

PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND 61.

**1. Ueber eine bolometrische Versuchsanordnung
für Strahlungen zwischen Körpern von sehr kleiner
Temperaturdifferenz und eine Bestimmung der
Absorption langer Wellen in Kohlensäure;
von F. Kurlbaum.**

(Hierzu Taf. IX, Fig. 1—2.)

(Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Handelt es sich bei bolometrischen Messungen um Strahlungen zwischen Körpern von sehr kleiner Temperaturdifferenz, so erhält man bei dem gebräuchlichen Verfahren so kleine Ausschläge, dass dieselben nicht mehr genau messbar sind. Das folgende Verfahren beseitigt diese Schwierigkeit und erweitert die Anwendbarkeit der bolometrischen Messung auch nach anderer Richtung.

Die gewöhnliche Versuchsanordnung erfordert wegen des nothwendigen Fallbretts und einer Reihe von Diaphragmen, welche das Bolometer vor störenden Luftströmungen schützen, einen erheblichen Abstand des Bolometers von der Strahlungsquelle. Will man aber Strahlungen bei geringen Temperaturdifferenzen messen, so kann man eine vortheilhaftere Anordnung benutzen.

Man nimmt als Strahlungsquelle einen Bolometerzweig, welcher durch Strom erwärmt wird. Hiermit hat man zugleich ein einfaches Mittel, beliebig kleine, genau messbare Temperaturdifferenzen herzustellen. Diese Strahlungsquelle wird mit dem zu bestrahlenden Bolometerzweig in denselben Raum eingeschlossen. Schutzdiaphragmen macht man dadurch überflüssig, dass man die Strahlungsquelle oberhalb des bestrahlten Bolometerzweiges so anbringt, dass die Luftcirculationen diesen Zweig nicht erreichen. Natürlich kann man die Luftströmungen auch dadurch vermeiden, dass man den Raum evacuirt.

Ein Fallbrett fällt bei dieser Anordnung überhaupt fort, da wegen der geringen Masse der 1μ dicken Bolometerbleche schon einige Secunden nach Stromschluss stationäre Zustände eintreten, die bei ungefährrer Innehaltung einer bestimmten Ablesungszeit sehr gut zu Messungen geeignet sind. So lässt sich der Abstand zwischen Strahlungsquelle und Bolometerzweig leicht auf 5 cm reduciren.

Ein weiterer Vorthail besteht darin, dass der Apparat eine compendiöse Form annimmt und leicht auf eine constante niedrige oder hohe Temperatur gebracht werden kann. Ferner ist es möglich, den Apparat zu evacuiren, oder mit verschiedenen Gasen zu füllen, deren Absorptionsvermögen also ohne ein Absorptionsgefäss bestimmt werden kann, zu dessen Verschluss Platten verwendet werden müssen, die eine neue Absorption und Reflexion verursachen.¹⁾

Eigenthümlichkeit eines Bolometerausschlages. Die Zeit eines Bolometerausschlages erscheint cet. par. einem gewöhnlichen Ausschlag gegenüber verlängert, weil die Bestrahlung eine allmähliche Widerstandsänderung hervorruft, die mit einem stationären Zustand endet. Bei Bolometerzweigen mit grosser Masse ähnelt der Ausschlag selbst bei geringer Dämpfung demjenigen eines aperiodisch gedämpften Galvanometers. Aber auch Bolometerzweige von nur 1μ Dicke erhöhen die Ausschlagszeit eines Galvanometers, z. B. von vier auf fünf Secunden.

Während die Frage der Empfindlichkeit²⁾ eines Bolometers vielseitig erörtert ist, so ist ein Factor, der für diese Untersuchung von der grössten Wichtigkeit ist, bisher unerörtert geblieben. Die Empfindlichkeit hängt nämlich auch von dem Gase, in welchem sich der Bolometerzeig befindet, ab. Nach vorläufigen Versuchen theilen sich Ausstrahlung und Wärmeleitung des Gases zu ungefähr gleichen Theilen in die Wärmeabgabe, wenn der Bolometerzweig beiderseits mit Platin-

1) J. E. Keeler, American Journ. 28. p. 190—198. Sept. 1884. On the Absorption of radiant heat by carbon dioxide, hat für einen speciellen Fall die Absorption einer Verschlussplatte dadurch vermieden, dass er einen aufrecht stehenden, oben offenen Cylinder mit Kohlensäure füllte, die Strahlen oben eintreten, an der Grundfläche reflectiren und auf demselben Wege zurückkehren liess.

2) H. F. Raid, Sill. Journ. (3) 35. p. 160—166. 1888; O. Lummer und F. Kurlbaum, Wied. Ann. 46. p. 204—224. 1892.

schwarz überzogen und das umgebende Gas Luft ist. Befindet sich dagegen ein blanker Bolometerzweig in Wasserstoff, so ist der Strahlungsverlust ungefähr nur 1 Procent von dem Leitungsverlust. Evacuiren steigert die Empfindlichkeit eines vorher in Luft befindlichen Bolometers auf das Doppelte, ganz abgesehen davon, dass der bei den Messungen verwendete Strom wegen der fortfallenden Luftströmungen viel stärker genommen werden kann. So sind ferner Messungen mit einem Bolometer in Luft und in Kohlensäure nicht direct vergleichbar. Jedoch kann man durch das folgende Mittel die Empfindlichkeit bestimmen und die Messungen vergleichbar machen.

Methode der Empfindlichkeitsbestimmung. Besteht eine Wheatstone'sche Brücke aus einem Bolometerzweig und aus drei dicken Drähten, so kann die Brücke für einen bestimmten Strom abgeglichen werden. Für eine andere Stromstärke ist sie nicht mehr abgeglichen, da der Bolometerzweig durch die Stromwärme seinen Widerstand ändert. Man kann so denselben Effect hervorrufen, wie durch eine Bestrahlung.¹⁾ Findet man nun, dass der Strom J im Bolometerzweig in Luft die Widerstandsänderung W_1 hervorruft, in Kohlensäure die Widerstandsänderung W_2 , so ist $W_1 : W_2$ das Verhältniss der Empfindlichkeiten des Bolometers in Luft und in Kohlensäure, welches die in Luft und in Kohlensäure hervorgerufenen Ausschläge vergleichbar macht. Allerdings wird bei der Besprechung der Resultate ein Unterschied zwischen beiden Erwärmungsarten zu erörtern sein.

Die Willkürlichkeit, welche durch die Einführung einer bestimmten Zeit für die von der Schliessung des Heizstromes ab gerechnete Dauer der Bestrahlung entsteht, ist bei Benutzung eines Fallbretts und der Beobachtung des ersten Ausschlags ebenso vorhanden, denn hier wird die Dauer der Bestrahlung durch zwei zufällige Factoren bestimmt: durch die Schwingungsdauer der Galvanometernadel und durch die Wärmecapacität der dünnen Bolometerstreifen.

Princip der Messungen. Strahlender und bestrahlter Bolometerzweig befinden sich in demselben abgeschlossenen Raum. Der strahlende Bolometerzweig wird durch Strom auf eine gewünschte Temperatur gebracht, welche durch seinen Wider-

1) F. Kurlbaum, Wied. Ann. 51. p. 591. 1894.

stand genau gemessen wird. Die Ausstrahlung wird durch den Galvanometerausschlag oder durch die zugehörige Temperaturerhöhung des bestrahlten Bolometerzweiges zunächst relativ gemessen, kann aber auch durch die electricischen Einheiten in absolutem Maass ausgedrückt werden.¹⁾ Die Methode und ihre experimentelle Brauchbarkeit möchte ich an der Messung der Absorption der Kohlensäure für ein bestimmtes Gebiet langer Wellen zeigen.

Apparate.

1. *Der strahlende Bolometerzweig.* Derselbe bestand aus neun Platinstreifen von je $35 \times 2 \times 0,001$ mm, die in der früher beschriebenen Weise hergestellt und auf einem Schieferrahmen nebeneinander im Abstand von 1 mm montirt und mit Platinschwarz überzogen waren.²⁾ Ihr Widerstand betrug zusammen 18 Ohm.

Dieser Bolometerzweig A befand sich im Cylinder C (Fig. 1) und bildete mit seinem Nebenschluss N_1 einen Zweig der Brücke 1. Die Zweige Z_2 , Z_3 und Z_4 wurden aus dickeren Manganindrähten in einem Petroleumbade gebildet, waren also bezüglich ihres Widerstandes von der Stromstärke merklich unabhängig. Um trotz der Stromwärme im Bolometerzweig die Nadel auf Null zu erhalten, war ein von der Stromstärke abhängiger Widerstand in N_1 nothwendig. Aus der Grösse desselben ergibt sich die Temperatur des Bolometerzweiges. Regulirt wird die Stromstärke durch den Widerstand W_1 .

2. *Der bestrahlte Bolometerzweig B_1 .* B_1 und B_2 sind identische Bolometerzweige von je 44 Ohm Widerstand. B_2 ist durch einen Schirm S vor der Strahlung geschützt. Die beiden anderen Zweige der Brücke 2 bestanden aus Manganrollen Z_5 und Z_6 von je 50 Ohm, an kleinen Theilwiderständen dieser Rollen konnten zum Zweck beliebig kleiner Widerstandsänderungen Nebenschlüsse von grossem Widerstand angelegt werden, um die Ausschläge des Galvanometers auszuwerthen. Die letzte Abgleichung der Brückenwiderstände geschah, wie bei bolometrischen Messungen üblich, durch einen Quecksilber-

1) F. Kurlbaum, Wied. Ann. 51. p. 591. 1894.

2) O. Lummer u. F. Kurlbaum, Wied. Ann. 46. p. 204—224. 1892; Verhandl. d. physik. Gesellsch. zu Berlin, 14. Juni 1895.

contact am Platindraht P , dessen Enden durch einen geringen Widerstand N_2 verbunden waren, um den Einfluss der Verschiebung auf das Brückengalvanometer herabzusetzen. Als Stromquelle dienten Accumulatoren E_2 , deren Spannung durch ein Clarkelement genau gemessen wurde. Im Hauptstromkreis war wiederum ein Regulirwiderstand W_2 eingeschaltet. Die Widerstände sämmtlicher Rollen und Zuleitungsdrähte waren mit Normalwiderständen verglichen, der Widerstand der benutzten Stromschlüssel war kleiner als 0,001 Ohm.

3. *Das Gefäss zur Aufnahme der Bolometerzweige.* Der Schutzcylinder C ist ein 18 cm langes, 10 cm weites, 5 mm starkes, innen geschwärztes Eisenrohr. Boden und Deckelplatte sind aus geschwärztem Messing, die Zuleitungsdrähte sind durch Glasröhrchen isolirt eingeführt.

Alle drei Bolometerzweige waren mit dem Schirm S auf einer gemeinsamen Grundplatte montirt, sodass sie gemeinsam in den Cylinder eingeführt werden konnten und der constante Abstand von A und B_1 gesichert war. Zwischen A und B_1 war ein Diaphragma eingeschaltet, welches die an den Cylinderwänden etwa reflectirten Strahlen abblendete und die bei A entstehenden Luftcirculationen auf den Raum um A beschränkte.

4. *Das Galvanometer G_2 .* Das Galvanometer war ein sehr empfindliches nach du Bois und Rubens¹⁾ und bewährte sich vorzüglich. Für diese Arbeit war eine so starke Luftdämpfung angebracht, dass die Nadel bei einer Ausschlagszeit von vier Secunden in die Ruhelage überging, ohne im geringsten umzukehren. Durch die Dämpfung waren zugleich die Erschütterungen der Nadel auf etwa ein Fünftel herabgedrückt.

Messungen.

A. Der Empfindlichkeitscoefficient.

Zunächst handelt es sich darum, das früher erwähnte Verhältniss der Empfindlichkeiten in Luft und in Kohlensäure zu bestimmen. Hätte man eine constante Strahlungsquelle, welche keine durch Kohlensäure absorbirbaren Strahlen enthielt, so wäre das Verhältniss leicht zu bestimmen, indem man die Ausschläge des Bolometers in Luft und in Kohlen-

1) Du Bois u. Rubens, Wied. Ann. 48. p. 236—251. 1893.

säure vergliche. In Ermangelung einer solchen Strahlungsquelle wurde die p. 3 vorgeschlagene Methode angewendet. Der Bolometerzweig B_2 (Fig. 1) wird durch einen entsprechenden Widerstand aus Manganindraht ersetzt, der bei Stromdurchgang seinen Widerstand nicht ändert. In Brücke 2 ist also jetzt der Bolometerzweig B_1 der einzige Widerstand, der sich bei Stromdurchgang ändert, und man kann, statt eine Temperaturerhöhung durch Strahlung hervorzurufen, dieselbe Aenderung durch Stromwärme hervorrufen.

1. *Messungen in trockener Luft.* Die Ruhelage des Galvanometers wurde abgelesen, während die Brücke geschlossen, aber stromlos war, diese Ruhelage dient als Nullpunkt. Die Ablenkungen wurden stets nach 20 Sec. abgelesen, nach denen ein stationärer Zustand erreicht war.

Das Schema der Beobachtungen ist in Tab. 1 gegeben, wobei der Nullpunkt bei geöffnetem Strom und die Ruhelage bei geschlossenem Strom unterschieden werden müssen.

Beobachtung 1: Der Nullpunkt wird abgelesen, dann der Strom mit 450 Ohm Ballast geschlossen.

Beobachtung 2 nach 20 Sec.: Die Ruhelage wird abgelesen und zugleich der Strom geöffnet.

Beobachtung 3 nach 20 Sec.: Der Nullpunkt wird abgelesen, zugleich der Strom mit 225 Ohm Ballast geschlossen und so fort nach dem Schema der Tab. 1. Der Stromkreis ist also je 20 Sec. geschlossen und geöffnet.

Tabelle 1.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>d</i>
Nr.	Nullpunkt Strom offen	Nr.	Ruhelage 450 Ohm	Nr.	Abgelenkt 225 Ohm
1	480,1	2	481,8		
3	480,0			4	304,1
5	480,0	6	479,4		
7	480,0			8	299,8
9	479,8	10	476,8		
11	479,9				
Mittel	480,0		479,3		302,0

Der in den Beobachtungen, abgesehen von denen des Nullpunktes, noch vorhandene Gang wird durch die symme-

trische Anordnung eliminirt. Verursacht ist dieser Gang durch die Temperaturänderung im Zimmer während der Beobachtungszeit von 3 Min. 20 Sec., welche sich nach den unten folgenden Daten als 0,008 Grad berechnet. Wie sich dieser Gang vermeiden lässt, wird später besprochen werden. Es war beabsichtigt, dass die Mittel aus Columne *b* und *c* der Tab. 1 gleich werden sollten, doch ist eine Abweichung von 0,7 mm vorhanden. Die Brücke war also für die mittlere Zeit nicht abgeglichen, infolgedessen muss an dem Mittelwerth aus Columne *d* die folgende Correction angebracht werden. Der Mittelwerth aus Columne *d* ist in demselben Sinne verschoben wie der aus Columne *c*, aber nicht um 0,7 mm, sondern um $0,7(J_2/J_1)$, worin J_2 und J_1 die benutzten Stromstärken bedeuten, welche sich umgekehrt wie die Widerstände im ganzen Stromkreis verhalten. Da der Widerstand ausser dem Ballast rund gleich 48 Ohm war, so ist

$$\frac{J_2}{J_1} = \frac{450 + 48}{225 + 48} = 1,82.$$

Die Correction für Columne *d* ist also $1,82 \cdot 0,7 = 1,3$. Folglich

$$\begin{aligned} \text{Mittel } c &= 479,3 + 0,7 = 480,0 \\ - \text{Mittel } d &= 302,0 + 1,3 = 303,3 \\ \hline \text{Ablenkung} &= 176,7 \end{aligned}$$

Das Mittel aus mehreren Beobachtungen war 176,8 mm.

2. *Auswerthung der Ablenkungen.* Dieser Ausschlag ist von der vielleicht sogar veränderlichen Empfindlichkeit des Galvanometers abhängig und muss ausgewerthet werden, indem man die Widerstandsänderung aufsucht, welche die Ablenkung hervorrufen würde. Praktisch am vortheilhaftesten ist es, die Widerstandsänderung, welche nur relativ gegeben zu sein braucht, nicht im Bolometerzweige selbst, sondern in irgend einem anderen Zweige aufzusuchen. Mit Benutzung des Temperaturcoefficienten des Bolometerzweiges kann dann die Temperaturerhöhung des Bolometerzweiges berechnet werden.

Für genannten Zweck befindet sich in dem Zweige Z_5 ein Widerstand $W_3 = 1,8$ Ohm, zu dem ein Regulirwiderstand N_3 parallel gelegt werden kann. Bei geeigneter Grösse des Regulirwiderstandes wird beim Schliessen des Stromschlüssels eine Ablenkung = 176,8 erhalten werden.

Nebenschluss $N_3 = 140$ Ohm,
 Abzweigstelle $W_3 = 1,841$ Ohm.

Beob.-Nr.	N_3 offen	N_3 geschlossen
1	480,9 mm	294,2
2		
3	479,0	
Mittel	480,0	
Ablenkung	185,8	

Drei andere Beobachtungen gaben 185,2, 185,5, 185,6, als Mittel also 185,5 mm.

Ebenso wurde bei $N_3 = 150$ Ohm als Mittel 173,1 mm gefunden. Interpolation ergibt, dass für $N_3 = 147,0$ Ohm der Ausschlag = 176,8 mm wird. Hieraus berechnet sich die durch Nebenschluss hervorgerufene Widerstandsänderung im Zweige Z_6 gleich $1,841^2 / (147 + 1,841) = 0,02277$ Ohm.

Diese Widerstandsänderung ist unabhängig von der Galvanometerempfindlichkeit, und wenn alle sonstigen Verhältnisse, also auch die Temperatur, dieselben geblieben sind, proportional der Widerstandsänderung im Bolometerzweig B_1 , demnach auch proportional der Temperaturerhöhung, d. h. der Strahlungsempfindlichkeit des Bolometerzweiges. Wenn also das Verhältniss der Empfindlichkeit eines Bolometerzweiges in Luft und in Kohlensäure bestimmt werden soll, so braucht man nur das Verhältniss dieser Widerstandsänderungen zu bilden.

Die Versuche sind nun mit anderer Stromstärke, also mit anderem Ballast wiederholt; die folgende Tab. 2 enthält in Columne 1—4 die Resultate für Luft.

Tabelle 2.

1	2	3	4	5	6
Ballast w_1	Ballast w_2	Neben- schluss N_3	Widerstands- änderung in Ohm	Wärmeentwickelung = \mathfrak{B} in Wasser g-Cal/sec	Verhält- niss Col. 4 : 5
450	300	323,5	0,01042	0,0, 1818	57,30
	250	189,6	0,01770	0,0, 3109	56,94
	225	147,0	0,02277	0,0, 4036	56,42

3. *Berechnung der Stromwärme.* Columnne 5 giebt die im Bolometerzweig entwickelte Wärmemenge \mathfrak{B} in Wasser g-Cal/sec. Dieselbe ist berechnet aus den Gleichungen:

$$(1) \quad \mathfrak{B} = (J_2^2 - J_1^2) w \frac{C}{4},$$

$$(2) \quad J_2 = \frac{E}{W + w_2} \quad J_1 = \frac{E}{W + w_1}.$$

Es bedeutet J_1 und J_2 die Stromintensität im Hauptstrom, wovon diejenige im Bolometerzweig merklich, nämlich bis auf $\frac{1}{4000}$ genau die Hälfte bildet, w ist der Widerstand des Bolometerzweiges B_1 bei $17,8^\circ$ ohne jede Zuleitung, $w = 44,23$ Ohm $E = 4,032$ Volt. C ist gleich $0,24$ Wasser g-Cal/sec gesetzt.

W ist der Gesamtwiderstand im Stromkreis ausser dem Ballast, $W = 48,4$ Ohm.

Columnne 6 giebt das Verhältniss der Widerstandsänderung zur entwickelten Wärmemenge. Dies Verhältniss würde constant sein, wenn nicht die Luft durch die auftretende Convectionslleitung bei höherer Temperatur eine grössere Abkühlung hervorriefe. Die Temperaturerhöhungen sind allerdings klein, sie liegen zwischen ein und zwei Zehntel Grad, trotzdem ändert sich das Verhältniss schon um fast 2 Procent. Diese Aenderung wurde bei verschiedenen Versuchen immer wieder erhalten; noch grösser ist dieselbe bei Kohlensäure.

4. *Messung in Kohlensäure.* Genau auf die gleiche Weise wurde die Tab. 3 für Kohlensäure gefunden, der einzige Unterschied war der, dass die Temperatur des Bolometerzweiges B_1 gleich $17,6^\circ$, sein Widerstand gleich $44,20$ Ohm und die Spannung der Accumulatoren gleich $4,026$ Volt war.

Tabelle 3.

1 Ballast w_1	2 Ballast w_2	3 Neben- schluss N_s	4 Widerstands- änderung in Ohm	5 Wärmemenge = \mathfrak{B} in Wasser g-Cal/sec	6 Verhält- niss Col. 4:5
450	300	271,0	0,01242	0,0 ₈ 1811	68,58
	250	160,8	0,02084	0,0 ₈ 3098	67,28
	225	125,2	0,02668	0,0 ₈ 4021	66,35

Trotzdem in beiden Fällen die entwickelte Wärmemenge fast genau die gleiche war, so ist die Widerstandsänderung in

Kohlensäure eine erheblich grössere als in Luft, demgemäss sind auch die Zahlen in Columnne 6 viel grösser.

Dividirt man die Zahlen aus Tab. 3, Columnne 6, durch die entsprechenden Zahlen aus Tab. 2, so erhält man direct das Verhältniss der Empfindlichkeiten in Kohlensäure und Luft bei verschiedenen Temperaturerhöhungen des Bolometerzweiges.

Wärmemenge	Empfindlichkeitscoefficient
0,0 ₈ 18	1,197
0,0 ₈ 31	1,181
0,0 ₈ 40	1,176

Der Empfindlichkeitscoefficient ändert sich also bei Verdoppelung der Bestrahlung um 2 Procent. Die Grösse der Strahlung braucht daher nur roh bekannt zu sein, wenn man einen Fehler vermeiden will. Es sei betont, dass dieser Coefficient einen ganz relativen Werth hat, der nur für den unter denselben Verhältnissen benutzten Apparat gilt. Lecher und Pernter¹⁾ haben bei einer ähnlichen Arbeit mit der Thermosäule diesen Empfindlichkeitscoefficienten vernachlässigt. Bei einer bolometrischen Arbeit entsteht dadurch ein Fehler von ungefähr 17 Proc., bei Anwendung der Thermosäule wird der Fehler kleiner, aber nicht zu vernachlässigen sein.

B. Messung der Absorption.

1. Strahlung in Luft.

a) *Temperatur des strahlenden Bolometerzweiges.* In der Brücke 1, welche den strahlenden Bolometerzweig *A* enthält, braucht nur der Widerstand von *A* und seinem Nebenschluss N_1 bekannt zu sein.

Der erstere betrug bei der vorhandenen Temperatur von $17,75^\circ$ 17,964 Ohm. Die Brücke war bei ganz schwachem Strom (0,001 Amp.) abgeglichen, wenn $N_1 = 1051,8$ Ohm war. Für einen starken Strom (ungefähr 0,2 Amp.) war die Brücke 20 sec nach Stromschluss abgeglichen, wenn $N_1 = 393,1$ war. Den vorhandenen kleinen Gang machte man dadurch unschädlich, dass diese Zeit auf 1 sec genau innegehalten wurde. Hieraus und aus dem Temperaturcoefficienten des Bolometerzweiges

1) E. Lecher u. J. Pernter, Ueber die Absorption dunkler Wärmestrahlen in Gasen und Dämpfen. Wien. Akad. Ber. 82. p. 265 bis 302. 1880; Wied. Ann. 12. p. 180. 1881.

$\alpha = 0,0034$ berechnet sich die Temperaturerhöhung des strahlenden Bolometerzweiges zu 8,710 Grad.

b) *Widerstandsänderung des bestrahlten Zweiges B_1 .* Es wurden zunächst 20 sec nach Stromschluss die Ablenkungen gemessen, welche die Bestrahlung von B_1 durch A hervorbrachte. Man erhielt die Ablenkungen 95,2, 95,0, 96,0, 95,3, Mittel = 95,4 mm. Ein Gang ist nicht vorhanden, da B_1 und B_2 beide den Temperaturgang mitmachten. Die Ablenkung wurde wieder als Widerstandsänderung ausgewerthet, indem zu W_3 ein Nebenschluss N_3 gelegt wurde.

$N_3 = 150$ Ohm gab die Ablenkung 94,6 mm

145 „ „ „ „ 97,8

also $N_3 = 148,7$ entspricht 95,4

und da $W_3 = 1,841$ Ohm ist, so ist die gesuchte Widerstandsänderung gleich $1,841^2/150,5 = 0,02251$ Ohm.

c) *Die vom bestrahlten Bolometerzweig aufgenommene Wärmemenge.* Trotzdem die Bestimmung der Widerstandsänderung für die vorliegenden Zwecke genügt, so ist doch die vom Bolometerzweig aufgenommene Wärmemenge nach dem Schema p. 422 mitbestimmt.

Die Beobachtungen ergaben, wie dort geordnet und nach der Regel p. 423 corrigirt:

Tabelle 4.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>d</i>
Beob.	Nullpunkt Strom offen		Ruhelage 450 Ohm		Abgelenkt 225 Ohm
1	477,6	2	479,0		
3	477,5			4	303,0
5	477,5	6	478,1		
7	477,8			8	301,8
9	447,5	10	477,6		
11	477,6				
Mittel	477,6		478,2		302,4

Die Ablenkung ist demnach $478,2 - 302,4 + 0,4 = 176,2$ mm.

Wurde nun der Columnen *d* entsprechende Strom genommen und der Nebenschluss N_3 gleich 148,7 Ohm, also die früher

gefundene Widerstandsänderung eingeschaltet, so war die Ablenkung 174,4, also zu klein.

Ein zweiter Satz mit 230 statt 225 Ohm gab:

Tabelle 5.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>d</i>
Beob.	Nullpunkt Strom offen		Ruhelage 450 Ohm		Abgelenkt 230 Ohm
1	477,3	2	481,0		
3	477,3			4	320,8
5	477,2	6	482,0		
7	477,3			8	322,8
9	477,0	10	483,0		
11	477,2				
Mittel	477,2		482,0		321,8

Die Ablenkung ist demnach $482,0 - 321,8 + 3,2 = 163,4$ mm.

Der Nebenschluss $N_3 = 148,7$ Ohm lieferte mit dem Ballast 230 Ohm, die Ablenkung 171,4.

Aus den gemessenen Ablenkungen:

Ablenkung durch	Ballast 225 Ohm	Ballast 230 Ohm
Stromwärme	176,2	163,4
Nebenschluss	174,4	171,4

folgt durch Interpolation, dass die Ablenkung durch Stromwärme bei dem Ballast 225,9 gleich der durch Nebenschluss wird, d. h. dass die Stromwärme gleich der früher (p. 427) durch Bestrahlung hervorgerufenen Wärmemenge ist.

Nach Gleichung (1) und (2) p. 425 berechnet sich mit den dortigen und den folgenden Daten: $E = 4,030$ Volt und Widerstand w des Bolometerzweiges B_1 bei $17,8^\circ$ gleich 44,23 Ohm, die eingestrahlte Wärmemenge \mathfrak{B} gleich $0,0,3991$ g-Cal/sec.

2. Strahlung in Kohlensäure.

a) *Temperatur des strahlenden Bolometerzweiges A.* Da die Versuche genau wie in Luft angestellt sind, werden nur die Beobachtungsdaten und das Resultat der Berechnung gegeben. Der Widerstand von A bei der Anfangstemperatur $t = 17,6^\circ$ war gleich 44,21 Ohm, die Brücke war abgeglichen bei $N_1 = 1085,9$. Bei der gesuchten Endtemperatur war die

Brücke wieder abgeglichen für $N_1 = 399,3$. Die hieraus berechnete Temperaturerhöhung ist $= 8,677$ Grad.

b) *Widerstandsänderung des bestrahlten Bolometerzweiges B_1 .* Die Widerstandsänderung entsprach der Parallelschaltung von $140,7$ Ohm zu W_3 , d. h. $0,02378$ Ohm.

c) *Die von B_1 aufgenommene Wärmemenge.* Die in Gleichung (1) und (2) p. 425 einzusetzenden Daten sind hier: $E = 4,030$ Volt, w bei $17,7^\circ$ gleich $44,22$ Ohm. Die Ballastwiderstände sind: $w_2 = 236,6$, $w_1 = 450$ Ohm. Die eingestrahelte Wärmemenge ist gleich $0,0,3573$ g-Cal/sec.

C. Berechnung der Absorption.

1. Durch Vergleichung der Widerstandsänderung in Luft und in Kohlensäure.

In Luft $0,02251$ Ohm bei $8,710^\circ$ } Temperaturerhöhung des
In Kohlensäure $0,02378$ Ohm bei $8,677^\circ$ } strahlenden Körpers.

also $0,02387$ Ohm auf $8,710^\circ$ berechnet.

Die Widerstandsänderung in Luft ist kleiner als die in Kohlensäure, und wenn man die Aenderung der Empfindlichkeit nicht berücksichtigt, könnte man zu dem Schlusse gelangen, dass Luft von den dunkeln Strahlen mehr absorbiert als Kohlensäure.

In Wirklichkeit aber absorbiert Luft die dunkeln Wärmestrahlen nicht, welche in dem Gebiet zwischen 0 und 100 Grad ausgestrahlt werden, wenigstens nicht merklich, da bei doppeltem Abstand der Strahlungsquelle vom Bolometer die Strahlung auf 1 Proc. genau den vierten Theil beträgt.

Multiplicirt man die Widerstandsänderung in Luft mit dem Empfindlichkeitsverhältniss, welches nach p. 426 durch Interpolation gleich $1,177$ gefunden wird, so erhält man die vergleichbaren Werthe:

für Kohlensäure $0,02387$ Ohm

Luft $0,02650$ „

Die Absorption in der 55 mm dicken Schicht Kohlensäure beträgt also in Bruchtheilen der einfallenden Strahlung

$$\frac{0,02650 - 0,02387}{0,02650} = 0,0993.$$

2. Durch Vergleichung der vom Bolometer empfangenen Wärmemengen.

In Luft	0,0 ₃ 3991 g-Cal/sec bei 8,710°	
Kohlensäure	0,0 ₃ 3573	8,677
also	0,0 ₃ 3586	8,710.

Hieraus ergibt sich ohne jede Correction der von der Kohlensäure absorbirte Bruchtheil = 0,1013.

Es sei erwähnt, dass ausser dieser Art die Ablenkungen zu messen, mannichfache andere versucht worden sind. An und für sich ist es vortheilhafter Ausschläge zu beobachten, als Ruhelagen, wahrscheinlich weil in den Ausschlägen schon eine Summirung oder ein Mittelwerth verschiedener Einzelwirkungen liegt. Jedoch war dies hier nicht zulässig, da die Ausschlagszeit und damit die Zeit der Bestrahlung von dem Gase abhängt, in dem sich der Bolometerzweig befindet. Ferner kann, wie früher erwähnt, ein Bolometerausschlag nicht mit einem Ausschlag verglichen werden, der durch eine constante Widerstandsänderung hervorgerufen wird. Dies ist aus der folgenden Tabelle ersichtlich; der erste Ausschlag ist

Umkehrpunkte einer ungedämpften von 0 mm Ruhelage ausschlagenden Nadel,				
hervorgerufen durch	1.	2.	3.	4.
Bestrahlung	263,2	214,9	233,2	230,1
constante Widerstandsänderung	271,1	188,1	214,1	205,7

bei der Bestrahlung kleiner, der zweite grösser als bei der constanten Widerstandsänderung. Es wurde auch versucht, die durch Bestrahlung eintretende Widerstandsänderung für einen bestimmten Zeitpunkt durch eine constante Widerstandsänderung zu compensiren, sodass der Ausschlag Null beobachtet wird. Auf diese Weise wurden jedoch weniger gute Resultate erhalten. Weiter unten wird gezeigt werden, wie sich die Methode bei Benutzung eines anderen zu diesem Zweck besonders zu construierenden Apparates wesentlich vereinfachen liesse.

Der Zweck der Untersuchungen war weniger einen genauen Werth für die Absorption der Kohlensäure zu finden, als die Brauchbarkeit und die Vortheile der Methode zu zeigen. Es

wurde hierzu die Absorption der Kohlensäure gewählt, weil dieselbe bei anderen Arbeiten über Strahlung eine gewisse Rolle spielen konnte, da der Strahlengang durch gewöhnliche Zimmerluft geführt war, die ja immer Kohlensäure, wenn auch nur wenige pro mille enthält.

Einwendungen gegen die Versuche. Es war p. 419 angenommen, dass es im Effect dasselbe sei, ob ein Bolometerzweig durch Bestrahlung oder durch Strom erwärmt werde. Dieser Punkt muss genauer untersucht werden. Lässt man einen Bolometerzweig von beiden Seiten gleichmässig bestrahlen, so wird im stationären Zustand die Temperatur des Platinblechs ziemlich genau dieselbe sein, wie die des auf beiden Seiten aufsitzenden Platinschwarz. Wird ein Bolometerzweig einseitig bestrahlt, so wird das Platinschwarz der bestrahlten Seite eine höhere Temperatur besitzen als das der unbestrahlten Seite, während das Platinblech, Symmetrie der Schichten von Platinschwarz vorausgesetzt, angenähert die mittlere Temperatur beider Seiten annehmen wird.

Erwärmt man dagegen einen Bolometerzweig durch Strom, so entsteht die Wärme nur in dem dünnen Platinblech, da das Platinschwarz electrisch nicht in einem hier in Betracht kommenden Maasse leitet, die Temperatur der Oberfläche wird also niedriger sein. Bei dieser Betrachtung kann übergangen werden, dass die Enden der Platinbleche Wärme durch Leitung an ihre Träger, in diesem Falle an den Schieferrahmen abgeben. Wie gross diese Temperaturdifferenz zwischen Blech- und Platinschwarz ist, darüber hat man vorläufig keine sichere Vorstellung. Jedenfalls ist aber eine Temperaturdifferenz vorhanden und dieselbe bildet eine Fehlerquelle in allen Arbeiten über Strahlung, in denen die Innentemperatur eines Körpers der Temperatur seiner geschwärzten Oberfläche gleich gesetzt wird. Bisher giebt es keine Methode, die Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und dem Inneren eines Körpers zu bestimmen, deshalb habe ich diese Frage zum Gegenstand einer besonderen Untersuchung, die noch nicht abgeschlossen ist, gemacht.

Es war vorhin gesagt, dass dieser Einwand für die Bestimmung des Empfindlichkeitscoefficienten ziemlich gleichgültig sei. Dies liegt daran, dass der Empfindlichkeitscoefficient

von der Grösse der Temperaturerhöhung, welche der Bolometerzweig erfährt, ziemlich unabhängig ist. Wenn man also die Temperatur der Oberfläche gleich der des Bleches setzt und darin einen Fehler begeht, so hat man nur die Bestimmung bei einer etwas anderen Temperatur gemacht, und dies bringt, wie die Resultate gezeigt haben, kaum einen Fehler mit sich. Allerdings wird die Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Innerem sich noch ändern, je nach dem Gase, in dem sich der Bolometerzweig befindet, aber doch nur mit einem kleinen Bruchtheil des Gesamtbetrages. Insofern wird die Bestimmung der Empfindlichkeit eines Bolometerzweiges in Luft und in Kohlensäure nicht wesentlich beeinflusst, wenn man den Bolometerzweig statt durch Bestrahlung durch Strom erwärmt.

Das Reflexionsvermögen der den Raum einschliessenden Wände und der Blenden ist nicht besonders untersucht, beide waren mit Petroleumruss geschwärzt. Vor allen Dingen müsste aber das Reflexionsvermögen der Bolometerzweige selbst bestimmt werden.

Ein Theil dieser Nebenuntersuchungen liegt in der Eigenthümlichkeit der Methode begründet, ein anderer Theil ist allen Strahlungsmessungen gemeinsam und zeigt, welche Unsicherheiten hier noch vorliegen, doch können diese Unsicherheiten gerade mit Hülfe der Methode untersucht werden.

Anforderungen an ein für diese Zwecke geeignetes Bolometer.

Diese Versuche waren zunächst nur in einem Beobachtungsraume von ziemlich constanter Temperatur ausführbar. Dies liegt daran, dass das vorläufig benutzte Bolometer nicht speciell für diese Zwecke construirt war. Wie erwähnt ist, musste bei einem Theil der Versuche eine Wheatstone'sche Brücke mit nur einem Bolometerzweig und drei dicken Manganindrähten benutzt werden. Dies brachte es mit sich, dass ein Gang in der Umgebungstemperatur einen Gang der Galvanometernadel hervorrief. Jedoch ist es möglich, diesen Uebelstand durch einen Kunstgriff, der bei einer Untersuchung von

Paalzow und Rubens¹⁾ angewandt ist, zu vermeiden. Man kann die vier Zweige der Brücke sämtlich aus Bolometerzweigen bestehen lassen und einen Zweig wieder in vier vollkommen gleiche Zweige zerlegen, die für sich eine neue Brücke bilden, wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, in welcher der Widerstand der Brücke $AEBF$ gleich dem Zweig AD ist. In diesem Falle können die Widerstände der Brücke $AEBF$ durch Strom, der aus Quelle Q stammt, erwärmt werden, ohne dass ein Strom durch die Brücke $ADCB$ fließt. Eine solche Brückenordnung würde gegen äussere Temperatureinflüsse geschützt sein. DC und BC können dabei natürlich aus Drahtrollen gebildet werden. Dagegen muss der Bolometerzweig AD in jeder Beziehung gleich dem Zweige $AEBF$ sein. Man könnte zwar dem Zweige $AEBF$ durch einen Zweig AD , der gleich AE wäre, das Gleichgewicht halten, da ja der Widerstand von $AEBF$ in dieser Schaltung gleich dem Widerstand von AE ist. Das würde aber beim Durchgang des zur Messung nöthigen Stromes zur Folge haben, dass in AD dieselbe Wärmemenge erzeugt würde, wie in $AEBF$, d. h. auf der einfachen Fläche würde dieselbe Wärmemenge erzeugt, wie auf der vierfachen. Da dies die Gleichgewichtslage stören würde, so muss man also auch AD in vier Zweige zerlegen, man braucht also acht gleiche Bolometerzweige.

Die vorhandenen Bolometerzweige konnten auch nicht, da sie nicht zu diesem Zweck hergestellt waren, auf eine höhere Temperatur als 50 Grad gebracht werden, weil sie an einzelnen Löthstellen mit Wood'scher Legirung gelöthet waren, ein Umstand, der sich aber bei Herstellung neuer Bolometerzweige leicht vermeiden lässt.

Schlussfolgerungen.

Was die Genauigkeit des blossen Messens der Ausschläge, wenn man von sonstigen Fehlerquellen absieht, betrifft, so ist dieselbe sehr gross. Die Empfindlichkeit des Galvanometers war absichtlich auf ein Zehntel der sonst benutzten herabgedrückt, und doch konnten Strahlungen bei weniger als 10 Grad Temperaturdifferenz auf 1 pro mille gemessen werden.

1) Paalzow u. Rubens, Wied. Ann. **37**. p. 529—539. 1889.

Da aber das Galvanometer gewöhnlich bei zehnfacher Empfindlichkeit gebraucht wird und selbst bei noch dreifach höherer Empfindlichkeit brauchbare Messungen gestattet, so ist es klar, dass Strahlungen bei einer Temperaturdifferenz von einem Bruchtheil eines Grades noch genau gemessen werden können. Es nehmen allerdings die Störungen bei einem empfindlicheren Galvanometer zu, theilweise proportional der Empfindlichkeit, wie z. B. alle durch Temperaturgänge hervorgerufenen. Diese Gänge können aber durch eine bolometrische Anordnung, wie sie p. 433 beschrieben ist, vermieden werden, und eine solche Anordnung gestattet erwiesenermaassen die Anwendung eines so hoch empfindlichen Galvanometers. Ferner nehmen die Störungen in dem abgeschlossenen Raum der Bolometerzweige, die sich bei dem unempfindlichen Galvanometer hätten verbergen können, bei Strahlungen geringerer Temperaturdifferenz gleichfalls ab.

Die Methode erscheint daher brauchbar, um Strahlungen bei kleinen Temperaturdifferenzen zu messen, die man sonst nicht messen könnte, und zwar kann die Anfangstemperatur selbst innerhalb weiter Grenzen beliebig tief und beliebig hoch genommen werden. Bei beginnender Rothgluth verliert allerdings das bis jetzt als bestes absorbirendes Medium bekannte Platinschwarz seine Eigenschaften und geht bei noch höheren Temperaturen in blankes Metall über.

Es bleiben noch zwei schon erwähnte Aufgaben übrig, die bisher nicht gelöst sind. Die eine ist die Bestimmung des Reflexionsvermögens von Platinschwarz für lange Wellen. Die zweite ist die Bestimmung der Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und dem Inneren eines strahlenden Körpers.

Was hier vortheilhaft für bolometrische Untersuchungen genannt wurde, bezieht sich nur auf die Flächenbolometrie, also auf die Gesamtstrahlung eines Körpers, nicht aber auf die Linearbolometrie, also nicht auf die spectral zerlegte Strahlung, da hierfür ganz andere Verhältnisse vorliegen. Allerdings liessen sich wohl auch für die Spectralbolometrie bei Anwendung von Hohlspiegeln und Gittern dadurch ähnliche Vortheile erreichen, dass man den Spalt durch einen schmalen Bolometerstreifen ersetzt und den ganzen Apparat auf ein kleines Volumen bringt.

Für Radiometer, die nach den Arbeiten von Nichols¹⁾ und Rubens²⁾ noch genauere Messungen gestatten als Bolometer, kann es gleichfalls von Vorthail sein, die Strahlungsquelle in den evacuirten Raum mit hineinzunehmen, da man hierdurch auch von der Absorption und Reflexion der Verschlussplatte des Radiometers frei wird. Leider erlaubt aber das Radiometer noch keine Messungen in absolutem Maasse.

Charlottenburg, April 1897.

(Eingegangen 21. Mai 1897.)

1) E. Nichols, Berl. Akad. Ber. p. 1183—1196. 1896.

2) H. Rubens u. E. Nichols, Berl. Akad. Ber. p. 1393—1400. 1896.