VI.

*Ueber die Theorie, Einrichtung und Gebrauch
des Pachometers,*

eines Instrumentes zur Messung der Dicke belegter Spiegelgläser;

von

Herrn BENOIT *).

Die Festigkeit, welche große Spiegelgläser haben müssen, damit sie den Beugungen, welche die Bilder verzerren würden, hinreichenden Widerstand leisten, setzt für die Dicke dieses köstlichen Industrieproduktes eine gewisse untere Gränze fest, so daß bei übrigen gleichen Umständen ein großes Spiegelglas um so höher im Preise steht, je beträchtlicher seine Dicke ist. Wenn die Gläser unbelegt sind, so ist es leicht ihre Dimensionen zu messen; sind sie aber schon belegt, so läßt sich ihre Dicke nicht durch die gewöhnlichen Instrumente ausmitteln und ist überhaupt schwer zu schätzen.

In der Hoffnung diese Schwierigkeit zu beseitigen, habe ich das *Pachometer* erdacht, mittelst welches man augenblicklich und ohne Rechnung, die Dicke eines Spiegelglases für jeden seiner Punkte finden kann. Das Pachometer giebt folglich ein Mittel sich mit Schnelligkeit zu vergewissern, ob ein Spiegel-

*) Aus den *Annal. de l'industr. nationale*, Mai 1824. p. 145.

glas überall dieselbe Dicke hat, eine Prüfung, die schon bei unbelegten Gläsern ihre Unbequemlichkeiten hat und bei belegten Gläsern, durch die gewöhnlichen Mittel völlig unthunlich ist.

Bevor ich die Einrichtung und den Gebrauch des Pachometers kennen lehre, will ich zeigen, auf welchem theoretischen Grundsatz dieses Instrument beruht. Es sey AB (Fig. 2) der Durchschnit der vordern Spiegelfläche mit einer auf ihr senkrecht stehenden Ebene, gelegt durch den Gesichtsstrahl EB , welcher von dem Auge E des Beobachters ausgeht, CD sey der Durchschnit derselben Ebene mit der hintern belegten Spiegelfläche, welche ich als parallel mit der vorderen annehme. Die Dicke des Glases wird durch die, beiden Flächen gemeinschaftliche Normale FP gemessen, und diese Linie ist es, deren Länge zu suchen ist. Nun wird der Gesichtsstrahl EB nach BF gebrochen und darauf in F nach Richtung von FA reflectirt, so daß das Bild des Punktes A worin der Gesichtsstrahl austritt nach Richtung EB gesehen wird. Ferner ist nach Hrn. Fresnel's Versuchen, das numerische Verhältniß des Sinus vom Einfallswinkel $EBG = i$ zum Sin, des Berechnungswinkels $FBD = r$, wenn der Strahl aus Luft in Spiegelglas von St. Gobin tritt $= 1,51$, und deshalb hat man die Gleichung

$$\sin i = 1,51 \sin r \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Da nun Winkel $AFP =$ Winkel $PFB =$ Winkel $FBD = r$, so hat man auch, wenn die Entfernung AB mit l und die Dicke FP des Glases mit e bezeichnet wird, die Gleichung

$$\frac{\sin r}{\cos r} = \frac{3l}{e} \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

und wenn man r zwischen beiden Gleichungen eliminiert, so kommt

$$\frac{e}{l} = \sqrt{\left(1.51 \frac{R}{\sin i}\right)^2 - 1} \quad (3)$$

eine Formel, welche dazu dient, für irgend einen Einfallswinkel i des Gesichtsstrahls, das Verhältniß zu berechnen, welches zwischen der Dicke e eines Spiegelglases von Saint Gobin und dem Abstände des Eintrittspunktes des Gesichtsstrahls von dem Punkte seines Austritts aus dem Glase, Statt findet. Setzt man z. B. $i = 80$ Graden (hunderttheiligen. $P.$), so ergiebt sich $\frac{e}{l} = \frac{1}{1.62178}$.

Aus der Gleichung (3) hat man auch:

$$\sin i = \sqrt{\frac{1.51^2}{4 + \frac{l^2}{e^2}}} R$$

eine Formel, mittelst welcher man bei gegebenem Abstände l und gegebener Dicke e , den für das Spiegelglas von Saint Gobin erforderlichen Einfallswinkel i des Gesichtsstrahles berechnen kann. Da nun der Winkel i stets kleiner als ein rechter ist, so muß das Verhältniß $\frac{l}{e}$ stets ein solches seyn, daß:

$$\frac{1.51 \frac{l}{e}}{\sqrt{4 + \frac{l^2}{e^2}}} < 1$$

Ich finde, daß diese Bedingung erfüllt wird, wenn

$$\frac{l}{d} < \frac{2}{\sqrt{(1.51)^2 - 1}} \text{ d. h. wenn man } \frac{l}{d} < 1.7677 \quad (5)$$

nimmt.

Nach dieser oberen Gränze sieht man, daß 1 der einzige ganze Werth ist, den man dem Verhältniß $\frac{l}{d}$ beilegen kann, alle übrigen sind Bruchwerthe.

Für $\frac{l}{d} = 1$ giebt die Formel (4) $i = 47,8^{\circ} 19' 65'' 22$ und dies ist also der Werth des Einfallswinkels, wenn der Abstand zwischen dem Ein- und Austrittspunkte des Gesichtsstrahles, gleich seyn soll der Dicke des Glases.

Setzt man $\frac{l}{d} = 1,5$, so findet man $i = 72,8^{\circ} 17' 10'' 56$ und alsdann ist die Dicke des Glases, gleich $\frac{2}{3}$ jenes Abstandes.

Dieser letztere Werth des Einfallswinkels i schien mir den Vorzug vor allen übrigen zu verdienen, und ich habe ihn deshalb für die gewöhnlichen Pachometer angenommen, deren Beschreibung ich folgende geben will. Wollte man das Verhältniß $\frac{l}{d}$ größer als 1,5 machen, so müßte man auch größere Einfallswinkel anwenden, bei welchen aber die Bilder schwer zu unterscheiden seyn würden.

Das gewöhnliche Pachometer *mit festem Winkel* besteht nun aus einem Sektor von Kupfer *sab* (Fig. 3) der an seinem Scheitel *s* mit Stahl versehen ist, eine Amplitude von $27,8^{\circ} 8' 29'' 44$ (nach hunderttheiliger Kreistheilung. *P.*) umspannt und einen Radius von

14 bis 15 Centimeter besitzt. Dieser Sektor ist mit einer seiner Seitenflächen an einer Art Pyramide von Holz *cd* befestigt, in deren Basis sich eine Fuge *r* befindet, die zur Aufnahme eines kupfernen Schiebers bestimmt ist. Die breite Seite *lmn* dieses Schiebers schließt genau an eine der Seiten *sa* des Sektors an, und das Ende desselben ist mit einem Querriegel *tm* von Stahl versehen, der bei *m* um soviel fortwärts hervorspringt, als die Dicke der Kupferplatte beträgt, aus welcher der Sektor verfertigt ist. Dieser Querriegel begränzt den Schieber in einer scharfen, senkrecht auf der Länge des letzteren stehenden Kante. Der Schieber steht in allen für ihn möglichen Stellungen rechtwinklich gegen die Fläche des Sektors, und der Rand *mn* desselben, welcher letzteren berührt, ist in kleinen unter sich gleichen Theilen, von $\frac{1}{3}$ Millimeter GröÙe, getheilt. Diese Theilung ist, auf eine Länge von 5 Centimeter, von der äußeren Kante *mn* des Querriegels ab, wo der Anfangspunkt derselben liegt, bis zu 20 fortgesetzt, weil dabei je zwei der kleinen Theile vereinigt wurden, um so die Einheiten zu bilden, die zwar 1,5 Millimeter betragen, aber bei den mit dem Instrumente gemachten Messungen nur für Millimeter gerechnet werden.

Theilt man zu besonderen Absichten, den Schieber nur in Millimeter und Bruchtheile desselben, wie das bei dem Pachometer mit *beweglichem Winkel* geschah, den ich zu meinem eignen Gebrauch verfertigte, so hat man für die Dicke des Glases nur zwei Drittel der von dem Instrumente angegebenen Millimeter-Anzahl zu nehmen, vorausgesetzt, daß die obere

Schneide des Sektors einen Winkel von $27^{\circ} 8' 289'' 44$ mit der getheilten Fläche des Schiebers macht. Das Verhältniß zwischen der Dicke des Glases und dem Vorsprung des Schiebers, läßt sich übrigens für jede andere Winkelöffnung des Pachometers, nach der Formel (3) berechnen, in welcher i das Complement dieser Winkelöffnung ist.

Zum Gebrauch legt man das Pachometer mit der breiten Fläche lmn seines Schiebers, auf den zu untersuchenden Spiegel, so daß der Sektor abs auf der Oberfläche desselben senkrecht steht. Da alsdann der Rand as dieses Sektors gegen das Glas gestützt ist, so treten alle Gesichtsstrahlen, die längs seines zweiten Randes bs fortgehen, unter einen Einfallswinkel von $(100^{\circ} - \text{Winkel } bsa)$ oder $(100^{\circ} - 27^{\circ} 8' 289'' 44)$ d. h. unter $72^{\circ} 17' 10'' 56$ in das Glas, und daraus folgt, daß dieser Strahl nach seiner Reflexion an der belegten Spiegelfläche, in einem Punkte zum Glase hinausgeht, der von dem, in welchen er in dasselbe eintrat, um das anderthalbfache der Dicke des Glases absteht.

Wenn demnach der Schieber, wie es die Figur zeigt, ursprünglich offen steht, so läßt man den Sektor so weit längs desselben fortgleiten, bis das Bild der äußeren Kante mt des stählernen Querriegels in der Richtung des erwähnten Gesichtsstrahls bs sichtbar wird. Die Anzahl der Theilungen nach Seite des Scheitels s des Sektors, ist alsdann in Millimetern, der Werth der Dicke des untersuchten Glases.

Um das Pachometer auch zur Messung der Breite und Höhe des Spiegels geschickt zu machen, ist die

Theilung des an den Sektor anliegenden Randes *ma* des Schiebers, in Centimeter fortgesetzt, und auch die Basis der hölzernen Pyramide, zur Seite der Fuge *r* bis zu 25 Centimeter getheilt. Der gegenüberstehende Rand *ll* des Schiebers und der korrespondierende der Fuge, können in Zollo getheilt werden, so daß man die gemessenen Längenwerthe zugleich in Metern und Zollen abliest.

Wenn das Pachometer mit beweglichem Winkel versehen ist, so kann man diesen durch Versuche für eine jede gegebene Glasart einstellen. Ist man z. B. Willens, den Auszug des Schiebers, der Dicke von Spiegeln derselben Art, gleich zu machen, so befreie man einen der Spiegel von seiner Belegung, messe die Dicke unmittelbar, und schiebe die Zunge um so viel als diese beträgt heraus, dann stelle man das Instrument auf einen belegten Spiegel, und ändere den Winkel *asb*, welchen die statt der Alhidado dienende Kante mit der Spiegelfläche macht, so lange ab, bis das Bild der äußeren Kante des stählernen Querriegels, in der Richtung der ersteren sichtbar ist. Dann ist das Instrument regulirt. Man befestigt darauf die Druckschraube wieder und macht eine Kerbe auf der Seite der Pyramide, gegen welche man den Sektor anlegt, oder auf den Absatz von Kupfer, womit letzterer zu diesem Entzweck versehen ist. Dadurch sind die Angaben der gegenwärtigen Einstellung gesichert, und man kann die Theile des Instrumentes wieder in die zweckmäßige Lage bringen, wenn diese zur Aufsuchung der für andere Gasarten erforderlichen Lagen verändert ward.

Endlich kann auch das Pachometer, wie man sieht, zur Bestimmung des Brechungsvermögens der Spiegelgläser dienen. Denn nennt man das Brechungsvermögen K und setzt diese Bezeichnung statt des, für das Spiegelglas von St. Gobin gehörenden, Werthes 1,51 in der Formel (4), so hat man

$$K = \frac{\sin i}{R} \sqrt{1 + 4 \frac{e^2}{R^2}}$$

eine Formel, in welcher alle Größen, die der zweite Theil einschließt, durch den so eben erwähnten Gebrauch des Pachometers gegeben sind. (Doch setzt diese völligen Parallelismus der Flächen des Spiegels voraus, eine Bedingung, die überhaupt für die Anwendung dieses Instrumentes erfüllt seyn muß, wenn dasselbe nicht bloß die ungleiche Dicke des Spiegels an verschiedenen Punkten, sondern auch den Werth derselben in einem bekannten Längenmaasse darthun soll. *P.*)