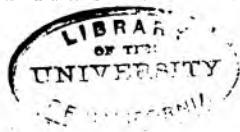


Sitzungsberichte
der
mathematisch-physikalischen Classe
der
k. b. Akademie der Wissenschaften
zu **München.**

Band XXI. Jahrgang 1891.



München.
Verlag der K. Akademie.
1892.

In Commission bei G. Franz.

Zur Hygiene der Wohnung.

Von G. Recknagel.

(Eingelaufen 3. Januar.)

I.

1. Es wäre von praktischer Bedeutung, durch Ermittlung des Luftwechsels in zahlreichen nach Lage und Bauart verschiedenen Räumen Typen zu gewinnen, um in Anlehnung an solche Typen für jedes weitere nach Lage und Bauart beschriebene Zimmer mit einiger Annäherung das Mass des natürlichen — von Temperaturdifferenzen und Wind zu erwartenden — Luftwechsels angeben zu können. Im Besitze eines solchen Schlüssels würde man nämlich den Bewohnern, welche sich auf den natürlichen Luftwechsel verlassen, zahlenmässig sagen können, unter welchen äusseren Umständen und wie lange sie in schlechter Luft z. B. schlafen, und es ist kaum zu zweifeln, dass eine solche Erkenntniss Entschlüsse und Handlungen anregen wird, durch welche der Bevölkerung unserer Städte, die einen so grossen Theil ihres Lebens in geschlossenen Räumen zubringt, die Wohlthat einer gesunden Athemluft zugewendet werden könnte.

Für das Studium des natürlichen Luftwechsels hat die einmalige Messung der Grösse des Gesamtluftwechsels eine hervorragende Bedeutung, weil die Kenntniss desselben in Verbindung mit einer planmässigen Beschreibung derjenigen Umstände, welche für den Luftwechsel massgebend sind, zur Grundlage dienen kann für die von

mir bereits früher begründeten theoretischen Rechnungen,¹⁾ durch welche der Luftwechsel annähernd auch für diejenigen Fälle ermittelt wird, in denen jene Umstände nicht mehr die gleichen sind. Es wird auf Grundlage einer solchen Messung und Beschreibung möglich sein, für jede Jahres- und Tageszeit anzugeben, welche Leistung ungefähr man von der Porenventilation und welche man von einer bestimmten ebenfalls nur auf Temperaturunterschiede und Winddruck begründeten Lüftungsanlage zu erwarten hat.

2. Am einfachsten wird die Messung des Gesamtluftwechsels mittelst der von Pettenkofer begründeten Methode der Kohlensäurebestimmungen ausgeführt. Die Anwendung dieser Methode hat bereits zu schönen Erfolgen geführt. Seit mittelst derselben nach dem Vorgange Pettenkofer's Breiting, Rietschel u. A. zahlreiche und systematische Untersuchungen über die Steigerung des Kohlensäuregehaltes der Schulluft ausgeführt haben, wird kaum noch ein neues Schulhaus gebaut, ohne dass eine besondere Lüftungseinrichtung vorgesehen würde. Demnach ist zu hoffen, dass auch der Privatwohnung Heil widerfahren wird, wenn man sich in den massgebenden Kreisen der Aerzte, Miether, Bauherren und Architekten gründlich und zahlenmässig überzeugt hat, wieweit das, was wir zur Zeit in unseren Wohn- und Schlafzimmern an Luftwechsel besitzen, den grössten Theil des Jahres hindurch hinter den unerlässlichen Forderungen der Hygiene zurückbleibt. —

Die bis jetzt allerdings noch wenig zahlreichen Versuche, welche ich in Gemeinschaft mit Herrn Lycealprofessor Dr. Putz ausgeführt habe, gaben Veranlassung, die Methode einer etwas eingehenderen Prüfung zu unterziehen. Dabei schien uns der chemische Theil des Verfahrens — Barytwasser mit Oxalsäure titirt, Phenolphthalein oder Rosolsäure als Indicator — hinreichend einfach und genau; die Rechnung

1) Sitzungsberichte vom 6. Juli 1878 u. 6. Dezember 1879.

hingegen, welche die von der Chemie gelieferten Daten verwerthen soll, insbesondere dann, wenn der Beobachter im Lokale anwesend geblieben war, zu umständlich, als dass man ihr eine grosse Popularität in Aussicht stellen könnte.

Dieser Uebelstand wurde schon vor 12 Jahren empfunden von Dr. Ar. Jakoby, der in einer 1878 in der Zeitschrift für Biologie (Bd. XIV. Heft I) veröffentlichten Abhandlung die Hoffnung aussprach, durch die daselbst versuchte Behandlung des Gegenstandes „diesem Theile der praktischen Hygiene einen vielleicht etwas weiteren Leserkreis zu gewinnen“. Der Verfasser macht daselbst den bemerkenswerthen Vorschlag, die Schwierigkeit, welche der Rechnung für den Fall anhaftet, dass der Beobachter im Versuchsraume anwesend war, dadurch zu umgehen, dass man genau in der Mitte der Beobachtungszeit eine dritte Kohlensäurebestimmung einschaltet und durch Combinirung der drei Bestimmungen die transcendente Grösse aus der Formel eliminirt. Dasselbe Ziel kann nach Jacoby auch dadurch erreicht werden, dass man den Mittelwerth des Kohlensäuregehaltes durch chemische Integration gewinnt.

Durch dieses Verfahren wird die bestehende Schwierigkeit auf das Experiment abgewälzt, indem man das Beobachtungsmaterial, aus welchem zwei sich kontrolirende Resultate abgeleitet werden könnten, zu einem Resultate zusammenzieht. Dasselbe dürfte demnach nicht als eine völlig befriedigende, endgiltige Lösung angesehen werden.

Im Gegensatze hiezu ist im Folgenden die Rechnung zum Gegenstande der Untersuchung gemacht, in der Absicht, dieses Geschäft möglichst zu erleichtern und abzukürzen, ohne dabei der Genauigkeit etwas zu vergeben. —

II.

Für den Fall, dass während der Zwischenzeit zwischen den beiden Kohlensäurebestimmungen in dem Versuchsraume selbst Kohlensäure nur auf Kosten des in der Luft des Raumes enthaltenen Sauerstoffs producirt wird — wie z. B. bei der Athmung von Menschen, welche sich im Sauerstoffgleichgewicht befinden — gibt, wie schon Jacoby l. c. nachgewiesen hat, die Formel von Hagenbach¹⁾ den Zusammenhang zwischen dem Kohlensäuregehalt c (pro mille) der zugeführten freien Luft,

dem anfänglichen Gehalte c_1 ,

dem schliesslichen Gehalte c_2 der Zimmerluft,

der stündlich im Zimmer selbst producirt Kohlen-
säuremenge l (Liter),

dem kubischen Inhalte des Zimmers K (Kubikmeter)

der stündlich zugeführten Luftmenge V (Kubikmeter)

und der Zeitdauer des Versuchs t (Stunden).

Die entsprechende Gleichung ist:

$$\frac{c_1 - c - \frac{l}{V}}{c_2 - c - \frac{l}{V}} = e^{\frac{V}{K}t} \dots (1)$$

wobei e die Basis der natürlichen Logarithmen (2,718...) bedeutet. Die Voraussetzungen, welche dieser Gleichung zu Grunde liegen, sind:

1. Luftwechsel, Kohlensäureproduction, Temperatur des Zimmers und Luftdruck sind konstant.
2. Jeder kleinste Theil der zugeführten Luftmenge so-

1) Mitgetheilt von Dr. Carl Breiting in seinem Berichte an das Sanitätscollegium von Basel-Stadt über: Untersuchungen, betr. den Kohlensäuregehalt der Luft im Schulzimmern, 1870. S. 48 ff.

Die zweite Formel von Seidel setzt voraus, dass im Versuchsraume Kohlensäure producirt wird, für welche das Aequivalent an Sauerstoff nicht aus der Luft genommen wird. Die erste Formel Seidel's setzt eine Kohlensäureproduction im Versuchsraume überhaupt nicht voraus.

wohl als der producirten Kohlensäure ist sofort nach seiner Einführung mit dem jeweiligen Luftinhalte des Zimmers gleichmässig vermischt.

3. Für die während der Zeitdauer des Versuchs im Raume producirt Kohlensäure verschwindet die dazu nöthige Menge von Sauerstoff aus der Luft.
4. Werden gleichzeitig mit der Kohlensäure noch andere Gase im Raume producirt z. B. Wasserdampf, so verschwindet dafür ebenfalls eine an Volumen gleiche Luftmenge durch Absorption.

Keine dieser Annahmen wird streng erfüllt sein; eine Diskussion derselben soll indessen einer späteren Gelegenheit vorbehalten werden.

Wird während des Versuchs Kohlensäure im Raume selbst nicht entwickelt, so ist in der obigen Gleichung l gleich Null zu setzen. Es liegt also dann nur ein besonderer Fall der allgemeinen durch die Gleichung (1) gegebenen Beziehung vor, der einer besonderen Behandlung nicht bedarf.

Es wird nun die Gleichung (1) so umgeformt, dass die Berechnung von V , für welche bekanntlich die Mathematik keine exakte Vorschrift gibt, sondern uns auf den beschwerlichen Weg des Probirens verweist, mit Hilfe einer Tabelle ausgeführt werden kann.

Indem man 1 auf beiden Seiten subtrahirt und dann auf die reciproken Werthe übergeht, erhält man

$$\frac{c_2 - c - \frac{l}{V}}{c_1 - c_2} = \frac{1}{e^{\frac{V}{Kt}} - 1}$$

Nun soll eine neue Grösse

$$\zeta = \frac{l}{K}$$

eingeführt werden, das Verhältniss der stündlich im Raume producirt Kohlensäure (l Liter) zu der Grösse des Raumes

(K Kubikmeter). Dieses ζ ist vermöge der verschiedenen Raummaasse, welche für l und K angewendet werden, mit den c gleichartig und derjenige Kohlensäuregehalt (ζ pro mille), um welchen bei Mangel jeder Ventilation der Kohlensäuregehalt des Zimmers in einer Stunde zunehmen würde.¹⁾

Dann erhält die Gleichung die Form:

$$\frac{c_2 - c - \left(\zeta : \frac{V}{K}\right)}{c_1 - c_2} = \frac{1}{\frac{V}{cKt-1}},$$

und es kommt die Grösse V , um deren Ermittlung es sich handelt, nur noch in der Verbindung $\frac{V}{K}$ vor. Man kann demnach die Schreibweise vereinfachen, indem man dieses Verhältniss — den relativen Luftwechsel²⁾ — durch ein Zeichen E ausdrückt.

Zugleich soll die rechts stehende Funktion der beiden Grössen E und t künftig mit f bezeichnet werden, so dass nun die Gleichung die folgende Form erhält:

$$\frac{c_2 - c - \zeta : E}{c_1 - c_2} = f \quad \dots \dots \dots (2)$$

wobei $\zeta = \frac{l}{K}$ das Verhältniss der stündlich im Raume ent-

1) Dieselbe Grösse (ζ) ist der reciproke Werth des „Luftkubus“ $\left(\frac{K}{l}\right)$ für 1 Liter stündliche Kohlensäureproduction.

2) Dem relativen Luftwechsel $\frac{V}{K}$ hat der Sprachgebrauch bereits den Namen „Stündliche Lufterneuerung“ beigelegt, da man, wenn $\frac{V}{K}$ die Werte 1, 2, 3 . . . hat, zu sagen pflegt, es finde in dem Raume K stündlich einmalige, zweimalige, dreimalige . . . Lufterneuerung statt. Obwohl diese Benennung nicht streng richtig ist und der falschen Vorstellung, als ob nach vollzogener „Lufterneuerung“ von der früheren Luft nichts mehr anwesend sei, vorschub leisten könnte, soll sie in ihrer Eigenschaft als alter Bekannter beibehalten werden.

wickelten Kohlensäure (l Liter) zum Luftinhalte des Raumes (K Kubikmeter), E das Verhältniss der stündlich zugeführten Luftmenge (V) zum Luftinhalte (K) des Raumes oder den Grad der stündlichen Lufterneuerung vorstellt und

$$f = \frac{1}{e^{Et} - 1} \text{ ist.}$$

Durch diese Umformung wird es möglich, mit einer Tafel auszukommen, in welche die Lufterneuerung E , die Zeit t und die Funktion f jener beiden Grössen mittelst doppelten Einganges zusammengefasst werden.

Die Tafel selbst wurde in zwei Abtheilungen angefertigt, von welchen sich die erste, mehr detaillirt, auf kleine, die zweite auf grössere Luftwechsel bezieht. Die erste Abtheilung gibt für die Zeiten 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 120 Minuten und die Lufterneuerungen 0,10 bis 1,00 (von 2 zu 2 Hunderteln) die Werthe der Funktion f . Die zweite Abtheilung unterscheidet sich von der ersten dadurch, dass die Lufterneuerung von 1,0 bis 3,0 von Zehntel zu Zehntel fortschreitet.

(Die Tafeln finden sich am Ende der Abhandlung auf einem besonderen Blatte.)

III.

Es soll nun die Auflösung der Gleichung

$$\frac{c_2 - c - \zeta : E}{c_1 - c_2} = f \quad \dots \dots \dots (2)$$

nach E an einigen Beispielen gezeigt werden.

Erstes Beispiel. Der Kohlensäuregehalt eines Lehrsaales hatte, nachdem die Schüler und die Beobachter denselben verlassen, in 30 Minuten von 3,55 auf 2,93 pro mille abgenommen. Es soll aus diesen Angaben der Grad der Lufterneuerung berechnet werden.

Da während der Beobachtungszeit Kohlensäure im Saale nicht producirt wurde, ist in Gleichung (2

$$\zeta = 0$$

zu setzen. Für c (den Kohlensäuregehalt der zuströmenden Luft) wird der Werth 0,4 angenommen. Somit wird

$$f = \frac{2,93 - 0,4}{3,55 - 2,93} = 4,08.$$

In Tabelle I findet man unter dem Kopfe 30 Minuten den Werth 4,08 angegeben und erhält als entsprechende Lufterneuerung $E = 0,44$. Der stündliche Luftwechsel beträgt somit 0,44 des Rauminhaltes, und da dieser 340 Kubikmeter ist, berechnet sich die stündlich zuströmende der abströmenden gleiche Luftmenge zu $0,44 \cdot 340$ oder 150 Kubikmeter.¹⁾

1) Als Beispiel einer Beschreibung der massgebenden Umstände diene folgendes:

Der Lehrsaal liegt im zweiten Obergeschosse eines frei stehenden Gebäudes und hat zwei freie mit je zwei Fenstern versehene Seitenwände, deren eine von 7,41 m Länge nach Süden, die andere 9,84 m lang, nach Westen gewendet ist. Auf der Nordseite, welche die Thüre enthält, befindet sich ein Vorzimmer, welches durch ein offenes Fenster mit der freien Luft und durch eine offene Thüre mit dem Corridor verkehrt. Auf der Ostseite ist der Saal durch eine glatte Mauer von einem geschlossenen Privatzimmer getrennt.

Die ganze Höhe beträgt 5,64 m, steigt bis zu 3,60 m glatt an und geht sodann in ein vergipstes Spiegelgewölbe über. Oberhalb ist ein luftiger Speicher, unterhalb ein ebenfalls gewölbter Lehrsaal, der vor dem Versuch durch halbstündiges offenstehen lassen aller Fenster und Thüren gelüftet worden war. Der kubische Inhalt wurde zu 340 cbm berechnet. Die innere Temperatur war anfangs 19,4, am Ende 18,4, also im Mittel 18,9° Cels., die der äussern Luft — 4° Cels. Der unterhalb liegende Saal zeigte im Mittel 8° C. Barometerstand 742 mm. Windstille.

Besondere Bemerkungen. Die Fenster schliessen mittelmässig, die Thüre sehr schlecht, die Diehlen zeigen grosse bis zu 1 cm breite Zwischenräume. Im Ofen brennt das Feuer bei offenem Aschenkasten.

Zweites Beispiel. In einem durch Luftzufuhr aus dem Freien ventilirten kleinen Zimmer von 60 Kubikmeter Inhalt sank bei Anwesenheit des Beobachters der Kohlensäuregehalt in 20 Minuten von $c_1 = 2,31$ auf $c_2 = 1,53$. Wie gross war der stündliche Luftwechsel?

In die vollständige Gleichung (2)

$$\frac{c_2 - c - \zeta : E}{c_1 - c_2} = f$$

ist zunächst der Werth von $\zeta : \frac{l}{K}$ einzuführen. Da eine Person im Zimmer athmete, darf für die stündliche Kohlensäureproduktion (l) der Mittelwerth 20 (Liter) gesetzt werden.

Somit ist $\zeta = \frac{20}{60} = \frac{1}{3}$ und die Gleichung

$$\frac{1,53 - 0,4 - \frac{1}{3E}}{2,31 - 1,53} = f$$

durch Probiren nach E aufzulösen, d. h. man hat E so lange zu ändern, bis man denjenigen Werth von E gefunden hat, welcher bewirkt, dass beide Seiten der Gleichung den gleichen Zahlenwerth erhalten.

Nimmt man zunächst für E einen beliebigen in der ersten Kolonne der Tafel enthaltenen Werth an, z. B. $E = 1$, so gibt die Tafel in der mit 1,0 beginnenden Zeile unter dem Kopfe 20' den zugehörigen Werth von f ($= 2,53$). Derselbe Werth (1) von E ist in den auf der linken Seite der Gleichung stehenden Bruch einzusetzen. (Letzterer soll künftig der Kürze wegen mit β bezeichnet werden.) Es wird

$$\beta = \frac{1,13 - \frac{1}{3 \cdot 1}}{0,78} = 1,03.$$

Hätte man zufällig das richtige E errathen, dann wären

Nach anemometrischer Messung strömten in den Ofen stündlich 56 cbm Luft ab.

f und β gleich gross ausgefallen. Da dieses nicht der Fall ist, muss das Probiren fortgesetzt werden, und es ist der Uebersichtlichkeit wegen nützlich, die drei zusammengehörigen Werthe von E , f und β in ein Täfelchen zusammenzustellen.

$t = 20$ Minuten.

Nr.	E	f	β
1	1,0	2,53	1,03
2	2,0	1,05	1,28
3	1,8	1,22	1,21

Durch Zunahme von E wächst auch der Werth des Bruches β ; hingegen nimmt f ab (wie aus der Tafel ersichtlich). Somit nähern sich in unserem Falle (wo $\beta < f$) die beiden Grössen β und f , wenn man E zunehmen lässt.

Anstatt aber nun in Abtheilung 2 der Tafel wieder einen beliebigen Werth von E zu wählen, scheint es förderlicher, zu erwägen, dass bei wachsendem E das β langsam zunimmt, während f rasch abnimmt. Das weist uns an, nicht E sondern f als willkürlich Veränderliche zu nehmen und seinen Werth ganz nahe an β also etwa auf denjenigen Tafelwerth zu rücken, welcher zunächst oberhalb des derzeitigen Bruchwerthes (1,03) liegt.

Damit kommt man auf $f = 1,05$.

Diesem entspricht $E = 2,0$ und

$$\beta = \frac{1,00}{0,78} = 1,28.$$

Indem man nun nochmals mit f dem β so nahe rückt als es ohne Ueberspringen seines Wertes geschehen kann, erhält man als dritte Partie zusammengehöriger Werthe

$$f = 1,22, E = 1,8, \beta = 1,21.$$

Der Unterschied zwischen f und β ist nun so klein, dass man sich bei $E = 1,8$ beruhigen kann.

Drittes Beispiel. Bei Anwesenheit von zwei Personen in einem Raume von 100 cbm Luftinhalt sank in 30 Minuten der Kohlensäuregehalt von 1,75 auf 1,13 pro mille. Wie gross war der stündliche Luftwechsel?

Es ist beobachtet $c_1 = 1,75$; $c_2 = 1,13$ und angenommen $c = 0,4$; $\zeta = \frac{2 \cdot 20}{100} = 0,4$. Somit ist E aus der Gleichung

$$f = \frac{0,73 - 0,4 : E}{0,62}$$

zu berechnen.

$$t = 30 \text{ Minuten.}$$

Nr.	E	f	β
1	1	1,54	0,53
2	2	0,582	0,855
3	1,6	0,816	0,774
4	1,64	0,785	0,784

Man erhält für die erste willkürliche Annahme $E = 1$ die unter No. 1 eingetragenen Werthe von f und β , und geht nun wie im zweiten Beispiele mit f in Abt. 2 bis zu dem zunächst über ($\beta = 0,53$) liegenden Tafelwerthe 0,582. Dadurch wird $E = 2$ und $\beta = 0,855$. Durch Fortsetzung desselben Verfahrens wird $f = 0,816$; $E = 1,6$; $\beta = 0,774$ erhalten.

Nun ist der Unterschied zwischen f und β kleiner geworden, als die Differenz zweier auf einander folgender Tafelwerthe von f (nämlich 0,816 und 0,746); und daraus folgt zunächst, dass E zwischen 1,6 und 1,7 liegt. Mit diesem

Resultate wird man in den meisten Fällen abschliessen dürfen. Will man aber eine weitere Annäherung erzielen, so kann dieselbe durch Interpolation erfolgen:

Man theilt die noch zwischen f und β bestehende Differenz (0,042) im Verhältniss der Geschwindigkeiten, mit welchen sich f und β ändern. Diese Geschwindigkeiten entnimmt man aus den Aenderungen, welche f und β bei dem Uebergange vom zweiten zum dritten Näherungswerthe des E erfahren haben. Es stehen sich in unserem Beispiel $(0,816 - 0,582 =) 0,234$ für f und $(0,855 - 0,774 =) 0,081$ für β gegenüber, welche Zahlen sich sehr nahe wie 3 : 1 verhalten, d. h. die Geschwindigkeit, mit welcher bei einer bestimmten Zunahme von E das f abnimmt, ist nahe dreimal so gross als diejenige, mit welcher der Bruch β wächst. Man hat demnach 0,042 in zwei Theile zu theilen, welche sich nahezu wie 3 zu 1 verhalten. Solche Theile sind 0,031 und 0,011. Lässt man f um 0,031 abnehmen und β um 0,011 wachsen, so erhalten beide den Werth 0,785, und es ist noch das zu diesem Werthe von f gehörige E zu suchen.

E liegt zwischen 1,6 und 1,7, und die zugehörigen Tafelwerthe von f unterscheiden sich um 0,081, während unser Werth von f von dem oberen derselben um 0,031 abweicht.

Es ist also die Frage zu beantworten: Wie viel Hunderteln entspricht diese Differenz 0,031, wenn 10 Hundertel der Differenz 0,081 entsprechen? Die Antwort gibt der Werth von x in der Proportion

$$0,081 : 10 = 0,031 : x,$$

aus welcher $x = 4$ folgt.

Der letzte Näherungswerth von E ist somit 1,64. Setzt man denselben zur Probe in den Bruch ein, so erhält man die mit $f = 0,785$ hinreichend übereinstimmende Zahl 0,784.

IV.

Als weitere Beispiele können die für unsere Kenntniss vom natürlichen Luftwechsel fundamentalen Versuche dienen, welche Pettenkofer¹⁾ in den Monaten März, Oktober und Dezember des Jahres 1857 in seinem Arbeitszimmer angestellt,

1) Dr. Max Pettenkofer. Ueber den Luftwechsel in Wohngebäuden, München, Cotta, 1858.

aber unter Vernachlässigung seiner eigenen Kohlensäureproduktion nach der für diesen Fall ($\zeta = 0$) mit der Hagenbach'schen identischen ersten Formel von Seidel und unter der Annahme berechnet hat, dass die zuströmende Luft 0,5% Kohlensäure enthalte.

Mit Hilfe der Tafel ist es nun leicht möglich, jene Ungenauigkeit zu beseitigen. Man findet in der folgenden Zusammenstellung die Werthe der Lufterneuerung des 75 cbm grossen Zimmers unter der Annahme berechnet, dass der Kohlensäuregehalt der zuströmenden Luft $c = 0,4\%$ war und der Beobachter stündlich 22,5 Liter Kohlensäure producirte, also ζ den Werth 0,3 hatte.

Es sind dabei zweimal die Kohlensäurebestimmungen anders combinirt, indem der Gelegenheitsversuch Nr. 5 und der vom Beobachter selbst als wahrscheinlich fehlerhaft beanstandete Versuch Nr. 11 weggelassen wurden. Im Übrigen sind die von Pettenkofer berechneten Zahlen beigesetzt.

Man sieht, dass selbst bei der ausgleichenden Annahme $c = 0,4$ (statt des ursprünglichen 0,5) die neuen Zahlen sämmtlich — zuweilen nicht unerheblich — grösser ausfallen wie die alten und dass zugleich die an den einzelnen Versuchstagen unter nahe gleichen Umständen gewonnene Resultate einander näher liegen, als dieses nach der älteren Berechnung der Fall war.

Wollte man den Einfluss isoliren, welchen die Vernachlässigung der Kohlensäureproduktion des im Raume anwesenden Beobachters auf das Resultat ausübt, so müsste man entweder die Versuche Pettenkofers mit $c = 0,5$, $\zeta = 0,3$ rechnen und die Resultate mit den älteren vergleichen oder, was leichter ist, meine Rechnung unter den Annahmen $c = 0,4$, $\zeta = 0$ wiederholen. Der Einfluss ist um so grösser, je kleiner der Kohlensäuregehalt der Zimmerluft ist, und wächst bei den am stärksten betroffenen Versuchen (7—8 und 18—19) bis zu 40 Procent des Werthes an.

Zusammenstellung

der neu berechneten Pettenkofer'schen Versuche über den Luftwechsel in einem Zimmer von 75 cbm Luftinhalt, ausgeführt in den Monaten März, Oktober und Dezember des Jahres 1857.

Nr. des Originals	Dauer des Versuchs in Minuten	Beobachtet		Angenommen: c	Mittlere Tem- peratur- Differenz Cels.	Untere Tem- peratur Cels.	Luft- erneuerung nach		Datum	Bemerkungen.
		c ₁	c ₂				neuer	älterer		
pro mille										
1—2	30'	6,00	3,07	0,4	21,5 ⁰	6 ⁰	1,56	1,52	7. März	Die Beobachtungen wurden stets Mittags zwischen 11½ und 3 Uhr angestellt. Der Beobachter war im Zimmer anwesend, die Kohlensäureproduktion desselben wird zu 22,5 Liter pr. Stunde angenommen. Das Zimmer liegt hochparterre, wendet eine Seite mit Fenster nach Süden, grenzt mit zwei Wänden (östlich und nördlich) an den Hausflur, mit der 4. Wand an ein Nebenzimmer. Die östliche und westliche Wand haben je eine Thüre.
2—3	30	3,07	2,04	"	18,5	"	1,12	1,02	" "	
4—6	60	14,09	5,12	"	21,2	0	1,10	—	9. März	
6—7	60	5,12	2,15	"	18,5	0	1,10	1,03	" "	1 Fensterflügel offen.
7—8	60	2,15	1,20	"	17,5	0	1,05	0,86	" "	
9—10	40	4,84	3,94	"	5,3	17,2	0,42	0,35	20. Okt.	
10—12	65	3,94	2,98	"	4,5	19,4	0,39	—	" "	Die Ritzen der Fenster und Thüren waren mit Papier verklebt.
12—13	30	2,98	2,66	"	3,4	19,1	0,39	0,28	" "	
13—14	15	2,66	2,38	"	3,2	18,9	0,67	0,56	" "	
15—16	30	4,21	2,91	"	19,0	—1	0,93	0,86	11. Dzb.	Heizung offen.
16—17	30	2,91	2,21	"	19,0	—1	0,79	0,67	" "	
17—18	30	2,21	1,76	"	19,3	—1	0,77	0,61	" "	
18—19	30	1,76	1,17	"	20,5	—1	1,43	1,26	" "	

Die Versuche sind in demselben Zimmer in verschiedenen Jahreszeiten bei verschiedenen Temperaturen angestellt. Die Motoren des Luftwechsels können jedesmal nur zwei gewesen sein: Temperaturdifferenz und Winddruck. Macht man die Hypothese, dass erstere allein wirkte — also die Messungen, wie es nach einer mir durch die Güte des Herrn Autors zugekommenen mündlichen Mittheilung in der That angestrebt wurde, bei Windstille ausgeführt sind — so lassen sich die vier Mittelwerthe (1 — 3), (4 — 8), (9 — 13), (15 — 18) vergleichbar machen, indem man aus jedem derselben den Luftwechsel berechnet, welcher stattgefunden hätte, wenn die äussere Temperatur 0°C. , die innere $+1^{\circ}\text{C.}$ gewesen wäre.

Der durch Temperaturdifferenzen veranlasste Luftwechsel ist, insoferne er nur durch kapillare Wege stattfindet, der Gewichts-differenz zweier Luftsäulen von gleicher Höhe (h) proportional, und zwar, wenn die äussere Temperatur t , die innere T , der Barometerstand B ist, dem Ausdrucke

$$h \cdot 1,293 \frac{B}{760} \left(\frac{1}{1 + \alpha t} - \frac{1}{1 + \alpha T} \right),$$

welcher ersetzt werden kann durch

$$h \cdot 1,293 \frac{B}{760} \frac{T - t}{273 + T + t}.$$

Der Luftwechsel eines Zimmers von constanter Beschaffenheit ist demnach der Temperaturdifferenz nicht streng proportional, sondern auch einigermaßen von den Temperaturen selbst beeinflusst.

Für $t = 0$, $T = 1$ erhält man

$$h \cdot 1,293 \frac{B}{760} \cdot \frac{1}{274}.$$

Es stehen somit die Lüfterneuerungen E und E_0 , welche in demselben Raume einerseits bei den allgemeinen Tempe-

turen (T, t), andererseits bei den besonderen (1° und 0°C.) vor sich gehen, in der Proportion:

$$E : E_0 = \frac{T - t}{273 + T + t} : \frac{1}{274},$$

oder es ist

$$E_0 = \frac{E}{T - t} \cdot \frac{273 + T + t}{274}.$$

Die Vernachlässigung des zweiten Faktors beträgt z. B. bei $T = 24^\circ$, $t = 10^\circ \dots$ 12 Prozent des Werthes von E_0 (der reducirten Lufterneuerung).

Ich habe nun aus den umgerechneten Versuchsergebnissen Pettenkofer's die E_0 berechnet und als Mittelwerthe erhalten:

Für den 7. März $E_0 = 0,075$ bei $t = 6^\circ \text{C.}$

" " 9. " $E_0 = 0,061$ " $t = 0^\circ \text{C.}$

" " 20. Okt. $E_0 = 0,108$ " $t = 19^\circ \text{C.}$

Für den 11. Dez. $E_0 = 0,047$ bei $t = -1^\circ \text{C.}$

Die reducirten Lufterneuerungen (E), welche unter der Voraussetzung, dass die E in einem Raume von constanter Durchlässigkeit der Begrenzung durch Temperaturdifferenzen allein veranlasst seien, gleich gross ausfallen müssten, weichen demnach erheblich von einander ab.

Dass die Beobachtungen vom 11. Dez. einen kleineren Werth von E_0 liefern, ist selbstverständlich, da sie nach absichtlicher Verminderung der Durchlässigkeit durch Verklebung der Thür- und Fenster-Ritzen mit Papier angestellt worden sind. Die übrigen drei Werthe ordnen sich offenbar nach den äusseren Temperaturen, in dem Sinne, dass sie um so grösser ausfallen, je höher jene Temperaturen sind, und der Zusammenhang ist ein so einfacher, dass sich die 3 reducirten Lufterneuerungen durch die Formel

$$E_0 = 0,061 + 0,0025 t$$

exakt darstellen lassen.

Demnach wäre am 11. Dezember $E_0 = 0,0585$ zu erwarten gewesen, und der Einfluss, welchen das Verkleben der Ritzen hatte, ist auf $\frac{115}{470}$ oder ungefähr 25 Procent des beobachteten Luftwechsels anzuschlagen. Damit ist vielleicht der Beitrag, welchen die Ritzen der Fenster und Thüren zum Luftwechsel lieferten, voll bemessen, insbesondere wenn das Papier, mit welchem verklebt wurde, noch feucht war.

Im Uebrigen kann man in der einfachen Beziehung zwischen der reduzierten Lüfterneuerung E_0 und der äusseren Temperatur t , wie sie in einer Gleichung von der Form

$$E_0 = a + b t$$

hervortritt, eine schöne Bestätigung für die an sich sehr wahrscheinliche und auch schon früher von Märker und von C. Lang ausgesprochene Ansicht finden, dass die Begrenzungen unserer Wohnräume bei höherer Temperatur für Luft durchlässiger sind als bei tiefer. Denn wenn eine solche Beziehung existirt, so kann sie jedenfalls durch eine Reihenentwicklung von der Form

$$a + b_1 t + b_2 t^2 + \dots$$

dargestellt werden, von welcher, wie es scheint, die ersten beiden Glieder für das beschränkte Intervall der Temperaturen, welches die Versuche umfassen, genügen.

Es ist nicht nöthig, bei der Beziehung zwischen der Durchlässigkeit der Wohnungsgrenzen und der Temperatur die Gedanken auf die Erweiterungen zu beschränken, welche die Poren der Steine . . . durch Ausdehnung des Materiales erfahren. Es wird vielmehr neben dieser Wirkung der Wärme auch der Einfluss in Betracht zu ziehen sein, welchen sie auf die Feuchtigkeit der Wände . . . ausübt. Die Feuchtigkeit schliesst nicht nur die Poren der Steine, sondern sie verengt auch durch Quellung des Holzes die Fugen und Ritzen, denen ein grosser Antheil an der Durchlässigkeit zu-

zuschreiben ist. Hohe Temperaturen werden demnach die Durchlässigkeit auch dadurch vergrössern, dass sie zur Austreibung der Feuchtigkeit mitwirken oder deren Festsetzung (Condensation) in den Mauern verhindern.

Daraus folgt, dass man die grösste Durchlässigkeit und somit den grössten (reducirten) Luftwechsel nach einer Reihe trockener und warmer Tage, den geringsten nach kalter und feuchter Witterung, mittleren bei trockener Kälte und bei veränderlichem Sommerwetter zu erwarten hat.

Die Resultate der Pettenkofer'schen Versuche widerstreben dieser Erklärung nicht, zur Bestätigung derselben sind jedoch weitere Untersuchungen in Verbindung mit genauer Beschreibung der meteorologischen Verhältnisse erforderlich.