

Quelle weiss, sind auch bereits die Verhandlungen mit dem Erfinder über Einführung seiner Ventilation in dem neuen Spitale der Stadt Augsburg ihrem Abschlusse nahe. Wir werden dann in nicht mehr langer Zeit einen van Hecke'schen Ventilationsapparat in unserer unmittelbaren Nähe haben, der uns Gelegenheit geben wird, weitere Beobachtungen anzustellen.

München, October 1857.

Dr. Max Pettenkofer.

BESPRECHUNG ALLGEMEINER

AUF DIE

V E N T I L A T I O N

BEZÜGLICHER FRAGEN.

VON

Dr. MAX PETTENKOFER.

Ich erlaube mir nun, auf einige allgemeine, für die Ventilation wichtige mehr wissenschaftliche Erörterungen einzugehen. Dieselben dürften sich am besten an folgende fünf Fragen knüpfen lassen:

1) Wann kann man die Luft einer Wohnung gut und rein heissen?

2) Wie gross ist der natürliche Luftwechsel in den Zimmern, und auf welche Weise lässt sich derselbe am zuverlässigsten bestimmen?

3) Welche Verhältnisse wirken vermehrend oder vermindernd auf die Grösse des natürlichen Luftwechsels ein?

4) In welchen Fällen wird eine künstliche Ventilation nothwendig?

5) Welche sind bis jetzt die gebräuchlichsten Methoden der künstlichen Ventilation, und welche verdient den Vorzug?

Erste Frage: Wann heissen wir die Luft eines Wohnzimmers gut und rein?

Um über das Bedürfniss der Ventilation richtig urtheilen zu können, muss man bestimmte Anforderungen an die Beschaffenheit der Luft zu stellen wissen. Eine Luft kann in zweifacher Beziehung unrein seyn,

1) sie kann fremdartige Stoffe enthalten, welche durch ihre Qualität uns nachtheilig sind, oder

2) sie kann die normalen Bestandtheile in einem abnormen Mischungsverhältnisse enthalten.

Als die normalen Bestandtheile der Atmosphäre gelten Sauerstoff, Stickstoff, Wasser und Kohlensäure, deren relative Verhältnisse mit Ausnahme des Wassers fast keinen Schwankungen unterworfen sind. Die Luft enthält allerdings constant noch einige andere Stoffe, z. B. kohlen-saures Ammoniac, organische und unorganische Stoffe, theils als Staub, theils in andern Formen u. s. w., jedoch in so äusserst geringer Menge, dass sie auf unsere Sinne nicht die entfernteste Wirkung hervorzubringen vermögen. Als wesentlichstes Beobachtungsorgan für fremde Stoffe in der Luft dient uns der Geruchssinn; dieser zeigt uns Stoffe an, deren Wahrnehmung uns weder auf physikalischem, noch auf chemischem Wege mehr gelingt. Wir wittern oft noch die geringsten Spuren fremder Beimischungen der Luft (Moschus, viele ätherische Oele und andere riechende Substanzen), welche sich jedem sonstigen Nachweise entziehen. Andere Stoffe, die gerade nicht unsern Geruchssinn erregen, machen sich durch physiologische Wirkungen auf unsere Respirationswege, oder andere Theile unseres Körpers in den geringsten Mengen bemerkbar. Es ist z. B. nicht möglich, in einem Zimmer einige Grane Veratrin in offener Reibschale zu Pulver zu verreiben, ohne dass nicht alle Anwesenden zum Niessen gereizt würden. Andere Stoffe (z. B. Produkte der trockenen Destillation glycerinhaltiger Fette, Holzrauch etc.) wirken mehr auf die Schleimhaut der Augen und bringen diese zu Thränen und Entzündung, während sie auf die Schleimhaut der Nase viel weniger wirken. Jede Luft, welche auf unsern Geruch, Gefühl oder Gesicht wirkt, halten wir mit Recht für mit fremden Stoffen verunreinigt. Wir können ihr das Prädikat einer reinen Luft nicht beilegen. Gegen diese Arten der Verunreinigung der Luft kann die Wirksamkeit der Ventilation nicht zunächst bestimmt seyn. Wir verfahren viel rationeller, wenn wir von vornherein die Mittheilung solcher Stoffe an die Luft unserer

Wohnräume verhüten, als wenn wir die Folgen einer zugelassenen Verunreinigung hintennach durch kräftige Ventilation wieder möglichst zu beseitigen streben. Wir wissen, dass die Ausdünstungen faulender, verwesender Stoffe, dass die Excremente von Menschen und Thieren die Luft unserer Wohnräume in unerträglicher Weise verunreinigen können, und zwar in einer Weise, dass die kräftigste Ventilation nicht mehr dagegen ankämpfen kann. In diesen Fällen sagt uns die einfache Vernunft, dass wir unsere Sorgfalt auf Entfernung solcher Stoffe zu richten haben. Ohne durchgreifende Reinlichkeit in einem Hause helfen uns alle Ventilationsvorrichtungen wenig, während eine strenge Handhabung der Reinlichkeit die Ventilation auf das Kräftigste unterstützt und zur Geltung bringt. Was hilft es, wenn wir Krankensäle und Gefängnisse ventiliren, ihnen frische Luft zuführen, aber diese durch die fortwährenden Ausdünstungen schlecht construirter und stinkender Leibstühle gleich wieder verpesten lassen? Ein Raum, welcher einen verwesenden Misthaufen einschliesst, wird trotz aller Ventilation eine ekelhafte Wohnstätte, ein Herd für schlechte Luft bleiben. Erst wo die Reinlichkeit durch rasche Entfernung oder sorgfältigen Verschluss luftverderbender Stoffe nichts mehr zu leisten vermag, beginnt das Feld für die Ventilation. Es ist sicher kein Irrthum, wenn man in Rücksicht auf die Salubrität der Luft eines Hauses der Reinlichkeit den ersten und obersten Platz anweist: ihre Aufgabe ist es, alle fremdartigen Stoffe, welche die Atmosphäre verderben könnten, mit einer nimmermüden Sorgfalt zu entfernen, oder sie zu hindern, ihren Weg in die Luft des bewohnten Raumes zu nehmen.

Wenn ich in dem Folgenden von Reinhaltung der Luft eines Wohnraumes durch Ventilation spreche, so setze ich stets die Handhabung der grössten Reinlichkeit als selbstverständlich voraus. Gegen die Verunreinigung der Luft

durch die Ausscheidungen der Lungen und der Haut der Menschen vermag die Reinlichkeit nichts mehr auszurichten; gegen diese, gegen die Folgen der Respiration und Perspiration ist die Ventilation vorzugsweise gerichtet. Die wesentlichsten Ausscheidungsstoffe unserer Lungen und unserer Haut, so weit sie in die Luft übergehen, sind Kohlensäure und Wasser. Gleichzeitig mit diesen gehen stets noch geringe Mengen flüchtiger organischer Stoffe in die Luft über, die sich bei einiger Anhäufung durch den Geruch bemerkbar machen. Eine Luft, welche bereits die Gegenwart einer grösseren Menge von Ausdünstungsstoffen durch den Geruch verräth, kann nicht mehr für gesund und rein gehalten werden. Für empfindsame Geruchsnerve wird jedes bewohnte Zimmer mehr oder weniger Geruch haben, so dass wir uns nach einem Maassstabe umsehen müssen, der uns genau gewisse Grade der Luftverderbniss ohne Mitwirkung subjektiver Empfindungen zu bestimmen erlaubt. Es sind hier verschiedene Wege möglich, die Luft bewohnter Räume mit der freien reinen Atmosphäre zu vergleichen. Man könnte bemessen, um was die Luft in Folge der Respiration und Perspiration entweder an Wasser, oder Kohlensäure, oder an organischen Substanzen unter verschiedenen Umständen zunimmt. Alle drei Grössen werden stets proportional mit der Anzahl von Menschen zu- und abnehmen. Da der Wassergehalt der Luft selbst sehr verschieden ist, da wir bei der hygroskopischen Beschaffenheit unserer Baumaterialien und unserer Wandverkleidungen an ihnen zahlreiche Quellen zur Veränderung des Wassergehaltes der Luft in den Wohnungen haben, so wird der Wassergehalt der Luft nur ein sehr unsicheres Maass für die Grösse der Respiration und Perspiration und für deren Einfluss auf die Zimmerluft abgeben können. Die Menge organischer Stoffe würde allerdings einen sehr richtigen Maassstab abgeben, aber leider besitzen wir keine Methode, dieselben quantitativ

zu bestimmen. Somit bleibt uns kein anderer Anhaltspunkt, als die Kohlensäure, deren Gehalt in der freien Luft durchgehends nur gering ist, und nur Schwankungen von 4 bis 6 Zehntausend-Volumtheilen unterliegt. Ueberdiess haben wir in unsern Wohnzimmern keine anderen Quellen, aus denen Kohlensäure sich der Luft beimischen könnte, als Lungen und Haut der Bewohner, und endlich besitzen wir jetzt eine Methode, welche den Kohlensäuregehalt einer Luft sehr einfach und schnell ermitteln lässt. Aus diesen Gründen habe ich den Kohlensäuregehalt einer Zimmerluft als Maassstab für deren Güte gewählt, vorausgesetzt, dass die Anforderungen der Reinlichkeit im Voraus befriedigt sind. Zur Grundlage habe ich den Kohlensäuregehalt in Wohnzimmern genommen, die von Personen benützt werden, welche nach ihrer eigenen Wahl leben, welche sich erfahrungsgemäss in denselben behaglich befinden, wenn sie auch den grössern Theil des Tages in denselben verbringen. Diese empirische Grundlage scheint mir viel mehr Berechtigung zu haben, als jede willkürliche Annahme, oder jedes theoretische Raisonnement, aus dem man eine Grösse ableiten wollte. Le Blanc (Grassi p. 6) tolerirt einen Kohlensäuregehalt der Luft bis zu 5 Tausendtheilen, Poumet und Andere, welchen sich auch Grassi anschliesst, ziehen engere Grenzen, und wollen eine Luft nur für gut erklären, wenn sie nicht mehr als höchstens 2 bis 3 Tausendtheile Kohlensäure enthält. 2 bis 3 Tausendtheile sind allerdings sehr geringe Mengen, aber man darf nicht vergessen, dass die Kohlensäure nicht allein die Verderbniss der Luft ausmacht, man muss wohl bedenken, dass mit der Kohlensäure zugleich die organischen Stoffe der Luft aus Respiration und Perspiration zunehmen, und dass von diesen bereits sehr geringe, kaum nachweisbare Mengen hinreichend sind, eine Luft bis zu einem Grade zu verderben, dass sie auf gesunde Sinne eckelerregend wirkt. Der Kohlensäuregehalt allein

macht die Luftverderbniss nicht aus, wir benützen ihn bloss als Maassstab, wornach wir auch noch auf den grössern oder geringern Gehalt an andern Stoffen schliessen, welche zur Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure sich proportional verhalten.

Ich fand am 5. März 1857 in meinem kleinen Arbeitszimmer, circa 3000 Cubikfuss haltend, nachdem ich ohne Unterbrechung 4 Stunden darin zugebracht, 0,54 pro mille Kohlensäure. Den andern Tag, 6. März, 0,65 pro mille. Den 7., wo zeitweise auch mein Assistent in demselben beschäftigt war, 0,89 pro mille; den 13. März 0,61 und 0,64 pro mille; den 13. November 0,68. In einem andern, etwas grössern Zimmer des physiologischen Instituts, zur Zeit, als ich und einer meiner Schüler darin arbeiteten, ergaben sich am 5. Januar d. J. 0,740 pro mille Kohlensäure, am 8. Januar 0,611 pro mille. In einem Zimmer, 28 Fuss lang, 15½ Fuss breit und 18 Fuss hoch, befand sich am 20. December 1857 eine Gesellschaft von 4 Männern, von denen zwei rauchten. Nach 2½ Stunden betrug der Kohlensäuregehalt der Luft 0,87 pro mille. In allen diesen Fällen befanden sich die Personen in den betreffenden Lokalitäten ganz behaglich, ohne jede Belästigung, ohne Bedürfniss ein Fenster zu öffnen, oder den Raum zu verlassen. Das Mittel aus diesen sieben Beobachtungen beträgt 0,67 pro mille Kohlensäure.

Ich will nun den Kohlensäuregehalt einer solchen Zimmerluft untersuchen, unter deren Einfluss eine fühlbare Belästigung empfunden wird. Die übelriechende Luft des Arbeitssaales der Schwangeren im neuen Gebäuhause zu München, welche oben mitgetheilt wurde, enthielt im Mittel von fünf Versuchen, 2,4 pro mille Kohlensäure.

Im Hörsaale von Liebig's chemischem Laboratorium in München werden alljährlich Abendvorlesungen von 6 bis 7 Uhr für ein aus Herren und Damen gemischtes Publikum

gehalten. Von 5½ Uhr an versammelt sich dasselbe. Der Saal hat mit Abrechnung des Podestes, worauf die sich allmählig erhebenden Bänke stehen, circa 46,000 Cubikfuss und ist für 250 Zuhörer berechnet. Bei diesen Abendvorlesungen sind aber meist über 300 Personen anwesend, und der Saal gedrängt voll. Gegen Ende der Vorlesung ist die Luft meist etwas drückend und unangenehm, und wohl Niemand würde ohne Nachtheil für die Gesundheit im Stande seyn, diese Luft auf längere Zeit zu athmen.

Am 21. März 1857 zeigte die Luft des Hörsaales um

6 Uhr — 1,08 p. m. Kohlensäure

6 „ 30' 2,26 „ „ „

7 „ — 3,22 „ „ „

Bei einer Vorlesung am 23. März um

6 Uhr 5' 1,18 p. m. Kohlensäure

6 „ 30 2,33 „ „ „

7 „ — 3,22 „ „ „

Ich untersuchte auch die Luft eines Kneipzimmers in München, über deren schlechte Beschaffenheit von den meisten Gästen Klage geführt wurde. Das Zimmer hat circa 6000 Cubikfuss Inhalt. Am 24. Nov. 1857 waren 21 Personen anwesend, welche sich von 7¼ bis 9 Uhr versammelt hatten. 16 von diesen Personen rauchten Cigarren. Um 10 Uhr wurde die Luft untersucht; sie enthielt 3,8 pro mille Kohlensäure.

Am 1. December wurde bei Gegenwart von 20 Personen der Versuch zur nämlichen Zeit wiederholt, es ergaben sich 4,9 pro mille Kohlensäure. Die Klagen über schlechte Luft an diesem Abend waren allgemein.

Am 25. Januar 1858 untersuchte ich die Luft eines Schulzimmers. Dasselbe ist 29½ Fuss lang, 23½ Fuss breit und 15 Fuss hoch; hat 3 Fenster, und war von 70 Schülerinnen im Alter von 9 bis 10 Jahren besucht. Das Zimmer gehört zu den besten, die man gewöhnlich antrifft.

Die Kinder waren von 2—4 Uhr in der Schule. Unmittelbar ehe sie die Schule verliessen, wurde die Luft auf ihren Kohlensäuregehalt untersucht. Sie zeigte nach einer Bestimmung 7,16 pro mille, nach einer andern 7,23 pro mille. Die Temperatur der Luft des Schulzimmers war 15° R.

Aus diesen Versuchen geht zur Evidenz hervor, dass uns keine Luft behaglich ist, welche in Folge der Respiration und Perspiration der Menschen mehr als 1 pro mille Kohlensäure enthält. Wir haben somit ein Recht, jede Luft als schlecht und für einen beständigen Aufenthalt als untauglich zu erklären, welche in Folge der Respiration und Perspiration der Menschen mehr als 1 pro mille Kohlensäure enthält.

Zweite Frage: Wie gross ist der natürliche Luftwechsel in Zimmern und auf welche Weise lässt sich derselbe am zuverlässigsten bestimmen?

Die zweite Frage ist durch die Antwort auf die erste nothwendig geworden. Wir wissen aus der Physiologie, namentlich aus den Untersuchungen von Vierordt und Scharling, wie viel Kohlensäure ein Mensch stündlich in die Luft athmet. Die Ausscheidung von Kohlensäure durch die Haut ist sehr gering, während durch diese mehr Wasser als durch die Lungen austritt. Man kann als Durchschnitt annehmen, dass ein Mensch von mittlerer Grösse in der Minute 5 Liter Luft ausathmet, welche 4 Procent Kohlensäure enthält. Hieraus berechnen sich für 1 Stunde 300 Liter Luft mit 12 Liter Kohlensäure. 24,8 Liters kann man gleich einem bayrischen Cubikfuss nehmen.¹

Wenn ich 4 Stunden in meinem Arbeitszimmer verweile, so liefere ich 48 Liters oder circa 2 Cubikfuss Kohlensäure durch den Athem in die Luft des Zimmers. Das

¹ 1000 Litres = 1 Cubikmeter = 40,22350 bayerische Cubikfuss = 35,31658 englische Cubikfuss.

Zimmer enthält 3000 Cubikfuss Luft — deren anfänglicher Kohlensäuregehalt als den der freien atmosphärischen Luft zu 0,5 pro mille angenommen, befanden sich in derselben bereits 1,5 Cubikfuss. Die Respiration lieferte binnen 4 Stunden noch 2 Cubikfuss Kohlensäure dazu; es sollten sich somit 3,5 Cubikfuss oder 1,2 pro mille Kohlensäure in der Luft befinden; die Beobachtung weist aber nur 0,54 bis 0,68 pro mille nach. Wenn mithin die Kohlensäure nicht im Raume selbst absorbiert worden ist, so kann sie nur durch Luftwechsel verschwunden seyn.

Wir haben in unsern Wohnungen, wenn sie nicht ganz neu sind, keine Flächen, welche Kohlensäure absorbiren könnten. Der Aetzkalk im Mörtel und in der Verkleidung der Wände ist, wenn die Wände trocken sind, keine Quelle einer solchen Absorption. Die zunächst mit der Zimmerluft in Berührung stehenden Wandflächen werden bald in kohlen-sauren Kalk verwandelt; es beruht ja grossentheils hierauf die Erhärtung des Luftmörtels und die Fixirung aller Anstriche auf frischen Kalkwänden. Der etwaige Aetzkalkgehalt im Innern der Wand kommt hier nicht mehr in Betracht, denn sobald die Luft diesen erreicht, so ist der Fall des Luftwechsels bereits gegeben. Die Ursachen, welche die kohlen-säurehaltige Luft 1 und 2 Fuss tief in die Wand hinein-führen, führen dieselbe auch durch die Wand hindurch in's Freie, denn es ist unstatthaft, zu denken, dass die Luft sich in die Wand begäbe, um ihre Kohlensäure zu verlieren und dann als kohlen-säurefreie Luft wieder in's Zimmer zurückzukehren. Ein solcher Fall wäre nur theilweise denkbar, wenn wir nach Aussen einen hermetischen Verschluss hätten. Wenn aber die Luft durch die Wände durch in's Freie dringt, so kann es gleichgültig seyn, wie viel sie auf diesem Wege an ihrem Kohlensäuregehalt verliert.

Es lässt sich übrigens durch direkte Versuche beweisen, dass ausgetrocknete Mörtel einer Luft, die nicht mehr als

1 Procent (oder 10 pro mille) Kohlensäure enthält, keine merkliche Menge Kohlensäure entzieht. Wenn man Luft mit 8 pro mille Kohlensäuregehalt durch eine 1 Fuss lange Röhre leitet, welche mit an der Luft erhärtetem und trockenem Mörtel gefüllt ist, so verliert sie keine messbare Menge. Es stimmt das auch mit den Erfahrungen von Fuchs überein, welcher fand, dass Kalkhydrat an der Luft nur bis zu einem gewissen Punkte leicht Kohlensäure aufnimmt, nämlich bis die Hälfte des Aetzkalkes damit gesättigt ist. Er nimmt dann das Bestehen einer Doppelverbindung (Kalk-Hydrocarbonat) an, welches sich gegen eine nur wenig mit Kohlensäure beladene Luft nahezu indifferent verhält. Dessenwegen finden wir den Mörtel selbst in Jahrtausend alten Gebäuden manchmal noch theilweise ätzend, wenn wir ihn mit Wasser übergiessen.

Wie schwer Antheile unter 1 Procent Kohlensäure aus Gasgemischen durch trockenes Kalkhydrat zu entfernen sind, zeigt sich auch bei der fabrikmässigen Reinigung des Leuchtgases von Kohlensäure, was namentlich beim Holzgase schon oft beobachtet worden ist. Selbst in ganz frisch gefüllten Reinigern gelingt es nicht, dem Gas die letzten Antheile Kohlensäure zu entziehen, und bleiben meistens 4—5 pro mille noch darin enthalten. Um diese noch zu entfernen, ist eine viel längere Berührung mit dem Kalkhydrate vonnöthen.

Ich glaube nicht zu irren, wenn ich die Abnahme der Kohlensäure in einer Zimmerluft als einen sichern Maassstab für den Luftwechsel annehme, der in demselben stattfindet, vorausgesetzt, dass die Wände des Zimmers trocken, und das Gebäude nicht zu neu ist. Ich habe in meinem Arbeitszimmer im physiologischen Institute dahier, welches seit mehr als 3 Jahren bezogen ist, Versuche in dieser Richtung ausgeführt, deren Resultat ich nun mittheilen werde. Nachdem alle Fenster und Thüren des 3300 Cubikfuss haltenden

Zimmers, in dem mehrere Möbel und Schränke stehen, welche den Luftcubus auf etwa 3000 Cubikfuss reduciren, sorgfältig geschlossen waren, zündete ich am 7. März 1857 in einem gut ziehenden Windofen Holzkohlen an, von denen in 1 Stunde 595 Grammen verbrannten. Der Kohlensäuregehalt der Luft war

	Uhr	Min.	pro mille	Zimmertemperatur
um	12	30	6,00	bei 30° C.
„	1	—	3,07	„ 25° C.
„	1	30	2,04	„ 24° C.

Am 9. März wurde der Versuch wiederholt und in einer Stunde 2 Pfund Holzkohlen verbrannt. Kohlensäuregehalt der Luft

	Uhr	Min.	pro mille	Zimmertemperatur
um	11	30	14,09	bei 23,5° C.
„	11	34	13,18	—
„	12	30	5,12	„ 19° C.
„	1	30	2,15	„ 18° C.
„	2	30	1,20	„ 17° C.

Die Temperatur der äussern Luft blieb während des Versuches auf 0° C.

Am 20. Oktober 1857 wurde der Versuch wiederholt, aber die Kohlensäure aus doppelt kohlensaurem Natron und verdünnter Schwefelsäure entwickelt, weil beim Verbrennen der Kohlen trotz des lebhaftesten Zuges im Windofen stets eine erhebliche Quantität Kohlenoxydgas sich bildet, wodurch ich mir am 9. März ein zwar rasch vorübergehendes, aber sehr heftiges Unwohlseyn — eine Intoxication mit Kohlendampf — zugezogen hatte, welches mich beinahe an der Beendigung des Versuches, der weder das Oeffnen einer Thüre, noch eines Fensters erlaubte, gehindert hätte. — Nach völliger Beendigung der Entwicklung am 20. Oktober und Mischung der Luft mit einem grossen Fächer betrug der Kohlensäuregehalt derselben

	Uhr	Min.	pro mille	
um	12	15	4,84	bei 22° C.
"	12	55	3,94	" 23° C.
"	1	20	3,68	" 23° C.
"	2	—	2,98	" 22,75° C.
"	2	30	2,66	" 22,25° C.

Nun wurde ein Fenster, von 9½ Quadratfuss Fläche, 5 Minuten lang geöffnet, wieder geschlossen und die Luft nach 10 Minuten untersucht, sie zeigte

um 2 Uhr 45 Min. 2,38 pr. m. Kohlensäure bei 22° C.

Die Temperatur der äussern Luft betrug

um	12	Uhr	—	Min.	15° C.
"	12	"	55	"	19,4° C.
"	1	"	20	"	19,4° C.
"	2	"	45	"	18,7° C.

Am 11. December 1857 wurde der Versuch mit Kohlensäure aus doppelt kohlensaurem Natron wiederholt. Dieser Tag wurde gewählt, weil eine gleiche oder doch sehr ähnliche Differenz zwischen der Temperatur im Freien und im Zimmer zu erreichen war, wie am 9. März. Es war ein trüber, kalter Tag, wo die Temperatur im Freien nur geringen Schwankungen unterliegt. Bei diesem Versuche wollte ich den Einfluss kennen lernen, welchen ein möglichst sorgfältiges Verschliessen aller zufälligen Oeffnungen an Fenstern und Thüren auszuüben im Stande ist, so dass die Ventilation wesentlich nur durch Fussboden, Wände und Decke des Zimmers erfolgen konnte. Zu diesem Behufe wurden alle Fugen des Fensters und der beiden Thüren einige Tage zuvor mit gut geleimtem Schreibpapier und Kleister verklebt bis auf 1 Thürflügel, durch den man aus- und eingehen konnte. Als ich mich am 11. December eingeschlossen hatte, verklebte ich auch diesen und zuletzt das Schlüsseloch. Nach beendigter Kohlensäure-Entwicklung zeigte die Zimmerluft an Kohlensäure

	Uhr	Min.	pro mille	
um	12	45	4,21	bei 18° C.
"	1	15	2,91	" 18° C.
"	1	45	2,21	" 18° C.
"	2	15	1,76	" 18,5° C.

Bei Beginn des letzten Versuches wurde im Ofen Feuer gemacht. Dasselbe brannte trotz des sorgfältigsten Verschlusses aller Oeffnungen des kleinen Zimmers sehr lebhaft, so dass man augenfällig sah, dass die Luft, welche durch den Aschenfall nach dem Kamin strömte, jeden Augenblick von aussen wieder ersetzt werden musste. Da die Oefen so construirt sind, dass der Aschenfall und der Rost des Ofens jeder seine eigene Thüre, und zwar an verschiedenen Seiten desselben hatte, so liess sich mit dem Anemometer die Menge Luft, welche in den Ofen strömte, sehr leicht messen: sie betrug per Stunde 60 Cubikmeter. Einige Tage darauf bestimmte ich abermals den Zug des Ofens ohne den sorgfältigen Verschluss an Thüren und Fenstern; er betrug 62 Cubikmeter per Stunde. Eine so geringe Differenz möchte ich lieber auf andere hier maassgebende Umstände, als das Erschweren des Luftzutrittes durch Fenster und Thüren schieben, und selbst wenn sie hiedurch bedingt gewesen seyn sollte, so ist sie so klein, dass sie alle Bedeutung verliert. Als nach einer halben Stunde, während welcher Zeit das Thürchen zum Aschenfall völlig geöffnet blieb, die Luft wieder auf Kohlensäure untersucht wurde, zeigte sie um 2 Uhr 45 Minuten 1,17 pro mille bei 20,4° C. Temperatur. An dieser Stelle erwähne ich, dass bei allen vorausgehenden Versuchen die Ofenthüren und auch die Klappe im Ofenrohr geschlossen waren, so dass der Zug des Kamines mit dem Luftwechsel im Zimmer in keiner Verbindung stand.

Ich komme nun zur Erörterung der Frage, wie man die Abnahme des Kohlensäuregehaltes einer Zimmerluft

dazu benützen kann, den Luftwechsel während der treffenden Zeitabschnitte zu bemessen.

Vor allem muss man festhalten, dass bei dieser Art des Luftwechsels keine einfache Verschiebung oder Verdrängung der verdorbenen Luftmassen durch reine ohne gleichzeitige Vermischung in einander stattfinden kann. Mischt sich aber die einfließende frische Luft beständig mit der verdorbenen Luft, so sieht man ein, dass man, um z. B. 1000 Volume verdorbener Luft aus ihrem Raume gänzlich zu entfernen, viel mehr als 1000 Volume frischer Luft brauchen wird, bis die letzten Antheile verdorbener Luft entfernt sein werden. Man kann sich das Ventiliren geschlossener Räume ähnlich, wie das Auswaschen von Niederschlägen vorstellen, wo man stets ein sehr Vielfaches von reinem Wasser braucht, ehe man die gelösten, flüssigen Theile vollständig aus den festen zu entfernen vermag. Eine noch richtigere Vorstellung erhalten wir, wenn wir uns ein Gefäss, z. B. ein Fass mit einer Zufluss- und Abflussröhre an zwei verschiedenen Punkten denken. Das Fass enthalte eine gefärbte Flüssigkeit, welche in fortwährender Bewegung erhalten werden kann. Durch die Zuflussröhre führen wir eine ungefärbte Flüssigkeit ein, welche sich mit der gefärbten Flüssigkeit mischt. Diese fließt in dem Maasse ab, als die ungefärbte Flüssigkeit zuströmt. Wenn die Farbe intensiv ist, so werden wir sehr oftmal dem Inhalt des Fasses ungefärbte Flüssigkeit müssen zulaufen lassen, ehe die Flüssigkeit ganz ungefärbt abläuft. Die Färber wissen am besten, welche grosse Mengen fließenden Wassers nothwendig sind, um aus den Zeugen Flüssigkeiten von intensiver Farbe auszuwaschen; denn wie das ungefärbte Wasser damit in Berührung kommt, so verdrängt es nicht einfach die farbige Flüssigkeit, sondern mischt sich damit und wird dadurch selbst gefärbt. Die gänzliche Entfernung gelingt nur durch eine sehr allmählig fortschreitende

Verdünnung. Da die Beweglichkeit und Mischbarkeit luftförmiger Körper noch viel grösser ist und leichter von Statten geht, so können wir von vornherein annehmen, dass die Reinigung einer verdorbenen Zimmerluft enorme Mengen frischer Luft consumiren wird.

Wenden wir nun diese Betrachtung auf den Kohlensäuregehalt der Luft an. Die Quantität der durch die Ventilation zuzuführenden Luft muss die Quantität der Luft, welche in der gleichen Zeit ausgeathmet wird, wenigstens in dem Verhältnisse übertreffen, in welchem der Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft grösser ist, als die Differenz zwischen dem Kohlensäuregehalte der freien Luft und einer Luft, in welcher der Mensch erfahrungsgemäss auf längere Zeit sich behaglich und wohl befindet. Nun ist aber der Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft 4 Procent oder 40 pro mille, der mittlere Kohlensäuregehalt der freien Luft circa 0,5 pro mille, und der Kohlensäuregehalt einer guten Zimmerluft nach den oben angegebenen Untersuchungen durchschnittlich nicht über 0,7 pro mille. Hieraus ergibt sich $\frac{40}{0,2} = 200$.

Mit Worten ausgedrückt, lautet der Satz: Wenn ein Mensch, oder eine Anzahl von Menschen in einem geschlossenen Raume athmen, so müssen wir in diesem Raume das 200fache Volum der ausgeathmeten Luft an frischer Luft in jedem Zeitmomente zuführen, wenn die Luft im Raume stets gut bleiben soll. Wenn hienach ein Mensch stündlich 300 Liter Luft in einem Zimmer ausathmet, so müssen demselben in dieser Zeit 60000 Liters oder 60 Cubikmeter frischer Luft zugeführt werden. — So enorm diese Menge erscheint, so hat sie sich in der Praxis dennoch als unumgänglich nothwendig und als richtig bemessen erwiesen. Man ist in Frankreich auf ganz anderem Wege, als ich, zur nämlichen Grösse gelangt. Man hat in einigen Spitälern

von Paris Ventilationsapparate angewendet, welche mit mechanischer Kraft Luft in die Krankensäle durch Röhren eintreiben. Die Menge der in den Röhren einströmenden Luft kann mit Anemometern sehr genau gemessen werden. Man war anfangs sehr unsicher darüber, wie viel frische Luft man für einen Kranken in der Stunde verlangen soll. Anfangs glaubte man, 10 Cubikmeter (400 Cubikfuss) in der Stunde könnten für 1 Kranken hinreichend seyn, — es zeigte sich aber, dass bei dieser Ventilation die Luft in den Sälen einen sehr üblen Geruch hatte. Man stieg auf das Doppelte, auf 20 Cubikmeter — aber das Resultat war nicht viel besser. Endlich entschloss man sich, so kräftig zu ventiliren, bis die Luft in den Sälen rein blieb, gleichviel, welche Mengen frischer Luft man dazu brauchen würde, und nun bestimmte man die Menge Luft, welche unter diesen Umständen in die Säle einströmte. Man fand, dass 60 Cubikmeter per Stunde und Kranken nothwendig waren, um die Luft gut zu erhalten. Diese 60 Cubikmeter Luft per Stunde und Kranken werden nun in Frankreich unabänderlich von jedem Ventilationsapparate als Minimum gefordert.

Ich will nun untersuchen, in wie weit die freiwillige oder natürliche Ventilation der Wohnzimmer diesen Anforderungen genügt. Zunächst muss ein Weg gefunden werden, die Abnahme der Kohlensäure in ein kubisches Maass für die zufließende frische Luft zu verwandeln. Es ist offenbar, dass wir in der wechselnden Grösse des Kohlensäuregehaltes der Zimmerluft, und im Kohlensäuregehalte der freien Luft die Elemente der Rechnung suchen müssen. Professor Dr. Seidel, hatte die Güte, mir für diesen Zweck eine mathematische Formel zu construiren, nach welcher sich die zwischen dem Zeitraume zweier Kohlensäurebestimmungen zufließende Menge frischer Luft berechnen lässt. Der Rechnung liegt die ohne Zweifel richtige Annahme zu Grunde, dass die frische Luft sich beständig

mit der Zimmerluft mische, und dass deshalb auch beständig eine Mischung von alter und neuer Luft den Raum verlasse.

Wenn m das Volum Zimmerluft, p deren anfänglicher Kohlensäuregehalt per mille, ferner a der Kohlensäuregehalt des Volums m nach einer bestimmten Zeit, ferner q der Kohlensäuregehalt der frischen Luft ist, so findet man das Volum frischer Luft y , welches inzwischen einfließen musste, um den Kohlensäuregehalt des Volums m von p auf a zu erniedrigen, in folgender Formel ausgedrückt:

$$y = 2,30258 \dots m \cdot \text{Log.} \frac{p-a}{a-q}$$

Log. bedeutet den tabulären Logarithmus, welcher als Differenz zweier Logarithmen gefunden wird:

$$\text{Log.} \frac{p-a}{a-q} = \text{Log.} (p-a) - \text{Log.} (a-q)$$

In der folgenden Tabelle finden sich die oben mitgetheilten Versuche zusammengestellt, und es ist angegeben, wie viel auf 1000 Cubikfuss Zimmerluft zwischen 2 Beobachtungen frische Luft sich beigemischt hat. Der Kohlensäuregehalt der freien Luft ist stets zu 0,5 pro mille angenommen.

Laufende Zahl der Beobachtungen.	Der Beobachtung.		Kohlensäure-Gehalt der Zimmerluft in 1000 Volum.	Berechneter Luftwechsel auf 1000 Cub.-Fuss Zimmerluft in Cub.-Fussen.	Temperatur		Luftwechsel auf 1000 Cub.-Fuss per Stunde in Cubik-Fussen.	Mittel per Stunde in Cub.-Fussen.
	Stunde.	Minute.			im Zimmer.	im Freien.		
I. Beobachtungen am 7. März 1857.								
1	12	30	6,00	—	30	6	—	} 1273,1
2	1	—	3,07	761	25	—	1522	
3	1	30	2,04	512,1	24	—	1024,2	
II. Beobachtungen am 9. März 1857.								
4	11	30	14,09	—	23,5	0	—	} 1002,2
5	11	34	13,18	69,3	—	—	1039,5	
6	12	30	5,12	1009,8	19	—	1082,6	
7	1	30	2,15	1029,5	18	—	1029,5	
8	2	30	1,20	857,4	17	0	857,4	
III. Beobachtungen am 20. Oktober 1857.								
9	12	15	4,84	—	22	15	—	} 296,5
10	12	55	3,94	232,1	23	19,4	348,1	
11	1	20	3,68	78,7	23	19,4	188,8	
12	2	—	2,98	248,4	22,75	—	372,6	
13	2	30	2,66	138,2	22, 2	—	276,4	
14	2	45	2,38	138,8	22	18,7	555,2	
IV. Beobachtungen am 11. December 1857.								
15	12	45	4,21	—	18	— 1	—	} 719,9
16	1	15	2,91	431,4	18	—	862,8	
17	1	45	2,21	343,1	18	—	686,2	
18	2	15	1,76	305,4	18,5	—	610,8	
19	2	45	1,17	631,6	20,4	— 1	1263,2	

Diese vier Beobachtungsreihen und ihre Ergebnisse erheischen noch einige Bemerkungen. An allen vier Tagen zeigt sich, dass der Luftwechsel Anfangs am grössten ist, und gegen das Ende etwas abnimmt. Diess beruht auf zwei Ursachen. Erstens ist zu Anfang der Versuche meist die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen grösser, als gegen das Ende der Versuche, und dieser Einfluss ist

wohl der bedeutendere; dann ist aber zweitens nicht zu vergessen, dass die Versuche an dem Gebrechen leiden, dass die Entwicklung von Kohlensäure in die Luft zu keiner Zeit ganz aufhörte, weil ich nothwendigerweise im Zimmer bleiben musste, um die Versuche auszuführen. Die aus meinen Lungen stammende Kohlensäure hat nur einen geringen Einfluss auf das Resultat der Rechnung bei einem grossen Gehalt der Zimmerluft an Kohlensäure, wie er zu Anfang der Versuche ist, hingegen einen sehr merklichen bei einem geringen Gehalte, wie er stets am Schluss der selben sich ergibt. Nimmt man z. B. den Versuch 8 und rechnet die während einer Stunde entwickelte Kohlensäure (circa 0,5 Cubikfuss) aus der Zimmerluft (3000 Cubikfuss) hinweg, so ergäbe sich ein Kohlensäuregehalt derselben von nur 1,0 pro mille, wornach sich der Luftwechsel per Stunde wesentlich höher, als auf 857 Cubikfuss per 1000 Cubikfuss Zimmerinhalt berechnen würde.

Der Versuch 11 ist mit einem Fehler in der Bestimmung der Kohlensäure behaftet. Zwischen dem Versuche 9 und 10 fand ein Luftwechsel statt, der per Stunde und 1000 Cubikfuss sich auf 348 Cubikfuss berechnet. Zwischen den Versuchen 10 und 11 hätte er aber nur 188, hingegen zwischen 11 und 12 wieder 372, also mehr als Anfangs betragen. Es ist offenbar, dass in dem Versuche 11 der Kohlensäuregehalt zu hoch gefunden wurde, wahrscheinlich in Folge unrichtigen Aufschreibens oder Ablesens. Dadurch wird die Differenz und mit ihr der Luftwechsel zwischen Versuch 11 und 10 zu gering, zwischen 11 und 12 aber in gleichem Verhältnisse zu gross. Der richtig ausgeführte Versuch 12 compensirt nothwendig den Fehler des Versuches 11. In der That ist das arithmetische Mittel von $188,8 + 376,6$ gleich 280, was weniger als das vorausgehende 348 und mehr als das nachfolgende 276 ist.

Eine kleine Ausnahme von der Regel, dass der Luft-

wechsel mit dem Sinken des Kohlensäuregehaltes der Zimmerluft sich stets etwas geringer berechne, bildet auch der Versuch 5, der mir übrigens von besonderem Interesse scheint. Ich begann um 11 Uhr 30 Minuten (Versuch 4) zwei neben einander stehende Flaschen mit Luft zu füllen. Der Zeitraum, der zwischen der Beendigung der gleichen Operation an der einen und der andern Flasche verfloss, betrug 4 Minuten. Ich hoffte bei der Untersuchung von 5 nahezu das gleiche Resultat, wie bei 4, zu erhalten, war aber über die grosse Differenz im Kohlensäuregehalte sehr überrascht. Meine Methode der Kohlensäurebestimmung ist so genau und so leicht auszuführen, dass sie auf $\frac{1}{2}$ Zehntausendstel jedenfalls sicher ist; hier fand ich bereits nach 4 Minuten eine Differenz von nahezu 1 Tausendstel. Berechnet man aber nach der Formel von Seidel die Ventilation zwischen Versuch 4 und 5 auf die Stunde, so erhält man ein ähnliches Resultat, als wenn man sie aus den Differenzen von Versuch 5 und 6 oder 6 und 7 berechnet. Diese Uebereinstimmung gilt mir als eine Garantie für die Richtigkeit sowohl der Voraussetzungen, als der Methode, deren ich mich zur Entscheidung der vorliegenden Fragen bediente.

Bei Berechnung der Mittel der vier Beobachtungsreihen sind die Versuche 14 und 19 unberücksichtigt geblieben, weil sich diese auf wesentliche Aenderungen in den Umständen beziehen. Beim Versuch 14 wurde der Einfluss des Oeffnens eines Fensters untersucht, beim Versuche 19 der Einfluss des brennenden Feuers in einem Ofen, der von innen geheizt werden kann.

Da das Zimmer, in dem diese Versuche gemacht wurden, circa 3000 Cubikfuss Inhalt hat, so ergibt sich im

	Cubikfuss
Versuch I am 7. März eine stündliche Ventilation von	3819,3
II „ 9. „ „ „ „ „	3006,6

	Cubikfuss
Versuch III am 20. Okt. eine stündliche Ventilation von	889,5
„ IV „ 11. Dec. „ „ „ „	2159,7
oder in runden Zahlen I = 95 Cubikmeter per Stunde	
II = 74	„
III = 22	„
IV = 54	„

Die freiwillige Ventilation in einem Zimmer ist mithin so bedeutend, aber zugleich so veränderlich, dass es sich sehr der Mühe lohnt, alle Momente genauer kennen zu lernen, welche darauf Einfluss haben. Und das führt uns zur Erörterung der dritten Frage.

Dritte Frage: Welche Verhältnisse wirken vermehrend oder vermindernd auf die Grösse des natürlichen Luftwechsels in den Wohnzimmern ein?

Den hervorragendsten Einfluss übt, wie uns gleich der erste Blick auf die obige Zusammenstellung zeigt, die Differenz der Temperatur im Zimmer und im Freien. Bei dem Versuch I betrug die durchschnittliche Differenz

	20°		und die Luftmenge 95 Cubikmet.
II	19°	„	75 „
III	4°	„	22 „
IV	19°	„	54 „

Der Versuch IV, bei dem Fenster und Thüren verklebt waren, kann nicht direkt mit den übrigen dreien verglichen werden; aber er zeigt zur Evidenz, dass eine merkliche Differenz der Temperatur mehr Luftwechsel in einem Zimmer hervorbringt, als ein etwas dichter oder loserer Verschluss durch Thüren und Fenster. Die wichtigsten Folgerungen für die Praxis gehen aus diesem Verhältnisse hervor. Vor Allem sehen wir, dass die Luft in den ohnehin meist überfüllten Wohnungen unserer Armen im Winter aus zwei Gründen sehr nachtheilig auf ihre Gesundheit wirken muss. Sie haben kein Holz, um einzuheizen, oder mit

andern Worten, eine merkliche Differenz der Temperatur der Zimmerluft und der freien Luft herzustellen. Sie frieren deshalb nicht bloss in ihren Wohnungen, es verdirbt die Luft ihrer Zimmer auch in einem viel höheren Grade durch Respiration und Perspiration. Das erklärt auch theilweise den grossen Unterschied in der Wirkung kalter Luft im Freien und kalter Luft in geschlossenen Zimmern auf unsere Gesundheit, und rechtfertigt die Unterstützung der Armen mit Brennmaterial im Winter als eine sanitäts-polizeiliche Maassregel von grosser Bedeutung und Tragweite.

Im Sommer, oder richtiger bei einer Lufttemperatur, wo das Einheizen nicht mehr nöthig ist, steht uns ein sehr einfaches Mittel zu Gebot, auch bei geringen Temperatur-Differenzen den Luftwechsel bedeutend zu steigern, das ist das Oeffnen der Fenster. Es ist klar, dass bei gleich bleibendem Durchmesser aller Oeffnungen in unsere Wohnungen bei grossen Temperatur-Differenzen mehr Luft aus und ein gehen wird, als bei geringen Differenzen, aber eben so gewiss ist, dass bei gleichen Differenzen mehr Luft durch grössere, als durch kleinere Oeffnungen gehen wird. In der Vergrösserung der Oeffnungen haben wir deshalb ein wirksames Mittel der Ventilation. Um dieses anschaulich zu machen, habe ich bei dem Versuche III, wo die Temperatur-Differenz nur 4° C. betrug, die Beobachtung 14 ausgeführt. Während die vorausgehende Beobachtung 13 bei geschlossenen Fenstern eine Ventilation von 276 Cubikfuss oder nahezu 7 Cubikmeter per Stunde und 1000 Cubikfuss ergab, erhielt ich bei Oeffnung eines Fensterflügels von 9½ Quadratfuss Fläche gleich das doppelte Luftquantum, 14 Cubikmeter. Hieraus ersieht man aber ferner, wie wesentlich die Grösse der Fenster und ihr Verhältniss zum Wohnraume ist. Die Oeffnung des einen Flügels war noch nicht genug, um für mein 3000 Cubikfuss haltendes Zimmer die Normalquantität Luft (60 Cubikmeter per Mann und

Stunde) zu liefern (es berechnen sich nämlich nur 52 Cubikmeter), aber ich sehe mit voller Bestimmtheit, dass ich weit mehr, als das Normalquantum erhalten hätte, wenn ich auch noch den zweiten Fensterflügel geöffnet hätte.

Wir sehen hieraus auch, dass das Oeffnen eines Fensters für die Ventilation einen sehr verschiedenen und relativen Werth hat, und wir wissen auch längst, dass wir, je nachdem Temperatur und Wind aussen sind, das Fenster eines Zimmers verschieden lang offen zu halten haben, um gut zu lüften. Im Winter zeigt sich eine halbe Stunde so wirksam, als im Sommer ein halber Tag.

Würde constatirt seyn, wie gross die Oeffnung in der Wand bei Gleichheit der Temperaturen innen und aussen zu seyn hat, um den Bedürfnissen der Ventilation zu entsprechen, so könnte man für jeden Grad der steigenden Temperaturdifferenz die Oeffnungen verhältnissmässig verkleinern. Auf Grund dieses Principes lassen sich sogar selbstthätige Apparate denken, welche z. B. durch Metall- (Zink-) Stangen bewegt werden, deren eine Abtheilung im Zimmer, die andere in der freien Luft stehen müsste, und welche im Maasse ihrer verschiedenen Ausdehnung durch die Wärme als bewegende Kraft auf einen Mechanismus in der Art wirkten, dass bei Gleichheit der Temperaturen die Oeffnung ganz frei wäre, und bei steigenden Differenzen mehr und mehr geschlossen würde. Ein solcher Apparat müsste gleichmässig functioniren unter der Voraussetzung, dass im Raume, welcher bewohnt wird, die Luft beständig einerlei Temperatur (z. B. 20° C. oder 16° R.) haben würde, und ausser der Temperatur kein weiteres Moment auf den Luftwechsel wirken könnte. Das ist nun aber beides nicht immer der Fall.

Aus den Beobachtungen 18 und 19 lässt sich eine Vorstellung über den Einfluss des Feuers in einem Ofen gewinnen, der von innen geheizt wird. Die freiwillige

Ventilation im ganzen Zimmer betrug im Mittel der vorausgehenden Bestimmungen 54 Cubikmeter per Stunde; bei diesen war die Communication der Zimmerluft mit dem Kamine abgesperrt. Als dieselbe beim Versuche 19 hergestellt war, und ein lebhaftes Feuer im Ofen brannte, erhob sich der natürliche Luftwechsel unter sonst gleichen Umständen auf 94 Cubikmeter per Stunde, was eine Zunahme von 40 Cubikmetern ergibt. Wir können hieraus den Werth des Zuges in einem Ofen für die Ventilation bemessen. Für einen einzelnen Menschen hat dieser Zug noch eine wesentliche Bedeutung, aber für eine grössere Anzahl von Menschen, von denen jeder 60 Cubikmeter per Stunde bedarf, sinkt sein Werth zur Bedeutungslosigkeit herab. Ich habe auch grössere Oefen, als der in meinem Arbeitszimmer, welches nur circa 75 Cubikmeter (3000 Cubikfuss) Inhalt hat, mit Hilfe des Anemometers darauf untersucht, wie viel sie Luft verzehren. In den günstigsten Fällen habe ich etwas mehr als 90 Cubikmeter per Stunde gefunden. Man könnte also den Luftwechsel, der in einem von mehreren Menschen bewohnten Saale über den natürlichen Luftwechsel hinaus durch den Zug eines ohne Unterbrechung geheizten Ofens verursacht wird, höchstens für $1\frac{1}{2}$ Menschen genügend erklären. Es begreift sich daraus die Fruchtlosigkeit aller Bemühungen, die Luft stark bewohnter Zimmer bloss dadurch rein zu erhalten, dass man den Ofen von innen heizt. Das kann nur einen Werth für sehr schwach bewohnte Zimmer haben, in denen die natürliche Ventilation bereits gross ist. Zudem ist nicht zu übersehen, dass auch dieser geringe Werth für bewohntere Säle fast ganz verschwindet, wenn nicht geheizt wird, und das geschieht gerade zu Zeiten, wo die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen sehr gering wird, und mit dieser auch die natürliche Ventilation sehr herabsinkt.

Ich weiss allerdings, dass ich mit diesem Ausspruche

gegen das Vorurtheil einer grossen Menge verstosse, und namentlich der Liebhaberei für englische oder welsche Kamine nahe trete. Ich hatte in dieser Beziehung früher selbst andere Vorstellungen, wurde aber durch meine quantitativen Untersuchungen zu den wesentlichen Berichtigungen gezwungen, die ich eben angeführt habe.

Was ferner einen merklichen Einfluss auf die natürliche Ventilation unserer Wohnungen ausübt, das ist die Geschwindigkeit der Luft im Freien. Es ist eine alte Erfahrung, dass wir viel mehr heizen müssen, wenn es kalt und windig, als wenn es kalt und windstill ist. Ich habe übrigens diesen Einfluss noch nicht quantitativ untersucht, und kann hierüber keine Zahlenangaben machen. Die Untersuchung ist übrigens leicht nach den nämlichen Principien durchzuführen, wie die vorigen. Man hätte in einem Wohnzimmer, dessen natürliche Ventilation bei einer gewissen Temperaturdifferenz man kennt, die Abnahme der Kohlensäure bei verschiedenen Windstärken der freien Luft zu beobachten. Die Windstärken sind leicht durch die Neumannschen Anemometer zu bestimmen.

Was unter allen Umständen von hervorragender Wichtigkeit bei der natürlichen Ventilation unserer Wohnungen seyn wird, das ist die grössere oder geringere Porosität des Baumaterials. Dass unsere Baumaterialien und die Art ihrer Zusammenfügung keinen luftdichten Verschluss gegen die äussere Atmosphäre bilden, wird wohl von vornherein angenommen werden dürfen. Es handelt sich zunächst um den Betrag der Wirkung, welche zu Gunsten der Ventilation auf diesem Wege ausgeübt werden kann. — Dass die Grösse bei Wänden aus Ziegelsteinen eine sehr bedeutende seyn müsse, geht ganz deutlich aus den Versuchen 15—19 am 11. December hervor, bei denen alle Fugen an Fenstern und Thüren sorgfältig verklebt waren. Die Ventilation war an diesem Tage nur ein Viertel geringer, als am 9. März (Beobachtungen 4—8), wo die Temperaturdifferenz einen Grad mehr

betrug, und alle Fenster und Thüren wohl geschlossen, aber nicht verklebt waren. Siehe S. 81.

Wenn ich noch irgend einen Zweifel darüber gehabt hätte, ob dieser bedeutende Luftwechsel in einem nur 75 Cubikmeter haltenden Zimmer wirklich durch das Mauerwerk Statt finde, so hätten mich frühere Versuche, die ich über die Porosität von Mörtel, Ziegelstein und Holz anstellte, davon gänzlich überzeugt. Ich habe bereits im Jahre 1851 (Dinglers polytechnisches Journal) in einem Artikel über Ofen- und Luftheizung erwähnt, dass die Eigenschaft der Porosität bei unserem Baumaterial eine wichtige sanitätische Rolle spiele. Um diese Thatsache anschaulich zu machen, kann man jeden gewöhnlichen Ziegelstein benützen. Man überzieht von den sechs jeden Ziegelstein begränzenden Flächen vier davon mit einer der Luft undurchdringlichen Masse, aus gelbem Wachs, Oel und Harz, in der Art, dass zwei gegenüber liegende Flächen frei bleiben. Man streicht und verbindet diese Masse mit erwärmten Spateln auf den Stein, wie ein Pflaster auf Leinwand. Nun legt man Bleche oder Platten von der Grösse der beiden gegenüberstehenden, vom Wachsüberzuge frei gebliebenen Flächen auf diese. Die Bleche haben in der Mitte ein etwa $\frac{1}{4}$ Zoll weites Loch, in welches je eine Röhre von ein Paar Zoll Länge luftdicht eingepasst, am besten eingelöthet wird. Sind die Bleche oder Platten auf die freien Flächen des Ziegelsteins aufgelegt, so werden sie an ihren Rändern mit der nämlichen klebenden Masse, womit man den Stein überzogen hat, luftdicht mit den vier überzogenen Flächen verbunden. Der ganze Apparat stellt nun gleichsam eine Röhre von $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser dar, welche von einer Ziegelsteinmasse von bestimmter Oberfläche und Dicke unterbrochen wird. Bläst man nun zu einem Rohre hinein, während man die Mündung des gegenüber liegenden etwas unter Wasser hält, so wird die Luft, so viel man auf der freien Fläche durch den Ziegelstein blasen

kann, in der gegenüber stehenden Röhre wieder gesammelt, unter Wasser mit Geräusch und in Blasenform austreten, da sie seitlich nirgends entweichen kann.

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist die Porosität des Mörtels. Der Mörtel ist dasjenige Material, welches bei dem verschiedensten Baumaterial (Ziegelstein, Bruchstein, Sandstein) als Verbindungsmittel, und in der ganzen civilisirten Welt als Verkleidung des Innern, und meistens auch des Aeussern der Gebäude benützt wird. Der Mörtel, dieses Gemenge, das man gewöhnlich aus 1 Theil gelöschtem Kalkbrei und 2 Theilen Sand bereitet, ist der ganzen civilisirten Welt gemeinsam; wir verwenden ihn in unsern Gebäuden bei jeder möglichen Verschiedenheit des Baumaterials. Ich habe mir Mörtel aus einem alten Gebäude verschafft, der sehr hart geworden war. Ich liess ihn zu einem möglichst cylindrischen Stücke behauen, richtete ihn in ähnlicher Weise vor, wie ich oben bei dem Ziegelsteine angegeben, und fand dass man durch das Mörtelstück sehr leicht Luft blasen kann. — Beispiel von den Weissdecken S. unten §. 112.

Diese Permeabilität für Luft verliert aber der Mörtel gänzlich, sobald er an den beiden, vom Wachsüberzuge freien Flächen, oder selbst nur an einer derselben, hinlänglich mit Wasser benetzt wird. Ziegelstein verhält sich ähnlich gegen das Wasser, ebenso Sandstein. Die Poren, welche sonst der Luft mit Leichtigkeit den Durchgang gestatten, sind nun mit Wasser verschlossen, welches bei der feinen Vertheilung so fest adhärirt, dass es durch mechanische Kraft von der Luft nicht verdrängt werden kann. Während sonst die geringste Spannung der Luft hinreicht, sie durch den Mörtel hindurch zu bewegen, kann man bei befeuchtetem Mörtel das Hundertfache der Kraft anwenden, und man sieht durch denselben dennoch nicht eine einzige Luftblase austreten. — Mit der Verdunstung des Wassers wird der Mörtel wieder durchgängig für die Luft.

Aus diesen Thatsachen erhellt klar, welchen Einfluss nasse und trockene Wände auf den Luftwechsel in unsern Gebäuden haben müssen. Um die Durchgängigkeit für Luft nicht nur an den einzelnen Bestandtheilen (Stein und Mörtel) einer Wand nachzuweisen, sondern um sie auch an der fertigen Wand selbst zeigen zu können, liess ich auf einer luftdichten Unterlage (z. B. einer Platte von Gusseisen) durch einen Maurer ein Stück Wand aus Ziegelstein und Mörtel aufführen, welches 2 Fuss Höhe, 2 Fuss 6 Zoll Breite und 1 Fuss 2 Zoll Dicke (1 Stein Stärke) hatte. Die schmalen Flächen wurden mit Gyps überzogen, die beiden gegenüberstehenden grössern Flächen mit dem gewöhnlichen Bewurfe versehen, der wesentlich nichts Anderes, als gleichfalls Mörtel ist. Nachdem dieses Mauerstück in der Luft eines Zimmers mehrere Wochen lang gestanden hatte und ziemlich ausgetrocknet war, wurde es ganz ähnlich wie oben der einzelne Ziegelstein, auf den mit Gyps bekleideten Flächen mit der Mischung von Wachs, Oel und Harz luftdicht überzogen. Auf die beiden gegenüber stehenden, mit einem dünnen Mörtelüberzuge versehenen Flächen wurden mit einem Rohre von $\frac{1}{3}$ Zoll Durchmesser versehene Metallplatten gelegt, und dieselben durch Klemmschrauben beiderseitig angedrückt. Nun wurden die Ränder der Platten mit der Wachsmasse luftdicht auf die Mauer aufge kittet und mit den bereits gedichteten Flächen in der Art verstrichen, dass keine seitliche Entweichung der Luft möglich war, sondern dass jede Entweichung nur durch das Mauerstück erfolgen sollte. Die von den Platten bedeckte freie Fläche, auf welcher die Luft durch die Wand gehen konnte, betrug auf jeder Seite circa 3,5 Quadratfuss. Da ein solches Stück Wand ein Gewicht von mehreren Centnern hat, so thut man gut, es auf einer Stelle errichten zu lassen, wo es stehen bleiben kann und wo die Beobachtungen daran gemacht werden sollen.

Mit einem so vorgerichteten Mauerstücke lassen sich

nun verschiedene Beobachtungen ausführen. Verbindet man mit dem Rohre der einen Seite ein Kautschuk- oder Glasrohr, dessen Ende man einige Linien tief unter Wasser bringt, und bläst mit einem Blasbalg, einem Gasometer oder am einfachsten mit dem Munde Luft auf die Wandfläche, so geht so viel durch die Ziegelsteine und die Mörtelfugen hindurch nach der andern Seite, dass sie in dem gegenüber liegenden, im Verhältniss zur Wandfläche engen Rohre als lebhafter Strom erscheint, der mit lebhaftem Geräusch durch das Wasser braust. So überraschend dieser Versuch ist, und so bedeutend die Permeabilität der Backsteinwände für die Luft dadurch erscheint, so darf man sich von der Geschwindigkeit des Durchgangs der Luft durch Steine und Mörtel doch keine zu grosse Vorstellung machen. Der lebhafte Strom, den wir durch ein Rohr von etwa 12,5 Quadratlinien Querschnitt austreten sehen, geht durch eine Wandfläche, welche 3,5 Quadratfuss Querschnitt hat. Dieser übertrifft den Querschnitt des Rohres um das 2860fache. Da sich die Geschwindigkeit der Bewegung gleicher Luftmassen binnen gleicher Zeiten umgekehrt wie der Querschnitt der Leitungen verhält, so ist klar, dass die Geschwindigkeit der Luft im Rohre auf die ganze Wandfläche vertheilt, eine sehr geringe, für unsere Sinne nicht mehr wahrnehmbare seyn muss. Angenommen die Geschwindigkeit der Luft im Rohre von 12,5 Quadratlinien Querschnitt sey 3 Meter (= $10\frac{1}{4}$ Fuss bayer.) in der Secunde, was bereits ein lebhafter Wind ist, der ein Kerzenlicht ausbläst, so ist die Geschwindigkeit auf der ganzen Wandfläche von 3,5 Quadratfuss doch nur ein Unbedeutendes mehr als 1 Millimeter, oder nicht einmal eine halbe Linie in der Secunde. Da unsere Sinne aber für gewöhnlich eine Luftbewegung selbst von mehr als 1 Fuss in der Secunde, also eine um das 200fache raschere Bewegung bereits nicht mehr wahrnehmen, so vermögen wir natürlich auch die beständig durch die Wände fliessende Luft

mit unserm Gefühle nicht mehr wahrzunehmen.¹ — Nerven von krankhaft gesteigerter Reizbarkeit können übrigens selbst einen so geringen Strom empfinden, namentlich wenn die einfließende Luft eine von der Zimmerluft verschiedene Temperatur besitzt, und häufig behaupten Kranke, deren Bett an einer Wand steht, die gegen das Freie sieht, dass sie den Zug von der Wand spüren. Ihre Klagen verstummen, wenn man passende Schirme zwischen das Bett und die Wand bringt.

Dieser Versuch gibt uns übrigens eine richtige Vorstellung von der grossen Menge Luft, die wir durch die Wände erhalten können. Nehmen wir eine Wand 6 Meter lang und 5 Meter hoch, und auf der ganzen Fläche nur eine Geschwindigkeit der Luft von $\frac{1}{2}$ Millimeter in der Secunde, mithin eine so geringe Geschwindigkeit, dass wir sie weder mit unserm Gefühle, noch mit irgend einem Instrumente wahrzunehmen im Stande sind, so beträgt die in 1 Stunde durch die Wand dringende Luft dennoch 54 Cubikmeter oder circa 2160 bayer. Cubikfuss.

An diesem isolirten Wandstücke, an dem vermöge der Vorrichtung die Luft durch die Wand geht, ohne dass sie seitlich entweichen kann, lässt sich auch mit Leichtigkeit zeigen, dass jeder Windstoss auf die Aussenseite einer Wand eine Bewegung auf der innern Seite derselben im Zimmer hervorruft. Lässt man auf der einen Seite ein Glasrohr unter Wasser tauchen, und drückt man auf der andern Seite mit der Hand auf das Metallblech, ohne sein Rohr zu verschliessen, so bewegt sich auf der andern Seite die Flüssigkeitssäule im Glasrohre.

Eines der frappantesten Experimente ist das Ausblasen eines Kerzenlichtes durch die Wand durch. Um auf der einen Seite der Wand bequem blasen und auf der andern das Licht vor die Oeffnung des Rohres halten zu können.

¹ Die deutliche Wahrnehmung der Bewegung der Luft durch das Gefühl erfolgt erst bei einer Geschwindigkeit derselben von 4 Fuss in der Sekunde.

befestigt man am Rohre derjenigen Fläche, auf die man blasen will, einen langen Kautschukschlauch, begibt sich dann mit demselben auf die andere Seite der Wand, und hält eine brennende Kerze vor die Oeffnung des Rohrs. Bläst man nun mit nur geringer Kraft in den Kautschukschlauch, so dringt die Luft durch den ganzen Mauerkörper durch und sammelt sich im Rohre, vor dessen Mündung das Licht brennt, zu einem nahezu eben so lebhaften Strome, als er auf der andern Seite der Mauer erregt wurde. Seine Stärke ist in der Regel hinreichend, um mit Leichtigkeit das Licht auszublase.

Bei diesen Versuchen habe ich mich auch sehr zu überzeugen Gelegenheit gehabt, wie schwer es ist, grössere Flächen Mauerwerk so zu überziehen, dass sie luftdicht sind. Ich habe die Dichtigkeit des Verschlusses meines Mauerapparates mehrmals untersucht, indem ich die Mengen Luft gemessen habe, welche auf der einen Seite hineingetrieben wurden, und welche auf der andern wieder zum Vorschein kamen. Wenn es mir gelungen wäre, jede seitliche Entweichung der Luft zu verhindern, so musste jenseits der Mauer so viel Luft aus dem Rohre austreten, als ich diesseits eintreten liess. Nachdem ich alle Fugen und Flächen auf das sorgfältigste mit der Wachsmasse in sichtbarer Dicke überstrichen und verklebt hatte, erlitt das Volumen der Luft doch die bedeutendsten Verluste während des Durchgangs durch den ganzen Apparat. Er betrug durchschnittlich 40 Procent, und oft viel mehr als die Hälfte. Die Messung geschah auf folgende Weise: Ein kleiner Gasbehälter, circa $1\frac{1}{2}$ Cubikfuss haltend, mit einer im Wasser schwimmenden kupfernen Glocke (mithin ähnlich wie die grossen Gasbehälter in den Gasanstalten), wurde ganz aufgezogen, und dann mit einer genauen Gasuhr verbunden entleert. Man sah nun auf die einfachste Weise durch Ablesung des Gaszählers, wie viel Cubikfuss eine Entleerung des Gasometers betrug. Verband man nun den Gasbehälter mit der einen

Fläche der Wand, und den Gaszähler mit der andern gegenüber liegenden, so musste sich ergeben, wie viel Luft auf dem Wege durch den Mauerapparat verloren ging. Ich war erstaunt über die Grösse dieses Verlustes. Bis ich diesen Versuch ausgeführt hatte, war ich der Ansicht, dass ein Oelanstrich auf die Wand die freiwillige Ventilation durch die Wand aufheben müsse. Da es mir aber selbst durch das sorgfältigste Auftragen eines dicken Wachspflasters nicht gelang, einen luftdichten Verschluss herzustellen, so muss ich es als eine offene Frage betrachten, um wie viel die Permeabilität einer Wand für Luft durch einen Oelanstrich verringert wird.

Durch starkes Benetzen einer Wandfläche wurde, wenn auch nur vorübergehend, die Permeabilität für Luft sehr verringert.

Nach Mittheilung dieser Versuche fällt auch jede Unwahrscheinlichkeit der Resultate hinweg, welche aus den Beobachtungen der Abnahme der Kohlensäure in der Luft meines Arbeitszimmers unter verschiedenen Umständen gezogen worden sind. Es wird Niemanden mehr frappiren, dass das sorgfältigste Verkleben aller Spalten an Thüren und Fenstern (Versuchsreihe IV) den Luftwechsel nur so wenig verringert hat im Vergleiche zur Versuchsreihe II, wo Fenster und Thüren nur auf gewöhnliche Weise geschlossen und die übrigen Umstände nahezu die gleichen wie bei IV waren. Jedermann wird jetzt zugeben müssen, dass der unaufhörliche Strom der atmosphärischen Luft unsere Wohnräume nicht unberührt lässt, dass diese Strömung in ihnen nur verlangsamt und theilweise abgeändert, aber nicht im mindesten aufgehoben wird. — Unsere Wohnungen verhalten sich in dieser Beziehung genau so, wie unsere Kleider, deren Bestimmung gleichfalls nicht darin liegt, die Luft von unserem Körper abzuhalten, sondern ihren Zutritt nur zu mässigen, und ihr auf diesem Wege von der Wärme und

Feuchtigkeit mitzutheilen, welche sie von unserem Körper aufgenommen und aufgespeichert haben, und welche ohne sie nutzlos in die Atmosphäre entweichen würden. Man hat über das Warmhalten unserer Kleidungsstücke fast durchweg irrige Vorstellungen, indem man glaubt, es könnten in den Maschen der Gewebe ruhende Luftschichten bestehen. Ich werde bei einer andern Gelegenheit durch Versuche darthun, dass eine solche Meinung ganz grundlos ist, und dass die Fähigkeit unserer Kleidungsstoffe, warm zu halten, nicht im mindesten mit dem Widerstande, den sie dem Durchgang der Luft entgegensetzen, proportional geht, sondern dass sehr häufig gerade das umgekehrte Verhältniss stattfindet.

Ich bin weit entfernt, das Verhalten der Baumaterialien zur Luft durch meine Versuche bereits für erledigt zu halten — ich betrachte sie nur als einen Anfang zu einer gründlichen Lösung dieser wichtigen Frage. Ich habe mich vorläufig nur mit dem Verhalten der Ziegelwände beschäftigt, und kann nicht voraussagen, wie sich diese Verhältnisse in Häusern aus Bruchsteinen oder Sandstein gestalten werden. Durch meine Untersuchung aber über die Abnahme des Kohlensäuregehaltes in geschlossenen Zimmern innerhalb bestimmter Zeiträume glaube ich für diese Forschungen einen richtigen und bequemen Weg angebahnt zu haben.

Diese Versuche gestatten auch, endlich davon zu sprechen, um wie viel wir den Strom der freien Atmosphäre verlangsamen, wenn wir sie in einem Hause einschliessen. Es wird das in verschiedenen einzelnen Fällen verschieden seyn, und ich wähle bloss als Anhaltspunkt das Zimmer, in dem ich die Versuche über die Abnahme der Kohlensäure gemacht habe. Die gegen das Freie stehende Wand hat sammt dem Fenster circa 225 Quadratfuss. Nimmt man an, dass der beobachtete Luftwechsel wesentlich auf dieser Fläche vor sich gegangen, und fragt man sich, wie viel auf dieser Fläche in der freien Luft bei deren mittlerer Geschwindigkeit

von 10 Fuss in der Secunde strömen würde, so ergibt eine Vergleichung der verschiedenen Quantitäten, um wie viel wir den Luftstrom durch unsere Wohnungen hemmen oder mässigen. Wenn wir innerhalb der Wohnung, auf einer Fläche von 225 Quadratfuss, das Normalquantum für einen Menschen, 60 Cubikmeter in der Stunde, erhalten, so hätten sich im Freien in derselben Zeit und auf dem gleichen Querschnitt 202500 Cubikmeter Luft oder das 3335fache bewegt. Man kann somit sagen, dass wir in diesem Falle den Strom der freien Luft um mehr als das Dreitausendfache verlangsamt haben.

Vierte Frage. In welchen Fällen wird eine künstliche Ventilation nothwendig?

Die Erörterung dieser wichtigen Frage wird nach den bereits gewonnenen Anhaltspunkten nicht viel Zeit in Anspruch nehmen. Auf die im Vorhergehenden entwickelten Thatsachen und Schlüsse gestützt, kann man annehmen, dass in allen Fällen, wo trotz der natürlichen Ventilation der Kohlensäuregehalt der Luft des bewohnten Raumes in Folge der Respiration und Perspiration der Menschen auf 1 pro mille steigt, die künstliche Ventilation an ihrem Platze sey. — Zur natürlichen Ventilation rechne ich nicht bloss den Luftwechsel, der zur kälteren Jahreszeit in geheizten Zimmern bei geschlossenen Fenstern und Thüren vor sich geht, sondern auch jenen, welcher zur wärmeren Jahreszeit in ungeheizten Zimmern und bei nach Bedürfniss geöffneten Fenstern Statt hat. — Wenn wir mithin als Grenze zwischen guter und schlechter Luft 1 pro mille Kohlensäure festhalten, so drängt sich uns die Befürchtung auf, dass wir in den Wohnungen, namentlich in den stark bevölkerten, sehr häufig schlechte Luft antreffen werden, und dass wir der künstlichen Ventilation eine kaum zu realisirende Ausdehnung zu geben hätten. Ich halte diese Befürchtungen in jeder Beziehung für sehr begründet, aber wenn wir auch

vorläufig noch vor der Lösung der ganzen Aufgabe in vielen einzelnen Fällen zurückschrecken, so darf uns das doch nicht hindern, die Wahrheit einzusehen und anzuerkennen, oder nach dem schwer zu erreichenden Ziele zu streben. Es ist vielleicht zulässig, die ganze Aufgabe in zwei Theile zu theilen: 1) in die Ventilation jener Räume, welche nur kurze Zeit (2 bis 3 Stunden des Tages) zum Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, und 2) in die Ventilation solcher Räume, welche längere Zeit zum Aufenthalte zu dienen haben.

In die erste Abtheilung fallen Kirchen, Schulhäuser, Gerichtssäle, Theater und sonstige auf kurze Zeit berechnete Versammlungslocale. Wir können annehmen, dass das Einathmen einer schlechteren Luft auf kurze Zeit unserem Organismus nicht in dem Grade schädlich seyn wird, als wenn es längere Zeit hindurch geschieht. — Wir können uns somit für kürzere Zeit gefallen lassen, was wir für längere Zeit nicht zugestehen dürften. — Es handelt sich aber auch hier um gewisse Grenzen, deren Ueberschreitung, obschon von kurzer Dauer, doch für unsere Gesundheit nicht gleichgiltig seyn wird. In dieser Beziehung sind unsere Erfahrungen noch so unbestimmt und wenig zahlreich, dass ich vorläufig Anstand nehme, irgend bestimmte Zahlen aufzustellen. Ich wage z. B. keine Angabe darüber, wie viel per mille Kohlensäure wir in unsern Schulzimmern gestatten sollen, ob das 2, 3, 4 oder 5fache von sonstiger guter Zimmerluft; ich behandle diese Frage vorläufig noch als eine offene. Aber andererseits fühle ich mich in meinem Gewissen gedrungen, darauf aufmerksam zu machen, dass ein mehrstündiger Aufenthalt in einer schlechten Zimmerluft dem menschlichen Organismus in demselben Grade nachtheilig seyn muss, als ihm ein Aufenthalt unter sonst gleichen Umständen in guter reiner Luft zuträglich ist. Ich bin auf das lebendigste überzeugt, dass wir die Gesundheit unserer

Jugend wesentlich stärken würden, wenn wir in den Schulhäusern, in denen sie durchschnittlich fast den fünften Theil des Tages verbringt, die Luft stets so gut und rein erhalten würden, dass ihr Kohlensäuregehalt nie über 1 pro mille anwachsen könnte. Alle Väter und Mütter wissen, dass die Gesundheit ihrer Kinder durchschnittlich häufige Störungen zu erleiden beginnt, sobald sie anfangen, die öffentlichen Schulen zu besuchen. Wenn sie sich in den Ferien wieder erholt und wieder ein blühendes Aussehen gewonnen haben, so bleichen sie bald wieder ab und kränkeln häufiger, wenn die Schule wieder beginnt. Das ist ohne Widerrede eine im Allgemeinen begründete Thatsache, und wenn an ihr auch noch andere Ursachen Theil haben, so ist bei sorgfältiger Abwägung aller Einflüsse der Einfluss der Luft der Schulzimmer ein sehr vorwiegender, welche bei ihrer schlechten Beschaffenheit einem in der lebhaftesten Entwicklung begriffenen Organismus viel schädlicher seyn muss, als einem bereits völlig ausgebildeten. Es ist eine den Physiologen bekannte Thatsache, dass ein Knabe von 50 Pfund Körpergewicht in einer Stunde so viel Kohlensäure producirt, als ein Erwachsener von 100 Pfund Körpergewicht. Um was der Umsatz in einem wachsenden Organismus rascher und lebendiger ist, um das müssen auch die Bedingungen desselben reichhaltiger vorhanden seyn und Schüler und Lehrer müssen deshalb von ein und derselben Luft ungleich afficirt werden. Aber auch die Lehrer leiden nachweisbar unter der Schulluft, denn es kommen unter denselben sehr zahlreiche Erkrankungen und selbst Todesfälle vor, nachdem sie aus den Seminarien in die Praxis getreten sind. In den ersten Jahren ihrer Berufsthätigkeit muss ihr Körper die Probe bestehen, ob er den Anforderungen des Dienstes, worunter auch die schlechte Schulluft gehört, gewachsen ist oder nicht. Das Nämliche zeigt sich bei Gefangenen, nur in einem noch höheren Grade. Nach Füesslin sterben im Männerzucht-

hause zu Bruchsal in Baden von 100 Gefangenen im ersten Jahre der Haft 4,25 Procent, während von 100 Gefangenen im zweiten Jahre nur mehr 1,65, vom zweiten bis fünften Jahre nur mehr 1,64 und vom fünften bis achten Jahre gar nur mehr 0,62 Procent sterben. (Füesslin, die Einzelhaft, Heidelberg bei Mohr. 1855. S. 249.) Genauere Untersuchungen, deren Durchführung mir vielleicht mit Hilfe unserer einsichtsvollen Behörden gelingt, werden ohne Zweifel die Wahrheit meiner Annahme auch im Einzelnen darthun und bekräftigen.

Mit bestimmteren Forderungen wird man auftreten müssen, wenn es sich um die Luftbeschaffenheit in Räumen handelt, die zu einem längeren Aufenthalte, zum Wohnen und Schlafen für Menschen bestimmt sind. Es kommt hier die Ventilation aller Wohn- und Schlafzimmer, der Arbeitszimmer, Krankenhäuser, Kasernen, Gefängnisse u. s. w. in Betracht. Wie schädlich für einen längeren Aufenthalt die schlechte Luft eines Raumes wirkt, das lehrt uns auf das Deutlichste die Verschiedenheit des Gesundheitszustandes in Wohnungen, Krankenhäusern, Kasernen und Gefängnissen, je nachdem dieselben überfüllt sind oder nicht. Die nämliche Wohnung, in welcher 10 Menschen sehr gesund wohnen, kann zum Krankheitsherde werden, wenn in den nämlichen Räumen 20 und 30 leben müssen. Es geht bereits als Ueberzeugung durch die Welt, dass Verminderung der Anzahl der Einwohner eines Hauses oder einer Anstalt äquivalent einer Raumvermehrung oder einer Lüftung ist. Kasernen und Gefängnisse liefern die sprechendsten Beweise, wie gefährlich es ist, gewisse Grade der Luftverderbniss zu überschreiten. Man weiss, dass eine und dieselbe Kaserne für eine geringe Anzahl von Soldaten ein gesunder Aufenthaltsort ist, während bei anhaltender Ueberfüllung ein Heer von Krankheiten droht. Das Nämliche weiss man von Krankenhäusern, Spitälern und Gefängnissen. — In Bruchsal sind zwei Gefängnisse, das eine für leichtere Verbrecher mit

gemeinsamer Haft, das andere für Zuchthaussträflinge mit Einzelhaft. Füsslin (die Einzelhaft, Heidelberg 1855. S. 412) weist nach, dass trotzdem, dass die erstere Anstalt bei stets viel kürzerer Haftzeit eines grossen Theils der Gefangenen günstigere Resultate erzielen sollte, gerade diese Anstalt jährlich eine nochmal so grosse Sterblichkeit ausweist, als das Zellengefängniss. Die deprimirenden Einflüsse des Gefängnisslebens sind bei der Einzelhaft viel tiefgehender, als bei gemeinschaftlicher Haft, so dass selbst vor dem Gesetze ein Jahr in jener für drei Jahre in dieser gilt. Die Zellensträflinge haben keinen Vorzug in Kleidung, Nahrung oder in Bewegung im Freien vor denen in gemeinschaftlicher Haft, aber sie haben das ganze Jahr hindurch mehr Luft.

Ich glaube nicht, dass schlechte Luft in den Wohnungen direct krank mache, oder besser ausgedrückt, sogleich spezifische Krankheiten erzeuge, wie z. B. die Gifte; ich glaube mithin nicht, dass schlechte Luft geradezu ein Gift sey, sondern ich behaupte nur das, was von keiner einzigen Thatsache widersprochen und von allen unterstützt wird, nämlich dass schlechte Zimmerluft die Widerstandsfähigkeit gegen jede Art von krankmachenden Agentien herabstimme und schwäche. Alle Einwürfe, welche man gegen die Bedeutung und die Wichtigkeit einer beständig reinen Luft machen und erdenken will, lassen sich von diesem Gesichtspunkte aus bescheiden. Nehmen wir als Beispiel zwei verschiedene Gefängnisse, in denen beiden die Ueberfüllung und Luftverderbniss gleich gross ist; das eine kann eine durchschnittliche jährliche Mortalität von 10 Procent haben, während das andere nur 3 Procent bei ganz gleicher Verpflegung und Beschäftigung hat. Solche Beispiele existiren wirklich. Nehmen wir an, jedes Gefängniss berge 1000 Gefangene, so sterben in dem einen jährlich hundert, in dem andern nur dreissig. Solche Thatsachen könnten, einseitig aufgefasst, dazu benützt werden, um die Gleichgiltigkeit der Luftbeschaffenheit daraus

zu folgern. Sie beweisen aber höchstens, dass schlechte Luft nicht geradezu für sich ein Gift ist, und um den Einfluss derselben auf den Gesundheitszustand bei sonst gleich bleibenden Umständen richtig zu bemessen, muss man in dem Gefängnisse mit 10 Procent Sterblichkeit alle Einflüsse des Untergrundes, der örtlichen Lage und Bauart, der Verpflegung und Beschäftigung belassen und nur die Luft verbessern. Diess geschieht durch eine bedeutende Verminderung der Zahl der Gefangenen. Man hat Beispiele, dass solche Anstalten, welche bei Anwesenheit von 1000 Gefangenen jährlich 100 durch den Tod verloren, bei Gegenwart von 500 nur 25 verloren haben, was somit ein Sinken der Sterblichkeit von 10 auf 5 Procent in Folge der Entleerung erkennen lässt. Man sieht, es sind an einigen Oertlichkeiten Schädlichkeiten, Krankheitsursachen vorhanden, welche an andern Oertlichkeiten fehlen. Sind sie aber vorhanden, so wird ihre Wirkung auf den Organismus durch schlechte Luft in einem sehr auffallenden Grade gesteigert. Dieser Satz wird durch die Erfahrungen bei allen Epidemien gestützt, wenn man das Auftreten derselben unter sonst gleichen Verhältnissen in überfüllten Häusern, Pfründneranstalten, Kasernen u. s. w. mit dem Verlaufe in schwach bewohnten Häusern und Anstalten vergleicht. Wenn sich an einem Orte kein Typhus-, kein Choleragift, kein Sumpfgift bildet, so braucht der Organismus auch keinen Widerstand gegen dieselben zu bethätigen, und wird es dann gleichgiltig seyn, ob dessen Widerstandsfähigkeit etwas grösser oder kleiner ist. Da wir aber vor dem Eindringen und der Entwicklung von Krankheitsursachen keinen Augenblick sicher sind, so dürfen wir niemals und nirgends die Widerstandsfähigkeit des Organismus vernachlässigen. Da dieselbe wesentlich mit der Luftbeschaffenheit zusammenhängt, so haben wir ein Recht zu verlangen, dass dieselbe in allen Schlaf- und Wohnräumen stets gut und rein erhalten werde.

Einen fernern Grund, auf reine Luft in den Wohnungen strenge zu halten, haben wir in der Erfahrung, dass schlechte Luft die Quelle vieler chronischer Leiden ist, und dass sie sicherlich einen grossen Antheil an den Volkstübeln: Scrofulen, Tuberkeln etc. hat. Wo also die natürliche Ventilation nicht ausreicht, die Vermehrung des Kohlensäuregehaltes der Luft in unsern Wohn- und Schlafräumen über 1 pro mille zu verhindern, dort hat künstliche Ventilation einzutreten.

Ich weiss allerdings, dass ich viel verlange, viel mehr, als man für alle Fälle vorläufig wird leisten wollen und können; — aber ich kann nicht umhin, dem, was ich für eine wichtige Wahrheit halte, seinen vollen und ungeschminkten Ausdruck zu geben.

Welche Mittel wir anwenden sollen, wenn das Bedürfniss einer künstlichen Ventilation eintritt, das wird sich im Verlaufe der Zeit ergeben. Nachdem man jetzt einen leicht zu handhabenden Maassstab für den Grad der Luftverderbniss durch Respiration und Perspiration hat, so wird man auch bald die geeignetsten Ventilations-Apparate finden, sobald die Ueberzeugung von der Nothwendigkeit einer bestimmten Ventilation einmal allgemein geworden seyn wird.

Fünfte Frage. Welche sind bis jetzt die gebräuchlichsten Methoden der künstlichen Ventilation, und welche verdient den Vorzug?

Alles Material zur Beantwortung dieser Fragen liegt in den vorausgehenden Berichten und Erörterungen, und es wäre überflüssig, hierüber noch viele Worte zu verlieren, wenn ich die Gelegenheit nicht nebenbei dazu benützen wollte, mich über einige irrige Vorstellungen und Anschauungen zu verbreiten, welche bei der Anlage von Ventilations-Apparaten, von Luftzügen und Feuerungen vielfache Fehler veranlasst und durch ihren Misserfolg Viele entmuthigt haben.

Vor Allem müssen wir mit der Vorstellung brechen,

als seyen unsere Wohnungen, sobald wir Thüren und Fenster geschlossen haben, wirklich als Räume zu betrachten, welche die in ihnen enthaltene Luft wesentlich ausser Verbindung mit der freien Atmosphäre setzten, so dass diese nur durch Oeffnungen, die wir eigens für diese Verbindung herstellen, communiciren könnte. Die zufälligen Oeffnungen in unsern Wohnungen sind viel zahlreicher und die freiwillige Ventilation dadurch viel grösser, als man bisher vermuthet hat. — Am auffallendsten und bestimmtesten zeigt sich dieses allerdings in den Versuchen, durch welche der Luftwechsel in einem Zimmer ohne jede Ventilationsvorrichtung, ja selbst bei verklebten Fenstern und Thüren gemessen wurde. — Aber auch in jenen Räumen, in welchen eigene Oeffnungen für die zuströmende und abströmende Luft angebracht sind, tritt die Einwirkung der zufälligen Oeffnungen in höchst auffallender Weise zu Tage, ja es zeigt sich, dass auf den zufälligen Wegen viel mehr Luft sich bewegt, als auf den vorgeschriebenen. Grassi findet (*Étude comparative des deux systèmes de chauffage et de ventilation établis à l'hôpital Lariboisière*, pag. 39), dass in dem Saale der heil. Eugenie 20,7 Cubikmeter frische Luft per Stunde und Kranken auf den für sie bestimmten Wegen ein-, hingegen 95,1 Cubikmeter Luft durch die Abzugsöffnungen austraten. Es mussten sich mithin durch die zufälligen Oeffnungen 74,4 Cubikmeter beigemischt haben, somit mehr als das Dreifache jener Menge, welche auf dem vorgeschriebenen Wege eintrat.

Im Saale der heiligen Anna stellte sich die Differenz noch viel auffallender heraus, wo sich ergab, dass per Stunde und Kranken durch die Oeffnungen für frische Luft 4,1 Cubikmeter ein-, und durch die Abzüge 59,3 Cubikmeter auströmten, so dass die Ventilation durch die zufälligen Oeffnungen 55,2 Cubikmeter oder nahezu das Vierzehnfache jener Menge betrug, welche auf dem eigens dafür gemachten Wege

vor sich ging. Das ist das Ergebniss der Ventilation durch Zug (System Leblanc-Duvoir). — Ein ähnliches Resultat, wenn auch nicht in dem gleichen Maasse, zeigte sich bei der mechanischen Ventilation (System Thomas-Laurens-Grouvelle) in der Weise, dass ein sehr grosser Theil der von der Maschine in die Säle eingetriebenen Luft nicht mehr durch die sogenannten Evacuationskanäle entwich, sondern auf andern zufälligen Wegen. — Wie illusorisch sich Einrichtungen erweisen können, die auf der Voraussetzung des dichten Schlusses unserer Wohnungen beruhen, das beweist die Thatsache, welche ich oben in meinem Berichte über die Ventilation des Spitals Lariboisière in Paris angeführt habe, wo es sich im Saale des heiligen Augustin erwies, dass der mechanische Ventilator hinlänglich Luft eintrieb, zugleich aber bei geschlossenen Fenstern und Thüren in den Evacuationskanälen die Luft nicht vom Saale nach dem Speicher ins Freie entwich, sondern geradezu umgekehrt nach dem Saale sich bewegte, so dass derselbe bei geschlossenen Fenstern und Thüren nicht nur durch den mechanischen Ventilator, sondern auch durch die Evacuationskanäle Luft empfing. — Grassi, welcher bei dieser Beobachtung selbst zugegen war, musste mir beistimmen, dass die Bewegung der Luft in einem Gebäude ein sehr complicirtes Phänomen sey.

Von der Porosität unseres Mauerwerkes gibt es ausser den bereits angeführten noch einige andere Beweise. — Der schlagendste ist wohl das Ansehen mancher Weissdecken in Zimmern, in denen durch Oefen oder Lampen etwas Russ erzeugt wird. Wenn solche Zimmerdecken lange nicht ge wisst oder geputzt werden, so zeichnet sich jeder Balken, jede Latte des darüber befindlichen Bodens ab, in der Art, dass wo Latten und Balken liegen, die Decke weisser erscheint, als an den Stellen, welche den Zwischenräumen entsprechen. Die Latten und Balken sind ein theilweises

Hinderniss für den Luftwechsel, welcher in den Zwischenräumen natürlich viel ungehinderter vor sich gehen kann, und in diesem Maasse hier auch mehr Russ absetzen muss, als dort wo Balken und Latten liegen.

Professor Knapp, gegenwärtig Vorstand der Porzellan-Fabrik in Nymphenburg, hat mir eine hier einschlägige Beobachtung an dem Porzellanofen mitgetheilt, wo an einer dünnen Stelle des Ofens, an der Einsetzthüre, so viel Luft durch die Wand in den Ofen drang, dass Flamme und Rauch eines Bündels Holzspäne vollständig und lebhaft durch die Poren an dieser Stelle eingezogen wurden.

Bei der Anlage von Heizungen spielt die Porosität des Mauerwerkes sicher eine sehr grosse Rolle. Man kennt die oft unerwarteten Misserfolge bei Anlage von geschleiften oder horizontalen Kaminen, die man oft mit senkrechten in Verbindung setzt. Einem senkrechten Kamin, in welchen mehrere horizontale Feuerleitungen münden, müssen wir eine für seine Leistung unverhältnissmässige Höhe geben, um den nothwendigen Zug hervorzubringen. Könnten wir alle Feuerkanäle und den senkrechten Kamin aus einem luftdichten Materiale mit luftdichter Verbindung herstellen, so könnten wir entweder an der Höhe bedeutend ersparen, oder an Zugkraft gewinnen. Man hat schon oft die Erfahrung gemacht, dass horizontale Feuerzüge bei gleicher Länge und sonst gleichen Umständen in einem Falle sich tauglich, in einem andern sich untauglich erwiesen haben, ohne dass man sich die Gründe angeben konnte. Solche Fälle wären nach meiner Ansicht nun darauf zu untersuchen, ob die Differenz in der Wirkung sich nicht aus der grössern oder geringern Porosität des Materials erklären liesse.

Das praktische Resultat, welches sich aus der thatsächlichen Porosität unserer Wohnräume für die künstliche Ventilation ergibt, ist nach meiner Ansicht, dass wir von dem bisher gültigen Satze Umgang nehmen können, dass die

Oeffnungen für Zuströmung frischer Luft und für das Abführen gebrauchter Luft in gleichem Verhältnisse zu stehen haben; ja ich gehe so weit, dass ich keinen Anstand nehme, auszusprechen, dass der eine Theil ganz ohne den andern bestehen könne. Wenn wir z. B. dafür Sorge tragen, dass in einen Saal die nothwendige Menge frischer Luft durch mechanische Kraft eingetrieben wird, so können wir jede Vorrichtung für die Abführung der gebrauchten Luft — mithin alle Evacuationskanäle — ersparen. Sollte sich bei zu grosser Dichtigkeit des Baues eine eigene Oeffnung für den Austritt der Luft als nothwendig erweisen, so genügt jede Oeffnung die ins Freie mündet, ohne dass es nothwendig wäre, die gebrauchte Luft auf complicirten und kostspieligen Wegen im Hause spazieren und zuletzt aus allen Sälen vereinigt zum Dache hinaus zu führen.

Ich mache mir nicht die mindeste Illusion über den Eindruck, welchen meine Ansichten über die zufälligen Oeffnungen bei den Praktikern hervorbringen werden. Jeder wird bei seinem einmal angenommenen Systeme bleiben, welches verlangt, dass überall, wo ein Kanal für den Eintritt frischer Luft gemacht wird, auch ein mindest ebenso grosser oder mehrere für den Austritt der gebrauchten Luft angelegt werden. — Ich weiss aber auch mit voller Gewissheit, dass Jeder, welcher zuerst eine gute mechanische Ventilation ohne solche Entleerungskanäle ausführen, auch vollständigen Erfolg erzielen wird. Solche Ausgleichungen zwischen Theorie und Praxis überlässt man am besten der Zeit. —

Ein anderer wichtiger Punkt für die Anlage von künstlichen Ventilationen ist die Unterscheidung zwischen frischer und verdorbener Luft. — Die Meisten, mit denen ich hierüber gesprochen, haben es für einen Punkt der Ueberlegung gehalten, an welchen Stellen die schlechte Luft zu fassen und abzuführen sey, ob unten am Fussboden oder oben an der Decke, ob in den Ecken, oder längs den Wänden.

Vor Allem muss man den Gedanken fest halten, dass die Bewegung der Luft in bewohnten Räumen so rasch und allseitig vor sich geht, dass die Mischung ein paar Fuss von der Decke und dem Fussboden stets nahezu gleich seyn wird, wie es auch die im Berichte über die Ventilation des neuen Gebäudes in München ausgeführten Bestimmungen direkt beweisen. Es wird somit die Luft im ganzen Saale entweder gut oder nicht gut seyn. Sodann muss die Zufuhr frischer Luft so bedeutend seyn, dass zu keiner Zeit und an keiner Stelle die Luft schlecht werden kann. Die Verunreinigung der Luft eines Wohnraumes durch Respiration und Perspiration ist unvermeidlich, denn wir können die gasförmigen Ausscheidungen von Haut und Lungen nicht durch die Luft eines Zimmers wegführen, ohne sie mit derselben zu vermischen. Es bleibt uns somit nichts übrig, als beständig so viel frische Luft zuzuführen, dass die beständige Verunreinigung derselben durch Haut und Lungen einen bestimmten Grad nicht überschreite. Das ist der grosse Unterschied zwischen dem Athmen im Freien und im Zimmer, dass im ersteren Falle die ausgeathmete Luft in jedem Augenblicke durch die allgemeine Luftströmung aus dem Bereich unsers Körpers geführt wird, ohne je wieder, selbst in der grössten Verdünnung, in dasselbe zurückzukommen, während in jedem Zimmer die ausgeathmete Luft theilweise wieder eingeathmet werden muss, wenn auch in beträchtlicher Verdünnung. Wenn wir deshalb Luft aus einem hinlänglich ventilirten Saale abführen, so wird das immer die gute Luft des Saales seyn, sie kann und darf nicht schlechter seyn, als die Luft im Saale überhaupt. Bei guter Luft wird es endlich sehr gleichgiltig seyn, auf welchen Wegen wir sie ins Freie führen, ob durch Fensterritzen, Thürspalten und Poren der Wände, oder durch ein Labyrinth eigens dazu bestimmter Kanäle, welche im besten Falle doch nur den geringern Theil der in den Sälen wechselnden Luft aufnehmen. Ja ich

halte die gewöhnliche Anlage von Evacuationskanälen, die nicht mit einer ununterbrochenen Heizung in Verbindung stehen, geradezu für schädlich und irrationell, wenn mehrere derselben zusammenmünden; denn da treten Fälle ein, in denen sich die Bewegung in denselben umkehrt, so dass sich die Luft des einen Saales in den eines andern entleeren kann, wie die zahlreichen Beispiele im allgemeinen Krankenbause zu München, und auch der Fall im Saale des Heiligen Augustin im Spital Lariboisière zu Paris satssam beweisen. — Kanäle, in denen eine Luft strömt, welche möglicher Weise schädliche oder durch Zersetzung schädlich werdende Stoffe ablagern könnte, sind bei Umdrehungen der Strömung doppelt gefährlich, weil sie bei verkehrtem Zug längst abgelagerte Theile davon wieder in die Säle führen können. Bei Fenstern, Thüren und Wänden hingegen ist das weniger zu besorgen, weil dieselben jeder Reinigung leicht zugänglich sind.

Eine weitere Vorstellung, welche bei der Anlage von Ventilationen wenigstens bisher eine grosse Rolle gespielt hat, ist die vom Zuge unserer Essen oder Kamine.

Ich muss den Leser im Voraus um Entschuldigung bitten, wenn ich einen so allgemein bekannten Gegenstand aus den Anfangsgründen der Physik hier zur Sprache bringe, ohne weder in wissenschaftlicher noch in praktischer Beziehung einen einzigen neuen Satz aufstellen zu können. Ich habe sehr häufig die Erfahrung machen müssen, dass im praktischen Leben in Beziehung auf die Luft viel zu wenig scharf unterschieden wird, welche Bewegungen oder Strömungen durch statischen Druck, und welche durch Saugen entstehen. In letzter Instanz ist es allerdings immer der allseitige Druck der Atmosphäre, welcher die Strömungen sowohl in Folge gestörten Gleichgewichts der Luftmassen, als auch in Folge der Entstehung eines luftleeren Raumes beim Saugen vermittelt, für die praktische Vorstellung aber

ist es nicht gleichgiltig, die beiden Ursachen zu verwechseln. Ein Kamin ist kein Gebläse, kein Blasbalg. Der allgemein giltige Ausdruck, dass die Kamine die Luft ansaugen, dass sie wie Aspiratoren wirken, spricht es in unzweideutigen Worten aus, wie weit die populäre Vorstellung über den Zug noch von dem richtigen Gefühle für die aërostatistischen Gesetze entfernt ist. — Die Physiker wissen recht gut und haben die bestimmtesten Nachweise geliefert, dass der Zug in den Essen seinen ersten Anstoss der Bewegung nicht von der in ihnen befindlichen wärmeren Luftsäule etwa dadurch erhalte, dass diese ein Bestreben habe, in der darüber stehenden kälteren Luftschichte aufzusteigen, wie sichs gewöhnlich die Laien, zu denen auch unsere meisten Pyrotechniker gehören, vorstellen. Hiemit verknüpfen sie noch häufig die Vorstellung, als entstände durch dieses primäre Aufsteigen der wärmeren Luft aus der Esse eine Art leerer Raum (vacuum), welcher die Luft durch die untere Oeffnung des Kamines wie ein Blasbalg einsauge. Diese Vorstellung ist geradezu verkehrt. — Die Physiker haben bewiesen, dass die wärmere und leichtere Luft ebenso sehr der Gravitation, dem Zug der Schwere nach dem Mittelpunkt der Erde folgt, als die kältere und schwerere, dass mithin von einem Bestreben der leichteren Luft in einer schweren aufzusteigen keine Rede seyn könne; sie haben aber auch gezeigt, dass eine Säule leichterer Luft einer Säule schwererer nicht das Gleichgewicht zu halten vermöge, und dass die leichtere von der schwerern in die Höhe gedrückt werde, aus den nämlichen Ursachen, wesshalb Oel im Wasser aufsteigt. Das Primäre beim Zug der Kamine ist deshalb die grössere Schwere, die grössere Druckkraft der freien Luft gegenüber der Schwere und der Druckkraft der Luft in den Kaminen. Diese ist nicht durch Erzeugung eines Vacuums activ saugend, sondern lediglich passiv ausweichend, die Kraft bei dieser Bewegung stammt lediglich vom Ueberdruck der

kälteren Luft, und sie ist deshalb das Bewegende und es fehlt dabei jede Vorrichtung, die nur entfernt dahin zielen könnte, durch Saugen ein Vacuum herzustellen. Wäre der Kamin einem Vacuum vergleichbar, so müsste er die Luft gleichzeitig unten und oben, durch alle Oeffnungen einsaugen. Die Thätigkeit des Kamins ist lediglich die Folge des ungleichen specifischen Gewichtes zweier ungehindert mit einander communicirender Luftsäulen. Je wärmer und leichter wir die Luft im Kamine machen, desto mehr wächst das Uebergewicht der Druckkraft der kalten Luft, desto lebhafter wird die Bewegung. Auf den Wegen aber, auf denen bei unseren Feuerungen die kältere Luft die wärmere vor sich her treibt, wird sie vom Brennstoff selbst wieder erhitzt und leichter gemacht, so dass die nämliche Luft, welche eine andere fortgedrückt hat, nun wieder von der nachfolgenden gedrückt wird. So einfach diese Verhältnisse sind, so sehr sie wissenschaftlich längst begründet und anerkannt sind, so zäh gehen nach meiner Erfahrung Laien und Praktiker darauf ein, dieselben zu einer streng logischen Vorstellung zu gestalten, und so leicht verfallen sie wieder auf solche Vorstellungen, in denen das active Bestreben einer wärmern Luft, in einer kältern Luft aufzusteigen, und kältere Luft nachzusaugen, in denen der luftleere Raum und in Folge davon ein activer Zug wieder die Hauptrolle spielt. Ich habe bei solchen Erörterungen öfter ein Gleichniss, ein Bild gebraucht, was schon Manchem eingeleuchtet hat, wesshalb ich es bei dieser Gelegenheit mittheilen will. Man denke sich statt Luft tropfbare Flüssigkeiten. Die Luft in den Kaminen sey Oel und die umgebende kältere Luft sey Wasser. Man denke sich ein grösseres Glasgefäss mit Wasser gefüllt. In dieses stelle man eine unten und oben offene nicht zu weite Glasröhre, welche mit Oel gefüllt und mit zwei Korken verschlossen ist, den Kamin mit seinem Inhalt an wärmerer Luft vorstellend, so hinein, dass das Wasser noch wesentlich

höher steht, als das obere Ende der mit Oel gefüllten Glasröhre. Zieht man nun die Pfropfen, zuerst den unteren, dann den oberen aus und lässt den Druck des Wassers auf die Oelsäule wirken, so wird das Oel in dem Rohre empor und herausgedrückt werden, das Rohr (der Kamin) wird sich mit Wasser füllen. Denke man sich nun, dass das Rohr die wunderbare Eigenschaft besässe, das Wasser, welches eingedrungen, wieder in Oel zu verwandeln, ebenso wie die kalte Luft, welche in den Kamin dringt, wärmer und leichter wird, so wird die oben vor sich gegangene Bewegung so lange fort dauern, bis alles Wasser in Oel verwandelt ist, ebenso, wie der Zug der Kamine fort dauert, so lange die äussere Luft kälter, als die Luft im Kamine ist. Um eine vollständige Analogie zu erzielen, kann man sich vorstellen, dass das Oel, nachdem es die Röhre verlassen hat, wieder zu Wasser wird, wonach die Bewegung so lange fort dauern würde, als die Röhre ihre wunderbare Eigenschaft behielte, eine schwerere Flüssigkeit in eine leichtere zu verwandeln.

Der Druck der Atmosphäre ist allseitig. Wenn also das Gleichgewicht durch die Gegenwart kälterer und wärmerer, oder schwerer und leichter Luftsäulen zerstört ist, so wird der Ueberdruck der ersteren auf die letzteren an allen Punkten wirksam seyn, wo sich dieselben berühren. Ein poröser Kamin wird deshalb an seiner Basis einen schwächeren Luftstrom zeigen, als ein luftdichter, weil ein Theil der Ausgleichung zwischen dem Druckvermögen der kälteren und wärmeren Luftsäule auf seiner ganzen Länge und nicht lediglich durch den Rost oder Feuerraum vor sich geht.

Wie sehr man dazu berechtigt ist, auf eine klarere Gestaltung der Vorstellungen über den Zug der Kamine und überhaupt über die Bewegung der Luft in Gebäuden zu dringen, geht deutlich daraus hervor, mit welchen Gründen die Praktiker gewöhnlich die Erscheinung zu erklären suchen, wesshalb manche Kamine nicht mehr ziehen, wenn von oben

die Sonne hineinscheint. Alle Physiker sind darüber einig, dass das Phänomen vorläufig nicht erklärt sey, selbst Peclet gesteht das zu, der in diesen Dingen als eine vollberechtigte Autorität angesehen werden muss. Aber die meisten Praktiker glauben eine streng physikalische Erklärung dafür zu haben. Sie sagen, eine wärmere Luftschichte hat das Bestreben in einer kälteren aufzusteigen; wenn aber über der warmen Rauchsäule eine noch wärmere Schichte liegt, so verliert jene natürlich dieses Bestreben und steigt nicht mehr auf. Scheint die Sonne in den Kamin, so wird die oberste Luftschichte in demselben mehr erwärmt werden, als die unmittelbar darunter liegende; dadurch tritt Stillstand im Zuge ein und es raucht im Hause. So unbegründet und physikalisch absurd eine solche Erklärung auch ist, so häufig begegnet man ihr. Um ihre Unrichtigkeit anschaulich zu machen, beziehe ich mich auf den obigen Vergleich mit dem Aufsteigen von Oel in Wasser. Denke man sich das im Wasser stehende Rohr in der Art mit Oel gefüllt, dass es unten ein Oel von etwas höherem, oben eines von geringerem specifischen Gewichte enthalte, — wird wohl dann die untere Oelschicht stillstehen und nicht mehr aufsteigen, weil jetzt über der leichteren Flüssigkeit eine noch leichtere steht? Im Gegentheil wird die ganze Oelsäule sich um so rascher erheben, je mehr leichteres Oel in der Röhre über dem schwereren ist, denn um so grösser wird das Mehrgewicht oder der Ueberdruck einer gleich hohen Wassersäule betragen, der in diesem Falle allein maassgebend ist. Ich werde bei einer andern Gelegenheit noch näher auf diesen Gegenstand zu sprechen kommen, und erwähne einstweilen nur, dass ich eine experimentelle Begründung der Frage vorhabe. Nach meiner Ansicht und Erfahrung hat die Sonne diese Wirkung nur auf Rauchsäulen von gewisser Beschaffenheit und Geschwindigkeit, und spielt dabei das bereits im Kamine zu sichtbaren Nebeln condensirte Wasser, welches bei der

Verbrennung von Holz, Torf oder Steinkohlen in reichlichem Maasse entwickelt wird, eine Hauptrolle. Bekanntlich beobachtet man die Erscheinung am häufigsten in Küchen, wo das Feuer offen auf dem Herde brennt, über welchem sich eine Feuerkutte befindet, die in den Kamin übergeht. Häufiger tritt es ein, wenn zur fraglichen Zeit ein Feuer eben frisch angezündet wird, als wenn dasselbe schon einige Stunden gebrannt hat, obwohl auch das nicht in allen Fällen davor schützt, dass der Zug in solchen Kaminen still steht oder selbst verkehrt wird, sobald die Sonnenstrahlen bis zu einer gewissen Tiefe hineinscheinen. — Wenn man nur Holzkohlen oder Coaks brennt, welche bei der Verbrennung kein Wasser liefern, tritt nach meiner Erfahrung unter sonst gleichen Umständen die Erscheinung nicht ein.

Geht man nun zur genaueren Betrachtung der Frage über, welche Kraft man verwenden soll, wenn es sich um eine künstliche Ventilation handelt, so kann man drei Motoren namhaft machen, welche bisher zur Anwendung gekommen sind: 1) die Bewegung der freien Atmosphäre für sich, und deren Temperaturdifferenz mit der Luft der Wohnräume, 2) Zugkamine, 3) mechanische Kraft, welche eine Maschine bewegt, um einen Luftstrom in das Gebäude hinein oder hinauszutreiben.

Was den ersten Motor anlangt, so brauche ich darüber kein Wort zu verlieren, dass er unregelmässig und zufällig wirken muss, dass man ihn unbedenklich verwerfen muss, wo man eine quantitativ bestimmte Leistung nothwendig hat. Da das Luftquantum, welches die Lungen der Menschen bedürfen, nicht bald viel und bald wenig, sondern nahezu stets gleich gross ist, so können wir diesen Vorrichtungen, welche darauf gegründet sind, keinen höheren Werth beimessen, als der freiwilligen Ventilation für sich. So halte ich die Ventilation des allgemeinen Krankenhauses und des neuen Gebärhauses in München, welche auf dieses Princip gegründet

sind, für etwas vollkommen Ueberflüssiges. Dass dieser Ausspruch nicht zu hart ist, hat sich auch praktisch erwiesen. Seit fast einem Jahre ist in dem neuen Gebäuhause der ganze Theil des Apparates, welcher die Zuführung der frischen Luft besorgen sollte, durch Regierungsbeschluss ausser Thätigkeit gesetzt und abgesperrt. Die Luft dieser Anstalt ist seit dieser Zeit nicht nur keineswegs schlechter als zuvor geworden, sondern es ist auch das Puerperalfieber seitdem daraus verschwunden. Ebenso dürfte man die Luftarterien des allgemeinen Krankenhauses jeden Augenblick entfernen, ohne den mindesten Nachtheil davon befürchten zu müssen; sie liefern ohnehin selbst im günstigsten Falle nur den achten Theil des nothwendigen Luftquantums. — Es würde auch keinen sehr merklichen Unterschied machen, wenn man die Kommunikation der Säle mit der Heizung unterbrechen würde, denn auch der auf diesem Wege veranlasste Luftwechsel ist nicht sehr gross, und jedenfalls auch höchst unregelmässig. Durch einen Ofen, der einen Saal von 14000 Cubikfuss Rauminhalt heizt, strömen in der Stunde bei lebhafter Flamme höchstens 100 Cubikmeter Luft, während man in Krankensälen stündlich für einen einzigen Menschen bereits 60 Cubikmeter nothwendig hat.

Es lässt sich nicht in Abrede stellen, dass man mit dem zweiten Motor, einem Zugkamine von gehöriger Höhe und Weite gut ventiliren kann, nur wird eine sehr regelmässige Leistung nicht davon zu erwarten seyn, da seine Thätigkeit mit jeder Schwankung der inneren und äusseren Temperatur wechselt, und es dürfte sehr schwierig seyn, allen Schwankungen der äusseren Luft durch die Temperatur im Zugkamine jederzeit entsprechend zu folgen. Ein grosser Uebelstand ist mit den hierauf gegründeten Ventilationsapparaten verbunden, nämlich dass man es nicht im mindesten in seiner Gewalt hat, auf welchen Wegen man die frische Luft zuführen will: sie drückt eben durch alle wo immer vorhandenen

Oeffnungen nach den mit dem Zugkamine zusammenhängenden Räumen, und wie sich bei der Untersuchung der Ventilation auf jener Abtheilung des Spitals Lariboisière zu Paris, welche nach dem Systeme von Duvoir ventilirt ist, ergab, strömt der geringste Theil auf den vorgeschriebenen Wegen zu. Die auf andern Wegen kommende Luft kann gleichfalls reine, durch nichts verdorbene Luft seyn, aber auch das Gegentheil. Dass es nicht lediglich reine Luft seyn wird, was zuströmt, dürfte selbstverständlich seyn, und es zeigte sich im Spital Lariboisière auch wirklich der Kohlensäuregehalt der Luft aus den Sälen viel grösser (nochmal so gross) als er hätte seyn können, wenn der beobachtete Luftwechsel lediglich durch Zuströmen unverdorbener atmosphärischer Luft veranlasst worden wäre.

Zur Ventilation von Räumen, die zu täglichem fortgesetztem Aufenthalte dienen, wie Krankenhäuser, Kasernen und Gefängnisse, wo überdiess allerlei andere Quellen der Luftverderbniss vorhanden sind, halte ich deshalb die Ventilation durch Zugkamine für wenig geeignet, abgesehen davon, dass die täglichen Kosten zur Unterhaltung des nöthigen Feuers sehr bedeutend sind. Räume, welche seltener benützt werden, wie Theater, Concertsäle u. s. w., wo der Aufenthalt kürzer dauert, und welche sonst auch nicht bewohnt werden, können immerhin zweckmässig mit Zugkaminen ventilirt werden. Ich möchte jedoch den Rath geben, nebst Höhe, Weite und Temperatur des Zugkamines auch darauf zu achten, dass die nach der Zugesse führenden Kanäle sich progressiv erweitern, je nachdem sie mehr und mehr Luft aufnehmen, und dass sie möglichst luftdicht hergestellt werden, um nicht in Folge ihrer Porosität oder sonstiger Undichtigkeiten Luft von Seiten her eindringen zu lassen, wo man es nicht haben will, und dadurch einen grossen Theil des Nutzeffektes zu verlieren.

Der dritte Motor, die Kraft einer Maschine, die sich

beliebig steigern lässt, wird immer das vollkommenste und bei weiterer Ausbildung der Technik dieses Zweiges der angewandten Mechanik gewiss auch das billigste Mittel einer angemessenen Ventilation seyn. Man hat in dieser Beziehung in kurzer Zeit grosse Fortschritte gemacht. Das seiner Zeit im Parlamentshause zu London ausgeführte System der mechanischen Ventilation hat sich allerdings als sehr kostspielig und von geringer Wirkung erwiesen; das im Spital Lariboisière zu Paris angewandte System von Thomas und Laurens ist zwar noch kostspielig, aber sehr wirksam, und das mehrfach ausgeführte System von van Hecke, wovon ein Muster im Spital Beaujon zu Paris zu sehen, ist bereits wohlfeil und wirksam zugleich. Die Versuche von Grassi über die Wirksamkeit des van Hecke'schen Ventilators, je nachdem man damit Luft in ein Gebäude hinein oder hinaustreibt, haben ferner bereits darüber entschieden, was vortheilhafter ist. Unter allen Umständen verdient das Hineintreiben den Vorzug. Meine Untersuchungen über die Porosität der Gebäude erklären hinlänglich, warum ein grosser Unterschied zwischen Hineintreiben und Aussaugen der Luft aus einem gemauerten Saale bestehen muss, da wir im letztern Falle nichts weiter als eine regelmässig wirkende Zugesse haben. Wenn die nöthige Menge Luft in einen gemauerten Raum eingetrieben wird, so halte ich es für völlig überflüssig, eigene Kanäle für den Abzug der Luft aus denselben anzubringen. Sollten die Wände eines Baues ganz ungewöhnlich luftdicht seyn, so genügt es irgend eine Oeffnung in der Wand direkt ins Freie zu benützen.

Ich halte das Eintreiben von Luft in die Gebäude, welche überhaupt einer regelmässigen künstlichen Ventilation bedürfen, als Krankenhäuser, Kasernen, Gefängnisse und auch Schulen, für das beste Mittel. Viele schrecken vor den Kosten der Bewegung solcher Maschinen zurück. Das ist aber ein Bedenken, das uns nicht abhalten sollte, Hand ans Werk

zu legen. Die Kosten werden sich verringern mit der besseren Konstruktion und vereinfachten Handhabung der Apparate, und Letzteres wird erreicht werden, sobald man anfängt, allgemeiner von solchen Apparaten Gebrauch zu machen. Oberbaudirektor von Pauli hat mir einige Anhaltspunkte dafür gegeben, wie viel oder wie wenig Kraft man eigentlich braucht, um die Luft für eine Anzahl von Personen zu fördern. Bei den folgenden Angaben ist vorausgesetzt, dass ein Mensch stündlich 60 Kubikmeter Luft zugeführt erhalten soll, und dass es ermöglicht wird, Ventilatoren zu construiren, welche 33 Procent Nutzeffekt geben. Dann reicht eine Pferdekraft hin, die Luft für 3500 Menschen zu schaffen. Ein Mann kann in 8 Arbeitsstunden (etwa durch Hebung eines Gewichtes) die Luft für 120 Menschen auf 24 Stunden fördern. — Da man in vielen Spitälern etc. Vorrichtungen hat, Wasser auf den Speicher zu heben, so könnte man einen Theil desselben benützen, um kleine Turbinen von 70 Procent Nutzeffekt, und durch diese Ventilatoren zu treiben. Fallen nun

10	Maas	Wasser	in 1 Minute	50 Fuss	hoch	oder
8	"	"	"	60	"	"
6	"	"	"	80	"	"
4	"	"	"	120	"	"

so ist die dadurch erzeugte Kraft stets annähernd gleich der täglichen Arbeitskraft eines Menschen. Hieraus geht hervor, dass wir bei einer unschwer zu erzielenden Vervollkommnung der Apparate mit sehr geringen Kosten für eine grosse Anzahl von Menschen reine Luft, dieses erste Bedürfniss eines gesunden und kräftigen Lebens, zu beschaffen im Stande sind. Die Ingenieure und Mechaniker können sich ein grosses Verdienst um das Wohl des Menschengeschlechtes erwerben, wenn sie diese Aufgabe der allgemeinen Gesundheitspflege mit ihrem Erfindungsgeiste lösen helfen. Wenn künftig Ventilationsapparate aufgestellt werden, mögen sie jederzeit

der strengen Controle wissenschaftlicher Sachverständiger unterstellt werden, damit die Erfahrungen der Einzelnen Gemeingut werden. Der Gebrauch der Anemometer und die Bestimmung des Kohlensäuregehalts der Luft werden beide zusammen uns vor Täuschungen schützen, denen man vor dem nicht selten ausgesetzt war, wo man sich begnügte, wenn die Luft durch eine Oeffnung ein- und durch eine andere ausströmte, ohne sich um die Quantität zu kümmern, oder Falls dieses auch geschah, ohne die Wirkung eines bestimmten Luftstromes auf die Gesamtbeschaffenheit der Luft eines bewohnten Raumes durch Bestimmung der Kohlensäure zu controliren.

München, im März 1858.

Dr. Max Pettenkofer.

ÜBER DEN
LUFTWECHSEL

IN
WOHNGEBÄUDEN.

VON
Dr. MAX PETTENKOFER.

MÜNCHEN.
LITERARISCH-ARTISTISCHE ANSTALT
DER J. G. COTTA'SCHEN BUCHHANDLUNG.
1858.

ÜBER DEN
LUFTWECHSEL

IN
WOHNGEBÄUDEN.

VON
Dr. MAX PETTENKOFER.

MÜNCHEN.
LITERARISCH-ARTISTISCHE ANSTALT
DER J. G. COTTA'SCHEN BUCHHANDLUNG.
1858.