Versuche über die Verunreinigung der Luft in bewohnten Räumen durch undichte Fussböden bei verschiedenen Modalitäten der Lüfterneuerung.

Von

Dr. V. Budde
in Kopenhagen.

Bei meinen früher mitgetheilten Versuchen¹ fand ich, dass, wenn man aus einem Zimmer mit undichtem Fussboden aber impermeablen Wänden und genau schliessenden Thüren und Fenstern eine grössere Luftmenge durch Absaugung entfernt als die, welche in demselben Zeitraum durch den Frischluftcanal hereinströmt, mit der abgesaugten Luft eine grössere Menge Kohlensäure entfernt wird, als die, welche in derselben Zeit im Zimmer producirt wird und in der, der Menge der Ventilationsluft entsprechenden Menge, Aussenluft enthalten ist. Und der Unterschied lässt sich unter solchen Verhältnissen zum wesentlichsten Theil nur durch eine Einströmung von Kohlensäure durch den undichten Boden von dem unreinen Zwischendeckenmaterial und eventuell von einem darunter belegenen Raume erklären. Theils durch den Stoffwechsel der Observatoren, theils mit der einströmenden frischen Luft wurden der Atmosphäre des Versuchszimmers 233 Liter Kohlensäure pro Stunde zugeführt, und nichtsdestoweniger wurden bei dem ersten Versuche 320 Liter Kohlensäure mit der abgesaugten Luft entfernt. Der einzige dieser Versuche, bei welchem eine wesentlich geringere Menge Kohlensäure abgesaugt wurde als die, welche in dem Zimmer producirt wurde und mit der frischen Luft hereinströmte, war der, bei welchem das Zimmer nicht geheizt war; die frische Luft strömte durch einen kalten Mantelraum herein und musste ihrer

¹ *Diese Zeitschrift.* Bd. VIII. S. 507—530.

niedrigen Temperatur zufolge sich in dem unteren Theil des Versuchszimmers ausbreiten, während die wärmere, kohlensäurereichere Luft sich in dem oberen Theile des Raumes ansammelte, welches auch deutlich aus den Resultaten der Kohlensäure- und Temperaturbestimmungen an den verschiedenen Stellen hervorgeht.

In einem geheizten aber nicht künstlich ventilirten Raume wird, sobald die Temperatur sich über die der Umgebungen erhebt, ein Unterdruck in dem unteren Theile entstehen, und wenn der Fussboden, was ja bei der gewöhnlichen Bauart die Regel ist, durchlässig ist, wird unreine Luft von dem Zwischendeckenraume und eventuell von einem darunter belegenen Raume hereinströmen können. Die hölzernen Fussböden mit ihren mehr oder weniger offenen Fugen sind also nicht nur dadurch gefährlich, dass pathogene Bacterien eventuell in das Zwischendeckenmaterial eindringen können und sich hier weiter entwickeln, sondern sie haben auch für die chemische Zusammensetzung der Luft des Raumes eine wesentliche Bedeutung. Bis jetzt sind ja nur die neuesten und besten Krankenhäuser mit Terrazoböden oder anderen impermeablen Fussböden in den Krankensälen versehen, in der Regel hat man sowohl in den Krankenhäusern als in den privaten Wohnungen hölzerne Fussböden, bei welchen sich die Durchlässigkeit nur sehr schwierig aufheben lässt. Die vorliegende Frage hat also für die Hygiene eine nicht unwesentliche Bedeutung.

Meine Versuche sind in dem allgemeinen Krankenhaus in Kopenhagen in einem Einzelzimmer angestellt. Dieses Krankenhaus ist im Jahre 1863 eröffnet, und obschon die hölzernen Fussböden gut gelegt und gut erhalten sind, haben sich doch im Laufe der Jahre Unreinigkeiten im Zwischendeckenmaterial ansammeln können. Das Versuchslocal, die nöthigen Instrumente und die nöthige Assistenz war durch die Güte des Herrn Stadttingenieur Ambt zu meiner Verfügung gestellt. Für guten Beistand bei den Versuchsanordnungen, den Observationen und deren ziffermässigen Behandlung spreche ich dem Hrn. Ingenieur cand. polyt. Karsten und dem Hrn. Chemiker Struer meinen besten Dank aus. Die meteorologischen Data sind mir gütigst von dem meteorologischen Institut mitgetheilt.

Die Versuche wurden, die 6 ersten am 28., 29. und 30. Januar, die 4 letzten am 5. und 6. Februar angestellt. Das Versuchszimmer war im zweiten Stock eines Querflügels des Krankenhauses belegen. Die Aussenwand mit dem Fenster ist (s. Fig. 1) gegen den Garten (nach S.W.) gekehrt, in der entgegengesetzten Wand die Thür, die sich in den breiten Corridor mit Fenstern nach dem Centralhof des Hospitals öffnet. Das Zimmer ist von regelmässiger Form, die Länge ist 4.55 m, die Breite 2.82 m, die Höhe 3.92 m, das Volumen also 50.3 Cubikmeter. Es war, wie die

zwei Nebenzimmer längere Zeit vor den Versuchen unbewohnt gewesen, wogegen die unten im ersten Stock belegenen Krankenzimmer stetig benutzt waren.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen werden die bezw. Krankenzimmer durch Oefen mit Abzug nach einem für zwei Zimmer gemeinsamen Rauchrohr geheizt. Um aber den störenden Einfluss zu beseitigen, den eine solche Heizungsart in mehreren Beziehungen auf die Resultate der Versuche ausüben könnte, wurde der Ofen im Versuchszimmer entfernt und die Oeffnung zum Rauchrohre luftdicht geschlossen. An dessen Stelle wurde ein Dampfofen mit Dampfventil und Hahn auf der Retourwasserleitung aufgestellt.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen werden die bezw. Krankenzimmer in folgender Weise ventilirt. Von der Fassade gegen den Garten geht ein Frischluftcanal unter dem Boden bis zu dem Platze des Ofens und mündet unter dessen Sockel aus; die frische Luft wird hier ein wenig erwärmt und strömt dann durch mehrere Löcher in dem Sockel des Ofens, 2 Fuss über dem Boden, in die Atmosphäre des Zimmers aus. Die Absaugung der unreinen Luft geschieht hier wie in dem ganzen Krankenhaus durch Aspiration. Die Luft wird durch verticale Canäle in den Scheide-

Fig. 1.

Idealer Horizontalschnitt des Versuchszimmers. Links im Zimmer der Dampfofen, unter welchem der von der Fassade gegen den Garten kommende Frischluftcanal einmündet. Rechts die Absaugeöffnung, die durch einen kurzen horizontalen Canal in den verticalen Absaugecanal mit quadratischem Durchschnitt führt. h und h_1 bezeichnen die Röhre zu den Manometermessungen. h führt durch das Fenster zu der freien Luft im Garten und h_1 über den Corridor durch ein Fenster zu der freien Luft im Centralhofe. a, b, c, d, e, f, g bezeichnen die Stellen, an welchen die Temperaturbestimmungen ausgeführt sind. Zu beiden Seiten die Nebenzimmer, in dem links belegenen ein Ofen.

mauern in grössere Sammelcanäle im Dachgeschoss und von da durch gemauerte Brunnen und eine unterirdische Leitung bis zu dem hinter dem Krankenhaus belegenen Maschinenhaus geführt, wo eine Dampfmaschine zwei Centrifugalventilatoren treibt, welche die Luft aus den Sammelcanälen absaugen und sie in einen hohen Schornstein hinaustreiben. Von den Krankenzimmern führen zwei Oeffnungen, die eine am Boden, die andere an der Decke, welche beide mittels Rosettventile geschlossen werden können, in die kurzen horizontalen Canäle, welche in die

Fig. 2.

Idealer Verticalschnitt des Versuchszimmers. Links der Dampfofen, unter welchem das von dem Frischluftcanal aufsteigende verticale Rohr. Rechts unten die Absaugeöffnung; höher oben das Rohr zur Messung des Luftdrucks im Garten. a , b , c , d , e_1 , e_2 , e_3 bezeichnen die verschiedenen Höhen, in welchen die Temperaturmessungen ausgeführt sind.

verticalen Abzugsanäle einmünden. Bei den Versuchen war die obere Oeffnung luftdicht geschlossen, und nur die untere wurde benutzt. Von dieser wurde das Ventil entfernt, so dass man eine runde Oeffnung, 15.5 cm im Durchschnitt, bekam. Innerhalb der Oeffnung dehnt sich der horizontale Canal leicht kegelförmig bis zu der Einmündung in den verticalen Canal aus. Die abgesaugte Luftmenge wurde dann bei den Versuchen mittels eines mitten in dem horizontalen Canal, 2 cm von der Oeffnung gegen das Zimmer, angebrachten Anemometers gemessen. Der

Contractionscoefficient, mit welchem hier gerechnet werden musste, wurde durch Versuche bestimmt, was sich ziemlich leicht ausführen liess, da die Geschwindigkeit der Luftströmung durch die Oeffnung bei gleichartigen äusseren Verhältnissen einigermassen constant war.

Die Einmündungsöffnung des Frischluftcanals unter dem Dampfofen wurde durch eine an den Boden festgenagelte Platte aus galvanisirtem Eisenblech gedeckt. In der Platte war ein rundes Loch, 10^{cm} im Durchschnitt, und über ihm war ein verticales Rohr aus demselben Material, 60^{cm} hoch und wie das Loch 10^{cm} im Durchschnitt, angebracht. Durch dieses Rohr musste also die ganze, durch den Frischluftcanal einströmende Luftmenge passiren, und sie konnte mittels eines in dem Rohre, 6^{cm} unter dessen oberen Oeffnung, angebrachten Anemometers leicht und genau gemessen werden. Versuche mit diesem Anemometer zeigten, was auch erwartet werden musste, dass die Geschwindigkeit der Luftströmung an verschiedenen Stellen des Durchschnittes des Rohrs ganz gleichartig war, und die einströmende Luftmenge konnte daher einfach aus dem Querschnittsareal des Rohres und der Geschwindigkeit des Luftstroms berechnet werden. In dem Frischluftcanal war dicht an der Aussenwand eine, doch nicht genau schliessende Drehklappe. Bei den Versuchen, bei welchen wir beabsichtigten, die Lufteinströmung durch den Frischluftcanal vollständig zu sistiren, wurde daher die obere Oeffnung des verticalen Rohres unter dem Dampfofen mittels einer losen Kapsel luftdicht geschlossen. Rings um den Ofen war ein loser Schirm aufgestellt, der als Mantel dienen und die durch den Frischluftcanal einströmende Luftmenge in den rings um den Dampfofen emporsteigenden Luftstrom hineinleiten sollte.

Vor den Versuchen wurden die Wände und die Decke mehrmals mit Oelfarbe gestrichen und alle Fugen und Ritzen im Fenster und neben der Thür sorgfältig mit Kitt gedichtet. Dagegen wurde der Fussboden nicht gestrichen und gedichtet, so dass die Hauptmenge der nach den Wegen der „natürlichen“ Ventilation eindringenden Luft durch den Fussboden gehen und die luftförmigen Emanationen vom Zwischendeckenmaterial mitreissen musste. In der Zeit zwischen den zwei Serien von Versuchen wurde es versucht, den Fussboden so weit als möglich impermeabel zu machen, indem die Ritzen und Fugen gedichtet und die Fläche mehrmals gestrichen und gefirnisst wurde. Bei den Versuchen am 5. Februar zeigte es sich indessen sogleich, dass es nicht gelungen war, diese Quelle zur Verunreinigung der Luft des Zimmers auszuschalten. Am Fusse der Wände verläuft nämlich ein niedriges Holzpannel und mittels der Fugen in ihm und zwischen ihm und den Wänden war noch eine Verbindung zwischen der Atmosphäre des Zimmers und der des Zwischendeckenraumes beibehalten.

Die Geschwindigkeit der Luftströmung in den Ventilationsöffnungen wurde mittels zweier dynamischer Anemometer von Recknagels Construction (von P. Horlacher in Kaiserslautern bezogen) bestimmt. Bei den Ablesungen benutzten wir nicht das Zählwerk an dem Anemometer, sondern einen elektromagnetischen Registrirapparat von Siemens und Halske in Berlin. Jedes Anemometer war mit einer elektrischen Contactschliessung für je 1000 Umdrehungen versehen und wurde mit dem Registrirapparat verbunden. In diesem wird für jede Contactschliessung im Anemometer, 1000 Umdrehungen des Flügelsystems entsprechend, mittels einer Nadel ein Loch in einen, um eine Walze aufgerollten Papierstreifen geschlagen. Dieser Streifen bewegt sich während des Abrollens von der Walze mit einer constanten Geschwindigkeit von 1 mm in 20 Sec. vorwärts, und ist mit Marken versehen mit gleich grossen Abständen, der Bewegung, welche er in einem gewissen kurzen Zeitraum ausgeführt hat, entsprechend. Aus der Anzahl der Löcher, welche die Nadel in einem solchen Abschnitt des Papierstreifen geschlagen hat, wird man also ablesen können, wie viele Umdrehungen das Flügelsystem des Anemometers in der entsprechenden Zeit ausgeführt hat, und daraus die Geschwindigkeit der Luftströmung an der Stelle, an welcher das Anemometer aufgestellt ist, bestimmen. Bei unseren Versuchen wurde der Gang der beiden Anemometer, resp. in dem Absauge- und dem Frischluftkanal, notirt. Ist der Apparat erst in Gang gesetzt und die Zeit hierfür notirt, wird man nachher auf dem Papierstreifen ablesen können, wie gross die Geschwindigkeit der Luftströmung in den resp. Canälen zu jeder Zeit, sowohl während als zwischen den Versuchen, gewesen ist. Und man kann den Papierstreifen als ein juridisches Dokument aufbewahren, mittels welchem man, wenn nöthig, die Richtigkeit seiner Bestimmungen controliren und verificiren kann.

Die Temperaturbestimmungen wurden (s. Figg. 1, 2 und Tab. I) an 7 verschiedenen Stellen im Versuchszimmer vorgenommen.

Um den Luftdruck im Versuchszimmer im Verhältniss zu dem Druck der Aussenluft an beiden Seiten des Gebäudes messen zu können, waren Bleiröhren sowohl an der Facade gegen den Garten als durch den Corridor zu der Facade gegen den Centralhof in's Freie geführt. Der Druckunterschied an den verschiedenen Stellen wurde in der gewöhnlichen Weise mittelst eines Differential-Manometers mit concentrisch geordneten Röhren nach Dr. A. König (von Dr. H. Geissler Nachfolger Franz Müller in Bonn a. Rh. bezogen) bestimmt. Dieser sehr empfindliche Apparat markirt genau den Unterschied im Luftdrucke an den zwei Stellen, die mit den Flüssigkeiten in den Röhren communiciren, und jede Variation in diesem Unterschied. Die Messungen wurden 1.3 m über dem Fussboden ausgeführt.

Als Maassstab für die Verunreinigung der Luft im Versuchszimmer liess sich aus den bekannten Gründen nur die Menge der Kohlensäure benutzen. Wir haben bis jetzt noch keine Methode, mittels welcher wir die Menge der organischen Substanzen in der Luft mit der Genauigkeit und der Geschwindigkeit, die bei den hier besprochenen Untersuchungen nothwendig ist, bestimmen können. Die Messung der Kohlensäuremenge, welche durch den Absaugecanal in einer gewissen Zeit entfernt wurde, musste selbstfolglich durch die Bestimmung der durchschnittlichen Kohlensäuremenge in der innerhalb derselben Zeit abgesaugten Luft geschehen. Und auch für die Kohlensäurebestimmungen in der Atmosphäre des Versuchszimmers musste dieselbe Methode unbedingt bevorzugt werden, nachdem meine früheren Ventilationsversuche dargethan hatten, dass die Vertheilung der Kohlensäure in den verschiedenen Luftschichten sehr verschieden und sehr variirend sein kann. Momentane Kohlensäurebestimmungen erfordern daher immer eine jeder Bestimmung vorausgehende gründliche Mischung der Luft durch mechanische Mittel, und ein solches Verfahren liess sich nicht wohl mit den übrigen Anordnungen und mit dem ganzen Plan der Untersuchungen combiniren.

Die Bestimmungen des durchschnittlichen Kohlensäuregehalts wurden in derselben Weise wie bei meinen früheren Ventilationsversuchen nach Pettenkofer's Methode ausgeführt. Die Glasaspiratoren hatten eine Grösse von ca. 6000 ^{ccm}. Sie waren mit Kugelhöhen, worin 25 ^{ccm} Barytlösung von genau festgestelltem Titer, verbunden; die durchstreichende Luft kam nicht nur in der mittleren Kugel mit der Barytlösung in Berührung, sondern musste auch in den oberen Kugeln und den kleinen Verbindungsröhren zwei Flüssigkeitsschichten passiren. Sie wurde von den verschiedenen Observationsstellen durch lange Gummischläuche aspirirt. Die Titration wurde mit Salzsäure nach den gewöhnlichen Regeln gemacht. Die Bestimmungen wurden an 7 verschiedenen Stellen im Versuchszimmer ausgeführt: 1. Im Garten ausserhalb des Zimmers, 2. in dem Corridor, 3. im Absaugecanale, 4. im Frischluftcanale, 5. mitten im Zimmer, 0.29 m über dem Boden, 6. mitten im Zimmer, 2.13 m über dem Boden, 7. mitten im Zimmer, 3.54 m über dem Boden.

Um die Kohlensäuremenge in der Atmosphäre des Versuchszimmers so constant als möglich zu machen, wurden in der Zeit unmittelbar vor den Versuchen so viele Stearinkerzen angezündet, dass die Kohlensäureproduction ungefähr dieselbe war als die der Observatoren, welche sich während der Versuchsperiode im Zimmer aufhielten; vor dem Anfange der Versuche wurden sie ausgelöscht. 1 ^{kg} Stearinsäure ($C_{36}H_{36}O_4$) producirt bei der Verbrennung ca. 1400 Liter Kohlensäure. Wir brauchten 6 Kerzen mit einer Kohlensäureproduction von ca. 470 Liter pro Stunde. Freilich

Der Versuchstag:

Versuch:

Die Absaugeöffnung	
Die (nicht genau schliessende) Drehklappe im Frischluftcanal	
Die Frischluftöffnung im Versuchszimmer	
Der Ueberdruck im Garten im Verhältn. z. d. Luftdr. im Zimmer, in Millim. Wasserhöhe angeg.	
„ „ „ Centralhofe	desgl.
Die Richtung des Windes	
Die Geschwindigkeit des Windes in Meter pro Secunde	
Das Wetter	
Der Barometerstand in Millimeter	
Die relative Feuchtigkeitsmenge der Luft in Procenten	
Die Temper. beim Hafen um 8 Uhr Morgens	
„ „ im Centralhofe	
„ „ im Corridor	
„ „ bei <i>a</i> im Versuchszimmer 1·41 ^m üb. d. Boden	
„ „ „ <i>b</i> „ „ 1·25 ^m „ „ „	
„ „ „ <i>c</i> „ „ 0·31 ^m „ „ „ bei der Absaugeöffnung	
„ „ „ <i>d</i> „ „ 1·73 ^m „ „ „ über dem Dampfofen	
„ „ „ <i>e</i> ₁ „ „ 0·29 ^m „ „ „ CO ₂ -Bestimmung an derselb. Stelle	
„ „ „ <i>e</i> ₂ „ „ 2·14 ^m „ „ „ „ „ „ „	
„ „ „ <i>e</i> ₃ „ „ 3·56 ^m „ „ „ „ „ „ „	

Der Kohlensäuregehalt der Luft in Volum pro mille angegeben:

In der freien Luft	
„ „ Absaugeöffnung	
„ „ Frischluftöffnung	
„ „ dem Corridor	
Beim Boden im Zimmer (<i>e</i> ₁)	
Mitten „ „ (<i>e</i> ₂)	
An der Decke „ „ (<i>e</i> ₃)	
Die abgesaugte Luftmenge in Cubikmetern pro Stunde angegeben	
Die durch den Frischluftcanal eingeströmte Luftmenge in Cubikmetern pro Stunde	
Die abgesaugte Kohlensäuremenge in Litern pro Stunde angegeben	
<i>x</i>) Die durch den Frischluftcanal eingeströmte Kohlensäuremenge in Lit. pro Stunde angeg.	
<i>y</i>) Die im Zimmer producirte Kohlensäuremenge in Litern pro Stunde angegeben	
Die abgesaugte Luftmenge ÷, die durch den Frischluftcanal eingeströmte in Cbm. pro Std.	
<i>z</i>) Die Kohlensäuremenge in der entsprechenden Menge Aussenluft in Litern	
Das Obergewicht der abgesaugten Kohlensäuremenge über die Posten <i>x</i> , <i>y</i> , <i>z</i> in Litern	
Wie viele Male die Luft des Zimmers erneuert ist pro Stunde	

I.

28. Januar		29. Januar		30. Januar		5. Februar		6. Februar	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	K
offen	offen	offen	offen	geschl.	geschl.	offen	offen	offen	offen
geschl.	geschl.	geschl.	geschl.	geschl.	geschl.	geschl.	geschl.	„	„
geschl.	geschl.	offen	offen	offen	offen	offen	offen	„	„
2·70	2·80	2·65	2·72	1·00	1·00	3·05	2·70	1·40	1·90
2·25	2·20	1·90	2·05	÷ 1·40	÷ 2·10	2·40	2·20	1·60	2·10
W	—	W	—	WNW	—	SSW	—	N	—
7	—	9	—	14	—	4	—	4	—
Regen	—	Regen	—	Nebel	—	Schnee	—	Nebel	—
750	—	744	—	744	—	743	—	744	—
100	—	97	—	81	—	96	—	96	—
2·0	—	4·0	—	6·0	—	0	—	1·0	—
4·6	4·2	5·3	5·1	7·0	7·5	2·7	1·8	1·5	1·7
15·0	15·2	16·0	16·6	15·7	16·3	13·3	15·2	15·0	15·0
15·9	16·4	14·7	16·0	15·3	17·4	14·6	14·7	15·5	15·0
17·4	17·3	16·1	17·2	16·3	17·8	15·6	15·7	17·0	16·2
16·1	16·3	15·2	15·9	15·0	16·5	14·6	14·8	16·5	15·0
27·8	27·3	21·7	25·4	28·5	25·8	20·2	21·7	22·5	18·8
16·1	15·5	14·4	15·2	14·3	16·1	14·6	14·7	16·0	15·2
17·5	18·7	16·2	17·5	16·4	16·4	15·9	16·0	17·0	16·0
19·6	20·3	17·9	19·9	18·6	20·5	17·2	17·8	18·8	16·5
0·33	0·33	0·32	0·32	0·33	0·33	—	—	—	—
1·65	0·85	0·87	0·77	—	—	1·13	0·86	0·58	0·55
—	—	—	—	0·57	0·80	0·34	0·33	0·35	0·35
0·38	0·38	0·36	0·36	—	—	—	—	—	—
1·65	0·66	1·03	0·76	0·97	1·30	—	—	—	—
1·33	1·01	0·94	0·95	1·07	1·25	1·02	0·99	0·86	0·76
—	0·77	0·86	0·78	1·01	—	1·08	0·88	0·78	0·68
148·6	150·4	191·3	193·4	—	—	173·7	168·8	239·1	233·2
—	—	46·1	44·3	16·0	8·0	47·5	47·8	98·9	100·0
245	128	166	150	—	—	196	145	139	128
—	—	15	14	—	—	16	16	35	35
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
148·6	150·4	145·2	149·1	—	—	126·2	121·1	140·2	133·2
49	51	46	48	—	—	43	40	49	47
136	17	45	28	—	—	77	29	÷ 5	÷ 14
3	3	3·8	3·8	—	—	3·5	3·4	4·8	4·6

ist diese Kohlensäureentwicklung etwas grösser als die der Observatoren, aber der Unterschied ist vollständig dadurch compensirt worden, dass wir unmittelbar vor dem Anfange der Versuche die Thüre mehrmals öffnen mussten, um die Apparate zu den Kohlensäurebestimmungen einbringen zu können. In den Pausen zwischen den zwei Versuchen an jedem Tag wurden die Kerzen nicht angezündet, und da die Observatoren in dieser Zeit, um der Kohlensäuretitrungen willen, das Zimmer theilweise verlassen mussten, war die Kohlensäuremenge in dessen Atmosphäre wahrscheinlich etwas geringer beim Anfange des zweiten Versuchs an jedem Tag als beim Anfange des ersten Versuchs, selbst ob wir nach der definitiven Schliessung der Thüre eine kurze Zeit vergehen liessen, bis die Kohlensäurebestimmungen in Gang gesetzt wurden. Der Unterschied ist aber so klein gewesen, dass er keinen kennbaren Einfluss auf die Resultate üben konnte, was auch leicht aus den untenstehenden Tabellen ersehen wird. Die grössere Kohlensäureabsaugung bei dem ersten Versuch an jedem Tag als bei dem zweiten, welche auch bei meinen früheren Ventilationsversuchen, bei welchen das genannte Moment nicht vorlag, constatirt wurde, rührt von ganz anderen Ursachen her.

Die umstehende Tabelle (Tab. I) giebt eine Uebersicht über die durchschnittlichen Resultate bei jedem Versuche. Die Luftdruckdifferenzen sind in Millimeter Wasserhöhe¹ angegeben. Die eingeströmten und abgesaugten Luftmengen in Cubikmeter. Die relativen Kohlensäuremengen in Volum pro Mille und die absoluten in Liter pro Stunde.

Betrachten wir nun erst die Werthe für die bei den Versuchen abgesaugten Luftmengen, finden wir, dass diese verhältnissmässig sehr gross sind. Im Allgemeinen wird es ja angenommen, dass man die Ventilation nicht über eine 3 malige Lüfterneuerung in der Stunde forciren kann, ohne genierende Zugluft hervorzurufen. Bei meinen Versuchen wurde indessen, wie es aus der obenstehenden Tabelle ersehen wird, die Lüfterneuerung bis gegen 5 Mal pro Stunde forcirt, ohne dass daraus Uebelstände welcher Art entstanden. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird man die Ventilationsgrösse noch viel höher treiben können ohne Beschwerden zu erzeugen, wenn man sowohl die Einströmung als die Absaugung der Luft auf mehrere Punkte der Räume vertheilt, als es bisher bei den Ventilationsanordnungen die Regel gewesen ist, und ausserdem die zwei Serien von Ventilationsöffnungen in einem solchen Verhältniss zu einander anbringt, dass die einströmende frische Luft sich so vollständig als möglich im Raume ausbreitet und in der Weise den Bewohnern zu Gute kommt. An diesem Punkte muss die Ursache zu

¹ 1^{mm} Wasserhöhe = $\frac{773}{314} \cdot 1$ Fuss Lüfthöhe = 2.46 F. L.

der Ineffectivität so vieler Ventilationsanordnungen gesucht werden; die einströmende frische Luft wird in höherem oder geringerem Grade direct abgesaugt ohne sich im Raume zu verbreiten, und wenn man nur eine Einströmungs- und eine Absauge-Oeffnung hat, lässt sich die Ventilation nicht ohne Erzeugung lästigen Zugs so stark forciren, dass dieser Uebelstand compensirt wird. Man ist dann darauf angewiesen, den Mängeln der künstlichen Ventilation mittels der natürlichen abzuhefen, aber auch dies lässt sich nicht immer ohne Beschwerden durchführen. Diese Fragen, deren Lösung eine weit grössere Menge experimentelle Untersuchungen als die bisher äusserst sparsam vorliegenden erfordert, hat nicht nur für die allgemeine Hygiene, sondern auch speciell für die Spitalhygiene eine hervortretende Bedeutung, indem es durch eine energische und rationell angeordnete Ventilation und eine zweckmässige bauliche Anordnung möglich wird, die Krankensäle kleiner im Verhältniss zu der Patientenzahl zu machen und in der Weise Ersparnisse zu erreichen, welche anderen Zweigen der Hygiene zu Gute kommen können.

Trotz der reichlichen Lüfterneuerung zeigte es sich indessen, dass die Ventilation bei unseren Versuchen ganz unhinlänglich war. Wie bekannt, gilt es als allgemeine Regel, dass es hinlänglich sei, in Räume, welche nicht stets von kranken Menschen bewohnt sind, und in welchen keine besondere Entwicklung von unreinen luftförmigen Producten stattfindet, 60 ^{cbm} frische Luft pro Stunde und pro Person einzuführen. Bei den meisten der oben referirten Versuche ist diese Grenze weit überschritten worden, und doch hat die Zusammensetzung der Luft weitaus nicht den Forderungen der Hygiene entsprochen. Beim Versuch C war z. B. die Lüfterneuerung 64 ^{cbm} pro Stunde und Person, und nichtsdestoweniger war die Kohlensäuremenge 0.86, 0.94 und 1.03 pro Mille resp. an der Decke, mitten im Zimmer und am Fussboden, während ja die Kohlensäuremenge nach den hygienischen Regeln 0.7 p. m. nicht übersteigen darf. Im Versuche I stieg die Lüfterneuerung sogar bis 80 ^{cbm} pro Stunde und Person, einer 4.8 maligen Erneuerung in der Stunde entsprechend, und doch ging die Kohlensäuremenge bis auf 0.78 p. m. an der Decke und 0.86 p. m. mitten im Zimmer hinauf. Diese Beobachtungen zeigen sogleich, welchen Irrungen man ausgesetzt ist, wenn man die Berechnungen direct auf die praktischen Verhältnisse überführen will, indem diese verschiedene Momente darbieten können, welche die Resultate viel weniger günstig machen, als es die Berechnungen erwarten liessen.

Bei den Bestimmungen des Luftdrucks fanden wir, wie es auch zu erwarten war, einen verhältnissmässig grossen Unterdruck im Versuchszimmer. Nur bei den Versuchen am 30. Januar zeigte sich der Luftdruck im Versuchszimmer grösser als der in freier Luft im Centralhofe.

Der Grund hierzu ist einleuchtend. An dem genannten Tage wehte nämlich ein starker Wind mit einer Geschwindigkeit von 14^m in der Sekunde gegen die Facade an der Gartenseite, und der Luftdruck musste deshalb an der Facade gegen den Centralhof bedeutend niedriger werden. Und dass er sogar hier unter den des Versuchszimmers herabsinken konnte, war dadurch bedingt, dass bei diesem Versuche gar keine Luftabsaugung im Zimmer stattfand. Durch den Frischluftcanal strömte nur soviel Luft herein, dass die durch die Heizung bedingte Druckverminderung bis zu 1^{mm} Wasserhöhe unter den für die freie Luft an der Gartenseite gefundenen Werth reducirt wurde.

Bei allen den Versuchen, bei welchen die Luftabsaugung im Gang war, war dagegen der Luftdruck im Versuchszimmer kleiner als der in freier Luft an den beiden Seiten des Gebäudes. In welchem Grade dieser Unterdruck von dem Winde bedingt ist, zeigt sich sogleich bei einer näheren Betrachtung der Resultate. Bei allen den Versuchen dieser Art (*A, B, C, D, G, H*), bei welchen der Wind gegen die Facade an die Gartenseite wehte, war der Oberdruck hier grösser als in dem Centralhof; am 6. Februar dagegen, da der Wind die entgegengesetzte Richtung hatte, war der Oberdruck am grössten im Centralhofe. Umgekehrt zeigte sich der Oberdruck an der Gartenseite am grössten, je mehr senkrecht auf die Facade die Windrichtung war. Der grösste Oberdruck wurde beim Versuche *G* am 5. Februar gefunden, da die Windrichtung SSW. war, während dagegen die Geschwindigkeit des Windes nicht mehr als 4^m in der Secunde war, gegen resp. 7 und 9^m in der Secunde am 28. und 29. Januar, an welchen Tagen die Richtung des Windes mehr schräg gegen die Facade war.

Was beim ersten Blick auf die Resultate der Kohlensäurebestimmungen sogleich in die Augen fällt, ist die bedeutende Unregelmässigkeit in der Vertheilung der Kohlensäure in der Atmosphäre des Versuchszimmers. Ganz wie bei meinen früheren Ventilationsversuchen fand ich diesmal grosse Variationen in dieser Beziehung. Bald ist die Kohlensäuremenge am grössten in den unteren Luftschichten, bald an der Decke und bald endlich mitten im Zimmer. Im Allgemeinen geht man von der Voraussetzung aus, dass die Kohlensäuremenge dicht unter der Decke am grössten sei, indem die Kohlensäure, mag sie von der Expirationsluft der Bewohner oder von den Verbrennungsproducten der Beleuchtungsapparate herrühren, mit einer verhältnissmässig hohen Temperatur in die Atmosphäre des Raumes austritt und dem zu Folge Tendenz hat, in die Höhe zu steigen. Hierzu soll indessen bemerkt werden, dass auch die warme Luft, welche rings um den Ofen oder von einer Wärmeluftöffnung emporsteigt, und welche rationeller Weise, wenigstens

zum grössten Theil, die dem Raume zugeführte frische Luft einschliessen soll, Tendenz hat, sich über die Decke zu breiten und hier also eine etwas reinere Schicht zu bilden. Und fügt man hierzu, dass die Ausbreitung der Kohlensäure in der Atmosphäre des Raumes in hohem Grade von den Luftströmungen, von der Stellung der Kohlensäurequellen zu der Absaugeöffnung u. s. w. abhängig ist, so ist es leicht einzusehen, dass wir es hier mit stark variirenden Verhältnissen zu thun haben.

Betrachten wir demnächst die vorletzte horizontale Colonne in der Tab. I, so sehen wir, dass bei 6 von den 8 Versuchen, bei welchen überhaupt Luft abgesaugt wurde, eine grössere Menge Kohlensäure aus dem Versuchszimmer abgesaugt worden ist als die, welche während der Versuchszeit in dem Zimmer producirt ist und mit der einströmenden Luft zugeführt sein kann, sofern deren Kohlensäuregehalt derselbe war, als der der freien Luft. Nur bei den zwei letzten Versuchen dieser Art (*I* und *K*) war die abgesaugte Kohlensäuremenge etwas geringer als die Summe der zwei letztgenannten Posten. Fragt es sich nun, ob dieser Ueberschuss von Kohlensäure in der abgesaugten Luft sich nicht durch eine Verminderung des Kohlensäuregehaltes der Zimmerluft erklären lässt, so muss diese Frage bestimmt verneint werden. Wie früher gesagt, mussten wir die Thüre unmittelbar vor den Versuchen mehrmals öffnen, um die Apparate zu den Bestimmungen der Kohlensäure einbringen zu können. Freilich war die Thüre jedes Mal nur einen Augenblick geöffnet, aber der Unterdruck im Zimmer war so bedeutend, dass eine so reichliche Menge Frischluft von dem Corridor hereinströmte, dass der Kohlensäuregehalt der Zimmerluft temporär herabgesetzt wurde. (Wie gross diese Lufteinströmung war, wurde durch Beobachtungen ausserhalb der Versuchszeiten constatirt. Wenn die Thüre offen stand, strömte die Luft durch die Absaugeöffnung mit einer Geschwindigkeit von 6.59 m in der Secunde am 5. Februar und 6.65 m in der Secunde am 29. Januar, was einer Lufteinströmung von resp. 430 und 433 cbm pro Stunde und einer 9 maligen Lüfterneuerung pro Stunde entspricht.) Die Lüfterneuerung ist also etwas grösser in der Zeit unmittelbar vor den Versuchen als in der Versuchszeit gewesen, und der Kohlensäuregehalt der Zimmerluft musste also steigen während der Versuche.

Dies wird auch durch eine genauere Betrachtung der Versuchsergebnisse vollständig bestätigt. Wenn wir nämlich aus der Menge der bei jedem Versuche das Zimmer durchströmenden Luft, deren Kohlensäuregehalt gleich dem der Aussenluft gesetzt wird, und aus der Kohlensäureproduction im Zimmer berechnen, wie gross der Kohlensäuregehalt der Zimmerluft gewesen wäre, sofern die Kohlensäureabsaugung mit der Kohlensäurezufuhr

Schritt gehalten hätte, und damit den in der Mitte des Zimmers wirklich gefundenen Kohlensäuregehalt, der am nächsten als ein Ausdruck für den durchschnittlichen Kohlensäuregehalt der Zimmerluft zu betrachten ist, vergleicht, bekommt man folgende Resultate:

Tabelle II.

Versuch.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K
Der berechnete CO ₂ -Gehalt in Volum pro mille	0.73	0.73	0.63	0.63	1.53	1.53	0.69	0.69	0.60	0.61
Der mitten im Zimmer gefundene CO ₂ -Gehalt in Volum pro mille	1.33	1.01	0.94	0.95	1.07	1.25	1.02	0.99	0.86	0.76

Es geht aus dieser Zusammenstellung hervor, dass die „berechnete“ Kohlensäuremenge in der Atmosphäre des Zimmers nicht nur für die zwei, an demselben Tage ausgeführten Versuche mit fast mathematischer Genauigkeit übereinstimmt, sondern auch überhaupt nur verhältnissmässig kleine Variationen darbietet, welches theilweise dadurch mehr hervortretend geworden ist, dass die Kohlensäuremenge der äusseren Luft an dem Tage, da die Luftabsaugung von dem Versuchszimmer am grössten war, etwas grösser als an den übrigen Tagen gefunden wurde. Aber es erhellt ferner aus dieser Vergleichung, dass bei allen den Versuchen, bei welchen überhaupt die Luftabsaugung in Gange war, der berechnete Kohlensäuregehalt viel kleiner als der mitten im Zimmer gefundene wirkliche Kohlensäuregehalt war, was also beweist, dass der Kohlensäuregehalt während der Versuche zugenommen hat, und besonders charakteristisch ist es, dass der Ueberschuss, den der wirkliche Kohlensäuregehalt über den berechneten darbietet, nicht nur sehr variirend ist, sondern zudem bei den zwei Versuchen (A und G), bei welchen die grösste Kohlensäuremenge abgesaugt wurde, am grössten war. Am kleinsten war er umgekehrt bei den zwei Versuchen (I und K), bei welchen eine geringere Kohlensäuremenge als die Summe der im Versuchszimmer producirten und der in einem der durchgeströmten Luftmenge entsprechenden Quantum Aussenluft enthaltenen Kohlensäuremenge abgesaugt wurde. Es ist also einleuchtend, dass bei allen diesen Versuchen eine gewisse, bei den einzelnen Versuchen variirende und weder von dem Stoffwechsel der Observatoren, noch von der einströmenden frischen Luft herrührende Menge Kohlensäure der Atmosphäre des Zimmers zugeführt ist.

Tabelle III.

Der CO₂-Gehalt an den verschiedenen Stellen im Zimmer, indem der CO₂-Gehalt im Absaugecanal = 1 gesetzt ist.

Versuch	A	B	C	D	G	H	I	K
Beim Boden im Zimmer (e ₁)	1.00	0.78	1.18	0.99	—	—	—	—
Mitten „ „ (e ₂)	0.81	1.19	1.08	1.23	0.90	1.15	1.48	1.38
An der Decke „ „ (e ₃)	—	0.91	0.99	1.01	0.96	1.02	1.34	1.24

Tabelle IV.

Das Verhältniss zwischen der Zunahme des CO₂-Gehaltes (über den CO₂-Gehalt der Aussenluft hinaus) an den angegebenen Stellen und der im Absaugecanal gefundenen, indem diese letztgenannte = 1 gesetzt ist.¹

Versuch	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K
Beim Boden im Zimmer (e ₁)	0	÷ 0.8	÷ 0.8	÷ 0.7	÷ 0.7	÷ 0.4	0	− 0.1	÷ 0.5	+ 0.2
Mitten im Zimmer (e ₂)	+ 1.4	+ 2.4	+ 1.0	+ 1.6	+ 1.4	÷ 0.1	+ 1.3	+ 1.2	+ 0.5	+ 1.0
An der Decke im Zimmer (e ₃)	—	+ 4.0	+ 2.9	+ 4.0	+ 3.6	+ 4.0	+ 2.5	+ 3.0	+ 2.3	+ 1.5

Tabelle V.

Der Unterschied zwischen dem CO₂-Gehalt im Absaugecanal und dem an den übrigen Observationsstellen gefundenen.

Versuch	A	B	C	D	G	H	I	K
Beim Boden im Zimmer (e ₁)	—	÷ 0.19	+ 0.16	÷ 0.01	—	—	—	—
Mitten „ „ (e ₂)	÷ 0.32	+ 0.16	+ 0.07	+ 0.18	÷ 0.11	+ 0.13	+ 0.28	+ 0.21
An der Decke „ „ (e ₃)	—	÷ 0.08	÷ 0.01	+ 0.01	÷ 0.05	+ 0.02	+ 0.20	+ 0.13

Die besprochenen zwei Momente haben sich dann auch in Bezug auf das Verhältniss zwischen dem Kohlensäuregehalt der abgesaugten Luft und dem der Zimmerluft an den verschiedenen Observationsstellen geltend gemacht, was bei einer näheren Betrachtung der drei vorstehenden Tabellen leicht ersehen wird. Die Tab. V und III geben resp. den absoluten und den relativen Unterschied an, während die Tab. IV die relative Zunahme

¹ Die mit den Plus- und Minuszeichen versehenen Ziffern der Tabelle IV bezeichnen die Temperaturdifferenz zwischen der Observationsstelle und dem Absaugecanal.

des Kohlensäuregehaltes über den der Aussenluft hinaus angiebt, indem die Zunahme in dem Absaugecanal = 1 gesetzt ist.

Da die Absaugung von Kohlensäure nicht mit der Production und Einströmung Schritt gehalten hat, bekommen wir in den Tabellen III und IV durchgehend Werthe, welche grösser als 1 sind, und in der Tab. V durchgehend positive Werthe, aber die Verhältnisse sind keineswegs so constant, als es erwartet werden musste, sofern die Zufuhr von Kohlensäure zu der Atmosphäre des Zimmers einigermassen gleichartig wäre und ausschliesslich von dem Stoffwechsel der Observatoren und von der einströmenden frischen Luft herrührte. Dass die Absaugung der von den Observatoren producirten Kohlensäure unvollständig werden musste, war nach dem Platz der Absaugeöffnung zu erwarten. Die bei der Aspiration entwickelte Kohlensäure steigt der höheren Temperatur der Exspirationsluft zu Folge sogleich in die Höhe, und ihre herabgehende Bewegung findet längs der kalten Wände, besonders der Aussenwände statt. Man wird daher, wie ich durch meine früheren Ventilationsversuche dargethan habe, die vollständigste Absaugung der Kohlensäure erreichen, wenn man die Entfernung der unreinen Luft vom Zimmer durch oben offene Canäle am Fusse der kalten Wände geschehen lässt. In unserem Versuchszimmer war dagegen nur eine einzelne Absaugeöffnung, und diese war dicht an der Ecke gegen den Corridor, dessen Temperatur fast ebenso hoch als die des Zimmers war, angebracht. Die herabgehende Bewegung der Kohlensäure wird dann zum wesentlichsten Theil längs der Frontalmauer gegen den Garten stattgefunden haben, und in die tiefere Luftschicht dicht über dem Boden angelangt, ist sie nicht nur gegen die Absaugeöffnung, sondern auch gegen den Dampfofen aspirirt worden, und theilweise ist sie also mit dem emporsteigenden Luftstrom rings um den Ofen wieder in die Höhe geführt worden. Wenn nun nichtsdestoweniger der Kohlensäuregehalt der abgesaugten Luft bei zwei Versuchen nicht nur grösser als der berechnete Kohlensäuregehalt, sondern auch grösser als der wirklich gefundene Kohlensäuregehalt mitten im Zimmer ist, liefert dies noch einen Beweis dafür, dass eine besondere Zufuhr von Kohlensäure neben der von den Observatoren und der einströmenden frischen Luft herrührenden stattgefunden hat.

Woher nun diese besondere Zufuhr stammt, ist nicht zweifelhaft. Die kleine Menge Luft, die durch die genau schliessende Thüre von dem Corridor eingedrungen sein kann, kann keine Bedeutung in dieser Beziehung gehabt haben, da die Luft hier fast ebenso rein war als im Freien. Durch die Decke und die Wände kann auch keine unreine Luft eingedrungen sein, da sie durch Oelfarbenanstrich impermeabel gemacht waren. Die Einströmung der unreinen Luft kann nur durch den undichten

Fussboden stattgefunden haben, indem die in den Zwischendeckenraum eindringende frische Luft die unreinen luftförmigen Emanationen von dem Zwischendeckenmaterial und die eventuell von den unten belegenen Zimmern eingeströmte Kohlensäure mit sich in die Atmosphäre des Zimmers eingeführt hat. Indem nun die unreine Luft durch den Boden eindringt, wird sie zum wesentlichen Theil in dem gegen die Absaugeöffnung gehenden Luftstrom aufgenommen, und es lässt sich in der Weise erklären, wie man bei zwei Versuchen einen grösseren Kohlensäuregehalt in der abgesaugten Luft als in der Luft im Zimmer finden konnte.

Es folgt nun von selbst, was ja auch deutlich genug aus den Versuchsergebnissen hervorgeht, dass diese Quelle zur Verunreinigung der Atmosphäre des Zimmers sehr unregelmässig fließen muss, indem die Ansammlung von Kohlensäure im Zwischendeckenraum von vielen verschiedenen Verhältnissen bedingt ist. Es ist daher auch nicht zu erwarten, dass die Einströmung von Kohlensäure in einem constanten Verhältnisse zu dem Unterdruck im Zimmer stehen sollte, aber auf der anderen Seite geht es aus dem in der Tab. I mitgetheilten Versuchsergebnissen deutlich hervor, dass die Grösse des Unterdrucks auf die Intensität der Einströmung einen dominirenden Einfluss hat. Bei den Versuchen *A, B, C, D, G* und *H*, bei welchen (s. Tab. I) der Unterdruck im Verhältniss zu dem Luftdruck an der Gartenseite am grössten war, constatirten wir auch die reichlichste Einströmung von Kohlensäure. Sie war bei diesen Versuchen so bedeutend, dass sie, obschon der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre des Zimmers während der Versuchsperiode stieg, doch die Menge der durch die Absaugeöffnung entfernten Kohlensäure über die Summe der im Zimmer producirt und der mit der frischen Luft zugeführten Kohlensäuremenge hinauftreiben konnte.

Bei den Versuchen *I* und *K* dagegen, bei welchen eine geringere Kohlensäuremenge als die im Zimmer producirt und mit der frischen Luft zugeführte abgesaugt wurde, war auch der Unterdruck im Zimmer, besonders im Vergleich mit dem Luftdruck an der Gartenseite, kleiner als bei den oben genannten Versuchen. Die Ursache hierzu war theils, dass der Wind nördlich war, so dass die Frontalmauer an der Leeseite lag, theils, dass der Frischluftcanal bei diesen Versuchen vollständig geöffnet war, so dass eine grössere Luftmenge durch ihn hereinströmte. Der geringeren Saugung zufolge ist also eine geringere Menge Kohlensäure durch den undichten Fussboden in das Zimmer hereingeströmt, und dieses Moment macht sich auch sehr charakteristisch in Betreff auf den Kohlensäuregehalt der abgesaugten Luft geltend. Obschon der Unterschied zwischen dem berechneten und dem mitten im Zimmer wirklich gefundenen Kohlensäuregehalt (s. Tab. II) geringer war als bei den anderen Versuchen,

bei welchen Absaugung von Luft überhaupt stattfand, obschon mit andern Worten die Vermehrung des Kohlensäuregehalts in der Atmosphäre des Zimmers geringer war, war doch die abgesaugte Kohlensäuremenge viel geringer. Dies zeigt sich nicht nur dadurch, dass der Kohlensäuregehalt der abgesaugten Luft (s. Tab. I) viel geringer (durchschnittlich 0.565 p. m.) war als bei den anderen Versuchen (durchschnittlich 1.02 p. m.), wozu auch die bei den zwei genannten Versuchen stattgefundene Vermehrung der Menge der abgesaugten Luft beigetragen hat, sondern das Verhältniss macht sich auch in sehr charakteristischer Weise in den diesen Versuchen entsprechenden Werthen in den Tab. III, IV und V geltend. In der Tab. III, die ja den relativen Unterschied zwischen dem Kohlensäuregehalt der abgesaugten Luft und dem der Luft an den verschiedenen Observationsstellen im Zimmer angiebt, fanden wir ja die für die zwei genannten Versuche (*I* und *K*) notirten Werthe nicht nur grösser als 1, sondern auch grösser als alle die den übrigen betreffenden Versuchen entsprechenden Werthe. In der Tab. V, die den absoluten Unterschied angiebt, finden wir die für die zwei Versuche notirten Werthe nicht nur alle positiv, sondern auch grösser als die übrigen Werthe in der Tabelle, und in der Tab. IV endlich, welche die relative Zunahme des Kohlensäuregehalts (über den Kohlensäuregehalt der Aussenluft hinaus), indem die Zunahme in der abgesaugten Luft = 1 gesetzt ist, fanden wir damit übereinstimmende Resultate. Und das alles, ohne dass der Unterschied zwischen der Temperatur in der Absaugeöffnung und der an den verschiedenen Observationsstellen im Zimmer irgend eine Erklärung hierfür abgeben kann. Es ist also die durch den geringeren Unterdruck bedingte Verminderung der Einströmung von Kohlensäure durch den Fussboden, welche eine so grosse Verminderung des Kohlensäuregehalts der abgesaugten Luft bewirkt hat.

Wie gross nun die Einströmung von Kohlensäure durch den undichten Fussboden bei den einzelnen Versuchen gewesen ist, wird aus der Tab. VI ersehen, in welcher ich aus dem Unterschied zwischen dem „berechneten“ und dem mitten im Zimmer wirklich gefundenen Kohlensäuregehalt den absoluten Werth für die Vermehrung der Kohlensäuremenge im Zimmer während jedes einzelnen Versuchs berechnet, und dazu den Unterschied zwischen der abgesaugten und der theils im Zimmer producirten, theils mit der frischen Luft zugeführten Kohlensäuremenge addirt habe.

Tabelle VI.

Versuch	A	B	C	D	G	H	I	K
Die durch den Fussbod. eingeströmte Kohlensäuremenge in Litern pro Stunde angegeben	166	31	61	44	94	44	8	÷ 6

Es zeigt sich also, dass während bei den ersten 6 Versuchen eine mehr oder weniger reichliche Kohlensäuremenge durch den Boden hereingeströmt ist, ist beim Versuch *I* die Menge bis zu 8 herabgegangen, und beim Versuch *K* bekamen wir sogar einen negativen Werth. Dieses letztgenannte Resultat ist wahrscheinlich einem geringen Observationsfehler zuzuschreiben. Doch muss ausserdem bemerkt werden, dass die Werthe für den „berechneten“ Kohlensäuregehalt wahrscheinlich durchgehend ein wenig zu gross sind.

Es wäre nun leicht, aus den vorliegenden Daten die Minimalwerthe für den Kohlensäuregehalt, der während der einzelnen Versuche durch den Fussboden eingeströmten Luftmenge auszurechnen, und es würde auch aus einer solchen Berechnung hervorgehen, welche bedeutende Quelle zur Verunreinigung der Atmosphäre des Zimmers diese Einströmung factisch repräsentirt.

Wir kommen nun endlich zu den zwei Versuchen (*E* und *F*), bei welchen keine Luftabsaugung stattfand. Wie es aus der Tab. II ersehen wird, zeichnen sich diese Versuche von den übrigen dadurch aus, dass der „berechnete“ Kohlensäuregehalt grösser war, als der mitten im Zimmer gefundene. Dieses Resultat lässt sich leicht erklären. Der Luftdruck im Zimmer war nur 1^{mm} Wasserhöhe niedriger als der an der Facade gegen den Garten und sogar grösser als der an der entgegengesetzten Facade. Es hat sich also keine Saugung, welche die Kohlensäure durch den undichten Fussboden hereinziehen könnte, entwickelt. Auf der anderen Seite ist eine geringe Menge Kohlensäure durch die unvermeidlichen Ritzen im Fenster und Thür entfernt, und eine gewisse Menge ist auch durch den Frischluftkanal abgeführt worden. Es wehte nämlich an dem betreffenden Tag (29. Januar) ein starker Wind aus WNW mit einer Geschwindigkeit von 14^m in der Secunde. Der Luftdruck im Versuchszimmer musste daher während und zwischen den einzelnen starken Windstössen recht bedeutend variiren. Die Flüssigkeiten im Differential-Manometer gingen beim Anfange und beim Aufhören der Windstösse stark auf und nieder, und das Flügelsystem des im Frischluftcanale angebrachten Anemometer drehte sich bald vorwärts, bald rückwärts. Dementsprechend fanden wir dann auch, dass der Kohlensäuregehalt im Frischluftcanal, der bei den übrigen Versuchen dem der Aussenluft gleich war, bei diesen zwei Versuchen bis zu resp. 0.57 und 0.80 p. m. hinaufging. Die Luft hat also in dem Frischluftcanal vorwärts und rückwärts gewallt, und eine geringe Menge Kohlensäure ist nach diesem Wege abgeführt worden. Sehr charakteristisch ist es auch, dass der Kohlensäuregehalt der Binnenluft bei diesen Versuchen, bei welchen die Lüfterneuerung zu einem Minimum reducirt war, nicht wesentlich grösser oder sogar

kleiner war als bei den übrigen Versuchen, bei welchen das Zimmer während der Versuchszeit von einer reichlichen Luftmenge durchgeströmt wurde, was einen weiteren Beweis dafür liefert, dass die Einströmung von Kohlensäure durch den undichten Fussboden einen wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung der Atmosphäre des Raumes hat. Uebrigens wurden selbstfolglich die besprochenen zwei Versuche nur *comparationis causa* ausgeführt.

Es geht also aus den Resultaten der ganzen Versuchsreihe hervor, dass die benutzte Ventilationsanordnung, bei welcher die „natürliche“ Ventilation durch das Fenster und die Thür so weit als möglich sistirt war, während die Lufteinströmung durch den Frischluftcanal entweder vollständig sistirt oder doch viel geringer als die Luftabsaugung war, nicht im Stande gewesen ist, das Gleichgewicht zwischen der im Zimmer producirten und mit der eingeströmten Luft zugeführten Kohlensäuremenge auf der einen Seite und der mit der abgesaugten Luft entfernten Kohlensäuremenge auf der anderen Seite zu halten, und dies obschon die das Zimmer durchströmende Luftmenge bei den meisten Versuchen verhältnissmässig gross gewesen ist. Am grössten ist das Missverhältniss bei den Versuchen, bei welchen ein bedeutender Unterdruck im Zimmer die Einsaugung einer mehr oder weniger reichlichen Menge Kohlensäure durch den undichten Fussboden bewirkt hat; hier ist der Kohlensäuregehalt der Binnenluft weit über die in einem Krankenzimmer erlaubte Grenze emporgestiegen. Es ist also einleuchtend, dass man nicht berechtigt ist, den Ventilationseffect nach der in einem gewissen Zeitraume durchgeströmten Luftmenge zu beurtheilen; die Hauptsache ist, dass die eintretende Luft sich so vollständig als möglich im Raume ausbreitet, so dass sie in der grösstmöglichen Ausdehnung den Bewohnern zu Gute kommt und ihre luftförmigen Emanationen durch den Absaugecanal entfernt. Aber dies erreicht man, wie ich früher dargethan habe, am besten durch eine andere Anordnung sowohl der Zufuhr der frischen Luft, als der Ableitung der unreinen. Die Einströmung von Kohlensäure von unten her hindert man am besten durch die Anwendung von impermeablen Fussböden oder wenigstens von einem reinen und desinficirenden Zwischendeckenmaterial, aber jedenfalls ist es sehr wichtig, dass der Unterdruck in dem ventilirten Raume, der eine Einsaugung von den im Zwischendeckenraume angesammelten luftförmigen Emanationen bewirken könnte, so klein als möglich wird.