

VII. *Bemerkungen über die Ursache der Stockung im Erkalten gewisser flüssigen Legirungen; aus einem Schreiben des Hrn. Dr. Erman jun. an den Herausgeber.*

— **O**bgleich seit meiner Ankunft in Berlin ich mich ausschliesslich damit beschäftige, die auf der Reise angestellten geographischen und magnetischen Beobachtungen so zu reduciren, daß es möglich werde, neben der vollständigen Reihe der Originalbeobachtungen, möglichst bald eine, auf consequente Berechnung gegründete Zusammenstellung der daraus erhaltenen Resultate zu liefern, so konnte ich es mir dennoch nicht versagen; mich wenigstens nachträglich durch Ihre vortrefflichen Annalen in Kenntniß zu setzen von den mannigfaltigen und herrlichen Leistungen der Physiker während der drei Jahre meiner Abwesenheit.

Freilich sind für meine jetzigen Beschäftigungen ganz besonders: die über meteorologische und geognostische Verhältnisse neugewonnenen großartigen Ansichten, so wie dasjenige, was für Reduction magnetischer Beobachtungen Neues gesagt ist, von ausschließender Wichtigkeit; aber auch in andern Theilen der speciellen Physik ist so Vieles neue und vortreffliche geleistet, daß es eine besondere Aufopferung erfordert, sich einstweilen ganz entfernt davon zu halten.

Ganz insbesondere aber, knüpfen sich Herrn Rudberg's interessante Versuche: über die Erkältungsgesetze flüssiger Metallgemische \*), so genau an einige Wahrnehmungen, die ich in diesem Theile der Physik gehabt habe, daß ich mich nicht enthalten kann, mir schon jetzt einige Worte darüber gegen Sie zu erlauben. Es

\*) Diese Annal. Bd. 94. S. 240., und Bd. 95. S. 125.

scheint mir nämlich, als wenn Hr. Rudberg seinen schönen Resultaten eine Deutung gebe, die, bei Erinnerung an Anderes damit im Zusammenhange stehende, nicht ganz haltbar seyn möchte.

In Folge einer Arbeit über die Ausdehnung des Rose'schen Metallgemisches durch die Wärme, welcher Sie in Ihren Annalen einen Platz zu gönnen die Güte hatten (Bd. 85. S. 557.), verglich ich auch in einigen anderen Beziehungen das Verhalten gegen die Wärme der einzelnen Elemente der Legirung, gegen das der Legirung selbst.

Durch Beobachtung des Wärmegrades, bei welchem ein in die geflossenen und durch Ausstrahlung sich erkältenden Metalle tauchendes Thermometer eine Stockung in seinem Gange erhält, fand ich damals den Schmelzpunkt:

des *Zinns* zu  $178^{\circ} \text{R.} = 222^{\circ},5 \text{ Cent.}$

des *Wismuths* zu  $212 \text{ R.} = 265,0 \text{ —}$

des Rose'schen *Metalls* zu  $75 \text{ R.} = 93,75 \text{ —}$

eines sehr genau berichtigten Thermometers.

Die Quantität der gebundenen Wärme durch Beobachtung der Erkältungen der geflossenen Metalle zu bestimmen, versuchte ich auf einem, von dem des Herrn Rudberg etwas verschiedenen Wege. — Hr. Rudberg gedenkt nämlich, so wie es mir scheint, bei Anwendung von immer derselben Hülle, und bei immer derselben Quantität der verschiedenen Metalle, die Dauer des Stillstandes in der Gegend des Schmelzpunktes als ein Maafs anzuwenden: für die Relation der latenten Wärme des *einen*, gegen die des *anderen Metalles*. So völlig möglich dieses auch ist, so schien es mir etwas directer, wenn man eine jede der beobachteten Reihen nur *in sich* untersucht. Wenn man nämlich aus den Erkältungsintervallen *vor* und *nach* dem Eintreten der, durch das Festwerden, bewirkten Stockung, durch eine einfache Interpolation die logarithmische Reihe *so* ergänzt, wie sie ohne

Existenz der latenten Wärme hätte gehen sollen, so giebt der Ueberschuß des, in der Nähe des Schmelzpunkts, beobachteten Stationirens über das berechnete, das directe Maafs des frei gewordenen Wärmestoffs.

Und zwar: wenn ( $s$ ) die Temperatur des Schmelzpunkts.

$F(s)$  die, bei dieser Temperatur, unter den Umständen des Versuchs, zu 1<sup>o</sup> Temperaturerniedrigung nöthige Zeit.

$T$  die Dauer des anomalen Stationirens beim Schmelzpunkte, und

$K$  die specifische Wärme des zu untersuchenden Körpers in Bezug auf dieselbe Einheit, auf welche man die latente Wärme beziehen will, bezeichnen, so wird die latente Wärme:

$$l = \frac{T}{F(s)} K.$$

Wo  $F(s)$  der Form nach durch die allgemeinen Gesetze der Erkältung, ihren Constanten nach, aber durch die *vor* und *nach* dem Festwerden beobachteten Theile der Erkältungsreihe gegeben ist.

Diese einfache Relation gilt indefs natürlich nur dann, wenn die ganze der Beobachtung unterworfenene Masse vom Gewicht  $p$ : 1) klein genug ist, um dafs man den Einfluß der *Leitungs-Fähigkeit* auf den Versuch vernachlässigen könne, und:

2) *ausschliesslich* aus der zu untersuchenden Substanz besteht. — Ist, wie es immer der Fall seyn wird, diese Substanz noch in eine Hülle eingeschlossen, deren Gewicht  $p'$  und specifische Wärme  $k'$  ist, so erhält man:

$$l = \frac{T}{F(s)} \left\{ \frac{p + p'}{pK + p'K'} \right\}$$

Zum Beispiel beobachtete ich, eigentlich nur zur Bestimmung der Schmelzpunkte, folgende Reihen:

Temperaturerniedrigung.		für Zinn.	Wismuth.	Rose'sche Legirung.
		Verflossene Zeiten.		
von	bis			
220° R.	210° R.		145",0	
210	200		31,0	
200	190	20",0	25,0	
190	180	23,2	21,0	
180	170	109,2	22,0	
170	160	29,0	28,4	
160	150	31,2		
150	140	31,4		
140	130	40,4		57",0
130	120			59,0
120	110			65,4
110	100			72,6
100	90			81,2
90	80			102,8
80	70			166,6
70	60			148,0

Es befanden sich bei diesen Versuchen 200 Gran des zu untersuchenden Körpers in einem Porcellangefäße von nahe 600 Gran an Gewicht. Da nun aus der ersten

Reihe sich ergibt:  $\frac{T}{F(s)} = \frac{109",2 - 26"}{26"} \cdot 10^\circ = 32^\circ \text{ R.}$

aus der zweiten  $= \frac{178" - 48"}{48"} \cdot 20 = 54 \text{ —}$

aus der dritten  $= \frac{166",6 - 122"}{122"} \cdot 10 = 3^\circ,6 \text{ —}$

so erhält man unter Zuziehung der specifischen Wärmen für die angewandten Substanzen:

namentlich für Zinn  $K=0,051$

- Wismuth  $=0,029$

- das Rose'sche Metall  $=0,034$

- Porcellan  $K'=0,195$

folgende Ausdrücke für die latenten Wärmen:

$$\text{des Zinns } l = \frac{T}{F(s)} \left( \frac{p+p'}{pK+p'K'} \right) \\ = 32^{\circ} \frac{800}{200 \times 0,051 + 600 \times 0,195} = 201^{\circ} \text{ R.}$$

$$\text{Wismuths} = 54^{\circ} \frac{800}{200 \times 0,029 + 600 \times 0,195} = 353^{\circ} -$$

$$\text{Ros. Met.} = 3^{\circ},6 \frac{800}{200 \times 0,034 + 600 \times 0,195} = 23^{\circ},2 -$$

Sie sehen wohl ungesagt, daß ich Ihnen diese, eigentlich zu einem anderen Zwecke und daher nicht mit aller dazu nöthigen Vorsicht angestellten, Versuche hier nur beispielsweise und nicht: auf völlige Richtigkeit der Resultate Anspruch machend, anführe. Es gilt nämlich diese Rechnungsart nur dann, wenn die Massen klein genug sind, um die verschiedene Leitungsfähigkeit der Substanzen ganz außer Augen setzen zu können: im gegenwärtigen Falle aber gab die große Verschiedenheit zwischen dem Leitungsvermögen der Hülle und dem der eingeschlossenen Substanz, diesem Momente einen sehr großen Einfluß auf das Resultat, und es mußte demnach dieser Umstand störend wirken, bei einer Größe der Massen, bei welcher in anderen Fällen es vielleicht noch erlaubt gewesen wäre, denselben zu vernachlässigen.

Auffallend ist übrigens, daß bei diesen Versuchen das Rose'sche Metallgemisch eine, im Vergleich zu anderen Körpern so ungemein kleine latente Wärme zeigte; indessen liegt der wahre Grund dieses Verhaltens sehr nahe. Die noch nach dem Festwerden, und namentlich bis zum 55ten Grade der Reaumur'schen Skale immer fortdauernde anomale Zusammenziehung des Metalls, macht, daß auch der, unter 75° liegende Theil der Erkältungsreihe, durch noch immer freiwerdende Wärme, verlangsamt ist. Da man nun diesen Theil der Beobachtungen mit anwendet, um den Ueberschuß des beobachteten Stationirens beim Schmelzpunkte, über das *normale* zu finden, so muß sich dieser Ueberschuß nothwendig zu klein

ergeben. Man sieht leicht, dafs bei Körpern, welche ein Volumen-Minimum im festen Zustande erreichen, diese Unbestimmtheit des Begriffes der *latenten Wärme*, sich auch bei anderen zur Ermittlung derselben anwendbaren Methoden, z. B. bei der der Mischungen, aussprechen mufs.

Bei letzterer Methode wird man z. B. andere Resultate erhalten, je nachdem man die Umstände des Versuches so wählt, dafs die Endtemperatur der gemengten Substanzen nahe unter dem Schmelzpunkt des Metalls, oder so, dafs sie bei weitem tiefer zu liegen kommt; im letzteren Falle wird man nämlich eine gröfsere Liquefactions-Wärme zu finden glauben, weil *die*, zwischen dem Schmelzpunkt und dem Maximum der Dichtigkeit freiwerdende Wärme noch zur eigentlichen Liquefactions-Wärme sich hinzufügt.

Doch dieses hier nur gelegentlich. — Als jetzt zur Sache gehörig, dafs, um dieses Verfahren an einem seiner latenten Wärme *nach*, gut bekannten Körper zu prüfen, ich einst den Gang der Erkältungszeiten beim *Wasser* \*) beobachtete, wie folgt:

von 6°,0 bis 5°,5 R. 50"			
- 5°,5	- 5°,0		55
- 5°,0	- 4°,5		50
- 4°,5	- 4°,0		50
- 4°,0	- 3°,5		65
- 3°,5	- 3°,0		198
- 3°,0	- 2°,5		60
- 2°,5	- 2°,0		70

und daraus lernte, dafs aufser der durch die freiwerdende Wärme bewirkten Anomalie in der logarithmischen Reihe, hier eine ganz andere einträte, vermöge welcher die Erkältungszeiten flüssiger Substanzen sich in directem Zusammenhange zeigten mit dem Maximum der Dichtigkeit, in sofern sie ein solches besitzen. — Ich erwähne als eines Umstandes von Bedeutung, dafs bei diesem Ver-

\*) Diese Annal. Bd. 88. S. 463.

suche sowohl, als bei einigen analogen mit Lösungen salzsäuren Natrons die angewandten Flüssigkeiten, nicht allein die *Kugel* des senkrecht stehenden Thermometers bedeckten, sondern auch noch einen etwa *Zoll* langen Theil seiner Röhre. Vermöge dieses Umstandes ist man nämlich berechtigt, den Einfluss des Maximum der Dichtigkeit auf die Erkältungszeiten als ein rein hydrostatisches Phänomen zu betrachten. — Bei Versuchen mit Lösungen von salzsäurem Natron (am angeführten Orte) zeigte sich, daß bei vermehrtem Salzgehalte des Wassers, das *Maximum der Dichtigkeit* sowohl, als die, wie es scheint, damit im Zusammenhange stehende Stockung in den Erkältungszeiten, beide vollkommen gleichmäßig, immer tiefer gegen den Gefrierpunkt der Flüssigkeit hinabsinke, und, wie natürlich, sich endlich dieser Art von Versuchen ganz entziehe.

Ich wagte es damals, diese letzteren Erfahrungen anzuknüpfen an ein anscheinend sehr entfernt davon stehendes Factum, äufsernd: daß wohl das Volumens-Minimum, durch Vernehrung des Salzgehalts, sich bei immer tieferen Temperaturen einfinden möge, *so* lange, bis es endlich erst in dem Aggregatzustande der Festigkeit sich einfinde, — wie dieses wenigstens für *einen* Körper für das Rose'sche Metallgemenge sich empirisch habe darthun lassen. — Seither haben Hrn. Rudberg's Versuche die angedeutete Parallele auf eine höchst auffallende Weise ergänzt. Durch dieselben wurde nämlich für Substanzen, welche sich zu der Rose'schen Legirung genau ebenso verhalten, wie *dichtere Salzlösungen* zu *leichteren*, die Existenz eines Phänomens nachgewiesen, welches sich bisher immer als Symptom eines *Volumen-Minimum im flüssigen Zustand* gezeigt hat; es wurde fernerhin gefunden, daß bei Zunahme des einen Bestandtheils, diese symptomatische Erscheinung genau dasselbe Hinabsinken gegen tiefere Temperaturgrade erleide, wie bei Vermehrung des Salzgehaltes in Lösungen.

Um

Um so auffallender war es mir, dafs trotz dem der Hr. Verfasser die von ihm beobachtete Stockung in den Erkältungszeiten nur als Wirkung eines successiven Festwerdens verschiedener Elemente der Verbindung zu betrachten geneigt ist.

Wie erklären wir uns aber das analoge Verhalten des reinen Wassers? Sollen wir die Parallele zwischen diesen so analog scheinenden Phänomenen gänzlich aufgeben, oder auch für das Wasser ein successives Festwerden zweier sich entmischenden Elemente annehmen? — Allerdings scheint es bei der jetzigen Lage der Sache nicht eben ganz verwerflich, dafs auch beim Wasser ein solches Entmischen der Grund des Maximums der Dichtigkeit, und somit auch die *entferntere* Ursach der Stockung in den Erkältungszeiten sey; indessen bleibt, zum vollkommenen Verständniß der Sache, immer noch die interessante Frage zu lösen: ob bei den Legirungen, welche Hr. Rudberg untersuchte, das von ihm vorausgesetzte partielle Erstarren ebenso von einem Maximum der Dichtigkeit begleitet sey, wie es alsdann beim Wasser seyn würde oder nicht?

Nicht immer in der Physik hat man, wie hier, die erfreuliche Gelegenheit, für die eine oder die andere Ansicht von einer gewonnenen Erfahrung auf empirischem Wege entscheiden zu können; möge daher doch Hr. Rudberg sich gencigt finden, zu untersuchen, ob nicht seine Legirungen bei den Temperaturgraden, wo er das Stationiren des Thermometers bemerkte, ein Maximum der Dichtigkeit besitzen! — Die Methode der Wägungen in erwärmten Flüssigkeiten von bekannter Ausdehnung bietet hierzu ein eben so leichtes als zuverlässiges Mittel dar.

Schließlich bemerke ich nur, dafs ich die oben angewandte Angabe für die specifische Wärme des Rose'schen Metalls, mittelst eines, dem von Dulong und Petit genau nachgeahmten Apparats bestimmte.

Als Prüfungsmittel des Apparats kann dienen: dafs

beobachtete Erkältungszeiten im luftleeren Raume von  $+10^{\circ}$  bis  $0^{\circ}$ , für Zinn und Blei das Verhältniß der specifischen Wärmen ergaben  $=55212:30173$ , so dafs, wenn man mit Dulong und Petit die specifische Wärme des *Zinns* zu 0,0513 annimmt, die des *Blei's* aus dem in Rede stehenden Versuch sich ergab  $=0,0295$ .

Dulong und Petit fanden: 0,0293.

Durch dieselbe Methode nun erhielt ich:

*specifische Wärme des Zinns: der des Rose'schen Metalls*  $=55212:34329$

oder die specifische Wärme des Rose'schen Metalls  $=0,0338$ .

Die Beobachtungsreihen selbst hier anzuführen, scheint mir für den Augenblick nicht am Orte zu seyn.

## VIII. Ueber die Empfindlichkeit des Gehörorgans; von Hrn. Felix Savart.

(*Ann. de chim. et de phys. T. 44. p. 337.*)

Mehrere ausgezeichnete Physiker haben zu bestimmen gesucht, bis zu welcher Höhe und Tiefe die Töne noch wahrnehmbar für das Ohr des Menschen seyn. Man ist ziemlich allgemein darüber einig, die Gränze in der Tiefe auf den Ton festzusetzen, dem etwa dreissig einfache Schwingungen in der Secunde entsprechen. Diese Aufgabe kann zwar, wie wir weiter hin sehen werden, noch nicht für vollkommen gelöst angesehen werden, doch läfst Alles glauben, dafs man von der Wahrheit nicht sehr entfernt ist. Was die Gränze in der Höhe betrifft, mit deren Bestimmung ich mich in diesem Aufsatze eigentlich beschäftigen werde, so stimmen die Physiker hinsichtlich derselben bei weitem nicht überein. Chladni nimmt an, dafs