[Aus dem hygienischen Institut zu Stockholm.]

Pettersson-Palmqvist's Kohlensäureapparat modificirt für Ventilationsuntersuchungen.

Von

Gerda Troili-Petersson.

Eine äusserst werthvolle Methode, den Kohlensäuregehalt der Luft zu bestimmen, wurde von O. Pettersson 1886 angegeben.¹ Zu hygienischen Zwecken ist diese Methode zuerst von K. Söndén modificirt.² Später haben O. Pettersson und A. Palmqvist einen tragbaren Apparat für Untersuchungen des Luftwechsels u. dgl. beschrieben.³ Dieser Apparat ist sehr leicht verwendbar, wenn es möglich ist in den Localen zu arbeiten, deren Luft man untersuchen will. Besagter Apparat ist von Teich sehr ausführlich beschrieben.⁴ O. Pettersson und A. Palmqvist haben schliesslich die Methode auch für sehr genaue wissenschaftliche Luftanalysen verwerthet. Der Apparat, welchen A. Palmqvist für diese Untersuchungen gebraucht hat, giebt so genaue Resultate, dass zwei Analysen derselben Luft selten einen Unterschied von mehr als $\frac{1}{1000}$ vom Volumenprocent zeigten.⁵ So vollkommene Genauigkeit ist freilich für Atmosphärenanalysen sehr wünschenswerth, für die meisten hygienischen Zwecke aber gar nicht nöthig. Der Vorzug des zuletzt erwähnten Apparates vor dem tragbaren liegt weiter darin, dass Luft aus Glaspipetten

¹ *Zeitschrift für analytische Chemie.* Bd. XXV. S. 467.

² *Ebenda.* Bd. XXVI. S. 592.

³ *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft.* Bd. XX. S. 2129.

⁴ *Archiv für Hygiene.* Bd. XIX. S. 38.

⁵ *Bihang till K. Svenska Vet.-Akad. Handlingar.* Bd. XVIII. Afd. 2. Nr. 2. — *Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik*, von Wollny. Bd. XVI.

analysirt werden kann, wodurch das Verschicken von Luftproben ermöglicht wird. In der Form, wie A. Palmqvist seinen Apparat beschrieben hat, ist er jedoch nicht so leicht zu handhaben; die Analysen nehmen unnütz viel Zeit und Geduld in Anspruch.

Von dem Hrn. Prof. E. Almquist habe ich den Auftrag bekommen, für das hiesige hygienische Institut Modificationen des Pettersson-Palmqvist's Apparates auszuarbeiten, damit die Analysen bei hygienischen und besonders Ventilationsuntersuchungen möglichst schnell und sicher ausgeführt werden könnten. Die hierbei gewonnene Erfahrung wird unten mitgetheilt. Es handelt sich sowohl darum, einen Apparat für Analyse von versandten Luftproben, wie auch einen tragbaren kleineren Apparat zu construiren. Zuletzt gebe ich eine mehr abweichende Modification an, wodurch, wie mir scheint, gewisse, nicht unbeträchtliche Vortheile zu erreichen wären.

1. Apparat für verschickte Luftproben.

Das Princip des Apparates ist, ein abgesperrtes Luftvolumen vor und nach dem Entfernen der Kohlensäure zu messen. Eine Schwierigkeit hierbei ist, dass das Volumen sich mit dem Atmosphärendruck und mit der Temperatur ändert. Das Originelle in Pettersson's Methode ist, dass er sich von diesen Störungen unabhängig macht. Dies geschieht dadurch, dass er die Pipette bei den Messungen durch einen Differentialmanometer mit einem Compensator verbindet. Man kann so mit Hülfe des Indexes die Luft in den beiden Behältern auf gleichen Druck einstellen. Um die Temperaturänderungen unschädlich zu machen, stehen die Pipette und der Compensator in einer Wanne mit Wasser, welches ihnen denselben Wärmegrad mittheilt. Wenn sich die Temperatur während der Analyse ändert, wird sich die Luft in den beiden Behältern in demselben Verhältniss ausdehnen oder zusammenziehen. Die Compensation wird also vollständig.

Fig. 1 giebt ein Bild vom Apparat. Eine bewegliche Quecksilberwanne *D* steht durch einen Gummischlauch und einen Hahn (*g*) in Verbindung mit der Pipette *A*. Diese ist unten zu einem feinen gradirten Rohre verlängert. Durch Heben von *D* kann man die Pipette mit Quecksilber füllen; die Luft wird durch *d* oder *a* und *b* ausgetrieben. *F* ist das zugeschmolzene Glasrohr, worin die Luft, welche man zu analysiren hat, eingeschlossen ist. Ehe *F* im Apparat festgesetzt wird, macht man bei den Spitzen des Glasrohres mit einer Feile kleine Striche. Durch Heben von *E* füllt man den ganzen Gummischlauch mit Quecksilber und befestigt *F* so, wie die Figur zeigt. Alle Verbindungen zwischen Glas

und Gummi werden mit dünnem Kupferdraht befestigt. Dann wird die untere Spitze von *F* abgebrochen und die Wanne *E* gehoben. Man öffnet darauf *d*, bricht die obere Spitze von *F* ab, senkt *D* und nimmt so ein Paar Cubikcentimeter Luft in *A* ein. Die Luft wird durch *a* und *b* ausgetrieben; hierbei muss der Hahn auf dem Rohre, das zum Compensator *C* führt, geschlossen sein.

Durch Wiederholen dieser Operation überzeugt man sich, dass das Verbindungsrohr zwischen *F* und *A* mit Luft aus *F* gefüllt ist. Man kann jetzt die Pipette bis zum Nullpunkt mit Luft aus *F* füllen; die Hähne *a* und *e* sind hierbei geschlossen, *d* und *g* sind offen, *D* ist gesenkt, *E* gehoben. Wenn der Druck in der Pipette etwas grösser als der Atmosphärendruck ist, schliesst man *d* und *g* ab und öffnet *a*, *b*, *c* und den Compensatorhahn. Es kann also kein Druckunterschied zwischen *A* und *C* entstehen, welcher den sehr empfindlichen Index aus dem Rohre hinausschleudern könnte. Die Hähne *b* und *c* werden wieder geschlossen, und man überzeugt sich durch Bewegen des Quecksilbers mit der Schraube *f*, dass der Index leicht beweglich ist. Dann

stellt man das Quecksilber genau auf den Nullpunkt ein und observirt die Lage des Index. Beim Einstellen des Index rührt man mit einer Feder das Wasser um, damit die Wärme sicher gleichförmig vertheilt

Fig. 1.

werde. Dann schliesst man *a* wieder ab, öffnet *g*, hebt die Wanne *D* und öffnet *e*. Dieser Hahn führt zu einem mit Kali gefüllten Orsatgefäss *B*, welches mit kleinen Glasröhren gefüllt ist, um die Oberfläche der Lauge zu vergrössern. Auf dem Rohre zwischen *e* und *B* ist eine Ringmarke für das Einstellen des Kalis angebracht.

Die Kohlensäure wird sehr schnell absorbirt, so dass man, gleich nachdem das ganze Luftvolumen aus *A* in *B* übergeführt worden ist, *D* sofort senken, und die Luft wieder in *A* hereinbringen kann. Die Lauge muss sehr genau auf die Ringmarke eingestellt werden. Die von Kohlensäure freie Luft, welche jetzt in *A* eingeschlossen ist, hat natürlich nicht denselben Druck, wie die Luft in *C*. Man muss darum den Compensatorhahn schliessen, ehe *a* geöffnet wird. Wenn ein bedenklich grosser Druckunterschied diessseits und jenseits des Index herrscht, so wird dadurch die Lage etwas verändert. Ist dies der Fall, wird das Volumen von *A* durch Heben oder Senken des Quecksilbers mit der Schraube *f* geändert. Man schliesst dann *a* und öffnet den Compensatorhahn, und sieht wieder nach, ob der Index sich bewegt. Wenn man sich also durch Aendern des Druckes und abwechselndes Schliessen und Oeffnen der beiden Hähne sich überzeugt hat, dass kein bedeutender Druckunterschied zwischen *A* und *C* existirt, öffnet man *a* und den Compensatorhahn. Diese Vorsichtsmassregel wird getroffen, weil sonst der Index leicht zerstört wird und somit auch die Analyse.

Der Index wird zuletzt auf denselben Punkt, wie vor der Absorption der Kohlensäure eingestellt. Das Kohlensäurevolumen wird jetzt direct abgelesen, indem man die Veränderung der Quecksilberhöhe im Skalenrohr observirt.

Zu beachten ist, dass die Luft feucht analysirt wird. Wenn das Quecksilber die Pipette *A* füllt, muss deshalb ein Wassertropfen darauf schwimmen. Die Analyse wird sehr rasch und ziemlich leicht ausgeführt. Ein Rohr wird im Allgemeinen in 30 Minuten untersucht, dabei werden zur Controle zwei Analysen gemacht. Etwas Uebung ist jedoch erforderlich, um alle Einzelheiten beim Arbeiten mit dem Apparat kennen zu lernen. Eine Schwierigkeit bietet die Empfindlichkeit des Differentialmanometers. Der Index besteht aus einem oft mit Azobenzol gefärbten Petroleumsäulchen, das nur wenige Millimeter lang ist. Wenn der Druck auf der einen Seite des Index geändert wird, könnte dieses leicht aus dem Rohre hinausgeschleudert werden. Um die Schwierigkeiten zu verringern, sind an beiden Enden des Indexrohres kleine Erweiterungen angebracht. Wenn der Index durch irgend eine Unvorsichtigkeit scheinbar verschwunden oder getheilt worden ist, muss man alles Petroleum wieder zu einem Säulchen zusammenbringen. Dies bewirkt man dadurch, dass, wenn ein

Tropfen sich irgendwo gebildet hat, dieser hin und her geführt wird, was mit Hülfe der Schraube *f* geschieht. Oft ist es jedoch bequemer, den Tropfen durch Drücken an einem Gummischlauch zu bewegen, den man am Indexrohre befestigt hat. Um von Anfang den Index in's Rohr zu bringen, füllt man ein capillar ausgezogenes Glasrohr mit Petroleum, führt es in's Indexrohr hinein und lässt es dort liegen, bis sich genug Flüssigkeit gesammelt hat. Das Capillarrohr wird durch *b* hineingebracht; der obere Theil vom Eisenpfiler des Stativs ist darum so eingerichtet, dass man ihn leicht wegnehmen und wieder festsetzen kann. Beim Kaligefäss muss man besonders darauf achten, dass die Lauge nicht durch *e* in *A* hineingezogen wird. Ist dieses geschehen, muss man die Pipette sorgfältig reinigen; es ist hierbei sehr bequem, das Wasser mittelst einer Wasserluftpumpe durch den Apparat zu saugen. Die Lauge ist 10procentig.

Die Dimensionen des Apparates sind wie folgt: Totalhöhe 95 cm, Cubikinhalt der Pipette 60 ^{ccm}, Cubikinhalt des Scalenrohres 1 Procent des Volumens der Pipette, Länge der Scala 20 cm, innerer Diameter der Verbindungsrohre 1.5 mm. Die Scala ist in 200 Theile gradirt; jeder Theil entspricht also 0.005 Procent des Totalvolumens.

Die Luftproben werden, wie erwähnt, in Glaspipetten eingeschlossen, die 150 ^{ccm} Luft räumen. Die Pipetten werden mit dem Apparat sehr leicht luftleer gemacht. In Fig. 2 zeigt *I* die Form der Pipette vor und *II* nach dem Evacuiren; sie wird bei *a* wie *F* in Fig. 1 befestigt, das enge Rohr lässt man frei. Man hebt *E* bis das Quecksilber in diesem Rohre ungefähr 15 cm hoch steigt. Dann schmilzt man dasselbe so nahe möglich an der Oberfläche des Quecksilbers zu, senkt *E* so, dass die Pipette leer wird und schmilzt bei *β* zu. Das Evacuiren einer Pipette wird im Allgemeinen in 5 bis 7 Minuten gethan. Um die Pipette mit der zu untersuchenden Luft zu füllen, bricht man die Spitze bei *δ* ab und schmilzt bei *γ* zu. Natürlich muss man hierbei darauf achten, dass keine Verbrennungsgase hineinkommen.

Fig. 2.

2. Der tragbare Apparat.

Dieser Apparat, der in Fig. 3 abgebildet ist, hat ganz denselben Typus wie der vorige. Wie bei diesem giebt es nur eine Scala, sonst wird auf die Beschreibung von Teich hingewiesen. Besonders wird hier jedoch bemerkt, dass die Apparate von Temperaturänderungen nicht ganz unab-

hängig sind. Die Löslichkeit der Luft in der Lauge ändert sich nämlich mit der Temperatur. Es kann also geschehen, dass die Lauge nicht mit Luft gesättigt ist; dann werden bei der Analyse auch andere Gase als

die Kohlensäure absorbiert. Um dies zu vermeiden, treibt man mittels des Quecksilbers in *D* in's Kaligefäss etwas Luft ein. Diese Luft wird dort gelassen, bis der Apparat beim nächsten Mal angewandt wird. Besagte Vorsichtsmassregel ist jedoch bei sehr grossen Schwankungen der Temperatur nicht hinreichend. Wenn man observirt, dass die Lauge nicht nur die Kohlensäure absorbiert, muss man eine Quantität Luft in den Kalibehälter hineintreiben und wieder austreiben, bis sich deren Volumen nicht mehr ändert.

Die Dimensionen des Apparates sind: Totalhöhe 70 cm, Cubikinhalt der Pipette 30 cm³, Cubikinhalt des Scalenrohres 1 Procent des Volumens der Pipette, Länge der Scala 10 cm, innerer Diameter der Verbindungsröhre 1.5 mm.

Die Scala ist in 200 Theile gradirt; jeder Theil entspricht also 0.005 Procent vom Totalvolumen.

Fig. 3.

3. Apparat ohne Petroleumindex.

Bei dem Apparat, der Fig. 4 schematisch wiedergiebt, habe ich die Idee von der Compensation beibehalten. Statt aber ein Differentialmanometer mit Petroleumindex zu benutzen, leistet hier die Lauge den Dienst eines Index. Das Kaligefäss *B*, welches bei den übrigen Apparaten von einer Seite ganz offen ist, ist bei diesem an beiden Seiten zu engen

Röhren ausgezogen und kann durch *b* von der äusseren Luft abgeschlossen werden. *B* steht, wie die Figur zeigt, mit dem Compensator *C* in Ver-

Fig. 4.

bindung. Der Cubikinhalt von *C* ist ungefähr fünfmal so gross wie der von *A*. Man kann also, auch wenn *b* geschlossen ist, mit einem unbedeutenden Druck die Luft aus *A* in *B* hinübertreiben. Wenn man die

Lauge vor und nach der Absorption auf dieselbe Marke einstellt, so steht also die Luft der Pipette bei beiden Messungen unter demselben Druck.

Die Analyse geschieht in Kurzem wie folgt. Man füllt die Pipette mit der zu untersuchenden Luft, öffnet *b*, rührt das Wasser gut um und observirt, wie hoch die Lauge im Rohre zwischen *B* und *e* steht. . Damit man diese Observation sehr genau thun könne, ist eine etwa 2^{cm} lange Scala an diesem Rohre angebracht. Man hebt dann *D* und treibt die Luft in *B* hinein, senkt *D* wieder, bis die Lauge in's enge Rohr steigt und bringt sie mit Hülfe der Schraube *f* genau in dieselbe Lage, wie vor der Operation. Bei dieser Operation rührt man wieder das Wasser gut um und beachtet, dass die Lauge ganz im Gleichgewicht bleibt, ehe man den Kohlensäuregehalt an der unteren Scala abliest.

Bei diesem Apparat ist besonders zu bemerken, dass die Lauge im engen Rohre unter *e* leicht beweglich sein muss. Um zu untersuchen, ob dem so ist, wird das Niveau des Quecksilbers mit der Schraube *f* ein wenig geändert. Vor der Analyse muss dieses natürlich sehr vorsichtig geschehen, damit eine messbare Quantität Kohlensäure nicht absorbirt werde. Wenn die Lauge die Wände des Rohres nicht gut benetzt, müssen diese gereinigt werden. Man nimmt den Hahn *e* weg und steckt einen ziemlich steifen Bindfaden in's Rohr bis zur Erweiterung desselben herein und macht es damit rein. Die Luft in *C* muss natürlich von Kohlensäure frei sein. Um dies zu bewirken, kann man ein wenig Lauge in *C* einführen oder die Luft durch Heben und Senken von *D* mehrmals zusammenpressen und wieder ausdehnen. Wenn der Atmosphärendruck sich seit der letzten Anwendung des Apparates bedeutend geändert hat, muss man *b* öffnen, um nicht zu grossen Druckunterschied zwischen dem Compensator und der Pipette zu haben. Nach dem Oeffnen von *b* muss man sich aber überzeugen, dass die Kohlensäure, welche möglicher Weise in *C* hereingekommen sei, absorbirt werde. Die Kalilauge wird durch *b* in's Kaligefäss eingeführt; das Rohr bei *b* muss darum so weit sein, dass man ein sehr feines Trichterrohr darin einstecken kann. Der Hahn *a* wird nur für den Fall angewandt, wenn man Luft aus Pipetten analysirt und also nicht durch *d* den Druck in *A* mit dem atmosphärischen ausgleichen kann.

Um die Genauigkeit der neuen Construction zu prüfen, wurden Versuche mit zwei Apparaten von verschiedenen Dimensionen *A* und *B* angestellt. Im Apparat *A* werden 15^{cm} und im Apparat *B* 30^{cm} Luft analysirt. Diese Apparate wurden mit einem grossen Pettersson-Apparat und mit dem oben beschriebenen tragbaren Apparat verglichen.

	Der grosse Apparat		Apparat B				
Versuch I	0.45	0.44	0.46	0.42	0.45		
„ II		0.64	0.62	0.64	0.64		

	Tragbarer Apparat		Apparat A					
Versuch III	0.80	0.82	0.85	0.87	0.85	0.87		
„ IV	0.40	0.39	0.40	0.42	0.42	0.40	0.45	0.47

Die Genauigkeit der beiden neuen Apparate scheint also genügend zu sein. Mit der geringen Erfahrung, die ich von der neuen Construction habe, ist es aber schwer, zu sagen, ob sie sich in der Praxis bewähren wird.

Die tragbaren Apparate (Figg. 3 und 4) finden besonders dort Anwendung, wo man mehrere Untersuchungen in demselben Hause auszuführen hat. Es sind jedoch auch diese Apparate leicht mit einer Vorrichtung zu versehen, die das Analysiren von Luft aus Pipetten gestattet.

Es scheint, als ob der Umstand, dass die Proben so leicht zu nehmen und bequem zu transportiren sind, sehr dazu beitragen sollte, die Kohlensäureuntersuchung allgemein zu machen. Soll z. B. die Luft einer Schule untersucht werden, schickt man evacuirte Pipetten hin; der Lehrer nimmt die Proben und schickt sie wieder in's Laboratorium zum Analysiren. Wenn eine Luftprobe vor und nach der Stunde genommen und die Grösse des Zimmers sammt Anzahl und Durchschnittsalter der Eleven mitgetheilt werden, hat man die Möglichkeit, nicht nur die Beschaffenheit der Luft, sondern auch die Grösse des Luftwechsels zu beurtheilen. Die letztere wird dann mit Hülfe der Recknagel'schen Formeln leicht berechnet.

Die Anschaffungskosten für einen dieser Apparate machen sich für ein Laboratorium, welches öfter mit dergleichen Untersuchungen zu thun hat, recht bald bezahlt. Da die Analysen so wenig Zeit in Anspruch nehmen, können sie ziemlich billig — für etwa 2 Mark die Probe — ausgeführt werden.

G. A. Kahl in Stockholm verfertigt die Apparate für folgende Preise: Apparat I 140 Kr. = 155 Mark, Apparat II 75 Kr. = 83 Mark, Apparat III 60 Kr. = 67 Mark.