlaufe des Winters einigen Isolationsstörungen ausgesetzt 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): Pfaundler Leopold

Artikel/Article: [Über eine verbesserte Methode, Wärmecapacitäten mittelst des elektrischen Stromes zu bestimmen. 352-366](#)