

Belemnites	Rhaet.		Sin.		Charm.			Toarc.			Aalen.			Bajoc.			Ves.	
	I	II		II	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	
Janus, Dumort.	.	.	.	.	2													
Lugdunensis, May.-Eym.	.	.	.	.	2													
Mareoni, May.-Eym.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3								
ballista, May.-Eym.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2								
Bayani, May.-Eym.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2							
sagitta, May.-Eym.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1						
Ehingensis, May.-Eym.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2					
insculptus, Phill.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2				
Locardi, May.-Eym.	.	.	.	.	.	.	.	.	?	?	?	?	?					
Breoni, May.-Eym.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
<hr/>																		
Schlönbachi, May.-Eym.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	2	2	3						
brevispinatus, Waag.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	1
Escheri, May.-Eym.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4				
Trigeri, May.-Eym.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2				

## Untersuchungen im Gebiet der strahlenden Wärme.

Von

**H. Schneebeil.**

Im 84. Bande von Poggendorff's Annalen pag. 411 und folgende beschreibt Svanberg eine einfache und sehr empfindliche Methode zum Studium der strahlenden Wärme.

Meine Absicht bei den nachstehenden Versuchen war, diese Methode auf ihre Genauigkeit und Leistungsfähigkeit zu prüfen und zugleich einige Fragen der Strahlung experimentel mit ihrer Hülfe zu lösen.

Bereits haben in neuerer Zeit Langley und Baur die Svanberg'sche Methode benützt um verschiedene Fragen, die sich im Gebiet der strahlenden Wärme stellen lassen, zu entscheiden und Anordnungen angegeben, um die Methode den verschiedenen Zwecken anzupassen.

Die Anordnung, wie ich sie bei meinen Versuchen wählte, ist folgende:

Als bestrahlter Widerstand wurde benutzt ein Gitter von dünnem Staniol, welches mit Platinchlorid geschwärzt war und sich in einem Kasten mit beweglichem Deckel befand. Als electromotorische Kraft diente ein Daniell'sches Element und wurde das Spiegelgalvanometer der Brücke so empfindlich gestellt, dass im Allgemeinen eine Verrückung des Messdrahtcontactes von 1<sup>mm</sup> einen Ausschlag von einigen hundert Scalentheilen bewirkte. Der Widerstand in dem Kreise, in dem sich die Säule befindet, wurde durch einen eingeschalteten Rheochorden constant erhalten und die Stromstärke in demselben beständig controlirt.

Verschiedene Umstände bewogen mich, die Strahlung in folgender Weise zu untersuchen: Es wurde das Staniolgitter während 10 Secunden der Strahlung ausgesetzt, hierauf der Stromkreis geschlossen und der nun erfolgende Ausschlag abgelesen. Selbstverständlich war vorher der Schlitten so gestellt worden, dass beim Schliessen und Oeffnen vor der Bestrahlung die Nadel in Ruhe bleibt.

Ein Uebelstand der Methode, den ich gleich hervorheben will, ist, dass die Stromlosigkeit in der Brücke nie längere Zeit anhält, so dass auch bei sorgfältigem Schutze der empfindlichen Theile der Strombahn dennoch nicht garantirt werden kann, dass während den 10 Secunden, während welchen die Bestrahlung statt hatte,

die Stromlosigkeit bei nicht veränderter Gittertemperatur noch vorhanden gewesen sei. Eine kürzere Bestrahlungszeit anzuwenden, schien mir nicht angebracht, da die Temperaturerhöhung des Gitters Funktion der Zeit ist und namentlich im Anfang sehr stark mit der Zeit wächst und also kleine Ungenauigkeiten in der Exponirungszeit grosse Fehler hervorbringen würden. Folgende Zahlen geben hierüber Auskunft:

Bestrahlungsdauer:	Ausschlag:
2 Secunden	270
5 »	300
10 »	321
15 »	328
20 »	331.

### I. Absorption der strahlenden Wärme in Glas.

Es wurde vorerst die Absorption der Wärmestrahlen, die von einem glühenden Platinblech ausgingen in verschiedenen Glassorten untersucht. Das Platinblech befand sich in der nicht leuchtenden Flamme eines Bunsen'schen Brenners. Die Glasplatten waren aus verschiedenen Fensterscheiben und Stücken von Electrisirmaschinenscheiben ausgewählt worden und besaßen dieselben annähernd die gleiche Dicke, denn nur in diesem Fall sind die Absorptionsvermögen der verschiedenen Platten untereinander vergleichbar. Der Absorptionscoëfficient wurde berechnet aus der Formel:

$$J = J_0 e^{-kx}$$

$$\text{zu } k = \frac{\log \frac{J_0}{J}}{x}$$

worin bedeuten:

- $x$  die Dicke der absorbirenden Platte,  
 $J_0$  die Intensität der auffallenden und  
 $J$  diejenige der durchgehenden Strahlen.

Folgende Tabelle gibt ein Bild über die Absorption in den gewählten Glasscheiben:

Dicke der Scheiben	$J_0$	$J$	$k$
1,8 <sup>mm</sup>	142,9	70,0	0,396
1,8	143,0	69,5	0,400
1,75	142,5	70,5	0,401
1,70	142,5	71,5	0,405
1,90	142,0	68,5	0,383

Die Tabelle zeigt, dass die untersuchten Glasplatten eine ziemlich gleichmässige Absorptionsfähigkeit besitzen; die grössern Abweichungen, wie sie bei No. 4 und No. 5 vorkommen, erklären sich leicht aus der verschiedenen Dicke der beiden Platten. Aus dem folgenden geht nämlich hervor, dass der Absorptionscoefficient mit wachsender Dicke ganz bedeutend abnimmt.

Weiter wurde die Frage untersucht: Wie ändert sich der Absorptionscoefficient in verschiedenen Tiefen der durchstrahlten Glasschicht? Folgende Tabelle gibt hierüber Auskunft; es bezeichnet in derselben  $\delta$  die Dicke der von der Strahlung schon durchlaufenen Glasschicht bevor die Absorption in der Glasplatte von 1,75 Millimeter Dicke gemessen wird. Als strahlende Quelle diente eine leuchtende Gasflamme.

$\delta$ [ Dicke der schon durch- laufenen Glasschicht. ]	Dicke der absorbirenden Glasplatte	$k$
0 mm	1,75 mm	0,419
1,8 »	1,75 »	0,207
5 »	1,75 »	0,150
10 »	1,75 »	0,084

Endlich wurde noch die Absorptionsfähigkeit des Glases bei strahlenden Quellen verschiedener Temperatur untersucht. Die Zahl für die Temperatur  $100^\circ$  ist nur als eine angenäherte zu betrachten:

Temperatur des strahlenden Körpers	Dicke der absorbirenden Glasplatte	$k$
$100^\circ$	1,75 mm	2,4
$250^\circ$	1,75 »	1,47
circa $1000^\circ$	1,75 »	0,42

## II. Untersuchung der Strahlung in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur des strahlenden Körpers.

Ueber die Abhängigkeit der ausgestrahlten Wärmemenge von der Temperatur des strahlenden Körpers stellte in jüngster Zeit Stephan\*) eine Hypothese auf. Nach ihm soll die von einem Körper ausgestrahlte Wärmemenge proportional sein der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur, es müsste also sein:

$$\frac{A T_1^4 - B T_0^4}{A T_2^4 - B T_0^4} = \frac{S_1}{S_2},$$

wenn wir bezeichnen mit:

$A$  und  $B$  zwei Constante, die abhängen erstere von der Natur des strahlenden und letztere von der Natur des bestrahlten Körpers,

$T_1$  und  $T_2$  die absoluten Temperaturen der strahlenden Quelle;

$T_0$  die absolute Temperatur der bestrahlten Fläche,

$S_1$  und  $S_2$  die bei den Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  ausgestrahlten Wärmemengen.

Um diese Beziehung in vorläufiger Weise zu prüfen, wandte ich als strahlende Fläche die grosse Seite eines

\*) Sitzungsberichte der Wiener Academie 1879, p. 391.

rechtwinkligen Kupferklotzes von folgenden Dimensionen an: Höhe 100<sup>mm</sup>, Breite 80<sup>mm</sup> und Dicke 45<sup>mm</sup> und dessen Gewicht 3,21 Kilogramm betrug. Von oben wurde in den Klotz ein Loch gebohrt und in dasselbe ein Thermometer gesteckt, welches für die tiefern Temperaturen zur Temperaturmessung genügte. Für die höhern Temperaturen wurde die Temperatur des Klotzes auf calorimetrische Weise bestimmt, indem sofort nach vollendeter Strahlung ein Gehülfe denselben in ein Gefäss mit bekannter Wassermenge tauchte. Natürlich musste darauf Bedacht genommen werden, dass die Strahlung bei den verschiedenen Temperaturen unter gleichen Umständen, d. h. bei gleichbleibender Beschaffenheit der strahlenden Fläche vor sich gehe. Eine reine Kupferoberfläche war ausgeschlossen, da besonders bei höhern Temperaturen eine grosse Veränderung derselben vor sich geht und damit das Emissionsvermögen gewaltig verändert wird. Es wurde deshalb die strahlende Fläche mit einer sehr feinen Schicht von Silber überzogen durch Bestreichen derselben mit einer Silberlösung in Salpetersäure und nachheriges Erhitzen. Man erhält auf diese Weise eine sehr feine und ziemlich homogene, matt schwarze Oberfläche, die auch während einer ganzen Reihe trotz Eintauchens in Wasser ziemlich unverändert blieb.

Ich wähle aus den verschiedenen Versuchsreihen die folgende heraus:

<i>T</i>	<i>S</i>
423°	62
473°	113
523°	182
553°	230
643°	455

Da sowohl strahlende wie bestrahlte Fläche mit einer dünnen Schicht eines niedergeschlagenen Metalls überzogen sind, so dürfen wir wohl  $A = B$  setzen. Nach Stephan müsste alsdann:

$$\frac{T^4 - T_0^4}{S} = \text{Constant}$$

sein. Die folgende Tabelle enthält die aufeinanderfolgenden Werthe für:

$T$	$\frac{T^4 - T_0^4}{S}$
423°	39,7
473°	37,7
523°	37,1
553°	37,4
643°	36,0

Die Uebereinstimmung ist keine sehr befriedigende; indessen ist auch die Versuchsanordnung nicht eine solche, dass dieselbe geradezu entscheidende Resultate liefern könnte.

Die folgende Versuchsanordnung scheint mir aber dazu angethan zu sein, die Hypothese in weiten Grenzen prüfen zu können.

Als strahlende Fläche wurde das Gefäss eines Luftthermometers benützt, das sich in einem Perrot'schen doppelwandigen Ofen befand. Die Wände des Ofens wurden durchbohrt und in das Loch eine mit einer Klappe versehene, dünnwandige Eisenröhre gesteckt, die nahe an die Wand des Thermometergefässes heranreichte. Die Schieberklappe befindet sich ausserhalb des Ofens und konnte mit einer Schnur vom Beobachter, der in einiger Entfernung am Ablesefernrohr sass, geöffnet und ge-

geschlossen werden. Vor der Röhre befanden sich 2 feste Schirme aus Zinkblech je circa ein Quadratmeter gross und durch eine Luftschicht von etwa zwei Decimeter Dicke von einander getrennt. In diese Schirme wurden der Röhre entsprechend kreisrunde Oeffnungen geschnitten, die aber erheblich kleiner waren, als der Querschnitt der Röhre betrug. Das Ganze wurde so gestellt, dass das durch die äussere Oeffnung blickende Auge bei geöffneter Klappe nichts Weiteres wahrnehmen konnte als einen Theil der Wand des Thermometergefässes. Endlich wurde noch zwischen die beiden festen Schirme ein kleinerer Doppelschirm hineingehängt, der im Ruhezustand zwischen den beiden Oeffnungen hing und durch einen Schnurlauf vom Beobachter weggezogen und wieder zurückgelassen werden konnte. Hinter dem zweiten festen Schirm befand sich die Röhre mit dem Staniolgitter, welches durch Wegziehen der Röhrenklappe und des beweglichen Doppelschirmes mittelst der beiden Schnurläufe vom Beobachter sehr rasch der Strahlung des Thermometergefässes ausgesetzt resp. ebenso rasch der Strahlung entzogen wurde. Wie früher dauerte auch hier wieder die Bestrahlung 10 Sekunden.

Das cylindrische Thermometergefäss war aus Porzellan mit einem Inhalt von etwa 500<sup>ccm</sup>; dasselbe endigt in einer Capillarröhre von circa 1 Meter Länge, welche durch eine Bleicapillarröhre mit einem Metallmanometer verbunden ist. Ueber diese specielle Art der Temperaturmessung habe ich schon früher referirt (*Archives des Sciences phys. et nat.*, tome VIII, p. 244) und verweise deshalb auf das dortgesagte. Doch möchte ich noch einmal wiederholen, dass diese einfache Anordnung bedeutende Genauigkeit und grosse Raschheit der Tempe-



raturmessung ermöglicht, sobald natürlich einmal die nöthigen Vorbestimmungen durchgeführt sind.

Jede Versuchsreihe dauerte im Minimum 4 Stunden, da das Anwärmen des Thermometergefäßes nur langsam geschehen durfte, um ein Springen desselben zu verhindern. Die Stellung des Gashahns wurde immer so gewählt, dass bei der Temperatur, bei welcher man beobachten wollte, dieselbe stationär wurde; erst nachher wurde dann mehr Gas zugelassen, um wieder bei der nächst höhern Beobachtungstemperatur stationären Zustand zu erhalten. Stets wurde jedoch bemerkt und zwar besonders bei sehr hohen Temperaturen, dass vom Momente an, wo behufs Bestrahlung die Klappe in der Röhre weggezogen wurde, der Druck im Manometer, d. h. die Temperatur ein wenig sank. Es ist dies eine Fehlerquelle, die sich nie vollständig wird vermeiden lassen und leider der Genauigkeit der Beobachtungen eine frühe Grenze setzt.

Ich gebe in der folgenden Tabelle die Resultate einer gut verlaufenen Versuchsreihe:

$T$	$S$	$\frac{T^4 - T_0^4}{S}$
397°	19,0	9,2
586°	108	10,2
719°	247	10,5
854°	481*)	10,9
1007°	960*)	10,6

und füge gleich bei, dass es mir gelang, noch höhere Temperaturgrade zu erreichen, z. B. in der folgenden:

\*) Sind reduzierte Zahlen, indem für diese Temperaturen die Empfindlichkeit des Galvanometers vermindert worden war.

$T$	$S$	$\frac{T^4 - T_0^4}{S}$
871°	80,0	71,0
1013°	146	71,6
1097°	201	71,5
1177°	260	73,5

Bei diesen höhern Temperaturen aber wurden die damals benutzten Thermometergefäße durch Zerspringen gefährdet und bald war ich durch Mangel an Gefäßen gezwungen, die Versuche einzustellen.

Aus den obigen Tabellen könnte man aus je zwei Beobachtungen die Constanten  $A$  und  $B$  nach den Formeln berechnen:

$$A = \frac{S_1 - S_2}{T_1^4 - T_2^4};$$

$$B = \frac{S_1 T_2^4 - S_2 T_1^4}{T_0^4 (T_1^4 - T_2^4)}.$$

Es wird aber besonders für höhere Temperaturen der Zähler von  $B$  so klein, dass schon kleine Ungenauigkeiten in der Bestimmung von  $S$  und  $T$  ganz absurde Werthe für  $B$  liefern. Uebrigens ist das Glied  $B T_0^4$  gegenüber  $A T^4$  für hohe Temperaturen sehr klein und habe ich desshalb der Einfachheit wegen  $A = B$  gesetzt. Die Werthe

$$\frac{T^4 - T_0^4}{S}$$

zeigen wenigstens für die höhern Temperaturen eine ganz annehmbare Uebereinstimmung, so dass wir zu dem Schlusse berechtigt sind: Die Annahme, es sei die Strahlung proportional der 4. Potenz der absoluten Temperatur des strahlenden Körpers, entspricht mit grosser

66 Schneebeli, Untersuchungen im Gebiet der strahlenden Wärme.

Annäherung der Wirklichkeit. Unsere Versuche umfassen das weite Temperaturintervall von circa  $T = 400^\circ$  bis  $T = 1200^\circ$ .

### III. Untersuchung der Strahlung einer Swan'schen Incandescenzlampe bei verschiedenen Temperaturen.

Im Weitern wurde die Strahlung einer kleinen Swan-Lampe (Widerstand kalt 80 Ohms) untersucht, welche man durch verschiedene Stromstärken von Anfangs Rothguth bis zum Weissglühen erhitze. Die angewandten Ströme kamen von einer Gramme'schen Maschine und wurden mit Hülfe der Differentialboussole für starke Ströme gemessen, wie selbe in unserm Institute gebaut und von Dr. Denzler in »La lumière électrique«, Nro. du 15 avril 1882, beschrieben worden ist. Die Ablesungen geschahen bei dieser Boussole ebenfalls mit Hülfe von Spiegel, Scala und Fernrohr. Die in der folgenden Tabelle angeführten Zahlen geben die abgelesenen Ablenkungen, also die relative Intensität des angewandten Stromes.

Zu gleicher Zeit wurde mit Hülfe des Bunsen'schen Photometers die Lichtstärke der Lampe bei den verschiedenen Stromstärken bestimmt und erhielt so folgende Tabellen:

#### I. Reihe.

Stromstärke.	Gesamtstrahlung.	Optische Strahlung in Kerzen.
44,5	87,0	0,12
48,8	97,0	0,25
57,0	158	0,70
67,0	195	1,85
75,0	250	5,4
88,2	348	17,5

## II. Reihe.

Stromstärke.	Gesamtstrahlung.	Optische Strahlung in Kerzen.
48,0	102,0	0,3
76,2	254,0	5,5
94,2	392,0	24,0

Die beiden Reihen zeigen sehr hübsch, wie mit steigender Temperatur die Lichtemission in enormer Weise wächst.

Zwischen Stromstärke und Gesamtemission erhält man eine einfache Beziehung durch folgende Ueberlegung. Der thermische Gleichgewichtszustand der Lampe ist für jede Stromstärke dadurch defnirt, dass die durch den Strom in der Lampe erzeugte Wärmemenge gleich ist der nach aussen abgegebenen. Es besteht daher für jede Stromstärke  $J$  folgende Gleichung:

$$J^2 W = C \cdot S,$$

wenn bedeutet:

$W$  den Widerstand des Kohlenbügels bei der betreffenden Temperatur,

$S$  die von der Lampe ausgesandte Strahlungsenergie und  $C$  eine Constante.

Aus obiger Gleichung ergibt sich:

$$\frac{J^2 W}{S} = C.$$

Würde  $W$ , der Widerstand des Kohlenbügels, für die hier in Betracht fallenden hohen Temperaturen (circa  $600^\circ - 2000^\circ$ ) constant, so müsste der Quotient

$$\frac{J^2}{S} = \text{Constant}$$

werden.

In der That erhält man für diesen Quotienten folgende Werthe für die beistehenden Stromstärken:

$J$	$\frac{J^2}{S}$
44,5	22,8
48,8	24,5
57,0	20,7
67,0	23,0
75,0	22,5
88,2	22,4
48,0	22,6
76,2	22,8
94,2	22,6

Die Abweichungen, wie sie bei 2 Versuchen vorkommen, sind Stromschwankungen zuzuschreiben, die während der Beobachtung der Gesamtstrahlung eintreten. Aus der Tabelle geht also hervor, dass in der That der Widerstand des Kohlenbügels von Anfangs Rothgluth bis zum Weissglühen von der Temperatur sozusagen unabhängig ist. Dasselbe scheint der Fall zu sein für den Absorptionscoefficienten der Glasglocke der Lampe. Es sei bei dieser Gelegenheit noch bemerkt, dass die gewöhnliche amorphe Holzkohle im Allgemeinen ein ebenso schlechter Elektrizitätsleiter ist, als z. B. Paraffin, bei Glühhitze aber ein sehr guter Leiter der Elektrizität wird.