LII.

Aus dem Tierphysiologischen Institut der Berliner landwirtschaftl.
Hochschule.

Ein neuer Apparat zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes und der Kohlenoxydcapacität des Blutes.

Von

Dr. **Johann Plesch** (Budapest).

(Mit 2 Abbildungen im Text.)

Müssen wir auch die Pumpen-Blutgasanalyse als die exacteste ansehen, so wurde sie doch wegen der schweren und umständlichen Methodik und wegen der erforderlichen theueren Einrichtungen, nur von verhältnissmässig wenig Forschern cultivirt.

Diesen Umständen ist es zuzuschreiben, dass die physiologischen wie die pathologischen Fragen, die mit den Blutgasen in Zusammenhang stehen, nur sehr wenig aufgearbeitet sind und noch einer Lösung harren.

Es hat somit jedes Verfahren, welches die Blutgasanalyse ohne Pumpen ermöglicht, ein gewisses Interesse zu beanspruchen. Ich gebe in dieser Abhandlung ein Verfahren an, mit welchem wir nicht nur den Sauerstoffgehalt, sondern auch die Kohlenoxydcapacität, Kohlensäuregehalt und eventuell die Gasspannung des Blutes auf einfache Weise und in relativ kurzer Zeit und mit ausreichender Genauigkeit bestimmen können.

Beschreibung des Apparates¹⁾.

Der Apparat, den ich bei meinem Verfahren gebrauche, besteht aus zwei Haupttheilen, und zwar aus dem Gasanalysen- und aus dem Absorptionstheil. Im Gasanalysentheil haben die allgemein gebrauchten Kalilauge- und Pyrogallatpipetten Anwendung gefunden und zwar in der von Haldane empfohlenen Anordnung. Natürlich musste auch dieser Theil dem Absorptionstheil und den Versuchen entsprechend geändert werden.

Die Gasmessröhre II (Fig. 1) dient zur Aufnahme von Gasen. Er kann oben mit einem T-Hahn entweder verschlossen oder mit dem Blutrecipienten I oder mit den Pipetten VI und IV communiciren. Die

1) Der Apparat wird in der Glastechnischen Werkstätte von Bleckmann und Burger, Berlin, Auguststr. 3 gefertigt.

Messröhre ist so calibriert, dass der obere Theil 30 cem Inhalt hat und der ausgezogene Theil 5 cem. Der 5 cem fassende Theil ist auf 0,02 cem eingetheilt und ermöglicht noch eine ziemlich genaue Schätzung in der dritten Decimale. Die Messröhre communicirt mit dem Quecksilberbehälter 2, mit dessen Hülfe in der Messröhre Gas eingesaugt oder hinausgetrieben werden kann. Hahn C hat ebenfalls eine T-Bohrung und kann die Pipette IV mit der Messröhre oder mit der Pipette VI verbinden.

Pipette IV ist mit zahlreichen dünnwandigen Glasröhrchen gefüllt und trägt im capillaren oberen Theil eine Marke. Am unteren Ende ist sie communicirend mit dem Behälter 4 und der Capillare V verbunden. Die Capillare trägt in derselben Höhe wie IV eine Marke und ist durch einen T-Hahn mit der Gasbürette III verbunden. — Der Hahn d stellt eine Verbindung her zwischen III und V und zwischen III und Aussenluft und V und Aussenluft.

Fig. 1.

III ist am unteren Ende eingeschmolzen und hat ebenfalls 35 cem Inhalt wie die Messröhre II.

Pipette VI trägt am oberen Ende nahe an der Capillarenmündung eine Marke und ist ebenfalls mit dünnwandigen Glasröhren gefüllt. Durch den T-Hahn e kann die Pipette verschlossen oder mit IV verbunden werden, oder es kann mit Hülfe des Hahnes der Weg nach der Explosionspipette hergestellt werden. Die Pipette VI communicirt mit VII, VIII und IX.

Die Röhren II und III sind in einem mit Wasser gefüllten Cylinder untergebracht, welcher von unten mit einem Gummistopfen gedichtet ist. Der Inhalt des Wassermantels wird mit Hülfe eines Doppelgebläses gleichmässig durchgemischt.

I hat am oberen Ende den Dreiweghahn a, wodurch es mit den Capillaren j und h in Verbindung zu bringen ist.

Die drei Kugeln der Recipienten I gehen durch Capillaren in einander über und sind durch Marken abgegrenzt. Die Kugeln sind inclusive der Hahnbohrung calibriert und jede Kugel fasst zwischen 2 Marken ca. 2 ccm.

Unter den Kugeln erweitert sich der Recipient in ein cylinderförmiges Gefäß, in welchem zur Vergrößerung der Oberfläche eine Glasröhrenspirale und mehrere Kugeln eingeschmolzen sind; Glasröhren sind hier darum nicht anwendbar, weil sie durch das Quecksilber gehoben und an die Wand des Cylinders gepresst werden, wodurch Luftblasen zurückgehalten werden. Der Recipient ist mit dem Quecksilberbehälter 1 verbunden.

Der Apparat kann auf verschiedene Weise gebraucht werden und ist durch geringe Aenderungen für die meisten Gasanalysen ausreichend.

Gebrauch des Apparates.

Bei Luft- oder Gasgemischanalysen wird die Messröhre II durch eine durchwegs getheilte cylindrische Röhre ersetzt, sowie die Röhre III, die den gleichen Inhalt haben muss wie II.

Das Verfahren mit diesem Apparat ist bei einer Gasanalyse folgendes:

Pipette IV und Capillare V wird von 4 aus mit 20 proc. Kalilauge gefüllt, und zwar werden die Hähne a, b und c dabei so gestellt, dass die Pipette bei h und die Capillare V bei d nach aussen offen steht.

Ebenso wird durch einen Schlauch, der bei m angebracht wird, die Pipette VI und der Behälter VII mit alkalischem Pyrogallat gefüllt. Gegen die Aussenluft wird das Pyrogallat von den mit concentrirter Kalilauge gefüllten Behältern VIII und IX geschützt. Die Behälter VIII und IX müssen vor dem Einfüllen des Pyrogallats in die Pipette gefüllt werden. Der Hahn e wird so gestellt, dass die Pipette VI nach aussen communicirt.

Durch den Schlauch bei m wird mit Hülfe eines Trichters das Pyrogallat eingefüllt.

Das Eudiometer II wird von 2 aus mit Quecksilber gefüllt.

Um mit der Wasserdampfspannung nicht rechnen zu müssen, bringen wir einen kleinen Tropfen schwach angesäuertes Wasser in die Messröhre.

Um den Apparat für eine Analyse gebrauchsfertig zu machen, sind folgende Dinge zu beachten. Die T-Hähne b, c und e werden so gestellt, dass II mit VI verbunden wird. Durch Senken des Quecksilberbehälters 2 wird das Pyrogallat bis zur Marke hinaufgesaugt und jetzt die Pipette durch entsprechende Stellung von e versperrt.

Bei der Einstellung der Kalilauge auf die Marke wird II mit IV verbunden und ebenfalls von 2 aus bis zur Marke aufgesaugt. Ist dies geschehen, so wird Hahn b gegen a gedreht und der Stickstoff aus dem Eudiometer herausgetrieben. Jetzt wird das capillare Ende h mit dem Gasometer verbunden und durch Senken von 2 das zu untersuchende Gas in II eingesaugt.

Um die Druck- und Temperaturschwankungen nicht berücksichtigen zu müssen, dient der angebrachte und gleich zu beschreibende, von Haldane angegebene Thermobarometer.

Wird der T-Hahn d so gestellt, dass III und V mit der Aussenluft communiciren kann, so wird die Kalilauge in der Capillare V durch Heben und Senken von 4 in derselben Höhe wie in IV eingestellt werden können. Verbinden wir durch entsprechende Hahnstellung von c und b der Messröhre II und die KOH-Pipette IV, so wird, wenn das Gas in II unter atmosphärischem Druck steht, das Niveau der Kalilauge in 4, IV und V in gleicher Höhe stehen, da in allen drei Gefässen ebenfalls atmosphärischer Druck herrscht. Ebenso wird auch im Gefäss III atmosphärischer Druck sein. Drehen wir jetzt den Hahn d derart, dass bei Abschluss von der Aussenluft III und IV communicirt, so ist die Luft bei atmosphärischem Druck und bei der Temperatur im Wassermantel f eingesperirt. Unter denselben Bedingungen steht das Gas in die Messröhre II. Das Princip des Haldane'schen Thermobarometers besteht darin, dass das Volum des Gases im Thermobarometerrohr durch eine Druckvariation, welche mit Hülfe von Rohr 4 ausgeübt wird, constant erhalten wird. Sobald wir dann durch Verschieben des Niveaurohrs 2 den Stand der KOH in IV auf den ursprünglichen Stand gebracht haben, herrscht in II derselbe Druck, den wir eben in III behufs Einstellung auf das ursprüngliche Volumen erzeugt haben.

Ist nun das Eudiometer mit dem zu untersuchenden Gas gefüllt, so wird das Gasvolumen bei der Einstellung auf den Marken in der Messröhre abgelesen.

Zur Bestimmung der Kohlensäuremenge wird das Gas in die Kalilaugepipette IV getrieben. Nach mehrmaligem Zurücksaugen und Hinübertreiben ist in ca. 2 Minuten sämtliche Kohlensäure absorbirt. Es wird jetzt das Gasvolumen festgestellt, indem wir die Kalilauge in der Pipette IV bis ca. in die Höhe der Marke hinaufsaugen, den Wassermantel gründlich mischen, durch Höhen-Verschiebung von 4, in der Capillare V die Lauge auf die Marke einstellen, und endlich präzise mittelst Heben oder Senken von 2, auch in IV die Lauge auf die Marke einstellen.

Bei jeder Volumablesung ist diese Folge zu beachten.

Nach der Kohlensäureablesung wird das Gas in die Pyrogalluspipette getrieben und hier von Sauerstoff befreit; dabei werden die Hähne so gestellt, dass II und VI mit einander communiciren und der kurze Schenkel der T-Bohrung von c nach oben steht, wodurch bei Abschluss von IV der Capillarenweg frei wird.

Das nach der weiter unten angegebenen Art hergestellte alkalische Pyrogallat absorbirt bei der grossen Oberfläche, welche durch die in der Pipette befindlichen Glasröhren gegeben ist, binnen 5—6 Minuten sämtlichen Sauerstoff. Wir erkennen die Beendigung der Absorption daran, dass das Pyrogallat, welches bei Anwesenheit von Sauerstoff in dicker brauner Schicht an der Wand der Pipette langsam herunterfliesst, sobald die Absorption vollendet ist, rasch, ohne an der Wand kleben zu bleiben, zurückfliesst. Die Pipette ist dann durchsichtig und nur ein wenig

grünlich colorirt. Ist sämmtlicher Sauerstoff absorbirt, so wird das Pyrogallat bis zur Marke hinaufgesaugt und durch eine $\frac{1}{8}$ -Drehung des Hahnes e die Pipette VI verschlossen. Das nach der Sauerstoffabsorption zurückgebliebene Gasvolumen wird auf die oben beschriebene Art eingestellt und abgelesen.

Bei Luftanalysen giebt der Rest den Stickstoff. Man thut gut, vor jeder Analyse durch Absorption der Kohlensäure und des Sauerstoffs die todten Räume des Apparates vorerst auf die beschriebene Weise mit Stickstoff zu füllen.

Für Luft- und Respirationsgasanalyse würde die Bestimmung des Sauerstoffs, der Kohlensäure und des Stickstoffs genügen.

Zur Bestimmung des Kohlenoxyds kann die weiter unten für Sauerstoffcapacität-Bestimmung des Blutes beschriebene Methode angewendet werden. Aber es ist mit dem Apparate auch möglich, das CO durch Verpuffung zu bestimmen.

Dazu dient die Explosionspipette von Zuntz¹⁾ (Fig. 1), die am Apparat so angebracht werden kann, dass sie hinter die Wand des Apparates zu klappen ist, damit durch Explosion der Pipette bei event. zu starker Verpuffung nicht der ganze Apparat leide. Es ist dies nur eine Vorsichtsmaassregel, die bisher noch durch keinen Unfall begründet ist.

Handhabung des Apparates bei Blutgasanalyse.

Um mit dem Apparate Blutgasanalysen anstellen zu können, gestaltet sich das analytische Verfahren folgendermaassen:

Von h aus wird die Messröhre mit reinem Kohlenoxyd gefüllt. Das Kohlenoxyd ist am zweckmässigsten aus Oxalsäure und Schwefelsäure herzustellen. Bei gelindem Erwärmen entsteht aus

wir müssen somit, um die Kohlensäure zu absorbiren, das Gas durch einen Natronkalkthurm leiten. Damit wir das Gas stets vorrätig haben, kann es in einem Gasometer aufgefangen werden, aus welchem wir dann den Apparat füllen können.

Es ist gut, wenn wir vor dem Versuch das Gas in die Lauge und in das Pyrogallat treiben, um es von event. Sauerstoff oder Kohlensäure zu befreien.

Der Apparat wird dann eingestellt und das CO-Volumen abgelesen. Jetzt wird der Dreiweg-Hahn a (Fig. 1) so gestellt, dass eine Verbindung zwischen I und zwischen der Capillare h geschaffen wird.

Von Quecksilberbehälter 1 aus wird der Recipient und die Capillare h mit Quecksilber gefüllt. Es ist wichtig, dabei darauf zu achten, dass weder an den Wandungen noch in den eingeschmolzenen Spiralen und Kugeln Luftblasen kleben bleiben. Bei reinem und trockenem Gefäss und bei langsamen Heben des Füllgefässes ist die Gefahr nicht gross. Doch thut man gut, nachdem der Recipient vollkommen mit Quecksilber

1) Beschrieben von Preti, Zeitschr. f. Biochemie.

gefüllt ist, den Hahn *a* abzusperren und dann den Quecksilberbehälter tief zu senken. Durch den im Innern des Gefäßes entstehenden starken negativen Druck werden die Luftblasen frei, sammeln sich im oberen Theil des Gefäßes und können dann hinausgetrieben werden.

Um in den Recipienten Blut saugen zu können, ist es zweckmässig, mit einer Gummiverbindung an *h* eine Capillare anzubringen. Diese Capillare tauchen wir in ein mit Blut gefülltes Gefäss und saugen daraus durch vorsichtiges Senken von 1 je nach der Menge des vorhandenen

Fig. 2.

Blutes eine, zwei oder alle drei Kugeln des Recipienten bis zur Marke voll. Jetzt drehen wir den Dreiweghahn *a* gegen das Eudiometer, den Hahn *b* gegen 1 und treiben vorsichtig, damit kein Schaum entsteht, CO zum Blut herüber. Senken wir dabei 1, ohne 2 zu heben, so wird das Gas unter negativem Druck sein, oder heben wir 2, ohne 1 zu senken, so ist das CO unter positivem Druck. Um die Einstellung bei der Ablesung des Gasvolumens sicherer zu gestalten, habe ich als einen Ergänzungstheil bei dem Apparate einen Schnurlauf angewendet (Fig. 2).

Eine in sich geschlossene Schnur ist über ein in 1 m Höhe befestigtes, mit einer tiefen Rille versehenes und um seine Axe frei drehbares Rad m gezogen. Die Schnur läuft unten ebenfalls in der Rille eines Rades l, welches mittelst eines Hebels d gedreht werden kann. In der Axe dieses Rades ist auch ein Zahnrad e angebracht, welches wir in zwei Richtungen drehen und arretiren können, je nachdem der linke (k) oder der rechte (t) Zahn eines durch die Stahlfeder f bequem verstellbaren Hebels e eingestellt wird. Die angespannte Schnur läuft somit circular. Es ist klar, dass zwei in der Ruhestellung gegen einander stehende Punkte der Schnur bei dem Drehen sich in entgegengesetzter Richtung bewegen werden, und der eine davon ebenso viel steigt, wie der andere sinkt. Wenn wir somit in einer gewissen Höhe zwei Haken a und b an die Schnur anbringen, welchen wir die Quecksilberbehälter 1 und 2 anhängen, so wird in den communicirenden Gefässen I und II befindliches Gas unter einem Druck stehen, welcher bei der compensirenden Bewegung des einen Behälters nach unten, des anderen nach oben unverändert bleiben muss, wenn die Gefässe gleich gross sind. Durch diese Vorrichtung ist daher nicht nur die Sicherheit beim Arbeiten erreicht, sondern die Möglichkeit gegeben, die Sättigung des Blutes mit Kohlenoxyd bei jedem beliebigen Druck vornehmen zu können. Mit dieser Vorrichtung ist auch die Einstellung bei der Ablesung des Gasvolumens auf das Genaueste auszuführen, indem der Radius der Räder ziemlich klein gewählt ist.

Die Sättigung wird um so schneller vor sich gehen, je grössere Oberfläche des Blutes mit dem CO in Berührung kommt. Beim Schütteln entstehen Blasen, deren capillare Wände das CO aufnehmen und das CO und O₂ abgeben. Die Blasenentstehung muss aber bei diesem Apparat vermieden werden, da sonst eine Abmessung des Gases nicht gut möglich ist. Es ist darum nöthig, durch wiederholtes Heben und Senken der Quecksilbergefässe das Blut zu vermengen, damit immer eine andere Schicht mit dem Kohlenoxyd in Berührung kommt. Die Sättigung des Blutes geschieht, indem das CO in I getrieben wird, wodurch das Blut in den unteren Theil des Gefässes verdrängt wird. Das Blut verschmiert sich an der inneren Wand der Kugeln, der Spirale und des Gefässes. Um die Sättigung bei beliebiger Temperatur vornehmen zu können, ist I von einem Wassermantel umgeben. Für die bequemste Art, den Wassermantel g auf einer beliebigen Temperatur constant zu erhalten, empfehle ich die Erwärmung durch elektrischen Strom. Ich gebrauchte dazu eine 10 Kerzen starke Glühlampe von Kerzenform, die an der Fassung mit Guttapercha isolirt war. In den Leitungsdraht schaltete ich einen Schieberrheostat und steckte dann die Lampe in den Wassermantel. Durch die Verschiebung des Rheostates konnte ich jede beliebige Temperatur bis 42° constant erhalten. Der Wassermantel ist gross genug, um noch ein Thermometer und eine Mischröhre fassen zu können. Im Laufe der Mischung von Blut und Gas wird nicht nur Kohlenoxyd vom Blute absorhirt und Sauerstoff frei werden. Ausserdem wird wegen der Spannungsdifferenz das Blut viel von seiner Kohlensäure und dem physikalisch absorbirten Stickstoff verlieren. Es wird somit das Gasgemisch

nach einiger Zeit Kohlenoxyd, Sauerstoff, Kohlensäure und Stickstoff enthalten.

Nach längerem Mischen bringen wir dieses Gasgemisch in das Eudiometer zurück, wobei darauf geachtet werden muss, dass auf der Oberfläche des Blutes keine Schaumblasen sich befinden. Etwaiger Schaum ist durch schwache Bewegung des Blutes im obersten capillaren Theil des Blutes ohne besondere Mühe fortzubekommen.

Es muss das Blut so eingestellt werden, dass es die Hahnbohrung des Dreiweghahnes füllt.

Das zurückgezogene Gas wird, nachdem sich die Temperatur ausgeglichen hat, auf das Thermobarometer eingestellt, das Volumen abgelesen und notirt. Dann wird die Kohlensäure und der Sauerstoff durch Absorption bestimmt.

Die Sättigung wiederholen wir so oft, bis keine Absorption von CO resp. keine Abgabe von CO_2 und O_2 mehr erfolgt, d. h. bis das Gasvolumen keine Aenderung mehr zeigt.

Berechnung der Resultate.

Die Thermobarometer-Einrichtung ermöglicht die procentische Zusammensetzung von Gasgemischen ohne Weiteres zu berechnen.

Bei den Blutgasanalysen müssen wir aber die gefundenen Werthe in absoluten Zahlen angeben. Um das ausführen zu können, sind folgende Punkte zu beachten.

Das CO-Volumen wird bei Atmosphärendruck abgelesen, den wir notiren. Ebenso muss an dem im Wassermantel steckenden Thermometer die Temperatur abgelesen werden. Aus dem Volumendruck und Temperatur können wir die Reduction des Gases auf 760 mm Druck, 0° und Trockenheit berechnen. Jedes im Laufe des Versuches mit Hülfe des Thermobarometers abgelesene Gasvolum kann durch einfache Proportion auf 0° , 760 mm und Trockenheit reducirt werden. Wollen wir die Sauerstoffcapacität des Blutes berechnen, so ist die Temperatur, bei welcher das Blut mit Luft oder Sauerstoff geschüttelt wurde, zu notiren, da die Sauerstoffaufnahme-fähigkeit sowie die physikalische Absorption von der Temperatur des Blutes abhängig ist.

Zur Bestimmung der absoluten CO-Capacität des Blutes muss die Temperatur, bei welcher das Blut vor Einfüllung in den Apparat mit Luft gesättigt war, sowie diejenige, bei welcher die Behandlung mit CO vorgenommen wurde, bekannt sein, ferner der Druck. Es ist dies darum nöthig, weil wir im Restgas ausser dem Kohlenoxyd noch diejenige Menge von Stickstoff haben, die im Blute physikalisch absorbirt vorhanden war.

Bei der Berechnung des sich dem CO beimengenden N nehmen wir an, dass das Blut 92 pCt. derjenigen Stickstoffmenge absorbirt enthält, welche Wasser bei gleicher Temperatur und gleichem Druck aufnehmen würde.

Kritik der Methodik.

Es fragt sich, ob wir verlässliche Resultate bezüglich der vier in Frage kommenden Gase bei diesem Verfahren zu erwarten haben. Be-

züglich des Sauerstoffs, Kohlenoxyds und Stickstoffs kann ich dies ohne Weiteres bejahen, wogegen ich mich bezüglich der Kohlensäure reservirter verhalten möchte.

Wir wissen seit den grundlegenden Untersuchungen von Hüfner, Bohr und Haldane, dass das Hämoglobin circa 134 mal grössere Affinität zum Kohlenoxyd hat, als zum Sauerstoff¹⁾. Die Sättigungsdauer mit CO würde sich somit in der capillaren Schicht fast momentan vollziehen. Die Sättigungsdauer hängt somit von der durch die eingeschmolzene Spirale und Kugeln bewirkten Vergrösserung der Oberfläche ab. Bei dem Bewegen des Blutes in dem Gefässe verschmiert sich stets eine andere Portion in capillarer Schicht an die Wand des Gefässes. Aus der Spannungsdifferenz erklärt sich auch das quantitative Freiwerden des Stickstoffs.

Es ist eine alte Erfahrung, dass die Kohlensäure das Blut am schwersten verlässt. Wir müssen im Blute mit dissociabler und mit der an Alkalien gebundenen Kohlensäure rechnen. Bei dem Auspumpen des Blutes wird sämtliche CO₂ das Blut verlassen, wogegen bei meinem Verfahren nur diejenige Kohlensäure dem Blute entweichen wird, welche durch Herabsetzung des Partialdruckes auf Null herausgetrieben werden kann. Es wäre bei den künftigen Versuchen interessant, zu erforschen, wie sich die Menge der dissociablen Kohlensäure zur auspumpbaren Menge verhält.

Wollen wir in unserem Apparat die Kohlensäure mit schwacher Phosphorsäure aus dem Blute hinaustreiben, so können wir durch die Capillare h dieselbe langsam in kleiner Menge einsaugen lassen. Nur ist es dann nöthig, auch die Capillare h zu calibriren, da bei diesem Versuch das in der Capillare befindliche Blut ebenfalls in Betracht kommt.

Wollen wir das absorbirte Kohlenoxyd zur Probe der Genauigkeit des Apparates wieder heraustreiben, so saugen wir erst 1 ccm $\frac{1}{4}$ proc. Ammoniaklösung ein und vermengen sie mit dem Blute, bis es lackfarben wird. Danach lassen wir Ferricyankalium hinzutreten, wodurch, wie es seit Hüfner-Haldane bekannt ist, das absorbirte CO frei wird, und wir erhalten wieder das originale Volumen des Kohlenoxyds. Bei diesem Experiment ist es nicht nöthig den Caliberwerth der Ansatzcapillare, durch welche die Reagentien eingesaugt werden, zu kennen, da doch das in der Capillare befindliche Blut kohlenoxydfrei ist und so das Resultat nicht beeinträchtigen kann. Ich muss aber zu diesem Experiment bemerken, dass die Ferricyanidprobe in dem Apparat nur mit der grössten Vorsicht ausgeführt werden kann, und es darf nur mit sehr schwachem negativen Druck angesaugt werden, da sich sonst leicht Schaum bildet, der sehr schwer wegzubringen ist. Die Ammoniakdämpfe stören das Resultat nicht, da, wie angegeben wurde, im Eudiometer sich ein Tropfen schwefelsaures Wasser befindet, welches die Ammoniakdämpfe absorbt.

Die Möglichkeit der Fortsetzung des Versuches bis zu der Volumconstanz des Gases bietet eine Sicherheit im Arbeiten, welche bei keiner

1) Vergl. Loewy und Zuntz in Michaelis, Sauerstofftherapie. S. 52. Berlin, Hirschwald. 1906.

anderen Methode möglich ist. Wir haben sozusagen den Versuch in der Hand und arbeiten so lange, bis wir uns überzeugt haben, dass wir nichts mehr zu erwarten haben. Es kann damit bei unserem Versuch die Möglichkeit ausgeschlossen werden, die Sättigung unvollkommen ausgeführt zu haben. Die Sauerstoffzehrungsgefahr ist auch nicht grösser als bei dem Pumpenarbeiten, da der grösste Theil des Hämoglobins binnen sehr kurzer Zeit vom Sauerstoff befreit wird. Die Menge des Blutes, mit der wir arbeiten, kann absolut genau festgestellt werden. Ausserdem kommt noch in Betracht, dass wir mit dem Apparat gut stimmende Resultate erzielt haben.

Das Pyrogallat geniesst nicht dasselbe Vertrauen. Wichtig ist für das Pyrogallat, sich an die Haldane'sche Vorschrift zu halten. Haldane nimmt zu Absorptionszwecken auf 100 g reinem KOH 50 g Wasser. Das entspricht einer 75 proc. KOH-Lösung und muss 1,55 spec. Gewicht haben. Zu 100 g dieser Lösung fügt er 10 g Pyrogallussäure hinzu. Das so hergestellte Pyrogallat absorbiert nach meinen diesbezüglichen Untersuchungen, die noch durch zahlreiche Luftanalysen unterstützt wurden, quantitativ den Sauerstoff und lässt keinen auf andere Weise nachweisbaren Rest zurück.

Nummer des Versuches	Datum	Absorptionsanalyse					Pumpen-analyse		Berechneter Sättigungs-grad des Blutes mit O ₂	Hämoglobingehalt des Blutes in Procenten spectropho-metrisch bestimmt	Berechnete O ₂ -Capacität aus dem Hämoglobingehalt	Bemerkungen
		Angewandte Blut-menge	Tem-peratur		in Procent. des Blut-volumens		Schüttel-Temperatur	O ₂ in Procenten des Blutvolumens				
			der Luftsättigung	der CO-Sättigung	O ₂	CO						
I.	6. 12. 06	6,05	10°	37°	14,33	15,91	37°	13,38	84,1	14,48	18,96	Frisches Hundeblut vor dem Einfüllen in den Abs.-Apparat mit Luft kräftig geschüttelt.
II.	13. 12. 06	6,05	10°	37°	22,74	27,12	37°	24,73	91,1	19,54	26,55	Ein Tag altes Hundeblut vor dem Einfüllen nicht geschüttelt.
III.	10. 1. 07	6,05	18,5°	37°	20,84	22,13	37°	18,26	82,5	—	—	Frisches Hundeblut vor dem Einfüllen nicht geschüttelt.
	11. 1. 07	6,05	12,5°	37°	20,44	22,75		80,0	—	—	Dasselbe. Ein Tag altes Hundeblut bei 12,5° mit Luft kräftig geschüttelt.	
IV.	13. 2. 07	6,51	37°	37°	16,08	16,43	37°	16,19	98,5	13,1	17,55	Frisches Hundeblut aus der Schüttelbirne in den Abs.-Apparat gefüllt.

Bei den in der Tabelle befindlichen Versuchen legte ich vorerst den Hauptwerth auf die CO-Capacität. Vergleichen wir die Zahlen mit den nach der spectrophotometrischen Bestimmung berechneten Sauerstoffcapacitätszahlen, so finden wir bei Versuch I und V, dass die berechnete Zahl, wenn wir bei der Berechnung die Hüfner'sche Mittelzahl von

1,34 cem für 1 g Hämoglobin einsetzen, um 2,95 pCt. resp. 1,12 pCt. grösser und bei Vers. II um 0,57 pCt. kleiner ist. Wir wissen aber, dass diese Hüfner'sche Mittelzahl ziemlich grosse Schwankungen zeigt. Immerhin können sie zu einem informativen Vergleich herangezogen werden.

Vergleichen wir die durch Absorption gewonnenen Zahlen mit den durch Pumpe gewonnenen O_2 -Werthen, so sehen wir zunächst, dass diese stets grösser sind als die letzteren. Es ist dies ja auch nicht anders zu erwarten, indem wir doch wissen, dass die Sättigung mit Sauerstoff bei 150 mm Partialdruck und $37^\circ C$. nur etwa 88 pCt. beträgt, im Gegensatz zu dem Kohlenoxyd, wo wir 99—100 pCt. Sättigung zu erwarten haben. Berechnen wir unter der Annahme, dass die CO-Zahlen voller Sättigung entsprechen, aus den durch Pumpenanalyse gefundenen O_2 -Werthen die procentige Sauerstoffsättigung des Blutes bei atmosphärischer Luft und bei 37° , so finden wir, dass im Vers. I 84,1, II 91,1, III 82,5 und 80,0, IV 98,5 pCt. O_2 der absoluten Aufnahmefähigkeit enthalten war.

Die durch Pumpe und durch Austreibung gewonnenen Sauerstoffzahlen sind bei meinen Versuchen, ausser Versuch IV, nicht mit einander zu vergleichen, indem kein Gewicht auf die O_2 -Sättigung vor der Einfüllung im Absorptionsapparat gelegt wurde. Nur bei Vers. IV, wo direct aus der Schüttelbirne das Blut theils in die Pumpe, theils in den Apparat gebracht wurde, ist auf dieses Moment geachtet worden und hier beträgt die Differenz zwischen den beiden, auf verschiedenen Wegen gefundenen Werthen nicht mehr als 0,11 Vol.-pCt.

Die Fehlergrenze der Methode zeigt der Doppelversuch III. Die Differenz ist bei den zwei CO-Zahlen 0,52, bei den O_2 -Zahlen 0,4 pCt.

Dass bei diesem Versuch die durch Austreiben gefundenen Sauerstoffzahlen grösser sind als die ausgepumpte Menge, finden ihre Erklärung in den verschiedenen Temperaturen, bei welchen das Blut mit Luft geschüttelt wurde. Wir finden im selben Sinne Differenzen auch bei Vers. I, wogegen aus Versuchsblut No. II, bei welchem das einen Tag alte Blut absichtlich nicht vor der Einfüllung geschüttelt wurde, mehr O_2 nach der Sättigung bei $37^\circ C$. ausgepumpt als ausgetrieben wurde.

Bezüglich der Kohlensäure verweise ich auf das angeführte Berechnungsbeispiel im Anhang, dem der Vers. III zu Grunde gelegt ist. Wir sehen, dass die ausgetriebene Menge bei jeder Etappe des Versuches abnimmt, und dass wir bei weiterem Fortsetzen des Versuches wahrscheinlich dazu gekommen wären, sämtliche CO_2 aus dem Blute zu treiben.

Ich bin weit davon entfernt diese Versuche und die Resultate für erschöpfend zu betrachten und damit die weitere Controle der Methode und des Apparates für überflüssig zu halten. Ich bin mir dessen sehr bewusst, dass noch Versuche fehlen, wo die CO-Capacität durch Pumpe und Absorption zu bestimmen gewesen wäre, dass die Kohlensäure bis zum letzten dissociablen Rest hätte herausgetrieben werden müssen, und dass die Zahlen der Einzel- und Doppelbestimmungen noch viel zu gering

sind, um aus ihnen ein endgültiges Urtheil zu bilden. Da ich aber mein gestecktes Ziel, das ich mit dem Apparat zu erreichen glaubte, auf andere Weise bequemer und leichter erreicht habe, und in absehbarer Zeit nicht dazu kommen werde, mit dem Apparat weiter arbeiten zu können, habe ich mich entschlossen, dieses analytische Verfahren, soweit es bis jetzt ausgebildet ist, zu veröffentlichen.

Ich thue dies in der festen Ueberzeugung, dass es bei nöthiger Fertigkeit gelingen wird, mit dem Apparat einige wichtige Capitel aus der Blutphysiologie der Lösung näher zu bringen, und um derartige Arbeiten zu erleichtern, hielt ich es für richtig, sämtliche methodischen Einzelheiten in der Weise, wie es geschehen ist, anzugeben.

Die nächstliegenden Fragen, die mit dem Apparat zu lösen sind, kann ich in Folgendem zusammenfassen:

1. Den Sauerstoffgehalt des Blutes im Verhältniss zur Kohlenoxyd-capacität und Hämoglobingehalt in normalen und krankhaften Fällen festzustellen.

2. Die Kohlenoxydcapacitätscurve bei verschiedenem Druck zu construiren.

3. Die Kohlenoxydcapacitätscurve bei verschiedener Temperatur zu untersuchen.

4. Die quantitative Bestimmung der Kohlenoxydmenge in der Luft.

Zum Schluss sage ich dem Herrn Geheimrath Zuntz meinen innigsten Dank für die vielfache Anregung und Hülfe, mit welcher er meine Arbeit gefördert hat.

Anhang.

Berechnungsbeispiel.

Datum des Versuches 10. 1. 1907. Hundeblood.

Pumpenanalyse ergibt nach Schütteln im Schüttelapparat bis 37° C. für O₂ = 18,26 Volumenprocente.

Bestimmung mit dem Absorptionsapparat.

Blut ein Tag alt auf Eis aufbewahrt. Angewandte Blutmenge 6,05 ccm. Einfüllungstemperatur 18,5° C.

$$\begin{array}{l} \text{Gas} \left\{ \begin{array}{l} \text{Volumen} = 31,82 \\ \text{Temp.} = 19,9^{\circ} \text{ C.} \end{array} \right. \\ \text{Barometer} \left\{ \begin{array}{l} 770,06 \text{ mm} \\ 19,8^{\circ} \text{ C.} \end{array} \right. \end{array}$$

Temperatur im Blutrecipienten 37° C.

Mischungsetappen 8mal wiederholt.

Ablesung nach Vollendung der Absorption 30,30 ccm.

Caliber-Correctur = 0,0211.

31,82 ccm bei obenstehenden Verhältnissen reducirt = 29,31 ccm.

Temperatur in den Blutrecipienten.

Nach 10 Minuten Mischung.			Nach weiteren 15 Minuten.		
	Gasvolum	32,645		Gasvolum	31,200
nach CO ₂ -Absorption	31,840	} I.	nach CO ₂ -Absorption	30,760	} II.
„ O ₂ - „	30,800		„ O ₂ - „	30,550	

Nach 12 Minuten.		Nach 10 Minuten.	
Gasvolum	30,910	Gasvolum	30,685
nach CO ₂ -Absorption	30,530	nach CO ₂ -Absorption	30,430
„ O ₂ - „	30,440	„ O ₂ - „	30,395
} III.		} IV.	
Nach 10 Minuten.		Nach 10 Minuten.	
Gasvolum	30,570	Gasvolum	30,485
nach CO ₂ -Absorption	30,370	nach CO ₂ -Absorption	30,340
„ O ₂ - „	30,350	„ O ₂ - „	30,320
} V.		} VI.	
Nach 10 Minuten.		Nach 15 Minuten.	
Gasvolum	30,420	Gasvolum	30,360
nach CO ₂ -Absorption	30,310	nach CO ₂ -Absorption	30,300
„ O ₂ - „	30,300	„ O ₂ - „	30,300
} VII.		} VIII.	

Nach diesen analytischen Daten berechnen sich folgende Zahlen für die O- und CO₂-Abgabe des Blutes und das von ihm aufgenommenen CO für die einzelnen Etappen des Versuchs.

Etappe	O ₂	CO ₂	CO
I	1,04	0,805	1,02
II	0,21	0,44	0,25
III	0,09	0,38	0,11
IV	0,035	0,255	0,055
V	0,02	0,20	0,045
VI	0,02	0,145	0,03
VII	0,01	0,11	0,01
VIII	0,00	0,06	0,00
Summa:	1,425	2,395	1,520

Berechnung des Sauerstoffgehaltes des Blutes.

O₂ freigeworden 1,425 ccm

Calibercorrectur 0,021 „

1,404

1,404 reducirt = 1,293 ccm = 21,37 Volumprocente des Blutes.

21,37 — 0,53 (phys. absorbirt) = **20,84 Volumprocente O₂ im Blute.**

Berechnung der Kohlenoxydcapacität.

Die Abnahme des CO betrug 1,520, d. h. nach Abzug der Calibercorrectur 1,499 ccm. 1,499 ccm reducirt = 1,381 ccm. 1,381 ccm = 22,82 Volumprocente.

22,82 + 1,31 pCt. phys. absorb. N bei 18,5° C. — 2,00 pCt. phys. absorb. CO bei 37° C. = **22,13 Volumprocente CO-Capacität.**