

Die Blutgase.

Aus einem Vortrage, gehalten von Dr John Gray Mc Kendrick bei der Jahresversammlung der „British Medical Association“ zu Glasgow am 10. August 1888.

(Fortsetzung.)

Im Jahre 1809 wurde das Gebiet der Atmung im Wasser mit großer Sorgfalt von Provençal und Humboldt erforscht. Dieselben sammelten und analysierten die Gase des Wassers, bevor und nachdem Fische eine Zeit lang darin gelebt hatten, und zeigten, dass von diesen Tieren Sauerstoff verbraucht und Kohlensäure ausgeschieden wurde.

Wir haben nun gesehen, wie nach und nach die Kenntnis der durch die Atmung bewirkten Umsetzungen sich entwickelt hat. Im Anfang dieses Jahrhunderts wusste man, dass die ausgeatmete Luft an Sauerstoff eingebüßt und an Kohlensäure und Wasserdampf gewonnen hatte und wärmer geworden war, und seitdem sind viele Untersuchungen angestellt worden, um mit Genauigkeit die Mengen dieser Stoffe zu bestimmen. Bei ihnen allen wendete man die Methode an, durch einen Raum, in welchem ein Tier sich befand, einen beständigen Luftstrom streichen zu lassen, dessen Menge und Zusammensetzung bekannt ist. Angenommen z. B., es gehe eine bestimmte Menge von trockner Luft, die frei von Kohlensäure ist und lediglich aus Sauerstoff und Stickstoff besteht, durch einen solchen Raum. In letzterem wird nun ein Teil des Sauerstoffs verbraucht und anderseits eine gewisse Menge von Kohlensäure und Wasserdampf von dem Tiere abgegeben. Die Luft wird sodann geleitet durch Kolben oder Glasröhren, welche Stoffe wie z. B. Barytwasser enthalten, um die Kohlensäure zu binden, und Chlorecalcium oder Schwefelsäure, um den Wasserdampf zu binden. Es leuchtet ein, dass das vergrößerte Gewicht dieser Kolben und Röhren, nachdem der Versuch eine Zeit lang fortgesetzt, die Menge der gebildeten Kohlensäure und Wasserdämpfe anzeigen wird. So bestimmten diese Mengen durch Versuche sowohl an Tieren als auch an Menschen Andral und Gavarret in 1843, Vierordt in 1845, Regnault und Reiset in 1849, von Pettenkofer in 1860 und Angus Smith in 1862.

Die Ergebnisse sind folgende: erstens, die ausgeatmete Luft ist ihrer Wärme entsprechend mit Wasserdampf gesättigt; zweitens, das Volum der ausgeatmeten Luft ist bis zu einem Viertel desjenigen der eingeatmeten Luft geringer als jenes; drittens, die ausgeatmete Luft enthält etwa 4 Prozent mehr Kohlensäure und 4–5 Prozent weniger Sauerstoff als die eingeatmete Luft; viertens, die gesamte tägliche Ausscheidung von Kohlensäure durch einen Durchschnittsmenschen beträgt dem Gewichte nach bis 800 g und dem Umfange nach bis

406 Liter. Diese Menge Kohlensäure aber entspricht 218,1 g Kohlenstoff und 581,9 g Sauerstoff. Nun ist die wirklich verbrauchte Sauerstoffmenge etwa 700 g, so dass nahezu 120 g des aufgenommenen Sauerstoffes nicht wieder durch die Lungen zurückkommen, sondern in dem Körper verschwinden. Man darf jedoch nicht vergessen, dass etwas Kohlensäure auch durch die Haut und auf andern Wegen entweicht. Uebrigens können diese Zahlen nur als durchschnittliche gelten, während sie je nach den Verhältnissen der Ernährung innerhalb weiter Grenzen schwanken.

Das Problem der Atmung hat aber noch eine andere Seite — nämlich die Betrachtung der durch den Prozess bedingten chemischen Veränderungen.

Nach Lavoisier wäre Atmung in der That ein langsame Verbrennung von Kohlenstoff und Wasserstoff. Die Luft lieferte den Sauerstoff und das Blut die brennbaren Stoffe. Der große französische Chemiker war indess nicht ohne Weiteres der Meinung, dass diese Verbrennung allein in den Lungen sich vollzöge. Er sagt, dass die Kohlensäure zum Teil unmittelbar in der Lunge gebildet werden könne, aber auch in den Blutgefäßen des ganzen Körpers, durch Verbindung des Luftsauerstoffs mit dem Kohlenstoffe des Blutes. Lavoisier's Anschauungen wurden genau nur von wenigen seiner Zeitgenossen aufgefasst, und es herrschte die Meinung vor, dass nach ihm jene Verbrennung nur innerhalb der Lungen erfolge, und dass die in diesen Organen vor sich gehenden Stoffumsetzungen die Hauptquelle der tierischen Wärme seien. Dieser Meinung widersprach aber schon der große Mathematiker Lagrange 1791, wenige Jahre nach Lavoisier's Publikation über Atmung. Lagrange zeigte, dass die Temperatur der Lungen, wenn die tierische Wärme einzig in ihnen erzeugt würde, hoch genug werden musste, um dieselben zu zerstören; und er nahm deshalb an, dass der Sauerstoff einfach im Blute verteilt und sich erst in dieser Flüssigkeit mit Kohlenstoff und Sauerstoff verbindend, Kohlensäure und Wasserdampf bilde, welche alsdann in die Lungen ausgeschieden werden. Man sieht, diese Meinung des Lagrange war der Thatsache nach dieselbe, wie sie Lavoisier im Jahre 1789 aufgestellt hatte.

Wenn nun die Erzeugung von Kohlensäure in einer gegebenen Zeit abhinge von der Menge von Sauerstoff, welche in derselben Zeit aufgenommen wurde, würde die Ansichten von Lavoisier und Lagrange genau zutreffen; aber Spallanzani hat gezeigt, dass gewisse Tiere, wenn sie in eine Atmosphäre von Stickstoff oder Wasserstoff eingeschlossen werden, Kohlensäure in einer fast ebenso großen Menge ausatmeten, als wenn sie atmosphärische Luft geatmet hätten. Er musste deshalb sagen, dass Kohlensäure wahrscheinlich im Körper schon vorhanden war, und dass deren Auftreten nicht der Verbindung von Sauerstoff mit dem Kohlenstoff des Blutes zugeschrieben werden

konnte. Spallanzani glaubte darum, dass in der Lunge einfach eine Ausatmung von Kohlensäure und eine Aufnahme von Sauerstoff vorlag, und diese Ansichten wurden unterstützt durch die im Jahre 1824 veröffentlichten Versuche von W. Edwards. Edwards legte dar, dass Tiere in einer Atmosphäre von Wasserstoff eine Menge von Kohlensäure hervorbrachten, wie sie nicht in Verhältnis zu bringen war mit irgend welchem im Körper als vorhanden anzunehmendem Sauerstoff. 1830 führte Collard de Martigny viele ähnliche Versuche aus und stellte fest, dass Kohlensäure in den Kapillaren abgetrieben und durch die Lungen ausgestoßen würde; und diese Anschauung wurde von Johannes Müller unterstützt, welcher die Versuche Spallanzani's nachmachte.

Somit möchte man sagen, dass zwei Theorien über Atmung den Physiologen vorlagen: die eine, dass in den Lungen oder im Venenblute eine Verbrennung statthabe, welche Kohlensäure und Wasserdampf liefert, die wiederum von den Lungen ausgestoßen werden; die andere, dass es dort keine solche Verbrennung gebe, sondern dass Sauerstoff durch die Lungen aufgenommen und den Geweben zugeführt werde, während in letztern die Auscheidung von Kohlensäure erfolge, welche vom Blute aufgenommen und zu den Lungen geführt und durch diese letztern dann ausgestoßen werde. Mehrere Gelehrte, bald nach Lavoisier, missverstanden, wie ich schon erwähnt habe, die Anschauungen dieses ausgezeichneten Mannes und lehrten, dass es in den Lungen selbst eine Auscheidung von Kohlenstoff gebe, welcher unmittelbar mit dem Sauerstoff zur Bildung von Kohlensäure sich vereinigte. Dies aber war Lavoisier's Meinung wirklich nicht, und wir haben es deshalb mit zwei Theorien zu thun, welche unterschieden werden können als die Lehre von der Verbrennung, und die Lehre von der Sekretion in der Lunge.

Die von den ältern Physiologen bei der Annahme der Sekretions-Theorie empfundene Schwierigkeit war das Fehlen eines Beweises für das Vorhandensein freien Sauerstoffs und freier Kohlensäure im Blute. Diese Schwierigkeit bestand auch für diejenigen, welche die Anschauung einer in den Lungen sich abwickelnden Verbrennung verwarfen und dafür der Ansicht huldigten, dass diese im ganzen Körper innerhalb des Blutes vor sich gehe, weil freie Gase im Blute gefunden werden müssten, wenn jenes zutreffend wäre. So lange darum die Physiologen keine bestimmte Kenntniss hatten über die Gase im Blute, hielt die Verbrennungstheorie im engsten Sinne Stand. Diese Theorie, wenn auch fruchtbar an manchen Gedanken über Atmung und tierische Wärme, wurde verlassen infolge der Klarheit, welche durch zwei Richtungen in der Forschung gebracht wurde: nämlich einmal Forschungen über die Gase des Blutes, und ferner Forschungen über das Temperaturverhältnis des Blutes in der rechten und linken Herzkammer.

Lassen Sie mich zuerst Ihre Aufmerksamkeit lenken auf die allmähliche Entwicklung unserer Kenntnis über die Blutgase. Der merkbare Wechsel in der Farbe des Blutes, wenn dasselbe der Luft ausgesetzt ist oder mit ihr geschüttelt wird, wurde bereits im Jahre 1665 von Fracassati beobachtet und wird auch erwähnt von Lower (1631—1691), Mayow, Cigna (1773) und Hewson (1774); aber Priestley war der erste, der zeigte, dass die hellere Röte von der Einwirkung des Sauerstoffes der Luft herrührte, und dass das Blut dunkel wurde, wenn es mit Kohlensäure, Wasserstoff und Stickstoff geschüttelt wird. Die Anwesenheit von Luft im Blute wurde zuerst von Mayow um 1672 beobachtet. In einer Schrift von Leeuwenhook (1632—1723), betitelt „Des Autors Versuche und Beobachtungen über die Menge von Luft in Wasser und andern Flüssigkeiten“, herausgegeben 1674, finde ich die Beschreibung einer von diesem ausgezeichneten Manne ersonnenen Methode, um das Vorhandensein von Luft in gewissen Flüssigkeiten, darunter auch im Blute, festzustellen. Sie bestand in einer Art Spritze, mittels deren er ein teilweises Vakuum hervorbringen konnte. Er sah dabei Gasblasen aufsteigen, und für Menschenblut schätzte er die darin enthaltene Gasmenge auf $\frac{1}{1000}$ oder $\frac{1}{2000}$ von dem Volumen des Blutes. Aufgrund dieser interessanten Beobachtung tritt er gegen eine der herrschenden medizinischen Theorien jener Zeit auf, dass mannigfache Krankheiten durch Gärung des Blutes verursacht werden sollten. Wie — sagte er — stimmt eine solche Theorie zusammen mit der Anwesenheit einer so geringen Gasmenge? Infolge der Unvollkommenheit seines Apparates machte er den Missgriff zu behaupten, dass das Blut, wenn es aus den Venen kommt, keine Luft enthalte.

Gas aus dem Blute wurde auch erhalten durch Sir Humphrey Davy in 1799, Vogel 1814, Brand 1818, Hoffmann 1833 und Stevons 1835. Andererseits misslang es John Davy, Bergmann, Johannes Müller, Mitscherlich, Gmelin und Tiedemann, irgend ein Gas zu erhalten. Die erste Gruppe der Forscher erzielte kleine Mengen Kohlensäure entweder durch Erhitzung des Blutes, oder indem sie es in ein Vakuum fließen oder einen Strom Wasserstoff durch dasselbe hindurchgehen ließen. Sir Humphrey Davy war der erste, welcher eine kleine Menge Sauerstoff aus dem Blute sammelte. John Davy wurde 1828 durch eine verfehlte Art der Untersuchung verleitet zu bestreiten, sowohl dass das Blut Sauerstoff aufnehme, als auch dass es Kohlensäure abgebe. Seines Irrtums überführt wurde er 1830 durch Christison, welcher eine einfache Methode angab, diese Thatsache vor Augen zu führen.

So lange der Beweis für das Vorhandensein von Gasen im Blute so ungewiss war, behauptete die Verbrennungstheorie für die Atmung ihren Platz. Endlich, im Jahre 1836, erschienen die Untersuchungen von Heinrich Gustav Magnus, zuletzt Professor der Physik und

Technologie an der Universität zu Berlin. Zuerst versuchte er, Kohlensäure aus dem Blute durch einen Strom Wasserstoffgas auszutreiben, und er erhielt auf diesem Wege bis 34 cem Kohlensäure von 62,9 cem Blut. Er stellte dann eine Quecksilber-Luftpumpe her, mit welcher man eine Glocke bis zu weit höherem Grade entleeren konnte, als dies mittels der gewöhnlichen Luftpumpe möglich war¹⁾. Diese Untersuchung bezeichnet eine Epoche in physiologischer Entdeckung, da durch sie ein neues Licht auf die Funktion der Atmung durch den Beweis für das Vorhandensein von Gasen im Blute geworfen wurde.

Lassen Sie mich nun, um die Bedeutung dieses Beweises und der angewendeten Methode recht zu würdigen, Ihre Aufmerksamkeit auf die Gesetze lenken, welche die Diffusion der Gase regeln. Da eine Gasmasse keine bestimmte Form wie ein fester Körper hat, noch auch einen bestimmten Raum wie ein Flüssigkeit einnimmt, sondern vielmehr aus einer ungeheuren Zahl von Molekeln besteht, welche infolge ihrer gegenseitigen Abstoßung immer weiter von einander sich zu entfernen streben, so ist leicht einzusehen, dass zwei in gegenseitige Berührung gebrachte Gasmassen sich miteinander vermischen werden — das heißt, ihre Molekeln werden untereinander eindringen, bis eine Mischung erzielt ist, welche gleichmäßig viel Molekeln von jedem Gase enthält. Die Kraft, mit welcher die Molekeln einander abstoßen, und mittels deren sie nach allen Richtungen hin einen Druck ausüben, ist als der Druck oder die Spannung der Gase bekannt. Es leuchtet ein, dass je größer die Zahl der Gas-molekeln in einem gegebenen Raume ist, desto größer auch der Gasdruck sein wird; und daraus folgt, dass der Gasdruck in umgekehrtem Verhältnis zum Gasvolumen steht — bekannt als Boyle'sches Gesetz. Nehmen wir nun an, zwei Gase seien durch eine poröse Zwischenwand von einander geschieden: dieselben werden sich miteinander vermischen, und die Geschwindigkeit, mit der die Diffusion vor sich geht, wird entsprechend dem spezifischen Gewicht der Gase verschieden sein. Leichte Gase wie Wasserstoff oder Leuchtgas werden somit schneller diffundieren als atmosphärische Luft, Chlorgas oder Kohlensäure.

Wichtig ist es auch die Gesetze zu beachten, nach denen die Absorption von Gasen durch Flüssigkeiten vor sich geht. Wenn wir ein wenig Wasser über Quecksilber mit Ammoniakgas in Berührung treten lassen, so wird das Gas schnell von dem Wasser absorbiert (1 Volumen Wasser nimmt 730 Volumina Ammoniakgas auf); alles Gas über dem Quecksilber verschwindet, und infolgedessen treibt der

¹⁾ Anm. Dies ist nicht ganz richtig. Magnus erhielt viel geringere Gas-mengen aus dem Blut. Seine Gaspumpe war auch sehr unvollkommen. Ihre jetzige Form erhielt sie später durch Hoppe-Seyler, Ludwig, Helmholtz und Pflüger. Die erstern genauern Blutgasbestimmungen rühren von Ludwig und Setschenow her.

Druck der äußern Luft das Quecksilber in dem Glasrohr in die Höhe. Je höher die Temperatur einer Flüssigkeit ist, desto weniger Gas nimmt sie auf; und bei dem Siedepunkt ist die Absorption = 0, weil bei dieser Temperatur die Flüssigkeit selbst in Gas sich verwandelt. Die Absorptionsfähigkeit verschiedener Flüssigkeiten für dasselbe Gas und diejenige derselben Flüssigkeit für verschiedene Gase schwankt zwischen weit von einander liegenden Grenzen. Bunsen bestimmte den Absorptions-Koeffizienten einer Flüssigkeit für ein Gas auf die Zahl, welche den Gasraum (reduziert auf 0° C und 760 mm Barometerstand) angibt, der von einem Volumen Flüssigkeit aufgenommen wird. So nimmt 1 Volumen destilliertes Wasser folgende Gasvolumina auf:

Grad Celsius	N	O	CO ₂	Atm. Luft
0	0,02	0,041	1,797	0,025
5	0,018	0,036	1,5	0,022
15	0,015	0,03	1,002	0,018
37	—	0,02	0,569	—

1 Volumen destilliertes Wasser ferner absorbiert bei 0° C 0,00193 Volumen Wasserstoff, während es nicht weniger als 1180 Volumina Ammoniak aufnehmen kann; weiter verschluckt 1 Volumen Wasser bei 0° nur 0,2563 Volumen Kohlenwasserstoffgas, aber 1 Volumen Alkohol nimmt bei derselben Temperatur bis 3,595 Volumina auf. Das Volumen des absorbierten Gases ist von dem Drucke unabhängig, und immer das gleiche Volumen Gas wird aufgenommen, mag der Druck sein wie er will. Nun aber steht nach dem Boyle'schen Gesetz die Dichte eines Gases, oder mit andern Worten die Zahl der Molekeln in einem gegebenen Raume, im Verhältnis zu dem Druck; und da das Gewicht dem Produkt aus dem Volumen und der Dichtigkeit gleichkommt, während das absorbierte Gasvolumen immer dasselbe bleibt, so steigt und fällt das Gewicht oder die Menge des absorbierten Gases im Verhältnis zum Drucke (Dalton und Henry'sches Gesetz). Daraus endlich geht hervor, dass ein Gas als physikalisch absorbiert von einer Flüssigkeit zu betrachten ist, wenn es von derselben bei einer Verminderung des Druckes in der letztern entsprechenden Gewichtsmengen, nicht Raummengen entweicht.

Wenn zwei oder mehr Gase eine Atmosphäre über einer Flüssigkeit bilden, so findet die Absorption proportional zu dem Drucke statt, den jeder der Bestandteile der Luftmischung ausüben würde, wenn er allein in dem von der Mischung eingenommenen Raum sich befände, weil nach dem Dalton'schen Gesetz ein Gas keinen Druck ausübt auf ein anderes, das mit ihm vermischt ist, weil vielmehr ein Raum, der mit einem Gase erfüllt ist, hinsichtlich eines zweiten Gases als ein solcher ohne Gas oder, mit andern Worten, als ein Vakuum betrachtet werden muss. Dieser Druck, welcher die Absorption der

Bestandteile einer Gasmischung bestimmt, wird nach Bunsen der partielle Gasdruck genannt. Der partielle Druck jedes einzelnen Gases in einer Gasmischung hängt dann von dem Volumen des fraglichen Gases in der Mischung ab. Nehmen wir an, atmosphärische Luft stehe unter einem Quecksilberdruck von 760 mm, so wird, da die Luft zu 21 von 100 Raumteilen aus Sauerstoff und zu 79 von 100 Raumteilen aus Stickstoff besteht, der partielle Druck, unter welchem Sauerstoffgas absorbiert wird, $760 \times \frac{21}{100} = 159,6$ mm Quecksilber

sein, während die Absorption von Stickstoff unter einem Drucke von $\frac{760 \times 69}{100} = 600$ mm Quecksilber vor sich geht. Nehmen wir ferner

an, dass über einer Flüssigkeit, die ein absorbiertes Gas, sagen wir Kohlensäure, enthält, eine aus einem andern Gase, sagen wir atmosphärische Luft, bestehende Atmosphäre sich befindet, so ist, da Kohlensäure in der Luft nur spurweise vorkommt, ihre Spannung gleich Null, und Kohlensäure wird aus der Flüssigkeit entweichen, bis der Unterschied der Spannung zwischen der Kohlensäure im Wasser und der Kohlensäure in der Luft darüber ausgeglichen worden ist — das bedeutet, bis die Kohlensäure, welche in die Luft entwichen ist, eine Spannung erreicht hat, welche derjenigen des noch in der Flüssigkeit enthaltenen Gases gleich ist. Unter dem Ausdruck „Gasdruck in einer Flüssigkeit“ versteht man, in Quecksilber-Millimetern ausgedrückt, den partiellen Druck, welchen das fragliche Gas in der Atmosphäre auszuüben hat, wenn keine Diffusion zwischen dem Gas in der Flüssigkeit und dem Gas in der Atmosphäre stattfindet.

Die von Magnus eingeschlagene Methode wird nun verständlich sein. Dadurch dass er das Blut in die entleerte Glocke der Luftpumpe fließen ließ, wurden die Gase frei; und letztere wurden ermittelt als Sauerstoff, Kohlensäure und Stickstoff. Weiter machte er die wichtige Beobachtung, dass sowohl arterielles als venöses Blut die Gase enthielten, wobei ein Unterschied darin bestand, dass im Arterienblute mehr Sauerstoff und weniger Kohlensäure war als im Venenblute. Magnus schloss daraus, dass die Gase einfach im Blute absorbiert seien, und dass Atmung ein einfacher Diffusionsprozess sei, wobei Kohlensäure entweicht und Sauerstoff aufgenommen wird, entsprechend dem soeben von mir erläuterten Gesetz vom Gasdruck.

Wir wollen nun die Magnus'sche Erklärung auf die Vorgänge bei der Lungenatmung anwenden. Venenblut, welches bei Bluttemperatur und unter einem gewissen Drucke eine gewisse Menge Kohlensäure enthält, gelangt zu den Kapillaren, welche auf den Wandungen der Luftbläschen der Lungen verteilt sind. In diesen Luftbläschen haben wir eine Atmosphäre von einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Drucke. Wir lassen die Temperatur

beiseite, indem wir annehmen, sie sei im Blute und in den Luftzellen gleich, und wenden uns zu der Frage des Druckes. Wäre der Druck der Kohlensäure in dem Blute größer als derjenige der Kohlensäure in den Luftzellen, so würde Kohlensäure so lange entweichen, bis Gleichgewicht hergestellt ist zwischen dem Gasdruck im Blute und dem Gasdruck in den Luftzellen. Ferner, wäre der Druck oder die Spannung des Sauerstoffs in den Luftzellen größer als entsprechend in dem Venenblute, so würde Sauerstoff so lange aufgenommen werden, bis die Spannungen gleiche geworden sind. Eine solche Theorie hat zweifelsohne den Vorzug der Einfachheit, aber man wird bemerken, dass sie gänzlich auf der Annahme beruht, dass die Gase einfach in dem Blute absorbiert sind. Von Liebig wurde aufgrund der Versuche von Regnault und Reiset behauptet, dass Tiere dieselbe Sauerstoffmenge verbrauchten, wenn sie eine aus diesem Gase allein bestehende Atmosphäre einatmeten, als wenn sie gewöhnliche Luft atmeten, und dass die vitalen Prozesse nicht viel beeinflusst werden durch die Atmung in der Atmosphäre bedeutender Höhenlagen, wo die Menge des aufgenommenen Sauerstoffes nur etwa zwei Drittel von der an der Meeresoberfläche vorhandenen ausmacht. Viel später wurde auch durch Ludwig und W. Müller gezeigt, dass Tiere, welche in einem begrenzten Luftraume atmen, allen in diesem Raume enthaltenen Sauerstoff aufbrauchen, und es ist klar, dass dabei der partielle Druck des verbleibenden Sauerstoffes beständig sinken muss, da der Sauerstoff aufgebraucht wird. Liebig stellte die Ansicht auf, dass die Gase nicht einfach in dem Blute absorbiert seien, sondern in einem Zustande schwacher chemischer Verbindung sich befänden, welche gelöst werden könnte durch den verminderten Druck im Vakuum, oder durch die Einwirkung von andern Gasen. Er glaubte auch, dass es nötig sei, genau den Absorptions-Koeffizienten des Blutes für die Gase zu bestimmen — das ist die Menge, welche unter einem Drucke von 760 mm Quecksilber von einem Raunteil Blut bei der während der Beobachtung herrschenden Temperatur absorbiert wird. Die nächsten wichtigen Beobachtungen waren diejenigen Fernet's, welche in den Jahren 1855 und 1857 veröffentlicht wurden. Derselbe trieb den größern Teil des Gases aus Hundeblut dadurch aus, dass er einen Strom Wasserstoffgas durch dasselbe hindurchgehen ließ und es dann der Einwirkung der Luftpumpe unterwarf. Unter einem gewissen Drucke führte er dann in den Apparat das Gas ein, dessen Absorptions-Koeffizienten er zu bestimmen hatte. Darauf bestimmte er die Menge des absorbierten Gases unter verschiedenem Drucke und fand für den Sauerstoff, dass die aufgenommene Menge bei allmählicher Abnahme des angewendeten Druckes größer war, als dies nach der Dalton'schen Lehre vom Druck hätte der Fall sein sollen. Der Sauerstoff wurde demnach nicht einfach im Blute absorbiert. Weiterhin gelangte Fernet zu dem Schlusse, dass der größere Teil

des Sauerstoffes in einem Zustande der Verbindung sich befand, während nur ein kleiner Bruchteil dem Dalton'schen Gesetz entsprechend einfach im Blute aufgelöst war.

Es leuchtet ein, dass, wenngleich die Menge des absorbierten Sauerstoffes mit dem Drucke schwankt, dies doch nicht im Einklang mit Dalton's Gesetz geschieht. Die Sauerstoffmenge sinkt sehr allmählich mit dem verschiedenen Druck, wenn dieser niedriger ist als der atmosphärische, und wächst sehr rasch mit steigendem höherem Drucke. Wenn im Vakuum der Druck so klein geworden ist, dass er dem Dreizehntel einer Atmosphäre gleichkommt, so kann man annehmen, dass aller Sauerstoff ausgegeben ist; und das wird etwa der Druck des Wasserdampfes in dem Apparat sein, wenn der Versuch bei Zimmertemperatur gemacht wird. Die Anschauung, dass irgend etwas in dem Blute chemisch mit dem Sauerstoffe verbunden ist, wird durch die Thatsache unterstützt, dass Serum nicht viel mehr Sauerstoff als Wasser aufnehmen kann, so dass Blut bei einer Temperatur von 30° C nur ungefähr 2 Prozent seines Volumens Sauerstoffgas aufnehmen und letzterer einfach absorbiert im Blute sein würde. Es kann auch gezeigt werden, dass defibriertes Blut unabhängig vom Drucke Sauerstoff aufnimmt, und dass die Menge des von defibriertem Blute aufgenommenen Sauerstoffes etwa gleich ist derjenigen Menge, welche absorbiert wird von einer reinen Hämoglobinlösung, die davon ebenso viel wie das Blut enthält.

Durch ähnliche, mit Kohlensäure vorgenommene Versuche stellte Fernet fest, dass der größere Teil davon in einem Zustande loser chemischer Verbindung sich befand, während eine kleine Menge, unterliegend dem Gesetze vom verschiedenen Druck, einfach absorbiert war. Versuche mit Blutserum ließen ähnliche Ergebnisse bezüglich der Kohlensäure erkennen, mit dem Unterschiede, dass der Absorptions-Koeffizient für Sauerstoff viel geringer als mit gewöhnlichem Blute war. Es zog deshalb den Schluss, dass nahezu alle Kohlensäure chemisch in der Blutflüssigkeit gebunden war, während fast aller Sauerstoff in Verbindung mit den roten Blutkörperchen sich befand. Dann ging er dazu über zu erforschen, ob die drei hauptsächlichsten Salze des Blutes (kohlensaures Natrium, phosphorsaures Natrium und Natriumchlorid) irgendwie den Absorptions-Koeffizienten der Kohlensäure beeinflussten oder nicht. Er fand 1) dass Beimengung dieser Salze zu destilliertem Wasser, und zwar in dem Verhältnis, in welchem sie im Blutserum vorhanden sind, ein wenig den Absorptions-Koeffizienten verkleinert 2): dass Chlornatrium keinen Einfluss auf letztern hat, und 3): dass Kohlensäure mit dem kohlensauern und phosphorsauern Natrium sich verbindet.

In demselben Jahre (1855) veröffentlichte Lothar Meyer die Ergebnisse einer Reihe von Versuchen derselben Natur. Unter der Leitung Bunsen's wurde das Blut mit dem Zehnfachen seiner Menge

von Wasser verdünnt, und die Gase wurden gesammelt, indem man die Flüssigkeit im Vakuum bei sehr gelinder Wärme kochte; dadurch wurde eine bestimmte Gasmenge erhalten. Er fand auch, dass Blut eine viel größere Menge Kohlensäure aufnimmt als reines Wasser bei derselben Temperatur, und stellte fest, dass wenn Blut unter verschiedenem Drucke Sauerstoff ausgesetzt wurde, die Menge des aufgenommenen Gases als aus zwei Teilen bestehend betrachtet werden konnte, von denen der eine Dalton's Gesetz gehorchte und der andere von letzterem unabhängig war.

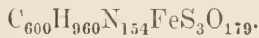
Fernere Untersuchungen derselben Art wurden angestellt durch Setschenow, Ludwig, Alexander Schmidt, Bert, Pflüger und andere, und scharfsinnige Methoden sind angegeben worden, um die Gase zu sammeln und zu analysieren. Besonders Prof. Pflüger und seinen Schülern verdanken wir die vollständigste Reihe von Gasanalysen dieser Art. Das Resultat setzt uns in stand, die ungefähre Zusammensetzung der Blutgase wie folgt zu geben. Von 100 Raumteilen Hundeblut werden erhalten

	<i>Sauerstoff</i>	<i>Kohlensäure</i>	<i>Stickstoff</i>
Arterienblut	18,4 bis 22,6; im Mittel 20	30 bis 40	1,8 bis 2
Venenblut	im Mittel 11,9	43 bis 48	1,8 bis 2

die Gase gemessen bei 0° C und 760 mm Luftdruck. Das Venenblut vieler Organe kann auch weniger als 11,9 Prozent Kohlensäure enthalten, und Blut bei Asphyxie sogar nur ein Volumen-Prozent. Aus alledem geht hervor, dass die Blutgase nicht in einem Zustande einfacher Absorption sich befinden, dass sie vielmehr mit bestimmten Bestandteilen des Blutes locker verbunden sind. Nehmen wir zum Beispiel den Sauerstoff. Berzelius zeigte schon viel früher, dass 100 Volumina Wasser bei bestimmter Temperatur und bestimmtem Drucke 2,9 Volumina Sauerstoff absorbieren, während unter denselben Bedingungen 100 Volumina Blutserum 3,1 Volumina und 100 Volumina Blut 9,6 Volumina aufnehmen. Irgend etwas im Blute muss die Fähigkeit haben, eine große Menge von Sauerstoff aufzunehmen.

Der nächste Schritt war die Entdeckung der wichtigen Rolle, welche der Farbstoff der roten Blutkörperchen bei der Atmung spielt. Chemisch bestehen dieselben aus ungefähr 30 oder 40 Prozent fester Substanz. Diese festen Bestandteile enthalten nur etwa 1 Prozent anorganische Salze, vornehmlich solche von Kalium, während die übrigen fast gänzlich organische sind. Die Analyse hat ergeben, dass 100 Teile von der getrockneten organischen Substanz an Hämoglobin, nämlich eben dem Farbstoff, nicht weniger enthalten als 90,54, Eiweißstoffe 8,67, Lecithin 0,54 und Cholesterin 0,25. Das Hämoglobin, der Farbstoff, wurde in krystallinischem Zustande zuerst von Funke im Jahre 1853 und darauf von Lehmann dargestellt. Analysiert ist es worden von Hoppe-Seyler und Karl Schmidt, und zwar mit

dem Ergebnis, dass es eine ganz konstante Zusammensetzung hat. Hoppe-Seyler's Analyse erschien zuerst in 1868. Man kennt es jetzt als eine der kompliziertesten organischen Verbindungen, mit folgender, von Preyer (1871) an der Hand der eben von mir erwähnten Analysen aufgestellten Formel:



Im Jahre 1862 beobachtete Hoppe-Seyler das auffallende Absorptions-Spektrum einer stark verdünnten Blutlösung. Unmittelbar darauf beschäftigte sich Prof. Stokes in Cambridge mit dem Gegenstande und trug darüber in 1864 in der Royal Society vor. Lässt man weißes Licht durch eine sehr dünne Blutschicht fallen, so sieht man zwei gesonderte Absorptions-Bänder. Eines dieser beiden nächst *D* ist schmaler als das andere, hat schärfere Ränder und ist sichtlich dunkler. Seine Mitte entspricht der Wellenlänge 579, und es wird passend als Absorptionsstreifen α in dem Oxyhämoglobin-Spektrum bezeichnet. Das zweite der Absorptionsbänder — zunächst *E* — welches wir als β bezeichnen, ist breiter, hat weniger scharfe Ränder und ist nicht so dunkel wie α . Seine Mitte entspricht annähernd der Wellenlänge 553,8. Verdünnen wir sehr stark mit Wasser, so erscheint das ganze Spektrum sehr schön hell, ausgenommen an der Stelle der zwei Absorptions-Streifen. Wird die Verdünnung hinlänglich fortgesetzt, so verschwinden selbst diese; bevor sie verschwinden, gleichen sie schwachen Schatten, welche den von ihnen eingeschlossenen Teil des Spektrums verdunkeln. Zuletzt verschwindet Band α . Die beiden Absorptionsbänder sind am deutlichsten zu sehen, wenn eine Schicht von 1 cm Dicke von einer Lösung angewendet wird, welche auf 1000 Teile 1 Teil Hämoglobin enthält; sie sind aber noch zu sehen, wenn die Lösung nur 1 Teil Hämoglobin auf 10 000 Teile Wasser enthält.

Angenommen anderseits, wir fangen mit einer Lösung von 1 Raumteil Blut in 10 Raunteilen Wasser an: wir finden dann, dass eine solche Lösung den brechbarern Teil des Spektrums abschneidet und nichts außer dem Rot übrig lässt, oder diejenigen Strahlen, welche eine Wellenlänge von mehr als etwa 600/1000 000 mm haben. Bei weiterer Verdünnung stellen sich die Erscheinungen, wie sie treffend von Prof. Gamgee beschrieben werden, wie folgt dar: — „Wird nun die Blutlösung weiter verdünnt, so dass sie 8 Prozent Hämoglobin enthält, so wird das Spektrum bei einer Dicke der Blutschicht von 1 cm deutlich bis zur Fraunhofer'schen Linie *D* (Wellenlänge 589) — das heißt, Rot, Orange und Gelb sind sichtbar und ein Teil vom Grün zwischen *b* und *F*. Unmittelbar neben *D*, und zwischen *D* und *b* (zwischen den Wellenlängen 595 und 518), ist die Absorption eine starke“.

Dies wurde von Hoppe-Seyler beobachtet. Prof. Stokes lieferte zu diesen Beobachtungen den wichtigen Beitrag, dass das Spektrum durch die Einwirkung reduzierender Stoffe verändert wird.

Hoppe-Seyler hatte beobachtet, dass der Farbstoff, insofern das Spektrum inbetracht kommt, durch kohlen saure Alkalien und durch Aetzammoniak unbeeinflusst blieb, aber dass er fast unmittelbar durch Säuren und allmählich auch durch kaustische feste Alkalien zersetzt wurde, und dass das farbige Produkt der Zersetzung Hämatin ist, von dem man das Spektrum kannte. Prof. Stokes studierte den Gegenstand vom physiologischen Standpunkt aus, wie aus seinen eignen Worten in der klassischen, bereits erwähnten Untersuchung hervorgeht: „Es schien mir indess ein Punkt von besonderem Interesse zu sein zu erforschen, ob wir den Wechsel der Farbe vom arteriellen zum venösen Blute nachmachen könnten, vorausgesetzt, dass derselbe von Reduktion herrührt“.

Er fand, dass: „Wenn einer Lösung von einfach schwefelsaurem Eisen genügend Weinsäure zugesetzt wird, um einer Fällung durch Alkalien vorzubeugen, und wenn eine kleine Menge der vorher durch Ammoniak oder kohlen saures Natrium alkalisch gemachten Lösung einer Blutlösung zugesetzt wird, deren Farbe fast augenblicklich viel mehr purpurrot wird, als man es in dünner Schicht sieht, und viel dunkler rot, als in dickerer Schicht. Der Farbenwechsel, welcher an den Unterschied zwischen arteriellem und venösem Blut erinnert, ist schlagend genug; aber viel entschiedener noch ist die Veränderung im Absorptions-Spektrum. Die vorher beobachteten höchst charakteristischen beiden dunkeln Bänder sind nunmehr ersetzt durch ein dunkles Band, welches ein wenig breiter und weniger scharf begrenzt an seinen Rändern ist als eines der beiden vorherigen, und welches ungefähr die Stelle des hellen Teiles einnimmt, der die dunkeln Bänder in der ersten Lösung von einander trennte. Die Flüssigkeit ist durchlässiger für das Blau und lässt weniger Grün durch als vorher. Nimmt man die Schicht dicker, etwa so, dass das ganze Spektrum, welches brechbarer als das Rot ist, zu verschwinden anfängt, so bleibt zuletzt Grün übrig, nahe der festen Linie b in der ursprünglichen Lösung, und Blau in der Nähe von F , wenn die veränderte Flüssigkeit in Frage kommt“.

An der Hand dieser Beobachtungen gelangte Prof. Stokes zu dem wichtigen Schlusse, dass: „der Farbstoff des Blutes gleich Indigo in zwei Stufen der Oxydation vorkommen kann, welche durch eine Verschiedenheit der Farbe und eine fundamentale Verschiedenheit in ihrer Einwirkung auf das Spektrum zu unterscheiden sind. Man kann ihn von dem höhern zu dem geringer oxydierten Zustande hinüberführen durch geeignete reduzierende Stoffe, und er erlangt seinen Sauerstoff wieder durch Absorption aus der atmosphärischen Luft“.

Dem Farbstoffe des Blutes gab Prof. Stokes den Namen Cruorin, und er beschrieb ihn in zwei Zuständen der Oxydation als Scharlach-Cruorin und als Purpur-Cruorin. Aber der Name Hämoglobin, den ihm Hoppe-Seyler gab, wird allgemein gebraucht. Ist er mit

Sauerstoff verbunden, so nennt man ihn Oxyhämoglobin, und befindet er sich in reduziertem Zustande, so nennt man ihn reduziertes Hämoglobin oder einfach Hämoglobin.

Der spektroskopische Nachweis ist also vollkommen. Hoppe-Seyler, Hüfner und Preyer haben auch gezeigt, dass reines krystallisiertes Hämoglobin eine Sauerstoffmenge absorbiert und chemisch gebunden festhält, die derjenigen gleichkommt, welche in einem dieselbe Menge Hämoglobin enthaltenden Blutvolumen vorhanden ist. So absorbiert 1 g Hämoglobin 1,56 cem Sauerstoff bei 0° C und 760 mm Luftdruck; und da der durchschnittliche Hämoglobingehalt im Blute ungefähr 14 Prozent beträgt, so folgt, dass $1,56 \times 14 = 21,8$ cem Sauerstoff durch 100 cem Blut gebunden werden müssten. Dies stimmt genau mit der Thatsache überein, dass ungefähr 20 Volumina Sauerstoff von 100 Raumteilen Blut erhalten werden können. Nach Pflüger ist das Arterienblut bis zu $\frac{9}{10}$ mit Sauerstoff gesättigt, während Hüfner diese Zahl auf $\frac{14}{15}$ angibt. Schüttelt man Blut mit atmosphärischer Luft, so kann sein Sauerstoffgehalt um 1 bis 2 Volumprocente gesteigert werden.

Diese wichtigen Untersuchungen, deren Ergebnisse in weitem Maße bestätigt worden sind, haben uns Aufschluss gegeben über die Rolle der roten Blutkörperchen bei der Atmung. Das Hämoglobin des Venenblutes absorbiert in den Lungenarterien Sauerstoff und wird dadurch zu Oxyhämoglobin. Dies gelangt zu den Geweben, wo der Sauerstoff abgegeben und das Hämoglobin reduziert wird. Auf diese Weise liegt dem roten Farbstoff des Blutes fortgesetzt ob, Sauerstoff von den Lungen den Geweben zuzuführen. Wahrscheinlich sind die Vereinigung des Hämoglobins mit Sauerstoff und auch seine Trennung von ihm Beispiele von Dissociation — das heißt eine chemische Verbindung und ebensolche Zersetzung, welche lediglich durch physikalische Bedingungen bewirkt werden; aber es fehlen noch Aufschlüsse über diese wichtige Frage. Wenn die Vereinigung von Sauerstoff mit dem Blutfarbstoff ein Fall von Oxydation ist, so muss er von einer Entwicklung von Wärme begleitet sein. Und in der That legte Dr. Gamgee im Jahre 1871 sowohl durch Thermometer als auch auf thermo-elektrischem Wege die wichtige Thatsache klar, dass die Vereinigung des Sauerstoffes mit dem Hämoglobin von einer Entwicklung von Wärme wirklich begleitet wird. Er gelangte zu dem Schlusse, „dass die mittlere Temperaturerhöhung während der Absorption des Sauerstoffes 0,0976° C betrug. Die höchste gefundene Wärmesteigerung war 0,111° C, die niedrigste 0,083° C.

(Fortsetzung folgt.)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1888-1889

Band/Volume: [8](#)

Autor(en)/Author(s): McKendrick John Grey

Artikel/Article: [Die Blutgase. 551-563](#)