

Neue Versuche über die Tension des Sauerstoffs im Blute und in Oxyhämoglobinlösungen.

Von
G. Hüfner.

(Der Redaction zugegangen am 3. Mai 1888.)

Die Frage nach dem Partiardrucke des Sauerstoffs, unter welchem bei normaler Blutwärme die Dissociation des Oxyhämoglobins beginnt, gehört trotz mannigfacher über diesen Gegenstand angestellter Untersuchungen noch immer zu den nicht völlig befriedigend gelösten Problemen. Zwar durfte man nach den allgemeinen Erfahrungen über Dissociationsvorgänge von vornherein erwarten, dass die Dissociation auch bei diesem Körper bei einer Temperatur von 40° eine grössere sein werde als bei niederer Temperatur; und in der That fand denn auch Paul Bert¹⁾, dass defibrinirtes, völlig entgastes Hundeblood bei etwas niedrigerem als dem halben Atmosphärendrucke und einer Temperatur von 38° beträchtlich weniger Sauerstoff absorbiert, als das gleiche Blut bei dem gleichen Drucke, aber bei Zimmertemperatur, — ein Beweis offenbar, dass körperwarmes, im Blute befindliches, Oxyhämoglobin schon bei jenem Drucke nicht mehr beständig ist.

Auch gelangten später Fränkel und Geppert²⁾ nach einem einfacheren Verfahren zu einem ähnlichen Resultate, insofern sie körperwarmem Hundeblood bei einer Verdünnung der Luft nur bis herab zu 280 mm. Druck schon recht merkliche Sauerstoffmengen entziehen konnten.

¹⁾ La pression barométrique, recherches de physiologie expérimentale. Paris 1878, p. 687—697.

²⁾ Ueber die Wirkungen der verdünnten Luft auf den Organismus. Eine Experimental-Untersuchung. Berlin 1883, S. 60.

Aus meinen eigenen Versuchen¹⁾, die gleichfalls bei einer höheren Temperatur (35°), aber nicht mit Blut selbst, sondern mit Lösungen von Hundebloodkrystallen angestellt wurden und die dahin abzielten, den Sauerstoffdruck zu ermitteln, bei welchem die im Gange befindliche Dissociation jedes Mal stille stand, — aus diesen schien hervorzugehen, dass die Grösse der Dissociation, gleichmässige Temperatur vorausgesetzt, nicht bloss vom Drucke, sondern auch noch von der Concentration der Lösung abhängig sei, in dem Sinne, dass mit wachsender Concentration auch der Druck steige, bei welchem die Dissociation stille steht, und dass ferner die Sauerstoffabgabe auch bei schwacher Concentration der Lösung und bei sehr niedrigem Drucke bereits zu einem Zeitpunkte aufhöre, wo immer noch Oxyhämoglobin genug in unzersetztem Zustande vorhanden ist. Als oberste Druckgrenze, bei welcher die Dissociation auch in concentrirteren Lösungen stille stand, stellte sich damals ein Partiardruck von 25 Millimetern heraus; nur in einem Falle, bei einem Versuche mit einer Lösung von Pferdehämoglobin, ging eine Dissociation auch noch oberhalb eines Partiardruckes von 35 mm. vor sich. Die Resultate jener früheren Versuche können indessen auf eine genügende Beweiskraft keinen Anspruch machen, da der damalige Apparat ein völliges Untertauchen unter Wasser nicht erlaubte und nur ein Theil der Operationen, nur das Schütteln, nicht aber die so empfindlichen Druckmessungen, bei höherer und gleichmässiger Temperatur ausführbar waren.

Seitdem ich im Farbstoffe des Rinderblutes ein Material kennen gelernt, das äusserst leicht löslich ist und doch sich jederzeit in reichlichen Mengen gewinnen lässt, habe ich deshalb meine Versuche über die beregte Frage von Neuem aufgenommen. Ich habe das Verhalten des Rinderblutes selbst, in 2 Fällen auch das Verhalten von Hundeblood, mit demjenigen der Lösung von jedes Mal frisch dargestellten Rinderbloodkrystallen verglichen, und dazu jetzt einen Apparat benutzt, der nicht nur eine viel sichrere Herstellung und viel gleichmässigerer Einhaltung einer bestimmten Temperatur, sondern

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 6, S. 94 ff.

in Folge davon auch eine viel sicherere Druckmessung des angewandten Gasvolumens gestattet. Es ist ein Apparat, der

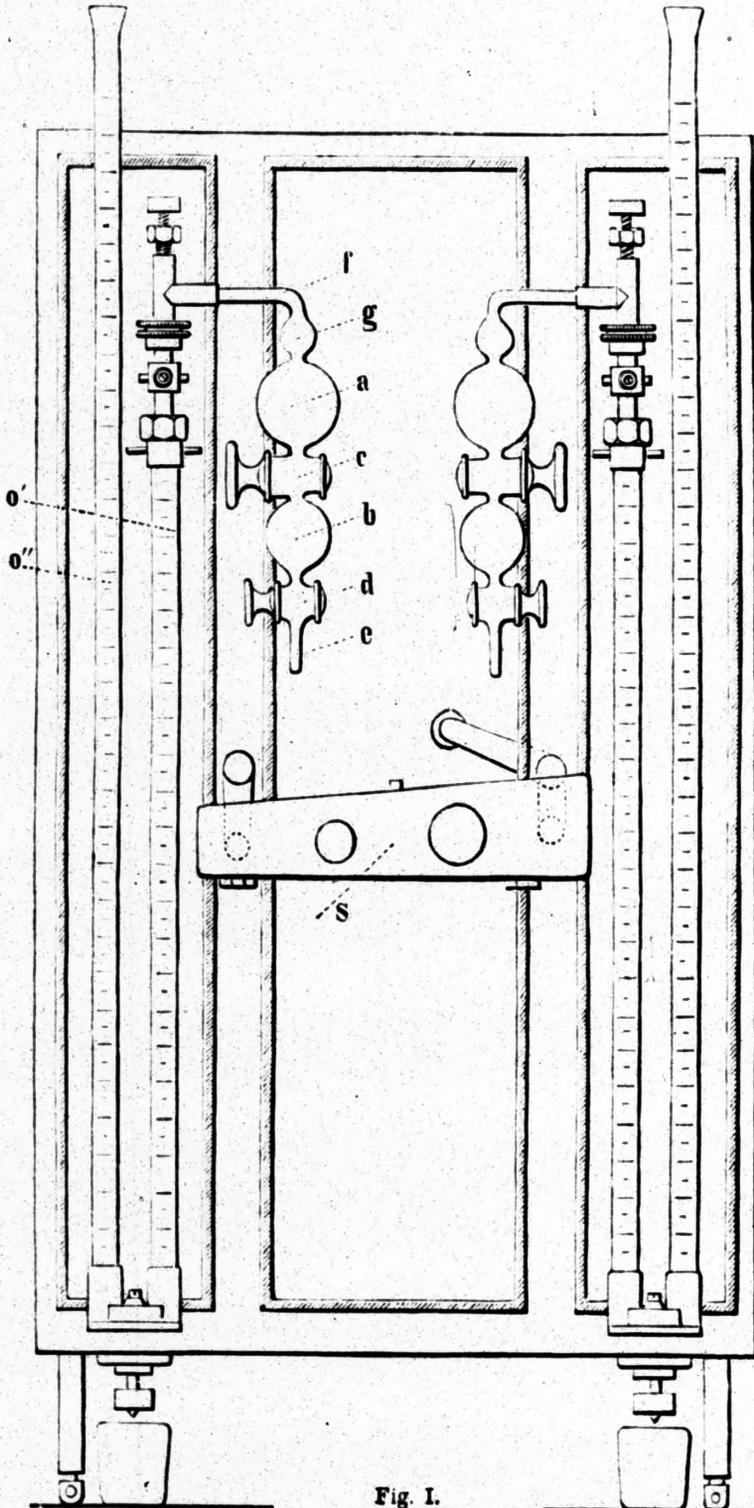


Fig. I.

ebensowohl zu Messungen der Tension, wie zur Ausführung von Absorptionsbestimmungen geeignet ist.

Apparat.

Der eigentliche Apparat besteht im Wesentlichen aus 2 Theilen, von denen der eine, das Manometer, im Innern eines grossen Wasserbehälters senkrecht befestigt ist. Der andere Theil, ein gläserner Kugelapparat, kann nach Belieben mit dem Manometer in Verbindung gesetzt und wieder von ihm getrennt, er kann für sich mit Flüssigkeit und Gas gefüllt und mittels einer besonderen Vorrichtung unter Wasser geschüttelt werden. Die luftdichte Verbindung beider wird durch metallische und zwar aus massivem Nickelmetall gefertigte Ansätze vermittelt, deren einer auf das obere Ende des einen Manometer-schenkels, während der andere an das eine Ende des Kugelapparates angekittet ist.

Kugelapparat (Fig. I). Dieser ist aus einer grösseren (a), etwa 170 cbcm., und einer kleineren (b), etwa 78 cbcm. fassenden Glaskugel zusammengesetzt, welche beide durch einen Hahn (c) mit möglichst weiter (nahe 10 mm. Durchmesser) Bohrung mit einander verbunden sind. Die kleinere Kugel kann ferner durch den Hahn d verschlossen werden, an welchen sich auf der entgegengesetzten Seite das offene, etwa 5 cm. lange Rohr e anfügt.

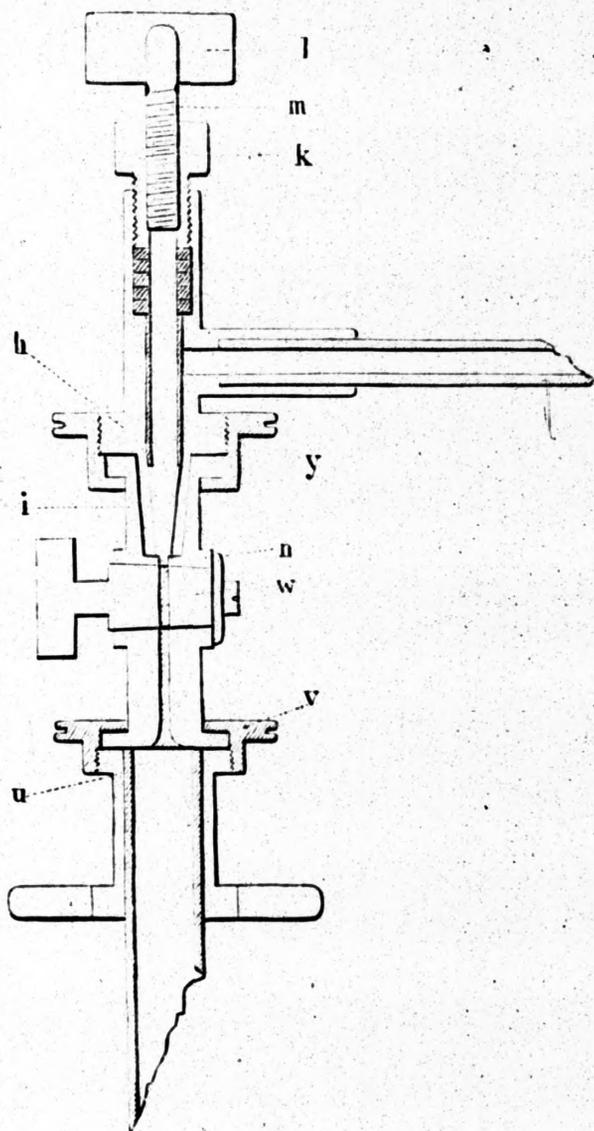


FIG. II.

An die grosse Kugel schliesst sich nach oben das rechtwinklig ungebogene Rohr *f* an, welches bei *g* zunächst noch einmal eine kleine kugelförmige Erweiterung trägt. An das offene Ende von *f* nun ist ein \perp -förmiges Röhrenstück aus Nickelmetall (Fig. II) angekittet, an welchem zunächst ein Schraubenring *h*, ein conischer Fortsatz *i*, der Kopf einer eingeschraubten Stopfbüchse *k* und der Griff *l* eines Schraubenstiftes *m* sichtbar ist, der sich im Innern des Metallrohres vor- und rückwärts bewegen lässt und der am andern Ende derart conisch zuge- und in das gleichfalls conische Lumen des Fortsatzes *i* eingeschliffen ist, dass die Mündung des letzteren dadurch vollkommen luftdicht verschlossen werden kann. Wenn dies der Fall, so ragt das Ende des Stiftes etwa noch als ein 1.5 mm. langer Zapfen *n* aus der Oeffnung von *i* hervor.

Manometer. Das Manometer (Fig. I) besteht aus 2 gläsernen, mit aufgeätzter Millimeterskale versehenen und je 18 mm. weiten Röhren, von denen die eine, *o'*, etwa 720 mm., die andere, *o''*, ungefähr 1020 mm. Länge besitzt. Beide sind in 2 kurze (3 cm.) metallene (Nickel) Rohrfortsätze, *p'*, *p''* (Fig. III), angekittet, welche auf einem soliden Metallstücke aufsitzen, innerhalb dessen die Communication der zwei Manometerschenkel durch eine hinlänglich weite (5 mm.) Bohrung *q* bewerkstelligt ist.

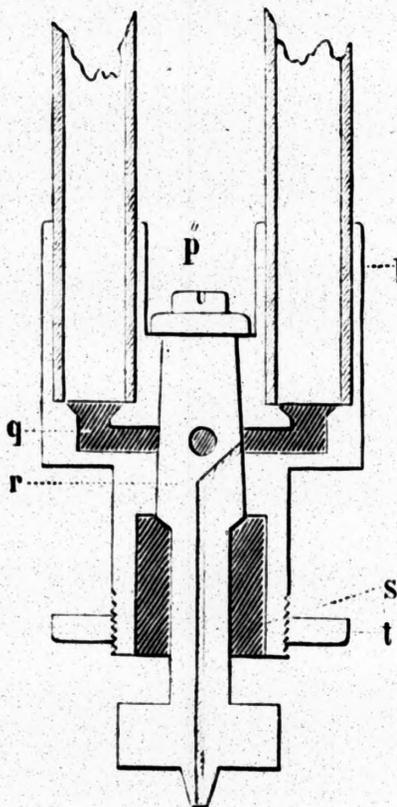


Fig. III.

Um diese Communication beliebig unterbrechen und bald aus dem einen, bald aus dem andern Schenkel Quecksilber abfließen lassen zu können, ist der metallische Zweiweghahn *r* eingefügt, der nach unten aus dem Ganzen hervorragt. Das Metallstück ist ferner nach unten zu dem Schraubenringe *s* verlängert, auf welchen sich eine breit über-

greifende Mutter t aufschrauben lässt. Da das Manometer zum Zwecke seiner sicheren Aufstellung und Befestigung in eine Oeffnung der eisernen Bodenplatte des Wasserständers eingelassen ist, so dient die Schraubenmutter, wenn sie angezogen wird, dazu, das Ganze fest in diese Bodenplatte hineinzupressen. Es gestattet diese Art der Befestigung zugleich eine bequeme Handhabung des Hahnes ausserhalb des Wasserständers (siehe Fig. I), während das Manometer selbst vollständig von Wasser umgeben ist. Damit dasselbe bequem, luftdicht und unter Vermeidung aller schädlichen Räume mit dem Kugelapparate verbunden werden könne, ist an das obere offene Ende des kürzeren Schenkels die Schraubenhülse u (Fig. II) angekittet, deren oberer Rand mit dem Rande des Glases absolut eben geschliffen ist. Auf diese ringförmige Ebene kann nun mittelst der Schraubenmutter v nach Einschaltung eines äusserst dünnen Kautschukringes ein metallenes Zwischenrohr aufgedrückt werden, welches über dem Metallhahne w derartig conisch erweitert und ausgeschliffen ist, dass der conische Fortsatz i des Kugelapparates genau in diese Erweiterung hineinpasst und dass ferner der oben erwähnte Zapfen n auch die kleine Bohrung in der Wandung des Hahnes möglichst vollkommen ausfüllt. Um den Fortsatz i fest in das Verbindungsstück hineinzupressen und darin festzuhalten, dazu dient die Schraubenmutter y.

Wasserständer (Fig. I). Der grosse, auf einem starken eichenen Tische aufgestellte Wasserständer¹⁾, in welchem sich 2 der oben beschriebenen Manometer mit Kugelapparaten und eine Schüttelvorrichtung befinden, ist aus einer dicken eisernen Bodenplatte mit 4 gusseisernen Füßen von 15 cm. Höhe, einem eisernen Gerippe und aus starken Spiegelglasscheiben zusammengesetzt. Da die Höhe des Ganzen 98, die Breite 58 und die Tiefe 32 cm. beträgt, so vermag der Ständer beinahe 182 Liter Wasser zu fassen. In die beiden

1) Derselbe ist in Fig. I so gezeichnet, als wenn seine vordere Wand ganz hinweggenommen wäre.

Breitseiten desselben sind noch in gleichen Abständen von einander zwei vertikale eiserne Zwischenrippen eingeschaltet, ein Mal, um den Widerstand der Glaswände gegen den Druck der Wassermasse zu unterstützen, und zweitens, um Haftpunkte für allerlei Klammern zum Festhalten der Manometer und für die Schüttelvorrichtung zu gewinnen.

Die Schüttelvorrichtung (Fig. I, S. 570) besteht aus einer schmalen, aus 3 dünnen Holzplatten zusammengefügt, nach oben offenen Rinne, deren eine Seite, durch Charniere beweglich, nach aussen umgeklappt, in aufrechter Stellung aber durch einen Haken an der gegenüber stehenden Platte festgehalten werden kann. In dieser Rinne, deren Wände noch ausserdem mit kreisförmigen Ausschnitten für die Kugeln versehen sind, lässt sich der Kugelapparat, nachdem er vom Manometer gelöst worden, sicher einklemmen und mit derselben vermittelst einer Kurbel in raschen Stössen unter dem Wasser hin und her bewegen.

Apparate zur Bereitung, Aufbewahrung und Ueberfüllung bestimmter Gasmische. Die Gasmische aus Stickstoff und Sauerstoff¹⁾ von jedes Mal genau bekannter Zusammensetzung wurden in den gleichen, an Messröhren angeschmolzenen, grossen Glaskugeln hergestellt, die ich schon bei anderer Gelegenheit benutzt und bereits früher²⁾ beschrieben habe. Aus diesen Kugeln wurden sie erst in eines der von Ehrenberg³⁾ angegebenen, etwas mehr als 1 Liter fassenden Quecksilbergasometer übergefüllt, aus welchem zuletzt die Entnahme des Gases für jeden einzelnen Versuch in folgender Weise stattfand.

1) Der Stickstoff war aus der Böttger'schen Mischung (1 Theil Kaliumbichromat, 1 Theil Ammoniumnitrat, 1 Theil Natriumnitrit, 3 Theile Wasser), der Sauerstoff direct aus geschmolzenem chloresaueren Kali entwickelt.

2) Journ. f. pr. Chemie, Neue Folge, Bd. 30, S. 69 ff.

3) Ebendasselbst, Neue Folge, Bd. 32, S. 236, und Zeitschrift für physiol. Chemie, Bd. 11, S. 156.

Auf das Gasometer wird mittels Kautschukschlauches ein gläsernes \perp -Rohr aufgesetzt, in dessen Horizontalschenkel ein gut eingeschliffener Glashahn eingeschaltet ist. Dieser Horizontalschenkel wird mit einer Muencke'schen Wasserstrahlpumpe, das obere Ende des Vertikalstückes aber mit dem hohlen Metallconus des Kugelapparates, und zwar beide Male mittels Kautschuks, in Verbindung gesetzt. War nun schon vorher die kleine Kugel dieses Apparates genau bis an die obere Grenze der Bohrung des mittleren Hahnes (vergl. Fig. I) durch gelindes Saugen mit Blut oder Lösung angefüllt, so wird jetzt, nach Schluss dieses Hahnes, durch Drehung des Schraubenstiftes der Conus geöffnet und die grosse Kugel sammt \perp -Rohr luftleer gepumpt. Ist dies geschehen, so wird der Hahn des Horizontalschenkels geschlossen, gleichzeitig aber der Gasometerhahn geöffnet, etwas von dem Gasmische in den soeben evacuirten Raum hineingelassen und dieser sofort wieder ausgepumpt.

Erst nach mehrmaliger Wiederholung dieses Verfahrens, nachdem man sicher sein durfte, alle atmosphärische Luft gründlich entfernt zu haben, wurde die Kugel bleibend mit dem Gasmische gefüllt, der Conus durch den Schraubenstift geschlossen und der ganze Kugelapparat von dem \perp -Rohre des Gasometers losgelöst.

Es möge besonders bemerkt werden, dass der Kugelapparat während aller dieser Prozeduren bis über den mittleren Hahn in Wasser von der Versuchstemperatur stand und dass alle aus Kautschuk bestehenden Verbindungsstücke an ihren Enden mit Klebwachs überzogen und so gewissermassen noch mit dem Glase verschmolzen waren.

Ausführung eines eigentlichen Versuches.

Bei jedem einzelnen Versuche verfährt man folgendermassen. Zuerst beschickt man in der oben beschriebenen Weise die einzelnen Abtheilungen des Kugelapparates, die eine mit Blut oder Krystalllösung, die andere mit dem Gasmische, senkt ihm alsdann rasch in den ziemlich bis an den Rand mit

Wasser von der Versuchstemperatur gefüllten Wasserständer ein und verbindet ihn, wie vorhin angegeben, mit dem Manometer, aus welchem schon vorher alle Luft durch Quecksilber verdrängt ist. Hierauf zieht man durch eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen seines Griffes den Schraubenstift aus dem metallenen Conus, öffnet den Metallhahn, der sich unmittelbar unter dem letzteren befindet, und stellt so die Communication her zwischen dem Gasmische des Apparates und dem Quecksilber des Manometers. In der Regel ist es nothwendig, noch etwas Quecksilber ausfliessen zu lassen, damit das Gas noch einen messbaren Raum im Manometer ausfülle. Man wartet hierauf noch einige Zeit, bis der Stand des Quecksilbers in letzterem sich nicht mehr ändert, und vollführt dann die zur Messung und Reduction des vorhandenen Gasvolumens nöthigen Beobachtungen.

Die erforderlichen Daten sind:

1. Temperatur des Wassers im Ständer t
2. Stand des Quecksilbers in den beiden Schenkeln des Manometers, gemessen an der Skale des Staudinger'schen Kathetometers l, r
3. Quecksilberstand in dem mit dem Kugelapparate direct communicirenden Schenkel, gemessen an der auf diesen selbst aufgeätzten Skale m
4. Barometerstand b'c
5. Temperatur des Barometers c

Sind diese Beobachtungen ausgeführt, so schliesst man erst Conus, dann Hahn, trennt den Kugelapparat vom Manometer und befestigt ihn in der Schüttelvorrichtung. Jetzt öffnet man den Hahn zwischen den beiden Kugeln, lässt Blut oder Lösung zum Gasmische treten und schüttelt hierauf das Ganze mehrere Minuten auf das Kräftigste. Dann bringt man den Kugelapparat abermals mit dem Manometer in Verbindung, öffnet die Verschlüsse und beobachtet die eingetretene Aenderung im Stande des Quecksilbers. Man wiederholt das Schütteln so lange, bis dieser sich nicht mehr verändert. In der Regel ist der Stillstand schon nach einigen Minuten erreicht und nun macht man von Neuem die nöthigen Ablesungen. — Die Temperatur des Wassers pflegt im geheizten

Zimmer während aller einzelnen Operationen nur wenig zu sinken; der Gebrauch der Schüttelvorrichtung aber sorgt für genügende Ausgleichung derselben in den verschiedenen Schichten.

Am Schlusse eines jeden derartigen Versuches musste etwas von dem im Apparate enthaltenen Gase herausgeholt und analysirt werden. Am besten geschieht dies in folgender Weise: Zunächst lässt man, während der Kugelapparat noch mit dem Manometer in Verbindung steht, aus letzterem so viel Quecksilber ausfliessen, dass ein grosser Theil des in der Kugel enthaltenen Gases in den unmittelbar anschliessenden Manometerschenkel nachströmen muss; dann schliesst man den Metallhahn w , entfernt den Kugelapparat, füllt den conischen Hohlraum über dem Hahnen mit Quecksilber und befestigt darin mittelst eines Kautschukstopfens ein capillares Glasrohr, dessen hakenförmig gebogenes Ende oberhalb des Wasserständers, aber unter dem Quecksilberspiegel einer kleinen Quecksilberwanne mündet, die von einem über den Ständer gelegten Brette getragen wird. Endlich füllt man den andern Manometerschenkel mit Quecksilber auf. Das weitere zum Auffangen einer für die Analyse hinreichenden Gasprobe nöthige Verfahren bedarf nunmehr keiner Beschreibung.

Ein Beispiel wird jetzt die Verwerthung der Versuchsdaten am leichtesten klar machen. Es sei in Gestalt einer Tabelle gegeben, in welcher neben den directen Beobachtungsdaten auch die aus Tafeln abzulesenden, sowie die reducirten Werthe, endlich solche mit aufgeführt sind, die aus den Resultaten der Gasanalyse berechnet wurden. Ausser den bereits angegebenen kommen somit darin noch folgende weitere Bezeichnungen vor: b'_0 heisse der Barometerstand, reducirt auf 0° Temperatur; b''_1 heisse die abgelesene Differenz, $l - r$, der beiden Quecksilbersäulen im Manometer¹⁾, ausgedrückt in mm.

¹⁾ Diese Differenz hat ein negatives Vorzeichen, wenn der Stand des Quecksilbers in dem unmittelbar mit dem Kugelapparate communicirenden Manometerschenkel (im vorliegenden Falle mit l bezeichnet) höher ist als im andern Schenkel.

Quecksilber, b''_o dieselbe reducirt auf 0° ; b'''_t , die Tension des Wasserdampfes bei der Versuchstemperatur, p der Druck, unter welchem das Gasgemisch steht, p_o der Partiardruck des Sauerstoffs, V_{tp} das beobachtete und nach der Calibrirtabelle corrigirte Gasvolumen in cbcm., V_{ob} dasselbe Volumen reducirt auf 0° und 760 mm. Druck.

Versuch mit einer etwa 5procentigen Lösung frisch dargestellter Ochsenblutkrystalle und einem Gasgemische von 6,94% Sauerstoff:

Vor dem Schütteln.	Nach dem Schütteln.
$t = 34,9^\circ$	$t = 34,1^\circ$
$b\tau = 729,2$ mm.	$b\tau = 729,2$ mm.
$\tau = 1,0^\circ$	$\tau = 1,0^\circ$
$b'_o = 729,1$ mm.	$b'_o = 729,1$ mm.
$l = 891,9$ »	$l = 891,15$ »
$r = 891,6$ »	$r = 892,05$ »
$b''_t = -0,3$ »	$b''_t = 0,9$ »
$b''_o = -0,3$ »	$b''_o = 0,9$ »
$m = 600,0$ »	$m = 599,3$ »
$b'''_t = 41,595$ »	$b'''_t = 39,786$ »
$p = 687,2$ »	$p = 690,19$ »
$p_o = 47,69$ »	$p_o = 52,45$ »
$V_{tp} = 197,09$ cbcm.	$V_{tp} = 197,21$ cbcm.
$V_{ob} = 158,03$ »	$V_{ob} = 159,23$ »

Die Zusammensetzung der Gesamtmenge des vorhandenen Gases war laut Analyse:

Vor dem Schütteln.	Nach dem Schütteln.
$O_2 = 10,97$ cbcm.	$O_2 = 12,10$ cbcm.
$N_2 = 147,06$ »	$N_2 = 147,13$ »
158,03 cbcm.	159,23 cbcm.

Ehe ich die Versuche mit Lösungen reinen Oxyhämoglobins begann, stellte ich eine Reihe solcher mit frischem

Rindsblute an. Dieselben sollten mehr nur zur vorläufigen Orientirung dienen, weniger zur genauen Feststellung der gesuchten Grenze. Das Blut wurde jedes Mal frisch aus dem Schlachthause bezogen, war defibrinirt und wurde in der Regel einige Stunden vor dem Versuche nochmals tüchtig mit Luft geschüttelt. Unmittelbar vor dem Gebrauche wurde es langsam im Wasserbade auf die Temperatur erwärmt, bei welcher es später mit dem Gasmische geschüttelt werden musste.

Um gleichzeitig eine genauere Vorstellung von der Grösse des Einflusses der Temperatur auf die Grösse der Dissociation zu gewinnen, wurden mit jedem Gasmische 2 verschiedene Versuche an 2 verschiedenen Portionen des gleichen Blutes ausgeführt, der eine bei 20° , der andere bei 35° .

Ich gebe die Resultate dieser Versuche in folgenden 2 Tabellen übersichtlich zusammengestellt. In der ersten bedeuten p_o und p_o' die Partiardrücke des Sauerstoffs vor und nach dem Schütteln in Millimetern Quecksilber; $p_o' - p_o$ giebt die Grösse der Differenz, bezw. des Druckzuwachses.

Nummer des Doppel- versuchs.	20°			35°		
	p_o	p_o'	$p_o' - p_o$	p_o	p_o'	$p_o' - p_o$
1.	28,81	28,24	-0,57	28,69	35,16	6,47
2.	42,17	43,15	+0,98	42,38	46,51	4,13
3.	46,27	46,63	0,36	46,31	50,73	4,42
4.	-1)	—	—	53,98	55,75	1,77
5.	54,77	56,26	1,49	54,73	57,49	2,76

Die nun folgende 2. Tabelle giebt die im ganzen Gasraume je am Anfange und am Ende eines Versuches vorhandenen Sauerstoffmengen in cbcm., reducirt auf 0° und 760 mm. Druck, wie sie aus den jedesmaligen Versuchsdaten und den Ergebnissen der Gasanalyse berechnet sind. v und v' bedeuten die Sauerstoffvolumina vor und nach dem Schütteln.

1) Dieser Versuch ging leider verloren.

Nummer des Doppel- versuchs.	20°			35°		
	v	v'	v' - v	v	v'	v' - v
1.	7,62	7,49	- 0,13	6,58	8,17	1,59
2.	10,04	10,30	+ 0,26	9,35	10,72	1,37
3.	11,03	11,16	0,13	10,51	11,71	1,20
4.	—	—	—	12,43	13,20	0,77
5.	14,06	14,51	0,45	12,45	13,23	0,78

Der Einfluss der Temperatur auf die Grösse der Dissociation ist hiernach deutlich genug. Allein, um die Resultate richtiger zu beurtheilen, hat man sich daran zu erinnern, dass im Blute ausser dem in den rothen Körperchen enthaltenen Sauerstoffe auch noch ein zweiter Antheil, als in wässriger Lösung vorhanden, anzunehmen ist, und dies um so mehr, wenn das Blut soeben mit atmosphärischer Luft geschüttelt wurde. Ja es ist nicht unwahrscheinlich, dass das Blut unmittelbar nach recht heftigem Schütteln mit Luft eine Zeit lang sogar mehr davon enthält, als nach dem Absorptionsgesetze zu erwarten ist, weil das Blut, wie sein eigenthümliches Schäumen zeigt, eine zähe Flüssigkeit ist und leicht mit Luft eine Art von — allerdings nur für kurze Zeit beständiger — gasiger Emulsion bildet. Das Sättigen des Blutes mit Sauerstoff durch Schütteln mit Luft geschah deshalb in allen Fällen einige Stunden vor dem eigentlichen Versuche. Die Temperatur betrug dabei etwa 10°. Nun ist eben die Frage: Wie viel cbcm. Sauerstoff werden von 78 cbcm. ¹⁾ Wasser bei einer Temperatur von 10° und einem Partialdruck von 154 mm. (mittlerer Barometerstand von Tübingen = 735 mm.) absorbirt? wie viel ferner bei einer Temperatur von 20° und den Drücken 40, 45, 55, 60 mm., und wie viel bei einer Temperatur von 35° und je den gleichen Partialdrücken? Hierüber giebt die folgende kleine Tabelle Aufschluss, die nach der Gleichung

$$v = \frac{\alpha_t p_o V}{760}$$

berechnet wurde.

1) Siehe Beschreibung des Kugelapparates S. 571.

In dieser Gleichung bedeutet, wie gewöhnlich, α_t den Absorptionscoefficienten für die betreffende Temperatur, p_0 den Partiardruck, V das Volumen des Wassers. Der Absorptionscoefficient α des Sauerstoffs für Wasser für die Temperatur 35° ist = 0,02546 angenommen. Dieser Werth wurde schon früher von mir aus eigenen Versuchen¹⁾ berechnet.

t	V					
	40 mm.	45 mm.	50 mm.	55 mm.	60 mm.	154 mm.
10°	—	—	—	—	—	0,5137
20°	0,1165	0,1311	0,1456	0,1602	0,1748	—
35°	0,1045	0,1176	0,1307	0,1437	0,1568	—

Die Differenz zwischen der Zahl 0,51 und den einzelnen in den beiden untersten Horizontalreihen aufgeführten Zahlenwerthen schwankt für die vorletzte Horizontalreihe zwischen 0,34 und 0,40 und für die unterste zwischen 0,36 und 0,41 cbcm. Nach der vorletzten Tabelle nun bleibt die Sauerstoffabgabe in den bei 20° ausgeführten Schüttelversuchen im Allgemeinen hinter diesen Werthen zurück, während sie umgekehrt in den Versuchen mit höherer Temperatur diese Werthe um das 2—4fache übertrifft. Jedenfalls stellen somit die bei niedriger Temperatur gefundenen Pluswerthe ungefähr nur die Sauerstoffmengen dar, die nach der letzten Tabelle als einfach absorbirte entweichen mussten; und wenn dies der Fall, so ist in der That so gut wie bewiesen, dass unter allen oben angewandten Partiardrücken (29 mm. — 56 mm.) das Oxyhämoglobin des Blutes bei 20° überhaupt sich schon gar nicht mehr zersetzt, wohl aber noch sehr merklich bei einer Temperatur von 35° .

Um nun Gewissheit über die gesuchte Druckgrenze zu erhalten, habe ich die weiteren Versuche, welche hierzu nöthig waren, nur noch bei der letzteren Temperatur ausgeführt. Auch benutzte ich dazu zunächst frisches, der Cruralarterie des lebenden Thieres entnommenes Hundeblut, welches nach

¹ Wiedem. Ann., Bd. 1, S. 634.

dem Defibriniren sogleich wieder auf 35° erwärmt worden war. Erst zuletzt verwandte ich Lösungen frisch dargestellter Ochsenblutkrystalle in $\frac{1}{10}$ procentiger Lauge von kohlensaurem Natron.

Folgendes sind die Ergebnisse:

Versuche mit Hundeblut.

Ver- suchs- Num- mer.	t	t'	p ₀	p ₀ '	p ₀ ' - p ₀	v	v'	v' - v
1.	34,0°	33,5°	62,04	61,67	- 0,37	14,30	14,41	0,11
2.	34,8°	34,3°	61,47	62,11	+ 0,64	14,20	14,44	0,24
3.	33,9°	33,1°	78,42	77,85	- 0,57	18,10	18,09	- 0,01
4.	34,6°	33,9°	78,28	78,09	- 0,19	18,13	18,21	+ 0,08

In dieser Tabelle bedeuten wieder t, p₀, v Temperatur, Sauerstoffdruck und Sauerstoffvolumen vor, t', p₀', v' dieselben Grössen nach dem Schütteln.

Schon nach diesen Versuchen zu schliessen, dürfte für eine Temperatur von $34-35^{\circ}$ bei einem Sauerstoffdrucke von $62-63$ mm., d. h. also bei einem Atmosphärendrucke von circa 300 mm., die Grenze wohl erreicht sein, von wo ab aufwärts die Dissociation des Oxyhämoglobins ein Ende hat. Bei 78 mm. Sauerstoffdruck, d. h. bei etwa 370 mm. Atmosphärendruck, ist diese Grenze offenbar schon entschieden überschritten.

Zu dem gleichen Schlusse führen die Versuche mit Lösungen frisch dargestellter Ochsenblutkrystalle.

Zur Bereitung dieser Lösung wurden nur Krystalle verwandt, die sich zum ersten Male ausgeschieden hatten, die dann mittels der Centrifuge ausgeschleudert und endlich durch Aufbringen auf sehr poröse Thonplatten bei 0° Temperatur möglichst von Flüssigkeit, namentlich von Alkohol, befreit worden waren. Als Lösungsmittel diente eine ausgekochte $\frac{1}{10}$ procentige Lauge von kohlensaurem Natron; die Concentration betrug durchschnittlich $6-8\%$, in Versuch 6 der nächsten Tabelle sogar über 8% . — Wie beim Blute, begann

auch hier die Untersuchung mit niedrigen Sauerstoffdrücken; dagegen geschah sie immer bei annähernd der gleichen Temperatur. In folgender Tabelle, welche die Resultate zusammenfasst, haben die einzelnen Zeichen die gleiche Bedeutung wie oben.

Versuche mit Lösungen von Blutkrystallen.

Ver- suchs- Num- mer.	t	t'	p _o	p _o '	p _o ' - p _o	v	v'	v' - v
1.	34,3°	33,8°	38,04	42,42	4,38	8,69	9,73	1,04
2.	34,3°	33,7°	47,84	51,99	4,15	11,04	12,05	1,01
3.	34,9°	34,1°	47,69	52,45	4,76	10,97	12,10	1,13
4.	34,7°	34,0°	52,36	57,54	5,18	12,27	13,54	1,27
5.	35,0°	34,1°	57,35	58,36	1,01	13,42	13,70	0,28
6.	35,0°	34,3°	64,90	64,26	- 0,64	15,05	14,96	- 0,09
7.	34,8°	34,0°	64,65	63,48	- 1,17	14,82	14,59	- 0,23

Somit findet also auch in Lösungen reiner Oxyhämoglobinkrystalle von einem Gehalte von etwas über 8% bei einer Temperatur von 34—35° oberhalb eines Sauerstoffdruckes von 64 mm. (= einem Luftdrucke von 305 mm.) keine Dissociation mehr statt; und so stimmt denn in der That dieses Ergebniss mit der Angabe von Paul Bert¹⁾ überein, wonach die Curve, welche die Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes körperwarmen Blutes vom Drucke versinnlichen soll, erst von einem Luftdrucke von etwa 300 mm. nach abwärts an rapid zu sinken beginnt.

Natürlich wird man erwarten dürfen, dass der Zerfall unserer Verbindung im Blute bei Fieberwärme schon unter einem noch höheren Drucke beginnen wird. Ich habe es vorerst unterlassen, meine Versuche bei Temperaturen von 38—40° zu wiederholen, weil ich dabei den Glashähnen meines Apparates nicht mehr ganz vertraute; indessen hoffe ich diese Schwierigkeit überwinden und bald auch über Ver-

1) A. a. O., S. 691.

suche berichten zu können, die sowohl bei jenen höheren Temperaturen, wie mit Lösungen von noch grösserer Concentration angestellt wurden.

Jedenfalls dürfte so viel feststehen, dass eine Herabsetzung des Druckes unserer Atmosphäre unter 300 mm. Quecksilber für den Warmblüter¹⁾ schon um einer physikalisch-chemischen Ursache willen gefährlich wird, und dass folglich auch ein länger dauernder Aufenthalt in Höhen von über 5500 Metern, ganz abgesehen von anderen schädlichen Einflüssen, die dort wirken, auch bereits aus diesem Grunde für den Menschen unmöglich ist.

Etwaige Vorstellungen, die man über den ganzen merkwürdigen Verlauf der in Rede stehenden Dissociation als einen gesetzmässigen Vorgang, die man namentlich über Beziehungen zwischen Grösse der Dissociation, Concentration der Lösung, Partiardruck des darüber befindlichen und Menge des in der Flüssigkeit absorbirt enthaltenen Sauerstoffs, hegen kann, sollen später an einem anderen Orte besprochen werden.

Tübingen, im April 1888.

1) Ob die hier ausgesprochene Behauptung auch für alle Vögel — man denke z. B. an den Condor! — zutreffend ist, wäre freilich erst noch durch eine besondere Untersuchung zu erweisen.