

Über einige Eigenschaften des geschmolzenen Quarzes.

Von
P. Chappuis.

Die von H. Boys angeregte Anwendung von Quarzfäden zum Aufhängen von Galvanometern, Spiegeln und Magneten lenkte die Aufmerksamkeit der Physiker auf diese Substanz, deren Eigenschaften besonderes Interesse verdienen.

Zunächst ist es mit dem Knallgasgebläse gelungen, grössere Gefässe, Thermometer, Dilatometer und Geisslersche Röhren aus geschmolzenem Quarz zu verfertigen. Lechatelier erhielt im elektrischen Ofen einen prismatischen Stab von 50 mm Länge und 10 mm Durchmesser und konnte auf demselben die thermische Ausdehnung bestimmen.

Er fand folgende auffallend kleine Ausdehnungskoeffizienten zwischen den angegebenen Temperaturgrenzen

	(0 ^o .180 ^o)	(0 ^o .532 ^o)	(0 ^o .588 ^o)	(0 ^o .700 ^o)	(0 ^o .750 ^o)	(0 ^o .850 ^o)
Coeff. $\times 10^8 =$	28	71	85	107	120	74

Bei der Kleinheit der Längenänderungen treten die Unregelmässigkeiten der Beobachtungen zu stark hervor, als dass man aus diesen Zahlen einen Schluss über die Änderung der Ausdehnung mit der Temperatur ziehen könnte. Doch zeigt der Vergleich mit dem sich wenig

ausdehnenden Platin, dass zwischen 0° und 700° der mittlere Ausdehnungscoefficient des geschmolzenen Quarzes nur $\frac{1}{9}$ tel desjenigen des Platins beträgt. Eine Bestätigung dieser Beobachtung kann man in der bekannten Thatsache erblicken, dass der geschmolzene Quarz ohne Gefahr des Zerspringens glühend in Wasser getaucht werden kann.

Indessen schien mir eine genauere Bestimmung der Ausdehnung wünschenswert. Ich verfertigte zu diesem Zwecke aus geschmolzenem Quarz einen Cylinder von zirka 10 mm Durchmesser und 15 mm Länge und liess die beiden Endflächen desselben plan und parallel schleifen. Die Bestimmung der Ausdehnung geschah mit dem Fizeauschen Apparat des internationalen Maass- und Gewichts-Bureau's in Sèvres. Die Konstanten dieses Apparates sind bekanntlich von H. Dr. Benoît zwischen 0° und 80° mit ausserordentlicher Sorgfalt und Genauigkeit bestimmt worden. Da die von mir befolgte Methode bereits von Dr. Benoît im Bd. VI. der „Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures“ ausführlich beschrieben worden ist, werde ich mich mit der Mitteilung der Beobachtungen begnügen und verweise für nähere Details auf die genannte Abhandlung.

Bei dem kleinen Querschnitt des Quarzstückes war es nicht möglich, die Beobachtung der Fransen auf mehr als 7 Punkte zu beziehen. Das Bild der Fransen im Beobachtungsfernrohr mit den Referenzmarken wird in Figur 1 dargestellt.

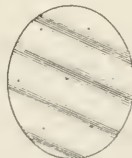


Fig. 1

Die Messungen ergaben für die Höhe des Cylinders:

$$E = 14,765 \text{ mm}$$

und für die Dicke der Luftschicht zwischen Quarz und Linse:

$$e = 0,037 \text{ mm.}$$

Die im Oktober 1901 ausgeführten Beobachtungen sind in ihrer Reihenfolge in nachstehender Tabelle mit den zugehörigen Korrekturen zusammengestellt worden. Die Temperaturen wurden an 4 Quecksilberthermometern abgelesen, deren Gefäße sich in unmittelbarer Nähe des Platiniridiumdreifusses befanden. Zwei dieser Thermometer wurden zwischen 0° und 50° , die 2 anderen zwischen 50° und 100° beobachtet.

Die Abweichungen der Angaben dieser gut verglichenen Instrumente betragen ausnahmsweise 4 Hundertstel Grad und sind im allgemeinen kleiner als 2 Hundertstel.

Nach der Regulierung der Temperatur wurde der Apparat während wenigstens 6 Stunden sich selbst überlassen, um den vollständigen thermischen Ausgleich zu sichern. Die Beobachtungen folgten gewöhnlich in Zeiträumen von 12 Stunden auf einander.

Zusammenstellung der Beobachtungen.

Datum 1901	Barometer auf 0° reduciert	Mittel der			Corrigiertes Mittel
		Temperatur (Normalskala)	Fransenab- lesungen	Correction	
		$^{\circ}$	f		f
8. Okt. a. m.	752,79	83,359	52,14	+ 0,009	52,149
8. „ p. m.	749,87	79,975	50,71	+ 9	50,719
9. „ a. m.	749,15	70,481	46,73	+ 8	46,738
9. „ p. m.	757,03	57,826	41,46	+ 7	41,467
10. „ a. m.	763,03	48,649	37,59	+ 5	37,595
10. „ p. m.	762,77	42,500	35,12	+ 5	35,125
11. „ p. m.	759,94	30,311	30,05	+ 4	30,054

12. Okt. a. m.	758,74	18,003	25,03	+	2	25,032
12. „ p. m.	757,33	15,746	24,04	+	2	24,042
13. „ a. m.	758,62	24,738	27,79	+	3	27,793
13. „ p. m.	757,25	34,997	32,02	+	4	32,024
14. „ a. m.	755,55	40,401	34,24	+	5	34,245
14. „ p. m.	753,50	62,926	43,64	+	7	43,647
15. „ a. m.	751,25	73,626	48,04	+	8	48,048
16. „ a. m.	748,25	84,233	52,46	+	9	52,469
17. „ a. m.	747,53	74,837	48,54	+	8	48,548
17. „ p. m.	748,78	67,742	45,59	+	8	45,598
18. „ a. m.	748,04	60,639	42,66	+	7	42,667
18. „ p. m.	746,22	44,360	35,89	+	5	35,895
19. „ a. m.	750,04	55,342	40,43	+	6	40,436
20. „ p. m.	752,75	14,634	23,58	+	2	33,582
21. „ a. m.	750,71	38,253	33,36	+	5	33,365
21. „ p. m.	751,71	33,749	31,48	+	4	31,484
22. „ a. m.	752,27	23,422	27,23	+	3	27,233
23. „ a. m.	758,39	13,610	23,17	+	2	23,172
25. „ a. m.	758,76	1,867	18,29		0	18,290
25. „ p. m.	757,48	1,611	18,17		0	18,170
26. „ a. m.	759,69	2,065	18,37		0	18,370
28. „ a. m.	765,20	10,229	21,78	+	1	21,781

Diese Beobachtungen lassen sich durch eine Interpolationsformel von der Form

$$x + ty + t^2z = n$$

darstellen, worin t die Temperaturen, n die korrigierten Mittel und x , y , z die Konstanten bezeichnen, welche mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen sind. Man erhält demnach für diese Konstanten:

$$x = + 17,537 686 9$$

$$y = + 0,412 630 52$$

$$z = + 0,000 025 894$$

Vergleicht man die aus obiger Funktion berechneten Werte mit den Beobachtungen, so erhält man

folgende in Fransen ausgedrückte übrigbleibende Fehler.

Beob.-Berechn.		Beob.-Berechn.		Beob.-Berechn.	
f.		f.		f.	
1	+ 0,03	11	+ 0,01	21	0,00
2	+ 0,02	12	- 0,01	22	+ 0,01
3	- 0,01	13	+ 0,04	23	- 0,01
4	- 0,02	14	- 0,01	24	+ 0,02
5	- 0,08	15	- 0,01	25	+ 0,01
6	+ 0,00	16	- 0,01	26	- 0,02
7	- 0,01	17	- 0,01	27	- 0,03
8	+ 0,06	18	+ 0,01	28	- 0,02
9	+ 0,00	19	+ 0,00	29	+ 0,02
10	+ 0,03	20	- 0,02		

Aus den von H. Dr. Benoît bestimmten Ausdehnungscoefficienten der Dreifusschrauben aus Platiniridium

$\alpha' = + 0,000\ 008\ 597\ 6$; $\beta' = 0,000\ 000\ 001\ 663$,
der Wellenlänge des benutzten Natriumlichtes:

$$\frac{\lambda}{2} = 0,000\ 294\ 648\ 5\ \text{mm}$$

und den obigen Bestimmungen der Längen des Quarzstückes und der Schrauben

$$E_0 = 14,765, \quad I_0 = 14,802\ \text{mm},$$

und schliesslich der relativen Coefficienten y und z lassen sich die Ausdehnungscoefficienten des geschmolzenen Quarzes nach den Formeln

$$\alpha = \frac{L_0 \alpha' - y \frac{\lambda}{2}}{E_0}, \quad \beta = \frac{I_0 \beta' - z \frac{\lambda}{2}}{E_0}$$

berechnen. ¹⁾

Man erhält auf diese Weise folgenden Ausdruck für die lineare Ausdehnung des geschmolzenen Quarzes:
 $L_1 = L_0 (1 + 0,000\ 000\ 384\ 741\ t + 0,000\ 000\ 001\ 150\ t^2)$

¹⁾ Siehe Trav. et Mém. Bd. VI. p. 112.

Obige Formel gilt streng genommen nur für das Temperaturintervall (0° — 83°). Extrapoliert man aber nach diesem Ausdruck zur Vergleichung mit Lechateliers Resultaten, so findet man für die entsprechenden Temperaturen die mittleren mit 10^8 multiplicirten Coefficienten:

($0^{\circ}.180^{\circ}$)	($0^{\circ}.532^{\circ}$)	($0^{\circ}.588^{\circ}$)	($0^{\circ}.700^{\circ}$)	($0^{\circ}.750^{\circ}$)	($0^{\circ}.850^{\circ}$)
59	100	106	119	125	136

Diese Werte stimmen der Grössenordnung nach befriedigend mit Herrn Lechateliers Beobachtungen.

Die sehr geringe Ausdehnung des geschmolzenen Quarzes, sowie die grosse Festigkeit desselben und das gänzliche Fehlen von elastischen und thermischen Nachwirkungen bei gewöhnlicher Temperatur empfehlen den geschmolzenen Quarz zu thermometrischen Zwecken und besonders zur Verfertigung von Gasthermometergefässen. Allerdings bietet die Bearbeitung der erst bei hoher Temperatur flüssigwerdenden Masse beträchtliche Schwierigkeiten, doch sind von Zeiss in Jena schon Quarzplatten von nahezu einem Centimeter Dicke im elektrischen Ofen erhalten worden, und es lassen sich auch von der Verwendung des Acetylen mit Sauerstoff neue Fortschritte erwarten.

Nach einem nicht veröffentlichten Versuch von Dr. Villard in Paris soll der geschmolzene Quarz bei hoher Temperatur für Wasserstoff durchlässig sein. Wenn diese Durchlässigkeit auch geringer wäre, als die vom Platin, so würden doch die Vorteile der Verwendung des Quarzes als thermometrisches Gefäss dadurch sehr vermindert.

Um die erwähnte Durchlässigkeit zu prüfen, habe ich folgende Versuche angestellt, welche die Beobachtung von Dr. Villard bestätigen.

Eine Quarzröhre von circa 0,5 mm Wandstärke wurde an einem Ende zu einer feinen Spitze ausgezogen und zugeschmolzen. Das andere Ende wurde mittelst Kitt mit Quecksilberschluss an eine Kahlbaum'sche Quecksilberpumpe angeschlossen und möglichst weit evacuirt. Nach Einstellung der Pumpe beobachtete man mit Hilfe des MacLeod Volummeters die regelmässig stattfindende langsame Zunahme des Druckes im ganzen Apparat. Dann wurde die Quarzspitze in den heissesten Teil eines Bunsen'schen Brenners gebracht und somit glühend von dem in der Flamme reichlich vorhandenen Wasserstoff umgeben. Die Zunahme des Druckes wurde dann etwas stärker befunden. Bei fortgesetzter Erhitzung bemerkte ich, dass das Quarzrohr, welches anfangs kaum sichtbar war, nach und nach zu leuchten anfing und schliesslich wie ein Metallrohr glühte.

Es zeigte sich nach der Abkühlung im Inneren der Röhre ein schwarzer Überzug, vermutlich aus reduziertem Silicium bestehend, von dem das Licht herrührt. Ein zweiter Versuch, der unter denselben Bedingungen, aber mit einem neuen Quarzrohr ausgeführt wurde, ergab ein ähnliches Resultat; dagegen bemerkte ich keine Schwärzung in einem Quarzrohr, welches luftleergepumpt und an beiden Enden zugeschmolzen war.

Wenn die obigen Versuche als eine Bestätigung der Beobachtung von Dr. Villard betrachtet werden können, so erlauben sie doch keine genaue Messung der Menge des durch die Wände hindurch gedrungenen Gases. Ich suchte daher das diffundierte Gas auf andere Weise sichtbar zu machen und in einem kleineren Raum aufzufangen. Dies gelang auf folgendem Wege:

Es wurde ein U förmiges Rohr aus Quarz gefertigt, dessen langer Schenkel circa 12 cm hatte und in eine 5 cm lange Spitze auslief. Der kurze Schenkel wurde

mit einer kleinen Kugel versehen und trug ebenfalls ein Capillarrohr. Fig. 2.



Fig. 2

Das ganze Rohr wird nun im Vacuum mit Quecksilber gefüllt und wie ein gewöhnlicher Manometer ausgekocht. Man schafft etwas Quecksilber aus der Kugel und schmilzt das Rohr in *c* ab mit dem Knallgasgebläse. Wird die gefüllte Röhre flach gelegt, so tritt infolge der Capillarität das Quecksilber aus dem engen Rohr der Spitze und stellt sich etwa in *a* ein. Erhitzt man die Spitze mit dem Bunsenbrenner, so sieht man bald ein Zurückweichen des Meniskus, das sich nur durch die Einführung von Gas in den abgeschlossenen Raum erklären lässt. Wenn die Flamme entfernt wird, so bleibt der Meniscus etwa in *b* stehen und erfährt nach jeder Erhitzung eine neue Verschiebung.

Die Analogie dieses Verhaltens des geschmolzenen Quarzes mit demjenigen des Platins, welches bekanntlich von Dr. Villard in sinnreicher Weise zur Regulierung des Druckes in den Crookeschen Ampullen verwendet wird, hat mich veranlasst, das durch Diffusion eingedrungene Gas auf demselben Wege wieder zu entfernen. Es genügt hierzu, das Rohr in einer wasserstofffreien Atmosphäre zu erhitzen. Das Quarzrohr wird zu diesem Zwecke mit einem weiten, an beiden Enden offenen Platinrohr umgeben. Beim Erhitzen hat man darauf zu achten, dass die Flammengase nicht in das Rohr eindringen, und dass Quarz und Platin sich nirgends berühren, da das Platin vom Quarz angegriffen wird.

Es dringen wohl durch Diffusion Spuren von Wasserstoff in den inneren Raum, dort verbrennen sie aber beim Zutritt der Luft und kommen nicht mit dem Quarzrohr in Berührung. Nach mehrstündiger Erhitzung kann auf diese Weise das hineindiffundierte Gas durch den umgekehrten Prozess wieder herausgeschafft werden.

Was die Durchlässigkeit des geschmolzenen Quarzes betrifft, so lassen sich nur annähernde Angaben aus den Versuchen ableiten, weil die Dicke der Quarzwand nicht gleichmässig ist und die erhitzte Oberfläche nicht genau bestimmt werden kann. Es sollen daher die nachstehenden Zahlen nur zur Bestimmung der Grössenordnung der Durchlässigkeit dienen:

Länge des erhitzten Rohrteiles	15	mm
Äusserer Durchmesser des Rohres	1	mm
Dicke der Wandungen	0,2	mm

Die nach sechsständigem Erhitzen durchgelassene Gasmenge betrug zirka 35 Kubikmillimeter bei 10 mm Quecksilberdruck.

Aus dem Vorhergesagten ist mit grosser Wahrscheinlichkeit zu schliessen, dass das diffundierte Gas Wasserstoff ist.

Bestimmung des spezifischen Gewichtes des geschmolzenen Quarzes.

Nach den früheren Angaben¹⁾ von Rose und Deville ist die Dichte der aus Silicaten bereiteten amorphen Kieselsäure und des geschmolzenen Quarzes = 2,2.

Eine neue Bestimmung dieser Konstante, welche ich an einem selbst bereiteten Stäbchen geschmolzenen Quarzes ausführte, ergab 2.192; doch ist dieser Wert jedenfalls etwas zu klein, da das Stück leicht sichtbare Bläschen enthielt.

¹⁾ Landolt und Börnstein. Physik. Tabellen. S. 140.

Durch die grosse Freundlichkeit der Firma Zeiss in Jena wurde es mir möglich, über eine vollkommen klare Linse aus geschmolzenem Quarz zu verfügen. Diese lieferte folgende Resultate:

Masse des Quarzstückes	13 g 404,6 mg
Volum bei 0°	6 ml 0885
Spez. Gewicht bei 0°	2,2016

Umwandlungstemperatur.

Über die Umwandlung des krystallinischen Quarzes in den geschmolzenen Zustand liegen nur unvollständige Beobachtungen vor. Sowohl die optischen Eigenschaften als die Ausdehnung und das spez. Gewicht der beiden Modifikationen der Kieselsäure lassen vermuten, dass der Übergang kein stetiger ist. Beim Erwärmen von krystallinischem Quarz zerspringen grössere Stücke bei der Rotglut. Doch kann man bei vorsichtiger Erwärmung kleinere Quarzplatten auf viel höhere Temperaturen erhitzen, ohne dass sie zerfallen oder die Krystallstruktur verlieren.

Eine 8 mm dicke Quarzplatte, welche in polarisiertem Licht verschiedene Makel zeigte, wurde in einem Ofen der Porzellanfabrik in Sèvres längere Zeit auf 1300° erhitzt. Sie zerfiel dabei in grössere Stücke, welche optisch untersucht, genau dieselbe Struktur zeigten wie zuvor. Die vor dem Zerfallen beobachteten scharfen Ränder der Platte blieben ebenfalls unverändert.

Die Herren Mallard und Lechatelier,¹⁾ welche die optischen Eigenschaften des Quarzes bei höheren Temperaturen untersuchten, fanden, dass dieselben bei 570° eine plötzliche Änderung erleiden, unterhalb und oberhalb dieser Temperatur aber nur stetige Änderungen

¹⁾ Annales de Chim. et de Phys. 7me S. t. VI. 92; 1895.

zeigen. Der kritische Punkt bei 570° wurde sowohl bei steigender als bei sinkender Temperatur beobachtet und scheint durch die Entwicklung von starken Spannungen bedingt, welche sich durch das erwähnte Zerspringen der grösseren Quarzstücke in der Rotglut kundgeben.

Die eigentliche Umwandlung muss nach dem Vorhergehenden bei einer höher als 1300° liegenden Temperatur stattfinden. Wenn man am Knallgasgebläse das Schmelzen von kleineren Quarzkrystallen beobachtet, so sieht man in der That erst im Augenblick, wo die scharfen Kanten in der Weissglut zu schmelzen anfangen, dass eine Zersplitterung der ganzen Masse eintritt, wodurch dieselbe undurchsichtig wird. Grössere Stücke, welche durch eine oberflächliche geschmolzene Quarzschicht nicht zusammengehalten werden, zerfallen bei dieser Temperatur, die offenbar der Umwandlung entspricht.

Man darf sich also nicht der Hoffnung hingeben, grössere krystallinische Quarzplatten ohne Zersplitterung in die amorphe Modifikation umwandeln zu können.

Basel, September 1902.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1903

Band/Volume: [16_1903](#)

Autor(en)/Author(s): Chappuis P. A.

Artikel/Article: [Über einige Eigenschaften des geschmolzenen Quarzes 173-183](#)