Achtundzwanzigster Brief.

Die Veränderungen, welche die atmosphärische Luft in dem Athmungsproceß erleidet, sind in der neueren Zeit mit großer Sorgfalt untersucht worden, und es ist die Bekanntschaft mit den gewonnenen Erfahrungen für die Gesundheitspflege von Wichtigkeit.

Die Lungen, als die Werkstätte des Athemprocesses, bestehen aus einer baumförmigen Verzweigung von immer feiner werdenden Röhren, deren letzte Reiser mit kleinen Bläschen, den sogenannten Luftzellen blind enden, und durch die Luftröhre mit der Mund- und Nasenhöhle und der äußeren Luft in Gemeinschaft stehen. Die Wandungen der Luftzellen sind von einem engen Netzwerk höchst feiner Blutgefäße durchzogen, so daß die in den Lungenzellen enthaltene Luft nur durch eine ausnehmend feine Haut von dem Blute getrennt ist, und beide durch die Flüssigkeit, welche die Gefäßwände von dem Blute aus tränkt, in unmittelbarer Berührung stehen. Die feineren Blutgefäße vereinigen sich allmälig zu größeren Zweigen und Aesten und münden in einzelnen großen Stämmen im Herzen. Das Herz ist durch eine Scheidewand in eine rechte und linke Hälfte getheilt, deren jede wieder in eine Vorkammer und eine Herzkammer zerfällt, die durch eine weite, aber mit Klappen versehene Oeffnung in Verbindung mit einander stehen. Die Zusammenziehung des Herzens ist die nächste Ursache der Blutbewegung. Durch die Zusammenziehung der rechten Herzkammer wird das aus der rechten Vorkammer und den Venen in dieselbe einströmende Blut durch die sogenannten Lungenarterien in die Lunge getrieben und kehrt aus der Lunge durch die Stämme der sogenannten Lungenvenen in die linke Vor- und Herzkammer zurück, von wo aus es durch die Zusammenziehung der letzteren durch den großen Pulsaderstamm, die Aorta, in die Verzweigungen des Arteriensystems des ganzen Körpers gepreßt wird. Durch die Venen kehrt es als venöses Blut in die rechte Vor- und Herzkammer zurück, um diesen Kreislauf, so lange das Leben dauert, auf's neue zu machen. Die Zusammenziehung der Herzkammern macht den Herzschlag und in den Arterienstämmen den Puls aus. Mit jedem Herzschlage bewegt sich von dem Herzen durch die Blutgefäße der Lunge beim erwachsenen Menschen, nach dem Inhalte der rechten Herzkammer berechnet, eine Blutmenge, welche von den Physiologen auf 5 bis 6 Unzen (Volkmann) geschätzt wird, und es fließt demnach durch die Lunge in

einer Minute (auf welche man im Mittel 72 Herzschläge rechnet) die erstaunlich große Menge von über 22 bis 27 Pfund Blut. Dies ist zweimal die ganze Menge Blut, welche der Körper eines Mannes enthält. (Bischoff.)

Während das Blut mit einer so großen Geschwindigkeit durch die Blutgefäße der Lunge strömt, wechselt auf der anderen Seite durch die Athembewegungen unaufhörlich die Luft in den Luftzellen; in gesundem ruhigen Zustande kommen auf die Minute 15 bis 16, im Zustand mäßiger Bewegung 20 Athemzüge; bei stärkerer Bewegung nimmt die Stärke und Tiefe so wie die Schnelligkeit der Athemzüge zu. Die Menge der ausgeathmeten Luft ist nach der Größe des Individuums und der Geräumigkeit der Brusthöhle verschieden; man kann aber annehmen, daß ein erwachsener Mensch im Mittel 1/2 Litre (= 500 Cubikcentimeter = 32 hess. oder 30 bis 31 engl. Cubikzoll) Luft ausathmet, bei starken und tiefen Athemzügen können bis zu 60 Cubikzoll ein- und ausgeathmet werden.

Die menschlichen Lungen behalten beim gewöhnlichen Ausathmen sechs- bis achtmal so viel Luft in ihren Zellen zurück, als mit jedem Athemzuge umgewechselt wird. Die eintretende frische Luft mischt sich mit der Luft in den Luftzellen, bei jedem Ausathmen wird ein Theil dieser letzteren ausgetrieben und ihr Raum von frischer Luft eingenommen.

In dem unendlich feinen Gefäßnetze der Lungen kommt demnach eine ungeheure Oberfläche von venösem Blute durch die Wände der Luftzellen in Berührung mit der eigeathmeten Luft; es erleidet unter diesen Umständen sogleich eine mächtige Veränderung, die dunkele, beinahe schwarzrothe Farbe des venösen Blutes verwandelt sich in die hochrothe des arteriellen Blutes, und an die neuen Eigenschaften, welche das Blut in diesem durch die Berührung mit der Luft vermittelten Farbwechsel gewinnt, ist die Fortdauer der Lebensfunctionen und des Lebens auf's engste geknüpft.

Gleichzeitig mit diesem Farbwechsel erleidet die Luft eine wesentliche Aenderung in ihrer Zusammensetzung, die wir jetzt näher betrachten wollen.

Die Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft sind Sauerstoff, Stickgas, eine kleine Menge kohlensaures Gas und Ammoniakgas, und außer diesen kaum nachweisliche Spuren von verbrennlichen Gasen; stets enthält die Luft eine gewisse sehr wechselnde Menge Feuchtigkeit.

Die Mittel, welche die Chemiker anwenden, um die Bestandtheile der Luft ihrer Menge nach zu bestimmen, sind von der größten Einfachheit. Das Kalihydrat oder sogenannte kaustische Kali absorbirt sein mehr als hundertfaches Volum kohlensaures Gas, und es ist leicht verständlich, daß man in der Gewichtszunahme einer Röhre, die damit gefüllt ist und durch welche man einen Cubikfuß trockener Luft z. B. langsam geleitet hat, genau erfährt, wie viel kohlensaures Gas dieser Cubikfuß Luft enthielt. Aehnlich wie die Kohlensäure gegen Kalihydrat verhält sich der Sauerstoff der Luft gegen glühendes Kupfer, und wenn man einen Cubikfuß trockener, kohlensäurefreier Luft durch eine glühende Röhre leitet, welche mit reinen Kupferdrehspänen angefüllt ist, so bleibt

aller Sauerstoff beim Kupfer, und die Gewichtszunahme der Röhre giebt genau den Sauerstoffgehalt in diesem Cubikfuß Luft an, dessen Totalgewicht ebenfalls bekannt ist. (Dumas.)

In dieser Weise hat man ermittelt, daß die trockene, kohlensäurefreie Luft in 1000 Gewichtstheilen 231 Theile Sauerstoffgas enthält, der Rest ist Stickgas. Da das Sauerstoffgas etwas schwerer ist als ein gleiches Volum Stickgas, so erhält man für die Verhältnisse der Bestandtheile der Luft dem Volum nach andere Zahlen. In 100 Volumtheilen Luft sind 21 Volum Sauerstoffgas (genau 20,90, Dumas, Brunner, Bunsen, Regnault), und in gewöhnlicher atmosphärischer Luft im Mittel 1 Volum Kohlensäuregas in 2000 Volum oder $^3/_4$ Gewichtstheile in 1000 Gewichtstheilen Luft enthalten.

Die ausgeathmete Luft ist in ihrer Zusammensetzung von der atmosphärischen Luft sehr verschieden.

Bringt man in eine Glasröhre, welche an dem einen Ende verschlossen, in gleiche Volumtheile eingetheilt und mit trockener ausgeathmeter Luft angefüllt ist, starke Kalilauge (etwa $^1/_{40}$ von dem Volum der Luft), so nimmt das Luftvolum sogleich ab, indem die vorhandene Kohlensäure von dem Kali hinweggenommen wird; läßt man jetzt zu der nämlichen Kalilauge eine concentrirte Auflösung von Pyrogallussäure treten (die Hälfte etwa vom Volum der Kalilauge), so absorbirt diese Mischung den Sauerstoff der Luft mit eben der Schnelligkeit, wie dies vom metallischen Kupfer in der Glühhitze geschieht; es entsteht eine neue Volumabnahme der Luft, welche genau ihrem Sauerstoffgehalte entspricht; das rückbleibende Gas ist der Stickstoff der Luft.

In dieser Weise findet man, daß 100 Volumtheile ausgeathmeter Luft bei gewöhnlichen normalen Athemzügen $4^1/_2$ bis 5 Volum Kohlensäure und $16^1/_2$ bis 15 Volum Sauerstoff enthalten. Die im Anfang ausgeathmete Luft enthält weniger, bei sehr tiefen Athemzügen noch mehr kohlensaures Gas, in manchen Fällen fand man $8^1/_2$ bis 9 Procent.

Der Sauerstoffgehalt der reinen Luft wird demnach bei Berührung mit dem Blute in den Lungen um $^1/_5$ bis $^1/_4$ vermindert, der Kohlensäuregehalt über hundertmal größer. Es ist augenscheinlich, daß der Uebergang des venösen Blutes in arterielles Blut, der Farbwechsel desselben, auf einer Abscheidung von kohlensaurem Gas, welches an die Luft tritt, und einer Absorption des Sauerstoffs, der sich mit gewissen Bestandtheilen des Blutes verbindet, beruht. Eine gewisse Menge Sauerstoff tritt aus der Luft in das Blut, an die Stelle dieses Sauerstoffs empfängt die Luft ein in der Regel etwas kleineres Volum kohlensaures Gas.

Der Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft ist nach den Untersuchungen von Prout bei völliger Gemüthsruhe, bei mäßiger Bewegung und bei niedrigem Barometerstand größer; im Allgemeinen vermindert sich der procentische Gehalt der Luft an dieser Säure bei raschem und häufigem Athemholen, aber die ganze Quantität der in einer gegebenen Zeit ausgeathmeten Kohlensäure ist in letzterem Fall weit größer. Nach den hierüber angestellten Beobachtungen hat man gefunden, daß bei 6 Athemzügen in der Minute die ausgeathmete Luft 5,7 Procent, bei

12 Athemzügen 4,1, bei 24 Athemzügen 3,3, bei 48 Athemzügen 2,9 Procent kohlensaures Gas enthält; in 6 Ausathmungen in der Minute betrug die Menge der ausgeathmeten Kohlensäure 11 Cubikzoll (171 Cubikcentimeter); diese Quantität stieg bei 12 Ausathmungen auf $25\frac{1}{3}$ Cubikzoll (396 Cubikcentimeter), bei 48 Ausathmungen auf $44\frac{1}{2}$ Cubikzoll (696 Cubikcentimeter). (Vierordt.)

Der Einfluß der stärkeren rascheren Athembewegungen auf den Respirationsproceß ist hiernach evident, durch sie wird in einer gegebenen Zeit eine mächtigere Ausscheidung der Kohlensäure oder Entkohlung des Blutes bewirkt.

Es ist kaum zu bezweifeln, daß mit der Zunahme oder Abnahme der Kohlensäure die Menge des in das Blut übergehenden Sauerstoffs im Verhältniß steht, daß mithin das Blut in eben der Zeit mehr Sauerstoff empfängt als es mehr Kohlensäure an die Luft abgiebt.

Das mit Luft geschüttelte Blut nimmt aus derselben über 10 Procent von seinem Volum Sauerstoffgas auf, und es kann dieses Gas durch Schütteln mit überschüssigem kohlensauren Gas sehr nahe vollständig wieder ausgetrieben werden. Wird das mit Kohlensäure gesättigte Blut mit Luft geschüttelt, so tritt jetzt Kohlensäure aus, an deren Platz wieder Sauerstoff aufgenommen wird, der durch Kohlensäuregas in gleicher Weise verdrängt werden kann.*)

---

*) Ueber die Form, in welcher der absorbirte Sauerstoff in dem Blute enthalten ist, stehen sich zwei Ansichten entgegen; die eine Ansicht betrachtet die Abscheidbarkeit des Sauerstoffgases durch überschüssiges kohlensaures Gas als einen schlagenden Beweis, daß dieser Sauerstoff nicht chemisch mit dem Blute verbunden, sondern nur absorbirt in ihm enthalten sei, aber dieser Ausdruck für diese Erscheinung ist entschieden unrichtig. Während nämlich 1000 Volum Wasser mit Luft geschüttelt und vollständig damit gesättigt nur $9\frac{1}{4}$ Volum Sauerstoff und $18\frac{1}{2}$ Volum Stickgas (Gay Lussac) absorbiren, nehmen 1000 Volum Blut nach den vortrefflichen Versuchen von Magnus 100 bis 130 Volum Sauerstoff und nur 17 bis 33 Volum Stickgas auf. Es ist hiernach einleuchtend, daß das von dem Blute absorbirte Sauerstoffgas nur zu einem Theile in der Flüssigkeit absorbirt enthalten sein kann; denn die Flüssigkeit im Blute ist Wasser, von dem wir wissen, daß es in gleichen Verhältnissen elf- bis vierzehnmal weniger Sauerstoffgas absorbirt; wir müssen im Gegentheil annehmen, daß die größere Absorptionsfähigkeit bedingt ist durch gewisse Bestandtheile desselben, welche zu dem Sauerstoff mehr Verwandtschaft als das Wasser besitzen. Der Grad der Anziehung, mit welcher der Sauerstoff in der Verbindung, die er im Blute eingeht, zurückgehalten wird, ist sehr gering, aber dies ist kein Grund zu glauben, derselbe sei nicht chemisch damit verbunden. Wir können die Absorptionsfähigkeit des Wassers für viele Gase erhöhen, wenn wir demselben Materien zusetzen, welche zu dem Gas eine wenn auch noch so schwache chemische Verwandtschaft besitzen; wenn wir dem Wasser z. B. phosphorsaures Natron zusetzen, so nimmt dessen Absorptionsvermögen für kohlensaures Gas zu; bei einem Gehalte von 1 Procent von diesem Salze nimmt diese Flüssigkeit jetzt doppelt so viel kohlensaures Gas auf, als das reine Wasser für sich unter gewöhnlichem Luftdruck aufgenommen haben würde. Eine Lösung von Eisenvitriol im Wasser nimmt bis vierzigmal mehr Stick-

Aus arteriellem Pferdeblut, welches nicht mit Luft geschüttelt, sondern frisch aus den Adern mit Kohlensäure gesättigt worden war, erhielt

---

oxydgas auf als reines Wasser. Aus beiden Flüssigkeiten entweichen die aufgenommenen Gase im luftleeren Raum, ja sie lassen sich daraus wieder austreiben, aus der ersteren durch bloßes Schütteln mit Luft, aus der anderen beim Schütteln mit kohlensaurem Gas. Niemand denkt daran, dieses Verhalten, welches dem des Blutes so ähnlich ist, als einen Beweis anzusehen, daß die Kohlensäure in der Lösung des phosphorsauren Natrons, oder das Stickoxydgas in der Lösung des Eisenvitriols nur absorbirt und nicht in einer chemischen Verbindung enthalten sei, weil man weiß, daß das Auflösungsvermögen des Wassers in diesen Fällen abhängig ist von der Menge der aufgelösten Salze. Wenn aber die Menge des absorbirten Gases in einem bestimmten Verhältnisse zunimmt mit dem Salzgehalt der Lösung, so ist es vollkommen gewiß, daß dessen Absorption abhängig ist von dem Salze und nicht von dem Wasser.

Es giebt zwei Ursachen, von welchen die Absorption eines Gases oder das Absorptionsvermögen einer Flüssigkeit abhängig ist; die eine derselben ist ein Druck auf das Gas, welches sich in Berührung mit einer Flüssigkeit befindet, dies ist eine äußere Ursache, die andere ist eine chemische Anziehung, welche von den Theilen oder Bestandtheilen einer Flüssigkeit aus wirkt.

In allen den Fällen, in welchen ein Gas in einer Flüssigkeit nicht in einer chemischen Verbindung, sondern nur absorbirt enthalten ist, ist die Menge des absorbirten Gases lediglich abhängig von dem äußeren Druck, sie nimmt ab und zu, wie dieser Druck steigt oder abnimmt. Wenn in den erwähnten Fällen die Lösung des phosphorsauren Natrons bei gewöhnlichem Luftdruck durch Schütteln mit Kohlensäure mit diesem Gas gesättigt worden ist (und doppelt so viel Kohlensäure aufgenommen hat, wie Wasser bei gewöhnlichem Luftdruck aufnimmt), so nimmt, wenn der Druck verdoppelt wird, das Absorptionsvermögen der Lösung nicht in gleichem Verhältniß, sondern in einem weit kleineren Verhältnisse zu; die gesättigte Lösung des phosphorsauen Natrons verhält sich jetzt gegen kohlensaures Gas unter doppeltem Druck wie Wasser, welches bei einfachem mit Kohlensäure gesättigt worden ist, die Zunahme der Kohlensäure-Absorption ist für sie nicht stärker wie für reines Wasser, weil die chemische Anziehung, welche im Anfang das Absorptionsvermögen des Wassers erhöhte, nicht fortwirkt, sondern mit ihrer Wirkung (der Hervorbringung einer chemischen Verbindung) aufhört eine zweite Wirkung hervorzubringen. In gleicher Weise verhält sich die mit Stickoxydgas gesättigte Auflösung des Eisenvitriols gegen dieses Gas bei höherem Druck. Wenn 100 Volum einer solchen Auflösung bei einfachem Druck mit 100 Volum Stickoxydgas gesättigt sind, so absorbirt dieselbe Flüssigkeit bei zweifachem Druck nicht 100 Volum mehr von diesem Gas, sondern nur 10 Volum, nicht mehr wie reines Wasser unter denselben Umständen aufnimmt.

Mit diesen Flüssigkeiten in vollkommenster Uebereinstimmung verhält sich das Blut. Wäre der Sauerstoff im Blute nur absorbirt zugegen, so müßte das Blut, wenn es aus Luft, welche nur $^1/_5$ Sauerstoff enthält, 12 Procent Sauerstoff aufnimmt, unter doppeltem Druck die doppelte, unter dreifachem Druck die dreifache Menge, und mit reinem Sauerstoffgas geschüttelt nahe die fünffache aufnehmen.

So lange der Beweis nicht geführt ist, daß das Auflösungsvermögen des Blutes für den Sauerstoff in dieser Weise mit dem Drucke wechselt, muß

Magnus über 10 Procent seines Volums Sauerstoffgas. In dieser Behandlung nimmt das Blut abwechselnd die hochrothe Farbe des arteriellen oder die dunkel purpurrothe des venösen Blutes an.

Diese Thatsachen beweisen, daß Kohlensäure und Sauerstoffgas in Beziehung auf ihre Wirkung auf das Blut einander entgegengesetzt sind; es findet eine Austreibung der Kohlensäure und eine Aufnahme von Sauerstoff statt, wenn die Luft außerhalb eine gewisse Menge Sauerstoffgas enthält; enthält die Luft ein Uebermaß von Kohlensäure, so wird ganz im Gegentheil der Sauerstoff ausgetrieben; sind beide in einem gewissen Verhältniß in der Luft enthalten, so müssen sie sich gegenseitig im Gleichgewichte halten; das Blut wird keine Veränderung erleiden, und in diesem Falle das venöse Blut nicht in arterielles übergeführt werden.

Wenn ferner die Menge des in das Blut überhaupt aufnehmbaren Sauerstoffs in einem gewissen Verhältniß abhängig ist von der Quantität der austretenden Kohlensäure, so ist von selbst klar, daß die Vermehrung des Sauerstoffgehaltes der Luft ohne allen Einfluß auf den Respirationsproceß sein muß. Diese bemerkenswerthe Thatsache haben die Herren Regnault und Reiset in ihren bewundernswürdigen Versuchen festgestellt. Sie fanden, daß Thiere, welche in einer Luft längere Zeit (22 bis 24 Stunden) athmeten, welche zwei- bis dreimal mehr Sauerstoff enthielt, als die atmosphärische Luft, keine Art von Beschwerde fühlten, und daß die Respirationsproducte ihrem Verhältniß und ihrer Menge nach genau dieselben waren, als wenn die Thiere in normaler Luft athmen. Diese, sowie die Versuche von Magnus beweisen, daß die Lunge nicht der eigentliche Sitz der Kohlensäurebildung oder eine Wärmequelle, ähnlich einem Feuerheerde, ist, sondern daß in dem arteriellen Blut ein Sauerstoffstrom durch den Körper fließt, der auf seinem Wege durch die feinsten Gefäße die Bildung von Oxydations- oder Verbrennungsproducten, darunter die der Kohlensäure,

---

angenommen werden, daß die Ursache der Absorption desselben vom Blute bedingt ist durch eine chemische Anziehung, durch deren Wirkung eine chemische Verbindung im Blut gebildet wird. Die Versuche von Regnault und Reiset, in welchen Thiere in weit sauerstoffreicherer Luft athmeten, so wie der Umstand, daß in großen Höhen, welche wie die Hochebenen Centralamerika's bewohnt sind, der Athmungsproceß in derselben Weise vor sich geht wie am Ufer des Meeres, beweisen, daß die von dem Blute aufnehmbare Sauerstoffmenge eine constante Größe und bis zu einer gewissen Grenze unabhängig von dem äußeren Drucke ist. In der Umgebung des Piticaco-See's wohnen in der Stadt Puno in einer Höhe von 12000 Fuß über dem Meere 15000 Menschen. Die Stadt Potosi in Bolivia in einer Höhe von 12600 Fuß hat 30000 Bewohner; in diesen Gegenden athmen die Menschen kaum mehr als $^2/_3$ der absoluten Menge Sauerstoff ein, welche mit jedem Athemzuge an dem Ufer des Meeres in die Lunge tritt, und es ist von selbst klar, daß, wäre die Menge des absorbirten Sauerstoffgases in gleichem Verhältniß verschieden, eine solche Aenderung einen wesentlichen Einfluß auf die Lebensfunctionen äußern würde, welcher nicht unbemerkt hätte bleiben können.

und damit ein Freiwerden von Wärme bedingt. Das Verhältniß der Abhängigkeit der Sauerstoffaufnahme von der Kohlensäurebildung und Ausscheidung scheint ferner zu beweisen, daß beide in dem Blute einerlei Träger, nämlich die Blutkörperchen haben, daß diese den Sauerstoff der Luft in der Lunge, und in der Circulation des Blutes die gebildete Kohlensäure aufnehmen, woraus sich dann von selbst ergiebt, daß diese Blutkörperchen nicht mehr Sauerstoff aufnehmen können, als sie Kohlensäure abgegeben haben, eben weil das eine Gas den Platz des anderen einnimmt, und weil beide gleichzeitig sich nicht an demselben Platze befinden können, sondern sich gegenseitig verdrängen.

Es ist ferner einleuchtend, daß der Kohlensäuregehalt der Luft ein Haupthinderniß der Kohlensäureausscheidung aus dem Blute und damit ein Haupthinderniß der Sauerstoffabsorption ist. Wenn der Kohlensäuregehalt der Luft zunimmt, so wird, auch wenn der Sauerstoffgehalt derselbe bleibt, die Absorption des letzteren beeinträchtigt; nur durch eine entsprechende Vermehrung des Sauerstoffgehaltes würde diese schädliche Wirkung der Kohlensäure aufgehoben werden können. Ein solches Zunehmen des Sauerstoffs findet in gewöhnlichen Umständen niemals statt; aber Regnault und Reiset haben beobachtet, daß Thiere in Luft, welche anderthalbmal bis doppelt so viel Sauerstoff als die gewöhnliche Luft enthielt, bei einem Gehalt derselben an 17 bis 23 Procent Kohlensäure, athmen konnten, ohne daß nach 22 bis 26 Stunden nachtheilige Wirkungen wahrgenommen wurden. Ein solcher Gehalt von Kohlensäure in gewöhnlicher Luft wirkt absolut tödtlich.

Die Erfahrung, daß Menschen und Thiere beim Einathmen von reinem kohlensauren Gas sehr rasch sterben, während sie in Stickgas und Wasserstoffgas verhältnißmäßig länger am Leben bleiben, erklärt sich eben daraus, daß in einer Atmosphäre von Kohlensäure das Blut keine Kohlensäure abgiebt, sondern im Gegentheil noch aufnimmt, wodurch der im venösen Blute enthaltene geringe Antheil Sauerstoff aus dem Blute abgeschieden, jedenfalls dessen vitale Function sehr gehindert oder aufgehoben wird.

Die günstigste Bedingung einer raschen und vollkommenen Bildung von arteriellem Blut und einer gesteigerten Kohlensäureausscheidung ist demnach ein schneller Wechsel der Luft in den Luftzellen der Lunge.

Wenn die eingeathmete Luft dieselbe Zusammensetzung besitzt wie die ausgeathmete, so wird der Zweck des Athmungsprocesses nicht mehr erfüllt. Die ausgeathmete Luft ist verbrauchte Luft, welche zum zweiten Male zu den nämlichen Functionen in der Lunge nicht mehr dienen kann; das venöse Blut wird nicht mehr in arterielles Blut verwandelt, es treten sehr bald, ganz so, wie wenn Mund und Nase verschlossen worden wären, Athembeschwerden und Erstickung ein.

Der Tod wird in diesem Falle bedingt durch zwei Ursachen; die eine ist ohne Zweifel der Mangel an Sauerstoff, die andere hingegen das kohlensaure Gas, durch dessen Gegenwart die weitere Aufnahme des Sauerstoffs gehindert ist. In einem der Versuche von Regnault und Reiset verfiel ein dreijähriger Hund in einer Luft, deren Sauerstoff-

gehalt bis auf $4^1/_2$ Procent sich vermindert hatte, bei einem Kohlensäuregehalt von $9^3/_4$ Procent in Todeskampf; an der Luft erholte er sich übrigens bald und war nach einer halben Stunde so munter wie zuvor. In diesen Versuchen wurde die ausgeschiedene Kohlensäure in dem Raume selbst, in welchem das Thier athmete, durch Kalilauge, welche gleichzeitig mit hineingebracht worden war, zum größten Theile hinweggenommen.

Wenn man auf die Minute im Zustande der Ruhe 15 Athemzüge und auf jede Ausathmung $^1/_2$ Liter Luft (= 32 hess. = 31 engl. Cubikzoll) und in der ausgeathmeten Luft 5 Procent Kohlensäure und 15 Procent Sauerstoff annimmt, so findet man leicht, daß ein Mensch in 24 Stunden 540 Liter oder $34^1/_2$ hess. Cubikfuß Kohlensäure (1 Cubikfuß hess. = 0,551 engl.) producirt und 10800 Liter oder 691 Cubikfuß Luft verbraucht.*)

In einem geschlossenen Raume von 8 Fuß Höhe, 9 Fuß Länge und 8 Fuß Breite würde ein Mensch nicht über 24 Stunden ohne Beschwerde athmen können; nach dieser Zeit würde die darin enthaltene Luft die Zusammensetzung der ausgeathmeten Luft besitzen, bei längerem Aufenthalte in dieser Luft würde ein Krankheitszustand, zuletzt der Tod sich einstellen. Lavoisier und Seguin fanden, daß der Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft, wenn sie wieder eingeathmet wird, bis zu 10 Procent vermehrt werden kann; darüber hinaus nahm aber ihre Menge nicht mehr zu, auch wenn das Athmen fortgesetzt wurde, was nur kurze Zeit ging. Diesen Kohlensäuregehalt kann man wohl als die Grenze betrachten, von welcher an das Leben eines Menschen gefährdet ist.

Fälle dieser Art, in welchen der Tod in einem für den Aufenthalt vieler Menschen unzureichenden Luftraum durch ihren Athmungsproceß herbeigeführt wurde, sind nicht selten. Einer der neuesten und beklagenswerthesten Fälle ereignete sich vor einigen Jahren auf einem Schiffe mit Auswanderern, welche während eines Sturmes an der englischen Küste in dem Schiffsraum eingesperrt sich befanden; in weniger als 6 Stunden verloren über 60 Menschen das Leben.

In einem Raume, in welchem viele Menschen athmen und in dem die Luft durch die zufälligen Oeffnungen in den Thüren und Fenstern nur unvollständig sich erneuert, zeigt die Verlängerung der Lichtflammen so wie das Trübbrennen derselben deutlich die veränderte Beschaffenheit der Luft an.

Schon die Idee, Luft einzuathmen, welche in der Lunge eines anderen, wenn auch gesunden Menschen eine Zeit lang verweilt hat, verursacht ein Unbehagen; sicher ist, daß ein Gehalt von 1 Procent Kohlensäure in der Luft ein merkliches Uebelbefinden herbeiführt, und der Nutzen einer zweckmäßig angebrachten Lufterneuerung für alle Räume, in welchen sich Menschen aufhalten, ist einleuchtend.

---

*) Nach den hierüber gemachten Angaben kann man diese Zahlen als das Minimum der Kohlensäurebildung betrachten; bei achtzehn Athemzügen beträgt der Sauerstoffverbrauch schon ein Fünftel mehr.

Für eine erwachsene Person sollte einem solchen Raum per Stunde mindestens sechs Cubikmeter (384 hess. = 216 engl. Cubikfuß) reine Luft zugeführt werden; in der Regel rechnet man die Hälfte mehr. In der Luft der Deputirtenkammer in Paris, deren innerer Raum 5000 Cubikmeter faßt, fand Leblanc bei Anwesenheit von 600 Personen und bei einer Ventilation von 11000 Cubikmeter per Stunde, in der ausfließenden Luft noch 1 Gewichtstheil Kohlensäure auf 400 Luft, dies ist immer noch $2\frac{1}{2}$ mal mehr, als die atmosphärische Luft enthält.

Für geschlossene Räume, in Schiffen, manchen Krankenzimmern und Schlafsälen könnte durch Anwendung von Kalkhydrat die fehlende Ventilation auf eine Zeit lang mit Nutzen ersetzt werden. Die Wirkung des Kalkhydrats beruht auf dessen großem Absorptionsvermögen für kohlensaures Gas; in einem Raum, in welchem Kohlensäure enthalten ist, wird dieses Gas durch Kalkhydrat, welches auf einem Bret dünn ausgebreitet liegt, sehr rasch hinweggenommen; 1 Cubikfuß hess. Kalkhydrat (welcher feucht 18 bis 20 Pfund wiegt und 66 Procent Kalk enthält) absorbirt, um in kohlensauren Kalk überzugehen, über 1100 Liter (70 hess. oder 38,8 engl. Cubikfuß) kohlensaures Gas. In dem oben erwähnten kleinen Raume würde ein Mensch, wenn die gebildete Kohlensäure durch einige Pfunde Kalkhydrat von Anfang an hinweggenommen und ihre schädliche Wirkung in dieser Weise beseitigt würde, drei- bis viermal längere Zeit leben können.

Wenn man sich denkt, daß ein solcher Raum nicht hermetisch von der äußeren Luft abgeschlossen sei, so würde der Platz der absorbirten Kohlensäure sogleich ausgefüllt werden von einem gleichen Volum eindringender frischer Luft.

Die einzige Unbequemlichkeit, welche die Anwendung des Kalkhydrats mit sich führt, ist, daß mit der Absorption der Kohlensäure und ihrer Verbindung mit dem Kalk das Wasser des Kalkhydrats frei wird und zum Theil verdunstet, so daß man bald in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre athmet. Den Personen, welche ein neugebautes Haus beziehen, ist diese Unannehmlichkeit wohl bekannt; es zeigt sich darin in den ersten Monaten, besonders auffallend in den Wintermonaten, ein Uebermaß von Feuchtigkeit, welche sich an Fenstern und den kalten Wänden in Tropfen verdichtet. Diese Erscheinung nimmt man in Häusern wahr, welche jahrelang der trocknenden Wirkung der Luft ausgesetzt gewesen sind, und immer erst dann, wenn sie bewohnt werden; sie rührt nicht von nässender Feuchtigkeit in den Mauern, sondern von dem im Mörtel enthaltenen trockenen Kalkhydrat her, welches die 24 Procent Wasser, welche es in chemischer Verbindung enthält, als nässende Feuchtigkeit erst abgiebt, wenn demselben, wie dies in von Menschen bewohnten Räumen in reichlichem Maße geschieht, Kohlensäure zu einem Uebergang in kohlensauren Kalk dargeboten wird. Durch Verbrennen von Holzkohlen in offenen Oefen bei geschlossenen Fenstern, vor dem Beziehen der Wohnräume neuer Häuser läßt sich dieser Uebelstand wirksam beseitigen.

Die Fortdauer des Lebens und die Erhaltung der Gesundheit und

der Temperatur des Menschen steht in der innigsten Beziehung zu dem Respirationsproceß, dessen volle Wirksamkeit abhängig ist von der constanten Zusammensetzung der atmosphärischen Luft. Wenn diese durch irgend eine Ursache vorübergehend oder dauernd sich ändert, so zeigt sich der Einfluß dieser Aenderung in einer vorübergehenden oder dauernden Störung aller Lebensfunctionen.

Der Aufenthalt in niedrig gelegenen Gegenden, in denen die Luft stagnirt, an feuchten Orten, wo sich durch Verwesungsprocesse Quellen von Kohlensäure bilden, oder in einer Luft, welche bei einer hohen Temperatur mit Feuchtigkeit gesättigt ist, ist längst als die nächste Ursache vieler Krankheiten von den Aerzten erkannt; in Schlafzimmern, in welchen sich Pflanzen befinden, welche während der Nacht Sauerstoff absorbiren und Kohlensäure aushauchen, in geschlossenen Räumen, in welchen Verbrennungsprocesse vor sich gehen, in denen z. B. viele Lichter brennen*), empfängt die atmosphärische Luft die Beschaffenheit und Zusammensetzung der ausgeathmeten Luft, durch welche der Respirationsproceß wesentlich gefährdet ist.

Es ist hervorgehoben worden, daß in dem Respirationsproceß die Menge der ausgeathmeten Kohlensäure ihrem Volum nach nicht gleich, sondern kleiner ist als das Volum des in das Blut übergegangenen Sauerstoffs. Wenn man in einem gegebenen Volum Sauerstoff Kohlenstoff verbrennt und der Sauerstoff in Kohlensäure übergeht, so ändert sich das Gasvolum nicht merklich. Die Kohlensäure enthält ihr gleiches Volum Sauerstoff. Wenn demnach der in das Blut aufgenommene Sauerstoff nur zur Bildung von Kohlensäure im Leibe verwendet werden würde, so müßten wir ein dem verbrauchten Sauerstoffvolum gleiches Kohlensäurevolum zurückerhalten; aber, wie bemerkt, der in der Kohlensäure austretende Sauerstoff beträgt weniger als der aufgenommene. Das Verhältniß des Sauerstoffs in der ausgeathmeten Kohlensäure zu der ganzen Menge des aufgenommenen Sauerstoffs ist sehr wechselnd und bis zu einer gewissen Grenze abhängig von der Nahrung; bei vegetabilischer Nahrung wird mehr, bei Fleischkost weit weniger Sauerstoff in der Kohlensäure ausgeathmet; bei Pflanzenfressern beträgt der letztere $^8/_{10}$ bis $^9/_{10}$, bei Fleischfressern etwa $^3/_4$ der ganzen Menge des eingeathmeten Sauerstoffs. Bei hungernden Thieren, gleichgiltig ob Pflanzen- oder Fleischfresser, ist dieses Verhältniß gleich und dasselbe wie bei den mit Fleisch gefütterten, offenbar ein Beweis, daß im Zustand des Hungers der in das Blut aufgenommene Sauerstoff sich in ihrem Leibe mit denselben Materien verbindet, d. h. der Athmungsproceß wird auf Kosten der Bestandtheile ihres Leibes unterhalten.

Die Frage, was aus den 10 bis 25 Procent Sauerstoff wird, welche in dem Athmungsproceß scheinbar verschwinden, beantwortet sich leicht, wenn man im Auge behält, daß der thierische Körper außer Kohlenstoff und Wasserstoff nur noch eine höchst geringe Menge Schwefel als ver-

*) Ein Cubikfuß Steinkohlengas verzehrt 2 bis $2^1/_2$ Cubikfuß Sauerstoff und erzeugt 1 bis 2 Cubikfuß kohlensaures Gas.

brennliche, d. h. mit dem Sauerstoff der Verbindung fähige Elemente enthält; es ist nicht zu bezweifeln, daß der größte Theil dieses Sauerstoffs zur Wasserbildung verwendet wird. In dem Verschwinden des an Wasserstoff so reichen Fettes in Hungernden, oder des Alkohols der genossenen geistigen Getränke hat man die überzeugendsten Beweise dieser Wasserbildung, und die Thatsache, daß Murmelthiere im Zustande des Winterschlafes an Gewicht durch den Respirationsproceß zunehmen, mag darin genügende Erklärung finden; in diesem Zustande genießt das Thier kein Wasser und entläßt demungeachtet von Zeit zu Zeit Wasser im Harn, nach dessen Austreten, wie sich von selbst versteht, eine Gewichtsverminderung eintritt, welche mit dem aufgenommenen und in Kohlensäure und Wasser übergegangenen Sauerstoff im Verhältniß steht.

Man kennt genau die Wärmemenge, welche beim Uebergang des Sauerstoffs in Kohlensäure oder Wasser entwickelt wird. Wenn man unter eine gewöhnliche mit Wasser gefüllte Theekanne eine brennende Weingeistlampe stellt, die letztere vor dem Anzünden wiegt und in dem Augenblick auslöscht, wenn das Wasser anfängt zu sieden; so erfährt man durch das Zurückwiegen der Spirituslampe leicht, wie viel Weingeist verbraucht d. h. verbrannt worden ist, um das Wasser auf seinen Siedepunkt zu bringen; und wenn man das Gewicht des Wassers kennt, so läßt sich durch eine sehr einfache Rechnung bestimmen, wie viel Wärmegrade ein Gewichtstheil Weingeist, ein Loth oder eine Unze bei seiner Verbindung mit dem Sauerstoffe entwickelt. In einem hierzu geeigneteren Apparate, dessen Einrichtung es gestattet, alle durch die Verbrennung erzeugte Wärme ohne Verlust in dem Wasser aufzufangen, hat man in dieser Weise gefunden, daß durch die Verbrennung einer Unze reinen Weingeistes 69 Unzen Wasser von dem Gefrierpunkte an bis auf seinen Siedepunkt erwärmt werden können. Jede Unze dieser 69 Unzen Wasser hat demnach 100 Wärmegrade empfangen, alle zusammen haben 69 mal 100 oder 6900 Wärmegrade aufgenommen. Diese Zahl 6900 drückt die Wärmemenge aus, welche durch die Verbrennung von 1 Gewichtstheil Weingeist erzeugt oder frei wurde — und zwar in Wärmegraden, welche ein bekanntes Gewicht Wasser empfängt.

In ganz ähnlicher Weise hat man die Verbrennungswärme des Kohlenstoffs und Wasserstoffs, der Steinkohlen, des Holzes, Torfs ꝛc. ermittelt; die Verbrennungswärme der Steinkohlen ist 5625; mit einem Pfunde Steinkohlen lassen sich $56\frac{1}{4}$ Pfd. Wasser vom Gefrierpunkte bis zum Sieden, oder $562\frac{1}{2}$ Pfd. bis auf 10 Grade oder 5625 Pfd. Wasser auf einen Grad erwärmen. Die Wärmeeinheit ist, wie man leicht wahrnimmt, kein gewöhnlicher Thermometergrad, sondern es ist das Wärmequantum, was ein dem verbrannten gleicher Gewichtstheil Wasser empfängt, um seine Temperatur um einen Thermometergrad des hunderttheiligen Thermometers zu erhöhen.

Die Verbrennungswärme des reinen Kohlenstoffs ist beträchtlicher als die der Steinkohlen; nach den Bestimmungen von Andrews beträgt sie 7881, die des Wasserstoffs 33808 Wärmeeinheiten; durch die Verbrennung des Wasserstoffs wird Wasser, durch die des Kohlenstoffs

Kohlensäure gebildet, und da das Wasser das achtfache Gewicht des Wasserstoffs an Sauerstoff, die Kohlensäure $2^2/_3$ mal so viel Sauerstoff als Kohlenstoff enthalten, so kommen auf 1 Gewichtstheil Sauerstoff, der in Kohlensäure übergeht, 2950, und bei seinem Uebergange in Wasser 4226 Wärmeeinheiten.

Wenn man demnach den Sauerstoffverbrauch eines Thieres in 24 Stunden kennt, so wie die Menge der erzeugten Kohlensäure und die Menge des gebildeten Wassers (aus dem verschwundenen Sauerstoff), so ist es leicht, die ganze Wärmemenge zu berechnen, welche ein Thier durch seinen Athmungsproceß entwickelt. Es ist ferner verständlich, daß, wenn man ein Thier in einem passenden Apparate athmen läßt, welcher mit kaltem Wasser ganz umgeben ist, in diesem Fall durch die Temperaturzunahme des Wassers sich die Anzahl der Wärmegrade leicht bestimmen lasse, die das Thier während einer gewissen Zeit an die Umgebung abgiebt. Auf diesem Wege hat man die Gewißheit erlangt, daß die Anzahl der Wärmegrade, welche ein Thier durch den in seinem Leibe vor sich gehenden Proceß erzeugt, derjenigen sehr nahe entspricht, welche der nämliche Apparat empfangen würde, wenn man eine der ausgemittelten Kohlensäure und dem verschwundenen Sauerstoff entsprechende Menge Sauerstoffgas durch Verbrennung von Kohlenstoff und Wasserstoff in demselben in eben so viel Kohlensäure und Wasser übergeführt hätte, und die Frage nach dem Ursprung der thierischen Wärme ist damit in befriedigender Weise gelöst.