18. *Ueber die Aenderung des Elasticitätscoefficienten des Platins mit wachsender Temperatur; von A. Winkelmann.*

1. In einer vor kurzem erschienenen Arbeit¹⁾ sind einige Resultate mitgetheilt über die Aenderung, welche die Elasticitätscoefficienten verschieden zusammengesetzter Gläser mit wachsender Temperatur zeigen. Im Zusammenhange hiermit wurden die Nachwirkungserscheinungen näher verfolgt, welche durch vorausgehende Erwärmungen bedingt waren. Bestimmt man den Elasticitätscoefficienten bei Zimmertemperatur (20°) und erwärmt dann das Glas, so findet man nach erfolgter Abkühlung bei 20° einen grösseren Coefficienten als vorher. Erst nachdem mehrfache Erwärmungen und Abkühlungen vorgenommen sind, zeigt der Elasticitätscoefficient bei 20° vor und nach einer neuen Erwärmung den gleichen Werth. Dieser Werth bleibt aber nicht für die Folgezeit unverändert, auch dann nicht, wenn das Glas keinen neuen Erwärmungen ausgesetzt wird; vielmehr nähert sich der Werth allmählich wieder dem ursprünglichen, der im Anfang der Untersuchung vor jeder Erwärmung gefunden wurde. Das Glas Nr. 19 ergab z. B. für den Elasticitätscoefficienten

		Datum
E_1 (vor der ersten Erwärmung)	7540	11. Aug. 1894
E_2 (nach mehrfachen Erwärmungen und Abkühlungen)	7672	14. Aug. „
E_3 (nach längerer Pause, ohne dass weitere Erwärmungen vorgenommen waren)	7540	23. Dec. 1895.

Hier beträgt die Differenz $E_3 - E_1 = 1,8$ Proc.; aber auch noch grössere Unterschiede verschwinden mit wachsender Zeit. Das Glas Nr. 87 ergab:

E_1	7971	am 17. Mai 1895
E_2	8340	„ 20. „ „
E_3	7983	„ 9. April 1896.

1) Winkelmann, Wied. Ann. 61. p. 105. 1897.

Auch hier ist E_3 fast (bis auf 0,15 Proc.) gleich E_1 geworden, während E_2 um 4,6 Proc. grösser als E_1 ist.

Diese Versuche zeigen also, dass Gläser, welche mehrfachen hohen Erwärmungen ausgesetzt werden, Veränderungen erfahren, die nach langer Zeit wieder verschwinden.

2. Da die Gläser sehr hoch, bis nahe an die Erweichungstemperatur, erhitzt waren, schien es von Interesse, auch ein Metall in gleicher Weise zu untersuchen; denn hier lassen sich starke Erwärmungen vornehmen, ohne der Erweichungstemperatur nahe zu kommen. Dass auch die Metalle Nachwirkungen zeigen, ist lange bekannt; es handelte sich hier um die Frage, ob ein Metall, das den gleichen äusseren Einflüssen wie die untersuchten Gläser ausgesetzt wird, sich nach erfolgter Abkühlung auch ebenso verhält und nach langer Pause den ursprünglichen Werth des Elasticitätscoefficienten wieder annimmt.

3. Als Metall wurde Platin gewählt in Form einer Lamelle von ähnlichen Dimensionen, wie die benutzten Gläser. Dasselbe wurde von Hrn. W. C. Heraeus in Hanau in dankenswerther Weise zur Verfügung gestellt und zwar in fast vollkommen chemisch reinem Zustande. Nachdem die Lamelle abgedreht war, wurde die Dicke an 15 gleichmässig vertheilten Stellen, die Breite an 5 Stellen gemessen; es ergab sich:

Dicke 3,374 mm (die grösste Abweichung von diesem Werthe war 0,032 mm)

Breite 15,040 mm (mit der grössten Abweichung von 0,043 mm).

Die Durchbiegung und Erwärmung wurde mit demselben Apparat untersucht, der früher beschrieben wurde.¹⁾ Die Belastung wurde von 1 kg ausgehend bis zu 4 bez. 5 kg gesteigert. Die Beobachtungen stimmen gut überein, wie das folgende Beispiel erkennen lässt (vgl. nächste Seite).

Die berechneten Werthe wurden dadurch gewonnen, dass man die Summe der Scalenverschiebungen durch die Summe der Belastungen dividirte und so die Verschiebung für 1 kg berechnete.

1) Winkelmann, l. c.

Temperatur 20°.

Belastung in Kilogr	Scalenverschiebung in mm		beob.-ber.
	beob.	ber.	
1	20,5	20,54	— 0,04
2	41,3	41,08	+ 0,22
3	61,5	61,62	— 0,12
4	82,1	82,16	— 0,06
5	102,7	102,70	± 0,00

In höheren Temperaturen war die Beobachtung gegenüber den Glasuntersuchungen erleichtert, weil die elastische Nachwirkung gering war. Bei der Temperatur von 260° wurde für eine Belastung von 4 kg im Verlauf von 30 Sekunden nach Beginn der Belastung keine Scalenverschiebung nachgewiesen.

Vor der Erwärmung war die Scalenverschiebung v pro 1 kg gleich

$$v = 22,28 \text{ mm}$$

gefunden. Hieraus ergibt sich nach der Formel

$$E = 3 \left(D + \frac{1}{2} d \right) \frac{l^2}{a^3 b} \cdot \frac{1}{v},$$

indem man $D = 7208$; $d = 108$; $l = 100$; $a = 3,374$; $b = 15,040$; $v = 22,28$ (alles in Millimetern ausgedrückt) einsetzt,

$$E_1 = 16966.$$

Wegen der Dickevariation an verschiedenen Stellen der Lamelle wird die Unsicherheit des Werthes etwa 1 Proc. betragen.

Nach mehrfachen Erwärmungen und Abkühlungen wurde gefunden

$$v = 20,52$$

und hiermit

$$E_2 = 18380.$$

Der Unterschied gegenüber E_1 beträgt rund 7 Proc.

4. Bei der Untersuchung in höheren Temperaturen wurden drei Versuchsreihen ausgeführt und in der Nähe von 250° und 400° die Durchbiegung des Stabes gemessen. Es ergaben sich folgende Mittelwerthe für die Scalenverschiebung in Millimetern.

Temperatur	Scalen- verschiebung v in mm	$\frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$
20°	20,52	
253	21,84	0,00567
408	22,84	0,00645

In der letzten Verticalreihe sind die Scalenverschiebungen pro 1° Temperaturänderung berechnet; da diese mit wachsender Temperatur zunehmen, so folgt, dass der Elasticitätscoefficient keine lineare Abhängigkeit von der Temperatur darbietet. Es wurde deshalb die bereits früher angewendete Formel

$$E_t = E_{20} \{1 - \alpha(t - 20)^\beta\}$$

zur Berechnung benutzt. Aus den angegebenen Daten findet man

$$\log \beta = 0,00851; \log \alpha = 0,36688 - 4.$$

Um die Abhängigkeit der Elasticitätscoefficienten von der Temperatur zur Anschauung zu bringen, sind die Werthe

$$1 - \frac{E_t}{E_{20}}$$

für verschiedene Temperaturen berechnet.

Temperatur	$1 - \frac{E_t}{E_{20}}$ uncorrigirt	$1 - \frac{E'_t}{E'_{20}}$ corrigirt
20°	0	0
100	0,0203	0,0201
200	0,0464	0,0460
300	0,0728	0,0722
400	0,0995	0,0987

Hiernach nimmt also der Elasticitätscoefficient von 20° bis 400° um 9,9 Proc. ab.

5. In der obigen Berechnung ist keine Rücksicht auf die thermische Ausdehnung der Platinlamelle und des Messingfusses, der die Lamelle trägt, genommen. Bezeichnet man die obigen uncorrigirten Werthe mit E_t , die corrigirten mit E'_t , so erhält¹⁾ man

$$\frac{E'_t}{E'_{20}} = \frac{E_t}{E_{20}} \cdot \frac{(1 + 2 \alpha t)}{(1 + 4 \beta t)},$$

wo α den mittleren linearen Ausdehnungscoefficienten des Messings zwischen 0° und t° bezeichnet, und β die entsprechende Grösse für Platin. Nach den Beobachtungen von Chatelier²⁾ ist der mittlere lineare Ausdehnungscoefficient

für Messing		für Platin	
zwischen 0° und 40°	0,0000186	zwischen 0° und 40°	0,0000090
„ 0° „ 700°	225	„ 0° „ 1000°	118

Setzt man eine lineare Ausdehnung voraus, so lässt sich der Correctionsfactor berechnen; man erhält

Temperatur	$\frac{1 + 2 \alpha t}{1 + 4 \beta t}$
100°	1,0002
200	1,0004
300	1,0006
400	1,0009

Da der Ausdehnungscoefficient des Messings fast genau doppelt so gross als derjenige des Platins ist, ist der Correctionsfactor nur klein. Der Einfluss dieser Correction ist aus den Werthen, die unter $1 - E'_t/E'_{20}$ schon oben angegeben sind, zu ersehen.

6. Eine Vergleichung der vorstehend mitgetheilten Werthe mit den Beobachtungen anderer Forscher zeigt die folgende Tabelle.

1) Winkelmann, l. c.

2) Chatelier, Beibl. 13. p. 644. 1889.

Elastici- tätscoeffi- cient	Tem- peratur	Bemerkungen	Abnahme des Coeff. in Proc. bei einer Temp.-Steig. von 0° bis 100°	Beobachter
17044	0°	gezogen		Wertheim ¹⁾
15518		angelassen	10,1	"
17187			0,89	Katzenelsohn ²⁾
16020	13,2			Georg S. Meyer ³⁾
16926	20	vor d. Erwärmen		Winkelmann
18380	20	nach d. Erwärmen	2,4	"

Die Differenzen werden theilweise in der Verschiedenheit des Materials und der Behandlung desselben begründet sein.

7. Nachdem das Platin längere Zeit geruht hatte, wurde es von neuem bei Zimmertemperatur untersucht und gab folgende Werthe, denen zur Vergleichung die früher erhaltenen Resultate beigefügt sind.

Nr. des Versuchs	Datum der Beobachtung	Elasticitäts- coefficient bei 20°	Bemerkungen
1	9. Jan. 1896 9.—21. Jan. 1896	16926	Vor jeder Erwärmung Vielfache Erwärmungen bis 400°
2	22. Jan. 1896	18380	Nach mehrfachen Erwär- mungen u. Abkühlungen
3	17. Nov. 1896	17516	Nach langer Pause ohne weitere Erwärmungen
4	12. März 1897 ⁴⁾ 20. März 1897	17508	Nach normaler Pause ohne vorherige Erwärmungen Erwärmt bis 320°
5	25. März 1897 26. März 1897	17950	Erwärmt bis 390°
6	27. März 1897	17958	
7	30. April 1897	17958	

1) Wertheim, Ann. de chim. et phys. (3) 12. p. 385. 1844.

2) Katzenelsohn, Dissert. Berlin 1887.

3) G. S. Meyer, Wied. Ann. 59. p. 669. 1896.

4) Diese und die folgenden Beobachtungen sind von Hrn. Thomas in dankenswerther Weise ausgeführt.

Die Resultate sind ganz ähnlich den bei den Gläsern gefundenen. Mehrfache Erwärmungen und Abkühlungen bewirken, dass der Elasticitätscoefficient wächst, vgl. Nr. 1 und 2, wo der Coefficient von 16926 auf 18380 gestiegen ist. Lässt man dann den Stab längere Zeit (im vorliegenden Fall 10 Monate) liegen, so nimmt der Elasticitätscoefficient wieder beträchtlich ab; Nr. 3 zeigt den Werth 17516. Dieser Werth ist aber noch grösser, als der ursprünglich gefundene 16926. Um zu sehen, ob eine längere Ruhe den Elasticitätscoefficienten noch mehr heruntergehen lässt, wurde nach weiteren 4 Monaten die Untersuchung wiederholt; der Einfluss dieser Zeit ist aber ganz gering, bez. nicht sicher nachweisbar, denn Nr. 4 ergab 17508. Dann wurde der Stab von neuem erwärmt; hierdurch stieg der Elasticitätscoefficient von neuem und zwar, wie Nr. 5 zeigt, auf 17950. Eine nochmalige Erwärmung hatte nur eine geringe Bedeutung, wie die dann folgenden Beobachtungen darthun.

Die vorliegenden Ergebnisse beweisen, dass nicht die Nähe der Erweichungstemperatur, welche bei den Versuchen mit den Gläsern fast erreicht wurde, die Ursache für das Verhalten der Gläser ist; denn das untersuchte Metall, dessen Schmelztemperatur von der erreichten Maximalerwärmung 400° sehr weit entfernt liegt, bietet ganz ähnliche Erscheinungen wie die Gläser dar. Ob der ursprünglich vor jeder Erwärmung beobachtete Elasticitätscoefficient des Platins nach noch viel längerer Ruhepause als hier angewandt wurde (13 Monate), wieder erreicht wird, ist hiermit noch nicht entschieden.

Jena, Juli 1897.