MISCELLANEA DELLA R. BIBLIOTECA MEDICA
52
15

Die minimetrische Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Zimmerluft.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

der

hohen medizinischen Fakultät der k. b. Universität Erlangen

vorgelegt

von

Adolf Pracht
aus Zweibrücken.

R. BIBLIOTECA MEDICA DI ROMA
R. ACCADEMIA MEDICA

Erlangen.
Druck von Aug. Vollrath's k. b. Hofbuchdruckerei.
1891.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der kgl. Universität Erlangen.
Referent: Herr Professor Dr. Rosenthal.

Seinem lieben Vater

Herrn quiesc. Kgl. Strafanstaltslehrer

Konrad Jakob Pracht

in Zweibrücken

in Dankbarkeit und Verehrung

gewidmet

vom

Verfasser.

Wie v. Pettenkofer gezeigt hat, kann der CO_2-Gehalt der Luft geschlossener, zeitweilig oder dauernd von Menschen besuchter Räume — wenn man von ausnahmsweisen unter besonderen Verhältnissen auftretenden Luftverunreinigungen absieht — als Massstab für die Reinheit der Luft angesehen werden. Die Kohlensäurebestimmung bietet daher eine wertvolle Grundlage für die hygienische Beurteilung der Luft, und aus diesem Grunde haben die Hygieniker den Methoden der Kohlensäurebestimmung besondere Aufmerksamkeit zugewendet. Die meisten Methoden beruhen auf dem Princip der Massanalyse, unter ihnen ist als die exacteste diejenige zu erwähnen, welche v. Pettenkofer selbst angegeben hat.

Dieselbe bedient sich zur Fixierung der CO_2 einer wässrigen Lösung von Barythydrat; mit letzterer wird eine sogenannte Pettenkofer'sche Röhre beschickt, und durch die Flüssigkeit wird ein bestimmtes Quantum der zu untersuchenden Luft hindurchgeleitet; es bildet sich dabei ein weisser Niederschlag von kohlensaurem Baryt, die alkalische Barytlösung wird dadurch schwächer, und indem der Grad dieser Abschwächung durch Titration mit Oxalsäure ermittelt wird, ergibt sich die Menge der gebundenen Kohlensäure. Dies Verfahren gibt ganz zuverlässige Resultate, kann aber nur selten

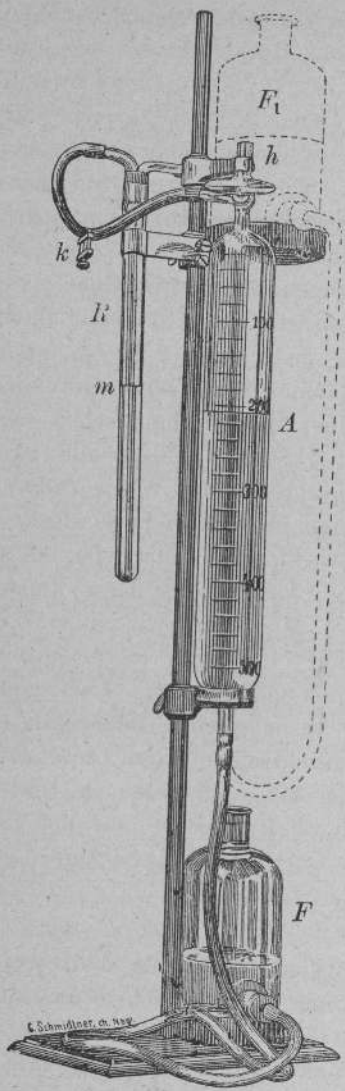
zur Anwendung kommen, weil seine Ausführung viel Zeit und grössere analytische Hülfsmittel erfordert. Das Bestreben, die CO_2-Bestimmungen mehr praktisch brauchbar zu machen, führte dann zu dem sogenannten minimetrischen Verfahren, bei welchem nur eine verhältnissmässig kleine Probe der zu untersuchenden Luft, etwa 1 bis 5 Liter, zur Analyse gelangt. Von den verschiedenen minimetrischen Methoden soll hier nur diejenige von Lunge und Zeckendorf besonders erwähnt werden.

Bei dieser Methode wird statt der früher angewandten Barytlösung eine Natriumcarbonatlösung, welche mit Phenolphtalein gefärbt ist, in ein kleines Fläschchen gefüllt und die zu untersuchende Luft mittelst eines Gummiballons von bekanntem Rauminhalt durch die Lösung durchgesaugt. Aus der Anzahl der bis zum Eintritt der Entfärbung der Lösung verbrauchten Ballonfüllungen erfährt man die Luftmenge, welche nötig ist, um die Entfärbung herbeizuführen und hieraus unter Berücksichtigung der Menge und Concentration der angewendeten Sodalösung und der Aichungswerte des Apparates den CO_2-Gehalt der betr. Luft.

Diese Methode leidet an vielen Ungenauigkeiten, welche sowohl bei CO_2-reicher, wie besonders bei CO_2-armer Luft erheblichere Fehler veranlassen. Diese Ungenauigkeiten sind vornehmlich bedingt durch die Unsicherheit im Abmessen des Luftvolumens. Es ist unmöglich, den Ballon mit der Hand so vollkommen auszudrücken, dass nicht ein geringes Volumen Luft, oder immer so auszudrücken, dass immer das gleiche Volumen Luft zurückbliebe. Dieser zurückbleibende unbestimmbare Rest Luft wird immer einen Fehler veranlassen, und dieser Fehler ist um so grösser, je mehr Ballonfüllungen nötig sind, je CO_2-ärmer also die Luft ist. Dann ist bei Entfärbung der Lösung, welche während der letzten

Ballonfüllung eintritt, schwer zu sagen, welchen Bruchteil der letzten Füllung man zur Herbeiführung der Endreaction mitzurechnen hat. Und diese Ungenauigkeit fällt um so schwerer ins Gewicht, je CO_2-reicher die Luft ist, je weniger Ballonfüllungen also nötig sind. Wenn nach den Tabellen, welche Lunge für einen genau in bestimmten Dimensionen construierten Apparat entworfen hat, 6 Ballonfüllungen einem CO_2-Gehalt von 1,5 *pro mille*, 4 Ballonfüllungen einem CO_2-Gehalt von 2,2 *pro mille* entsprechen, so ist es klar, dass bei einem CO_2-Gehalt der Luft von mehr als 2,2 *pro mille*, wie er in starkbesuchten Räumen nicht selten gefunden wird, auch ein Bruchteil einer Ballonfüllung schon sehr in Rechnung zu ziehen ist. Diese Fehlerquelle wäre allerdings in der später zu besprechenden Weise dadurch leicht zu beseitigen, dass man in solchem Falle stärkere Natriumcarbonatlösung, etwa doppelt oder viermal so starke, zur Untersuchung verwendet; dann kommt aber der erst erwähnte Missstand wieder stärker zur Geltung. Ein zweiter Umstand wirkt hierbei noch störend ein, dass man nämlich die Luft nicht gleichmässig langsam und in möglichst feinen Blasen durch die Sodalösung hindurchtreiben kann, was sehr zu berücksichtigen ist, da bei sehr kleinen Blasen die Luft in eine viel innigere Berührung mit der Lösung kommt, und deshalb auch die CO_2 sicherer gebunden wird als bei grossen Luftblasen.

Diese Fehlerquellen sind vermieden bei einem neuen Apparate, welcher im physiologischen Institute dahier construiert und von E. Marquardsen in seiner Dissertationsarbeit „Über einen neuen Apparat zur Bestimmung der Kohlensäure in der Zimmerluft.“ Erlangen, 1890, genau beschrieben ist. Bei diesem Apparate, dessen Construction ohne weiteres aus nebenstehender Figur ersichtlich ist, wird ein leicht regulierbarer Luft-



strom in sehr kleinen Bläschen durch die in einem hohen Reagensglase befindliche mit Phenolphtalein gefärbte Sodalösung durchgeführt, und das zur Entfärbung nötige Luftvolumen wird an einem graduierten Cylinder, welcher zugleich als Aspirator dient, abgelesen. Indem ich bezüglich der Handhabung des Apparates und der theoretischen Momente, welche bei demselben in Betracht kommen, auf die genannte Dissertation verweise, begnüge ich mich, einige dort nicht genügend berücksichtigte Umstände näher zu besprechen, welche bei der Anwendung dieses Apparates zu beachten sind, und hieran die Resultate einer grösseren Anzahl praktischer Versuche mit dem Apparate anzureihen.

Das Reagensglas R enthält bis zur Marke m 20 ccm phenolphtaleingefärbter, Natriumcarbonatlösung von bestimmter, den Versuchsbedingungen entsprechender Concentration. Quetschhahn k dient zur Regulierung des Luftstroms. Das aus dem calibrierten Cylinder A ausfliessende Wasser nimmt die Flasche F auf, aus welcher sich bei der Stellung F nach Umschaltung des Dreiweghahns h der Cylinder A wieder füllt.

I. Herstellung und Haltbarkeit der Lösungen.

Es ist bereits von Lunge darauf hingewiesen worden, dass die bei seinem und bei dem hier zu besprechenden Verfahren zur Anwendung kommende Natriumcarbonatlösung in grösserer Verdünnung nicht längere Zeit unverändert haltbar ist; ich habe die Veränderlichkeit der Lösungen etwas aufmerksamer verfolgt und will im Folgenden die von mir in dieser Richtung gemachten Beobachtungen erwähnen.

1. Bereitung der Normal-Natriumcarbonatlösung.

Ungefähr 30 g reines, trockenes (d. h. krystallwasserfreies) Natriumcarbonat wurde in einem Porzellanmörser fein zerrieben, dann in Platinschale schwach geglüht und im Exsiccator erkalten gelassen. Dann wurde es auf einer chemischen Wage genau gewogen.

Platinschale + Natriumcarbonat	=	68,570 g
Platinschale	=	40,350 g
Natriumcarbonat	=	28,220 g

Da der Liter Normal-Na_2CO_3 ein Äquivalent dieses Salzes, d. h. 53 g enthält, so waren die 28,22 g mit destillirtem Wasser

zu $\frac{1000 \cdot 28{,}22}{53} = \frac{28220}{53} = 526{,}792$ ccm aufzulösen.

Das zu dieser Auflösung benützte dest. Wasser war auf seine absolute Reinheit geprüft und nicht lange vorher noch einmal zur Austreibung der darin etwa vorhandenen CO_2 aufgekocht worden.

Dieser Normal-Na_2CO_3-Lösung, welche sich sehr lange unverändert hält, wurden nun mittelst Pipette 10 ccm entnommen und diese mit dest. Wasser zu 100 ccm in einem 100 ccm-Kolben aufgefüllt. Eine solche $^1/_{10}$ Normal-Na_2CO_3-Lösung erleidet selbst in

mehreren Monaten keine nachweisbaren Veränderungen und kann daher zu allen Versuchen verwendet werden, indem man dieselbe in einem grösseren Messkolben je nach Bedarf weiter verdünnt im Verhältnis 1 : 100, 1 : 50, 1 : 25, so dass man alsdann eine $^1/_{1000}$-, $^1/_{500}$-, $^1/_{250}$-Normal-Na_2CO_3-Lösung erhält.

2. Correctur des Wassers.

Bei der Herstellung der $^1/_{1000}$ Normal-Na_2CO_3-Lösung oder anderer Verdünnungen aus der $^1/_{10}$-Lösung sind einige Vorsichtsmassregel zu beachten. Das zur Verdünnung zu verwendende Wasser muss absolut CO_2-frei sein. Dass dies der Fall ist, wird am einfachsten daran erkannt, dass ein grösseres Quantum (mehrere 100 ccm, etwa $^1/_2$ Ltr. dieses Wassers), dem man einige ccm alkoholischer Phenolphtaleinlösung zugefügt hat, sich sogleich schwach rot färbt, sobald man einen Tropfen einer sehr verdünnten Alkalilösung hineinbringt. Ein solches absolut neutrales Wasser kann man sich bereiten, indem man reines destilliertes Wasser kurz vor Verwendung noch einmal aufkocht und im bedeckten Gefäss erkalten lässt. Man kann aber auch — und so wurde in der Regel bei der Herstellung der von mir verwendeten Lösungen verfahren — reines destilliertes Wasser, ohne es zu kochen, sogleich in einen Messkolben füllen, dann 5 ccm einer 0,5 promilligen Phenolphtaleinlösung auf je 100 ccm Wasser zugeben und nunmehr von einer äusserst verdünnten Natronlauge oder Sodalösung so viel Tropfen hineinbringen, dass nach dem Schütteln eben ein bleibender, ganz schwacher Rosaschimmer auftritt. Ein so corrigiertes Wasser diente zur Herstellung der bei den Kohlensäurebestimmungen verwendeten Lösungen. Die $^1/_{1000}$ Normal-Na_2CO_3-Lösung, welche zu den meisten Versuchen verwendet wurde, habe ich gewöhnlich in einem Literkolben hergestellt; hatte ich jedoch nicht sehr viele Versuche zu machen, in einem 500 ccm-Kolben. Der betreffende Kolben wurde

mit destilliertem Wasser nicht ganz bis zur Marke, sondern nur soweit gefüllt, dass etwa noch 100 bis 150 ccm bis zur Marke fehlten. Dann wurde die berechnete Menge 0,5 promilliger Phenolphtaleinlösung, zum Liter 50, zum halben Liter 25 ccm, hinzugegeben und nach dem Schütteln eine geringe Spur eines Alkali, bis der eben bleibende rote Schimmer auftrat. Zu diesem corrigierten und bereits mit der nötigen Menge Phenolphtalein gemischten Wasser, nahezu 1 Liter bezw. $^1/_2$ Liter, wurden nun aus der $^1/_{10}$ Normal-Na_2CO_3-Lösung 10 bezw. 5 ccm mit Pipette zugefügt, bis zur Marke mit destill. Wasser aufgefüllt und geschüttelt. Ebenso wurden die $^1/_{500}$- und $^1/_{250}$ Normal-Na_2CO_3-Lösungen hergestellt.

3. Herstellung der Phenolphtalein-Lösung.

Von reinem käuflichen Phenolphtalein werden 0,5 g auf einer kleinen Handwage abgewogen, in einen Literkolben gebracht und etwa 70%iger säurefreier Alkohol bis zur Marke zugegeben. Ein grösseres Quantum (50 ccm) dieser Lösung muss durch eine Spur Alkali sofort intensiv gerötet werden.

Das Phenolphtalein hat auf den chemischen Vorgang, Verwandlung des Na_2CO_3 in $NaHCO_3$, keinerlei Einfluss, es dient lediglich zur Erkennung dieses Processes. Es kommt auf dasselbe hinaus, ob man die Reaction lediglich im Sinne der Gleichung $Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O = 2\ NaHCO_3$ auffasst, oder ob man das Phenolphtaleinmolekül an der Umsetzung Teil nehmen lässt. In der That hat auch die Anwendung verschieden stark mit Phenolphtalein gefärbter Na_2CO_3-Lösungen unter sonst gleichen Bedingungen und gleichem Na_2CO_3-Gehalt der Lösungen keine Verschiedenheit in den Resultaten der Versuche ergeben. Dies zeigten folgende gleichzeitig mit zwei neben einander aufgestellten Apparaten ausgeführten Versuche. Beide Apparate waren

mit $^1/_{1000}$ Normallösung beschickt, jedoch war die eine Lösung mit 25, die andere mit 50 ccm $0{,}5\,^0/_{00}$iger Phenolphtaleinlösung pro Liter gefärbt:

Apparat I, (enthält $^1/_{1000}$ Normallösung mit 25 ccm Phenolphtalein im Liter).	Apparat II, (enthält $^1/_{1000}$ Normallösung mit 50 ccm Phenolphtalein im Liter.)	
200	180	a
180	180	
180	170	
100	110	b
70	80	c
70	60	
80	70	
70	60	
70	70	
110	100	d

Die Zahlen geben das zur Entfärbung beider Lösungen nötige Luftvolumen in ccm an. Diese Versuche wurden gemacht in einem kleinen Zimmer des physiol. Instituts, in welchem während der vorausgegangenen Nacht 2, dann nach der Versuchsreihe a eine Stunde lang 4, nach dem Versuch b etwa eine Stunde lang 5 Gasflammen gebrannt hatten. Vor dem letzten Versuch d waren die Thüre und das Fenster längere Zeit offen. Die Luftzuströmungsöffnungen beider Apparate wurden durch Gummischläuche mit einem T-Rohr verbunden, so dass die Luft nur durch eine einzige Eintrittsöffnung in beide Apparate gelangen konnte.

Auch wurden beide Apparate immer gleichzeitig in Gang gesetzt und die Luftblasen in beiden Apparaten mittelst des Quetschhahns so reguliert, dass die einströmenden Luftmengen sich möglichst gleich blieben. Aus diesen Versuchen kann man angesichts der ganz unerheblichen Differenzen mit Bestimmtheit entnehmen, dass es auf die Menge des angewandten Phenolphtaleins nicht

ankommt, dass man unbeschadet der Richtigkeit des Resultats etwas weniger stark gefärbte Lösungen verwenden kann, so lange deren Färbung noch deutlich zu sehen ist.

4. Haltbarkeit der Lösungen.

Ich habe, durch mehrere, auffallend fehlerhafte Resultate bei Versuchen mit öfter gebrauchten Lösungen veranlasst, einige vergleichende Versuche mit verschieden alten Lösungen, teils ungebrauchten, teils oft angewendeten, angestellt, um zu sehen, ob man eine gut verschlossene $^1/_{1000}$ Lösung noch nach längerer Zeit verwenden darf. Diese Versuche wurden, wie die früher erwähnten, mit zwei durch T-Rohr verbundenen Apparaten ausgeführt. Der eine Apparat war mit einer 3 Wochen alten, in gut verschlossener Medizinflasche aufbewahrten $^1/_{1000}$ Normallösung beschickt worden, der andere Apparat enthielt frischbereitete $^1/_{1000}$ Normallösung.

Apparat I, $^1/_{1000}$ Lösung, 3 Wochen alt.	Apparat II, Frischbereitete $^1/_{1000}$ Lösung.
500	520
520	520
480	500
480	480

In einer zweiten Versuchsreihe suchte ich die Verwendbarkeit einer wenige Tage alten, mehrere Male angewendeten Lösung festzustellen durch Vergleich mit einer frischbereiteten.

Apparat I, $^1/_{1000}$ Lösung, 2 Tage alt, oft gebraucht.	Apparat II, Frische Lösung.
160	480
120	500
120	500

Eine halb gefüllte Medizinflasche mit $^1/_{1000}$ Normallösung, welche in einem CO_2-reichen Raum mehrfach geöffnet und dabei hin und her bewegt worden war, enthielt nach 3 Tagen nur noch eine wasserhelle Flüssigkeit. Ähnlich, wenngleich nicht so schnell, verblassen auch stärkere Lösungen. Man kann hieraus ersehen, dass eine in gut verschlossener, bis zum Stopfen gefüllter Flasche aufbewahrte $^1/_{1000}$ Normal-Lösung sich nach 3 Wochen noch gut verwenden lässt, dass andererseits Lösungen, welche infolge häufigen Öffnens des Glases oft mit der Luft in Berührung kommen und über deren Oberfläche in der Flasche sich eine grössere Luftschicht befindet, bald ungenau werden. Öffnet man eine Flasche mit $^1/_{1000}$ Lösung wiederholt in CO_2-reicher Luft, so wird die Lösung für exacte Untersuchungen unbrauchbar. Es empfiehlt sich daher — und so wurde von mir bei allen späteren Versuchen verfahren — die in Quantitäten von $^1/_2$ bis 1 Liter bereitete $^1/_{1000}$ Normal-Lösung in Medizingläser von 100 bis höchstens 150 ccm Inhalt zu füllen und vor dem Licht geschützt aufzubewahren, eine einmal angebrochene Flasche nicht zu späterer Benützung zurückzusstellen und niemals Lösungen zu verwenden, die über drei Wochen alt sind.

II. Verschieden starke Lösungen.

Wie schon in der Dissertation von Marquardsen angedeutet ist, kann man bei sehr CO_2-reicher Luft statt der $^1/_{1000}$ Normal-Lösung auch stärkere Lösungen verwenden. Es ist dies bei einer Luft, von welcher weniger als 100 ccm schon Entfärbung der $^1/_{1000}$ Normal-Lösung bewirken, welche also mehr als 3,3 $^0/_{00}$ CO_2 enthält, sogar notwendig, um ein genaues Resultat zu erzielen. Nun fragt es sich aber, in welchem Verhältniss die Luftvolumina, welche in den verschieden starken Lösungen, in $^1/_{1000}$-, $^1/_{500}$-, $^1/_{250}$-, $^1/_{100}$-Normal-Na_2CO_3 die Entfärbung bewirken, zu einander stehen; es fragt sich, ob

man ohne weiteres die für die $^1/_{1000}$ Lösung aufgestellte Formel

$$K = \frac{1000 \cdot 0{,}33}{V}$$

umwandeln darf in die folgenden: für die $^1/_{500}$ Normal-Lösung in

$$K = \frac{1000 \cdot 0{,}66}{V},$$

für die $^1/_{250}$ Normal-Lösung in

$$K = \frac{1000 \cdot 1{,}32}{V},$$

für die $^1/_{100}$ Normal-Lösung in

$$K = \frac{1000 \cdot 3{,}3}{V},$$

Bei einem CO_2-Gehalt der Luft von 0,33 $^0/_{00}$ sind 1000 ccm Luft zur Entfärbung der 20 ccm $^1/_{1000}$-Lösung nötig.

Zur Überführung des Na_2CO_3 in das $NaHCO_3$ genügen jedoch schon 660 ccm dieser Luft.

Die Luftmenge, welche nach vollendeter Umwandlung des Carbonates in das Bicarbonat die Endreaction d. h. die völlige Entfärbung herbeiführt, ist bei constanter Luftzusammensetzung als constant erwiesen. Es konnte jedoch nicht ohne weiteres als sicher gelten, dass sie sich den Verstärkungen der Lösungen proportional veränderte, wennschon diese Proportionalität als kaum zweifelhaft erschien.

Dies wurde nun experimentell festzustellen gesucht durch vergleichende Versuche mit $^1/_{1000}$-, $^1/_{500}$-, $^1/_{250}$- und $^1/_{100}$-Normal-Na_2CO_3-Lösung in zwei mit einander durch T-Rohr verbundenen Apparaten.

Die ersten Versuche dieser Art, welche ich in verschiedenen Räumen anstellte, waren zu vielen störenden Nebenumständen ausgesetzt und ergaben deshalb keine Resultate, aus denen sich ein zuversichtliches Urteil hätte

ableiten lassen. Auch war es ein Fehler, gleichzeitig an vier verschieden starken Lösungen in Localen, wo der CO_2-Gehalt der Luft sich fortwährend änderte, die Reaction verfolgen zu wollen. Wollte ich z. B. eine $^1/_{1000}$- mit einer $^1/_{250}$-Lösung vergleichen, so brauchte ich in dem einen Falle etwa einen Cylinder Luft, indess beim anderen Apparat der Cylinder ungefähr 4 mal ablaufen und wieder aufgefüllt werden musste. Während dieser Zeit aber konnten sich eine Menge störender Einflüsse geltend machen.

Genauere Resultate bekam ich erst durch folgende systematischere Versuche.

In demselben kleinen Zimmer des physiologischen Instituts, welches auch den Versuchen von Marquardsen gedient hatte, wurde durch längeres Brennenlassen von 2 Gasflammen ein bestimmter CO_2-Gehalt der Luft hergestellt, und nun zunächst allein das Verhalten einer frischbereiteten $^1/_{1000}$- und einer ebensolchen $^1/_{500}$ Lösung vergleichend geprüft. Sodann wurde bei etwas höherem CO_2-Gehalt der Luft des Untersuchungszimmers die $^1/_{500}$ Lösung in vielen Versuchen mit der $^1/_{250}$ Lösung verglichen, endlich wurde durch Verbrennung reichlicher Leuchtgasmengen der CO_2-Gehalt soweit hinaufgetrieben, dass auch die $^1/_{250}$- und $^1/_{100}$ Lösung neben einander in Anwendung kommen konnten, ohne dass ein Versuch zu lange gedauert hätte.

Eine Vergleichung der Lösungen in normaler Luft mit 0,3 bis 0,4 $^0/_{00}$ CO_2-Gehalt, wie ich dieselbe zweimal ausgeführt hatte, war sehr umständlich, da zur Entfärbung der $^1/_{100}$-Lösung der Cylinder mehr als 20 mal ablaufen und wieder gefüllt werden musste, was einen Zeitraum von mehreren Stunden erforderte.

Trotz einzelner Ungenauigkeiten und hie und da widersprechender Befunde hatte sich aus alle den früheren Versuchen dieser Art schon ziemlich sicher ergeben, dass

sich die Lösungen durch ein proportional mit ihrer Concentration zunehmendes Luftvolumen bei constantem CO_2-Gehalt der zugeführten Luft entfärben liessen.

Dies erwies sich nun sehr klar aus den systematischen Versuchen mit je 2 Lösungen in einem Raum mit bestimmtem, ziemlich constantem CO_2-Gehalt. Bis zum Eintritt der Entfärbung wurden gebraucht bei

Apparat I, beschickt mit $^1/_{1000}$ Normallösung	Apparat II, beschickt mit $^1/_{500}$ Normallösung
300 ccm Luft	640 ccm Luft
280 „	580 „
280 „	520 „
200 „	400 „
180 „	360 „
180 „	360 „
200 „	360 „
180 „	340 „
180 „	340 „
180 „	320 „
160 „	340 „
180 „	360 „
140 „	300 „
160 „	300 „
150 „	320 „
140 „	290 „
160 „	300 „
160 „	300 „
120 „	260 „
100 „	220 „
90 „	190 „
100 „	190 „
90 „	180 „

Apparat I, beschickt mit $^1/_{1000}$ Normallösung.		Apparat II, beschick mit $^1/_{500}$ Normallösung.	
80	„	160	„
70	„	140	„
70	„	140	„
70	„	150	„
80	„	150	„
80	„	160	„

Apparat I, beschickt mit $^1/_{500}$ Normallösung.		Apparat II, beschickt mit $^1/_{250}$ Normallösung.	
200	ccm Luft	360	ccm Luft
180	„	400	„
180	„	400	„
200	„	380	„
150	„	320	„
140	„	280	„
140	„	260	„
140	„	300	„
140	„	240	„
120	„	260	„
140	„	270	„
120	„	200	„
120	„	220	„
120	„	180	„
100	„	180	„
100	„	180	„
90	„	200	„
80	„	180	„
80	„	160	„
80	„	160	„

Apparat I, beschickt mit $^1/_{250}$ Normallösung.	Apparat II, beschickt mit $^1/_{100}$ Normallösung.

(Die eingeklammerten Zahlen geben die Luftvolumina an, welche sich aus den für den Apparat I gefundenen Werten für den Apparat II berechnen lassen.)

250	ccm Luft	(625)	560	ccm Luft
250	„	(625)	600	„
220	„	(550)	580	„
220	„	(550)	540	„
220	„	(550)	560	„
210	„	(525)	520	„
200	„	(500)	460	„
200	„	(500)	460	„
190	„	(475)	460	„
190	„	(475)	460	„
180	„	(450)	440	„
180	„	(450)	460	„
170	„	(425)	440	„
160	„	(400)	420	„
150	„	(375)	390	„
140	„	(350)	340	„
140	„	(350)	340	„
360	„	(900)	920	„
360	„	(900)	900	„
340	„	(850)	880	„
340	„	(850)	840	„
280	„	(700)	760	„
280	„	(700)	720	„
280	„	(700)	720	„
290	„	(725)	700	„
280	„	(700)	720	„
300	„	(750)	760	„
280	„	(700)	700	„
280	„	(700)	700	„
280	„	(700)	720	„
280	„	(700)	720	„

Apparat I, beschickt mit $^1/_{500}$ Normallösung.	Apparat II, beschickt mit $^1/_{250}$ Normallösung.
280 ccm Luft	160 ccm Luft
280 „	160 „
280 „	160 „
280 „	140 „
280 „	120 „
260 „	130 „
260 „	120 „
280 „	120 „
280 „	140 „

Apparat I, beschickt mit $^1/_{250}$ Normallösung.	Apparat II, beschickt mit $^1/_{1000}$ Normallösung.
200 ccm Luft	50 ccm Luft
200 „	45 „
220 „	beschickt mit $^1/_{100}$ Normallösung.
	600 „

Aus dieser grossen Reihe von Versuchen geht hervor, dass das Verhältnis der bei verschieden starken Lösungen die Entfärbung bewirkenden Luftvolumina den Concentrationen der Lösungen proportional ist. Man kann also in Localen, wo von vornherein ein stärkerer CO_2-Gehalt zu erwarten ist, eben so gut oder vielmehr besser mit einer stärkeren Lösung experimentieren. Für die Untersuchung der Luft ungenügend ventilierter, zeitweilig stark besuchter Räume empfiehlt sich in der Regel die $^1/_{500}$ Normallösung; man muss dann zur Berechnung des CO_2-Wertes mit dem zur Entfärbung verbrauchten Luftvolumen nicht in 330, sondern in 660 dividieren.

Eine rein theoretische Überlegung führt zu dem Schlusse, dass an Orten, wo sich neben CO_2 Ammoniak in grösserer Menge in der Luft befindet, eine Beeinflussung des Resultates dadurch zu Stande kommen kann, dass die Wirkung der CO_2 durch diejenige des Ammoniaks

ganz oder zum Teil compensiert wird und dass man daher den etwaigen Ammoniakgehalt der auf CO_2 zu untersuchenden Luft berücksichtigen muss. Von dieser Erwägung geleitet, habe ich mehrere Versuche in der Nähe eines Pissoirs und einer erst kurz vorher entleerten Abortgrube gemacht mit 2 Apparaten, von welchen ich den einen mit etwa 10 ccm sehr verdünntem Nessler'schen Reagens füllte, während der andere $^1/_{1000}$ Normal-Na_2CO_3-Lösung enthielt. Obwohl sich das Nessler'sche Reagens nach Ablauf von etwa 5 Cylindern (= $2^1/_2$ Lit. Luft) ganz schwach gelb färbte, so war bei den CO_2-Bestimmungen keine Einwirkung des in der Luft enthaltenen Ammoniaks zu beobachten, indem sich die Resultate nicht erheblich anders gestalteten als unter normalen Verhältnissen.

Nachdem ich mich durch obige Versuche von der Zuverlässigkeit des Apparates überzeugt hatte, machte ich eine grössere Reihe praktischer Untersuchungen in zu verschiedenen Zwecken benützten Localitäten Erlangens. Im folgenden sind die Ergebnisse dieser Luftprüfungen zusammengestellt.

III.

Beispiele über Verwendung des Apparates zur hygienischen Luftuntersuchung.

1. Versuche im Hörsaal des physiologischen Instituts.

29. I. 91. Ventilation geschlossen. Der Hörsaal füllt sich.

Zeit	Luftverbrauch in ccm	CO_2 in ‰
6^0	800	0,416
50 Personen anwesend		
6^{15}	500	0,66
7^0	300	1,1
7^{30}	180	1,833

30. I. 91. Ebendaselbst. Hörsaal leer. Keine besonderen CO_2-Quellen. Ventilation geschlossen.

Zeit	Luftverbrauch in ccm	CO_2 in ‰
3^{45}	1000	0,33
4^{15}	30 Personen anwesend. Gasflammen brennen. Ventilation offen.	
4^{45}	700	0,471
5^{30}	640	0,515
6^{0}	600	0,55
	Hörsaal leer. Ventilation offen.	
6^{15}	660	0,5
6^{30}	720	0,458
23. I. 91.	Hörsaal leer. Ventilation offen.	
3^{45}	1060	0,306
	40 Personen anwesend. Beleuchtung.	
4^{30}	760	0,435
5^{0}	600	0,55
5^{30}	460	0,717
6^{0}	340	0,970
	Hörsaal leer. Ventilation offen.	
6^{30}	500	0,66

Die Ventilationseinrichtung, Heizung und der Rauminhalt des Hörsaals ist in Rosenthal's Handbuch der Hygiene ausführlich angegeben. Aus den hier angeführten Versuchen kann man deutlich den Einfluss der Ventilation ersehen. Bei dem Versuch am 29. I. 91. betrug der CO_2-Gehalt um 6 Uhr 0,416‰, also befanden sich in den 400 Cubikmetern der Hörsaalluft vor der Vorlesung 166,4 Liter CO_2. Nach der Berechnung hätten nach $^5/_4$ Stunden, wenn man die stünd. CO_2-Production der Beleuchtung = 100 Liter, diejenige der 50 Personen = 1000 Liter annimmt, im ganzen 1561,4 Liter CO_2 in den 400000 Litern, also 3,903‰ vorhanden sein müssen. Es ergab sich jedoch ein CO_2-Gehalt von 1,833‰.

Hier war die Ventilation nicht geöffnet, man kann also aus diesen Daten die natürliche Ventilation des Hörsaals bestimmen. In den beiden andern Fällen hätte sich bei Ausschluss jeder Ventilation ein CO_2-Gehalt von 3,392 ‰ und 4,244 ‰ nach Rechnung finden müssen. Der wirkliche CO_2-Gehalt betrug jedoch 0,55 ‰ und 0,97 ‰. In den letzten beiden Fällen blieb die Ventilation offen.

2. Lesesaal des neuen Universitätsgebäudes.

19 Gasflammen, 26 Personen. Sämmtliche Fenster geschlossen, Ventilation offen. 16. II. 91.

Zeit	Luftverbrauch in ccm	CO_2 in ‰
7^{15} abends	320	1,031
	(in der Mitte des Saals)	
7^{30}	320	1,031
8^{0}	300	1,1

3. Versuche in einem Kneiplocal.

194,40 Cubikmeter Rauminhalt, 3 Fenster, 2 Thüren. Fenster geschlossen, 2 Gasflammen, 2 Personen. 29. I. 91.

8^{0} abends.	520	0,635
40 Personen, 6 Gasflammen.		
8^{45}	460	0,717
9^{30}	300	1,1
10^{0}	260	1,27
Ein Fenster kurze Zeit offen.		
10^{30}	240	1,375
11^{0}	220	1,5
Türe und 1 Fenster einige Minuten offen.		
11^{30}	260	1,27
25 Personen, 6 Flammen.		
12^{0}	260	1,27

Dasselbe Kneipzimmer.

Zeit	Luftverbrauch in ccm	CO_2 in $^0/_{00}$
5. II. 91. Leer. Fenster geschlossen.		
3^0 nachmittags	700	0,471
1 Fenster eine halbe Stunde offen.		
3^{45}	740	0,446
Sämmtliche Fenster offen.		
4^{30}	860	0,383
Fenster geschlossen.		
5^0	880	0,375
5 Personen $^1/_4$ Stunde anwesend. 2 Gasflammen.		
7^{30}	680	0,485
35 Personen anwesend. 4 Gasflammen.		
8^{15}	500	0,66
8^{30}	380	0,87
9^0	200	1,65
Thüren und Fenster werden bis 11 Uhr nicht geöffnet.		
9^{30}	180	1,833
10^0	120	2,75
10^{30}	140	2,357
11^0	80	4,125
Der Versuch um 10^{30} wurde in der Nähe eines Fensters gemacht.		
40 Personen anwesend. 1 Fenster offen. Die Thüren werden oft auf- und zugemacht. 4 Gasflammen.		
11^{30}	180	1,833
12^0	200	1,65

Setzt man die CO_2-Production der 2 Gasflammen in einer Viertelstunde = 70, diejenige der 5 Personen = 30 Liter, so hätte sich um 7^{30} ein CO_2-Gehalt von

0,884‰, ferner hätte sich um 11° ein solcher von 21,41‰ ergeben müssen bei Ausschluss der natürlichen Ventilation, wenn man im letzteren Falle die CO_2-Production einer Person = 22, diejenige eines Gasbrenners = 140 Liter per Stunde veranschlagt.

Dasselbe Zimmer.

Zeit	Luftverbrauch in ccm	CO_2 in ‰
Fenster geschlossen, 4 Personen anwesend.		
3^{30}	520	0,635
Zimmer leer, Fenster geschlossen.		
7^{30}	720	0,458
48 Personen, 5 Gasflammen.		
8^{30}	360	0,916
9^{0}	160	2,062
9^{30}	100	3,3
Ein oberes Fenster offen.		
10^{0}	160	2,062
10^{30}	200	1,65
11^{0}	180	1,833
11^{30}	180	1,833
20 Personen, 5 Gasflammen.		
12^{0}	200	1,65.

4. Versuche in Krankensälen.

A. Versuche in der chirurgischen Klinik.

Kindersaal (Saal II), mit 22 Betten belegt, je 5 Fenster an der West- und Ostseite. Ventilation an der Nordseite, ebenso Thüre. 6. III. 91.

17 Kinder anwesend.	2 Gasflammen.	
8^{30} abends	280	1,178

An verschiedenen Stellen des Saales dasselbe Resultat.

Fenster und Ventilation geschlossen. Temperatur $18^1/_2{}^0$ R.

7. III. 91.

7^{30} morgens. $15^1/_2{}^0$ R.

340 0,970

Saal I.

Je 5 Fenster an West- und Ostseite. Belegt mit 11 Betten. 10 Männer anwesend. 1 Fenster längere Zeit offen. $18^1/_2{}^0$ R.

9^0 abends. 500 0,66

7. III. 91.

7^{45} morgens. 17^0 R.

480 0,687

Saal IV. 2 × 8 Fenster (West- und Ostseite). 18 Frauen anwesend. 19^0 R. Unangenehme Temperatur. Fenster und Ventilation geschlossen.

9^{15} abends. 19^0 R. 420 0,785

8^0 früh. 15^0 R. 560 0,589

Saal III. 16 Fenster. 17 Betten. 16 Männer anwesend. $18^1/_2{}^0$ R.

9^{30} abends. 480 0,687

Parallelbestimmung mit $^1/_{250}$ Normallösung ergiebt:

2000 0,66

8^{15} früh. 16^0 R. 520 0,635

Die Untersuchung der Säle in der Frühe fand vor der Lüftung derselben statt.

Saal X. 4 Fenster (Ostseite). 1 Fenster seit 2 Stunden offen, ebenso Ventilation. 8 Betten. 6 Männer anwesend.

8^0 früh. 400 0,833

Saal V. 8 Fenster. 2 Fenster offen, Ventilation offen. 8 Betten. 7 Männer anwesend.

8^0 früh 700 0,471

Gänge der chirurg. Klinik. An verschiedenen Stellen im Durchschnitt

	900—1000	0,367— 0,33 ‰ CO_2

CO_2-Gehalt der freien Luft. Dach des Germanenhauses

	1000	0,33.

B. Medicinische Klinik.

12. III. 91.

Saal I. 10 Frauen anwesend. 3 Fenster auf der Ostseite. 1 Fenster war kurze Zeit offen. Nachm. 3^{15}, Zimmertemperatur 15° R. Aussentemperatur 10°. Ventilation offen. (Verwechslung der $^1/_{1000}$ Normallösung. Durch 1000 ccm keine Entfärbung. Herstellung frischer Lösung

4^{30}	520	0,635

Dasselbe Resultat an verschiedenen Stellen des Zimmers.

Saal V. 8 Frauen anwesend.

3 Fenster. Dieselben werden stündlich kurze Zeit geöffnet.

5^0	800	0,416
	(Nähe des Fensters).	
	660	0,5
	(Mitten im Zimmer.)	

C. Wochensaal der Frauenklinik.

6 Wöchnerinnen, 6 Säuglinge anwesend. Fenster und Ventilation geschlossen.

4^0 nachm.	640	0,515
6^{30} morgens	520	0,635
	(an einer anderen Stelle des Saals)	
6^{35} morgens	600	0,55.

Nach der Lüftung:

8^{8}	760	0,435
8^{10}	760	0,435

5. Kaserne.

17. III. 91. 3 belegte Zimmer abends und in der Frühe untersucht. Je ein Zimmer in jedem Stock.

I. Stock (Parterre).

Zimmer 31, belegt mit 15 Mann; leer, ein Fenster offen.

6^{30}	380	0,87
6^{40}	400	0,832

5^{40} früh. Thüre oft geöffnet, 1 Fenster kurze Zeit offen:

	280	1,178
	220	1,5

II. Stock.

Zimmer 60. Belegt mit 13 Mann.

6^{40} abends	500	0,66
	540	0,611
5^{0} früh	300	1,1
	360	0,916

III. Stock.

Zimmer 93. 4 Fenster, geschlossen. Belegt mit 16 Mann, 9 Mann anwesend.

7^{0} abends	330	1,0
	300	1,1

5^{15} morgens. 1 Fenster kurze Zeit offen.

	240	1,375
	260	1,27

II. Stock.

Zimmer 72. 2 Fenster die ganze Nacht geöffnet. Mit 13 Mann belegt. Thüre wiederholt geöffnet.

6^{3} früh	380	0,87
	370	0,892

Gang neben dem Abort (Nro. 73).

6^{15} früh	940	0,351

Wachzimmer.

Eine Viertelstunde lang war gelüftet; 6 Personen anwesend.

6^{47} früh	340	0,970
	360	0,916

Kleines Zimmer im Landwehrbezirkscommando, mit 5 Mann belegt. Ein Fenster war die Nacht durch offen.

7^{51} früh	500	0,66
	520	0,635.

6. Schulzimmer. 7. III. 91.

Altes Schulhaus am Holzmarkt. Zimmer Nro. II, 4 Fenster; Ventilation in den Gang und ins Freie, geschlossen. 15° R. 54 Kinder, 7—8 Jahre alt. Der Unterricht hat um 8 Uhr begonnen und dauert ohne Unterbrechung bis 9^{45}, wo die Kinder auf eine Viertelstunde ins Freie gehen dürfen. Während die Kinder mit Schreiben, Rechnen beschäftigt sind, werden in ihrem Rücken in der Nähe der Thüre die CO_2-Bestimmungen vorgenommen und ergeben folgende Resultate:

8^{5}	380	0,87
8^{15}	280	1,178
8^{20}	260	1,27
8^{30}	240	1,375
8^{40}	180	1,833

Die Luft ist unangenehm schwül. Ventilation und 2 Fenster werden geöffnet. Die Thüre wird 2 mal aufgemacht.

8^{55}	220	1,5
9^{0}	220	1,5
9^{10}	340	0,970
9^{20}	360	0,916
9^{30}	360	0,916
9^{45}	380	0,87

Die Kinder verlassen das Zimmer. An dem Versuchstage war die Aussentemperatur ziemlich warm; bei sehr kalter Witterung ist das Öffnen der Fenster während der Schulzeit wegen des Zuges unmöglich.

Dasselbe Zimmer.

Nachmittags 1^0 Uhr. 54 Kinder.

1^0	600	0,55
2^{15}	130	2,52

Die Fenster blieben von 1^0 bis 2^{15} geschlossen.

Schulzimmer No. 1. 5 Fenster geschlossen. 68 Schüler, 8 bis 9 Jahre alt.

1^{20}	320	1,031
3^0	140	2,357

Der Unterricht dauerte ohne Unterbrechung von 1 bis 3 Uhr. Ein Klappfensterchen stand während dieser Zeit offen.

Schulzimmer No. 3. 6 Fenster. 89 Kinder, von denen 85 anwesend, $12^1/_2$ bis 13 Jahre alt.

1^{30}	150	2,2
2^0	120	2,75

Von 2 bis 3 Uhr 2 Fenster offen.

3^0	240	1,375

Bei Vergleichung dieser Versuche mit den früheren fallen neben dem raschen Anwachsen des CO_2-Gehalts bei Ausschluss der künstlichen Ventilation die relativ hohen CO_2-Werte in die Augen. Der Grund hiervon liegt in der mangelhaften Ventilationseinrichtung, in einigen Zimmern ist überhaupt keine solche vorhanden, sowie in der Überfüllung der Schulzimmer, die in unserm Fall vom hygienischen Standpunkte als unzulässig bezeichnet werden muss.

7. Versuche in einem Gährkeller der Reiff'schen Brauerei.

Nach Angabe des Besitzers war an dem betr. Versuchstage kein enorm hoher CO_2-Gehalt im Gährkeller zu erwarten, da bei der grade herrschenden sehr niedrigen Temperatur alle „Züge" des Gährkellers offen gehalten wurden.

Ich machte mit 4 verschiedenen Lösungen, welche kurz vorher frisch bereitet waren, 4 Versuche und fand für die

$^1/_{100}$	Normallösung	960	ccm	Luftverbr.	bis	zur	Entfärbung,
$^1/_{250}$	„	380	„	„	„	„	„
$^1/_{500}$	„	180	„	„	„	„	„
$^1/_{1000}$	„	100	„	„	„	„	„

$= 3{,}3\,^0/_{00}$ CO_2.

An wärmeren Tagen bleiben die Züge geschlossen, so dass der CO_2-Gehalt sehr hoch steigt. Versuche an wärmeren Tagen beabsichtige ich im Laufe des Sommers noch nachzuholen.

Die im vorstehenden angeführten Luftprüfungen, sowohl Einzelversuche wie Versuchsreihen, zeigen, dass das befolgte minimetrische Verfahren überall schnell und mühelos den CO_2-Gehalt zu bestimmen ermöglicht. Wie Marquardsen durch Vergleichsbestimmungen nach Pettenkofer dargethan hat, sind die Angaben unseres Apparates so zuverlässig, als man überhaupt erwarten kann; die oben erwähnten Parallelversuche mit Natriumcarbonatlösungen von verschiedenen Concentrationen lassen dies gleichfalls erkennen. Nach alledem erscheint der Apparat als ein sehr brauchbares Hilfsmittel für die hygienische Praxis. Seine Handhabung dürfte auch dem Ungeübten leicht fallen, wohl aber liegt in der

besondere Sorgfalt erheischenden Herstellung der verdünnten Natriumcarbonatlösungen eine gewisse Schwierigkeit, welche man erst nach einiger Übung leicht und sicher überwindet.

Zum Schlusse gestatte ich mir, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. J. Rosenthal für die freundliche Überweisung vorliegender Arbeit, sowie Herrn Dr. O. Schulz, Assistent am hiesigen physiologischen Institut, für seine so überaus liebenswürdige Unterstützung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

R. BIBLIOTECA MEDICA DI ROMA
12574