(Physiologisches Laboratorium in Bonn.)

Zur Kenntniss der Apnoë.

Von

August Ewald

aus Darmstadt.

Während die Physiologie der Blutgase im Zustand der Dyspnoë bereits von verschiedenen Seiten eingehende Bearbeitungen erfahren hat, ist dies für die analogen Verhältnisse der Apnoë nicht der Fall. Nur Paul Hering¹⁾ hatte die auffallende That-
sache ermittelt, dass der Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes während der Apnoë vermindert sei, was indessen von Pflüger²⁾ bekanntlich in Abrede gestellt worden ist.

Da nun der apnoische Zustand und die ihm entsprechende Zusammensetzung der Blutgase von grossem theoretischen Interesse ist, forderte mich Prof. Pflüger auf, die hier in der Wissenschaft vorliegende Lücke durch eingehende Untersuchungen auszufüllen.

Dieselben sind in der Weise ausgeführt worden, dass an ein und demselben Thiere erst eine Blutportion bei normaler Athmung entnommen und entgast wurde; dann eine, nachdem das Thier mittelst eines grossen Blasebalges, der mit der geöffneten Trachea in Verbindung stand, apnoisch gemacht worden war; ferner eine Blutportion bei normaler Athmung, nachdem man dem Thiere Zeit zur vollständigen Erholung gelassen hatte; endlich wieder eine in der Apnoë u. s. f. Dadurch bin ich in Stand gesetzt, auch auf kleine Differenzen Werth legen zu können.

In Folgendem gebe ich eine kurze Zusammenstellung meiner Versuche, indem ich in Betreff der genaueren Beschreibung derselben und der dabei angewendeten Methoden auf meine gleichzeitig erscheinende Dissertation verweise.

Die ersten Versuche wurden so angestellt, dass gleichzeitig ein arterieller und ein venöser Aderlass gemacht wurden. Der

1) Einige Untersuchungen über die Zusammensetzung der Blutgase während der Apnoë. Inauguraldissertation. Dorpat 1867.

2) Pflüger, dieses Archiv. Bd. I. pag. 100.

arterielle geschah aus der Art. femoralis, und der venöse mit Hilfe eines gläsernen Katheters aus dem rechten Herzen. Die Versuche einer Serie sind immer an einem und demselben Thiere in der oben angedeuteten Weise direct hintereinander angestellt worden.

Versuchs- Nummer	Respirations- Zustand	Arterienblut		Venenblut		Differenz d. Sauerst.- Proc. zwisch. Apnoë u. norm. Athmung im arteriellen Blute	Bemerkungen.
		Sauer- stoff %	Koh- len- säure %	Sauer- stoff %	Koh- len- säure %		
Ser. I 1.	Norm. Athm.	17,3	33,4	11,7	36,5	—	—
2.	Apnoë	17,4	15,6	12,0	22,4	+ 0,1	20 Min. lang ventilirt
3.	Apnoë	17,9	17,5	4,6	33,9	+ 0,6	15 Min. ventilirt. Ve- nöser Aderlass aus Ven.femor. dersel- ben Seite wie arte- rieller.
Ser. II 4.	Norm. Athm.	15,4	32,4	9,5	34,0	—	—
5.	Apnoë	15,9	13,1	9,1	22,3	+ 0,5	50 Min. ventilirt.
6.	Norm. Athm.	15,3	28,3	—	—	— 0,6	1 Stunde Zeit zur Er- holung.

Bei den nächsten Serien wurden nur arterielle Aderlässe gemacht, dabei aber meistens etwas mehr Blut aufgefangen, um eine Portion des Aderlasses direct auszupumpen, die andre bei der jedesmal notirten Bluttemperatur in einem grösseren Wassergefäss eine halbe Stunde mit atmosphärischer Luft zu schütteln und dann zu entgasen, wodurch wir constatiren konnten, wie weit sich das arterielle Blut bei der Apnoë mit Sauerstoff gesättigt hatte.

Versuchs- Nummer	Respirations- Zustand	Direct entgast		Mit Sauerstoff gesättigt		Differenz d. Sauer- stoffprocente bei normaler Athmung und bei Apnoë	Differenz d. Sauer- stoffprocente bei gesättigter und ungesättigter Portion	Bemerkungen.
		Sauer- stoff %	Koh- len- säure %	Sauer- stoff %	Koh- len- säure %			
Ser. III 7.	Norm. Athm.	15,8	35,1	17,0	30,5	—	1,2	—
8.	Apnoë	16,4	12,9	16,75	12,8	+ 0,6	0,35	55 Min. ventil.
9.	Norm. Athm.	15,7	26,35	—	—	— 0,7	—	50 Minut. zur Erholung.
10.	Apnoë	16,6	14,4	—	—	+ 0,9	—	32 Min. ventil.
Ser. IV 11.	Apnoë	15,45	14,4	15,9	6,7	—	0,45	—
Ser. V 12.	Apnoë	13,4	6,5	13,6	6,1	—	0,2	21 Min. ventil.

Aus diesen 12 Versuchen geht mit Sicherheit hervor, dass im arteriellen Blute bei der Apnoë der Sauerstoffgehalt vermehrt ist bis zur fast vollkommenen Sättigung des Blutes, während der Kohlensäuregehalt sehr vermindert erscheint. Die Zunahme des Sauerstoffs ist in allen Versuchen vorhanden und schwankt zwischen 0,1 bis 0,9 pCt. und die Sättigung des Blutes mit Sauerstoff ist soweit erreicht, dass z. B. in Versuch 12 zwischen dem Sauerstoffgehalt des Apnoëblutes und dem des wirklich gesättigten nur eine Differenz von 0,2 pCt. resultirt, die fast innerhalb der Fehlergrenze gelegen ist.

Die auffallende Thatsache, dass in Versuch 5 der Sauerstoffgehalt des Venenblutes während der Apnoë etwas abgenommen hatte, bestimmte uns mehrere Versuche mit venösen Aderlässen zu machen, bei denen theilweise ebenfalls eine Portion mit Sauerstoff gesättigt wurde.

Versuchs- Nummer	Respirations- Zustand	Direct entgast		Mit Sauerstoff gesättigt		Differenz d. Sauer- stoffprocente bei Apnoë und normaler Athmung	Differenz d. Sauer- stoffprocente bei Apnoë u. der darauf folgenden Erstückung	Bemerkungen.
		Sauer- stoff %	Koh- len- säure %	Sauer- stoff %	Koh- len- säure %			
Ser. VI 13.	Norm. Athm.	6,7	33,3	—	—	—	—	—
14.	Apnoë	5,65	13,9	12,1	9,4	— 1,15	—	48 Min. ventil.
» VII 15.	Norm. Athm.	13,5	34,1	—	—	—	—	—
16.	Apnoë	9,65	17,3	20,2	14,0	— 3,85	—	49 Min. ventil.
17.	Apnoë	4,6	17,5	—	—	— 8,9	—	50 Min. ventil.
18.	Apnoë	4,0	18,3	—	—	—	— 0,6	40 Sec. nach Unterbrech. d. Ventilation und Anbrin- gung von Tra- chea-Verschl. aufgefangen.
» VIII 19.	Norm. Athm.	7,3	35,5	—	—	—	—	—
	Apnoë	5,1	14,6	—	—	— 2,2	—	56 Min. ventil.
	Apnoë	4,7	15,4	—	—	—	— 0,4	40 Sec. nach Unterbrech. d. Ventilation bei abgeschl. Trachea auf- gefangen.

Es geht aus dieser Folge von 9 Versuchen die eminent auffallende Thatsache hervor, dass der Sauerstoffgehalt des venösen Blutes während der Apnoë abgenommen hat.

Da man den Einwand erheben könnte, dass während der energischen Lüftung der Lungen, wie sie durch die künstliche Respiration bedingt ist, eine Abkühlung des Thieres und hierdurch gesteigerter Stoffwechsel während der Apnoë veranlasst werde, so machten wir noch im geheizten Zimmer Versuche an Hunden, deren Körper sorgfältig während der Ventilation mit Watte umhüllt wurde. Ein Thermometer in ano diente zur Bestimmung der Temperatur des Thieres.

Folgende Tabelle gibt die betreffende Serie:

	Sauerstoff	Kohlensäure	Temperatur des Thieres	Bemerkungen.
Norm. Athmung	8,1	36,8	39,1°	
Apnoë	5,6	20,25	39,2°	Ventilation von 42 Min.
Norm. Athmung	6,4	30,9	38,6°	1 Stunde 17 Min. Zeit zur Erholung.
Apnoë	2,25	23,7	38,7°	Ventilation v. 1 St. 18 Min.

Temperatur des Zimmers, in dem ventilirt wurde, = 26,5° C. Also trotz der unveränderten Temperatur des Körpers ergibt sich abermals eine Verminderung des Sauerstoffgehaltes im venösen Blute bei Apnoë.

Versuch 18 und 21, welche zeigten, dass 40 Secunden nach Verschluss der Trachea des apnoischen Thieres der Gehalt des Venenblutes an Sauerstoff kaum eine Verminderung ergab, veranlassten uns noch zu untersuchen, um wieviel später nach Tracheaverschluss ein apnoisches Thier dunkles Arterienblut führt, als ein normal athmendes. Als leicht bestimmbare Phase der Erstickung setzten wir entweder den Moment fest, wo das Arterienblut anfang seine helle Farbe zu verlieren, oder den Moment, wo es schwarz geworden war. Es wurde natürlich immer wie früher eine Folge von Versuchen an ein und demselben Thiere angestellt. Dabei wurde ein gleicher Grad von Dyspnoë erreicht.

Serie IX.	{	bei Vers. (22)	nach norm. Athm.	0	Min.	52	Sec.	n. Tracheaverschl.
Hund, Blut	{	» » (24)	» Apnoë	1	»	30	»	»
schwarz	{	» » (25)	» Apnoë	1	»	5	»	»
	{	» » (26)	» norm. Athm.	0	»	48	»	»
Serie X.	{	» » (27)	» Apnoë	2	»	0	»	»
Hund, Blut	{	» » (28)	» norm. Athm.	1	»	15	»	»
schwarz	{	» » (29)	» Apnoë	2	»	40	»	»
Dunkeln	{	» » (27a)	» Apnoë	0	»	40	»	»
beginnt	{	» » (28a)	» norm. Athm.	0	»	15	»	»

Serie XI. Kanin- chen, Nachlass d. arter. Farbe	bei Vers. (30)	n. norm. Athm.	0 Min.	7 Sec.	n. Tracheaverschl.
	» » (31)	» Apnoë	0 » 9	» »	»
	» » (32)	» Apnoë	0 » 9	» »	»

Zur Orientirung in diesem Kreise auffallender Thatsachen seien folgende Gesichtspunkte hervorgehoben:

1. Das apnoische arterielle Blut ist nahezu oder ganz mit Sauerstoff für einen Partiärdruck von nicht viel unter $\frac{1}{5}$ Atmosphäre oder 150 Mm. Quecksilber gesättigt. Hieraus folgt, dass, während die absolute Zunahme des Sauerstoffs im arteriellen Blute sehr gering ist, die Spannung ganz bedeutend, ja um ein Vielfaches wachsen kann.

2. Das Venenblut ist in der Apnoë fast immer, und zwar oft sehr bedeutend, ärmer an Sauerstoff, als im Normalzustande. Hieraus folgt, dass, obwohl die Apnoë Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes bedingt, eine Sättigung der Gewebe mit diesem Gase nicht erzielt wird. Denn da das Capillarblut bis auf Spuren von 2—3 Vol.-pCt. seinen Sauerstoff an die Gewebe während der Apnoë abgeben kann, so muss die Spannung desselben in den Geweben tief unter der Sauerstoffspannung des Oxyhämoglobins liegen. Wenn wir die Spannung des Sauerstoffs in den Geweben während der Apnoë zu 10—15 Mm. Hg veranschlagen, so dürfte dies der höchste zulässige Werth sein.

Rechnet man demgemäss die Sauerstoffspannung der Gewebe während der Apnoë zu 10 Mm. und nimmt man den mittleren Absorptionsefficienten für die Gewebe eines Thieres gleich dem des Wassers, so könnte ein Kaninchen von 2000 Cc. Volum, vom Blute abgesehen, nur 0,5 Cc. freien Sauerstoff in seinen Geweben enthalten. Da ein Kaninchen von zwei Kilogramm, unter Voraussetzung eines mittleren O-Verbrauchs, in einer Secunde circa 0,3 Cc. Sauerstoff nöthig hat, so kann der während der Apnoë in den Geweben vorhandene, wahrscheinlich zu hoch angeschlagene Sauerstoffvorrath zur Erklärung einer viele Secunden dauernden Apnoë doch kaum herangezogen werden. Denn es ist daran festzuhalten, dass nach den noch nicht publicirten messenden Untersuchungen Pflüger's, wie er mir hier vorläufig mitzuthellen erlaubt, der Sauerstoffverbrauch in der Apnoë weder kleiner noch grösser als im gewöhnlichen Zustande sich erweist.

3. Da nun die Differenz im Sauerstoffgehalt des Arterien- und Venenblutes bei Weitem grösser als im Normalzustande ist, so muss das Blut in der Apnoë bedeutend langsamer durch die Capillaren fließen, worauf die ausserordentliche Verminderung des Aortendrucks und die Abnahme der Herzarbeit schon hinweisen. Wir haben uns durch einen besonderen Versuch überzeugt, dass während einer Ventilation von 20 Minuten der arterielle Druck von 154 Mm. auf 65 Mm. sank. Diess liegt entweder in veränderter Innervation der Gefässe und des Herzens, oder in der starken durch die Einblasung bedingten Lungen-Expansion, die den Blutstrom in der Lunge behindert, also das venöse Blut staut, oder in beiden Momenten zugleich.

4. Man darf aus der stärkeren Reduction des venösen Blutes in der Apnoë nicht schliessen, dass die Spannung des Sauerstoffs in den Geweben während der Apnoë kleiner sei als im normalen Zustande. Vielleicht würde unter normalen Verhältnissen das Blut in den Capillaren noch stärker als während der Apnoë reducirt werden, wenn es nämlich eben so lange Zeit in denselben verweilte.

5. Wenn wir finden, dass in der Apnoë jener so sehr grosse Unterschied zwischen Arterien- und Venenblut vorhanden ist, also ein starker Sauerstoffverbrauch (gleich dem im Normalzustande) stattfindet, und dass gleichwohl nach Verschliessung der Trachea während der Apnoë der Sauerstoffgehalt des Venenblutes innerhalb 40 Secunden (Vers. 18 u. 21) kaum abnimmt, so kann diess nur aus der grossen Verlangsamung des Blutstroms erklärt werden. Diese lässt auch dem vom rechten Herzen kommenden Blute Zeit sich trotz seiner Sauerstoffarmuth selbst vollkommener als normal aus dem Residualvorrath der Lungen mit Sauerstoff zu sättigen. Der Medulla oblongata fliesst deshalb viel längere Zeit hocharterielles Blut zu (s. Serie X). Die hier im Verhältniss zu Stroma und Nervenfasern geringe Quantität Gangliensubstanz macht es wahrscheinlich, dass die Reduction des Blutes relativ gering ist, sodass Arterienblut, welches den Normalgehalt um einige Zehntel übersteigt, nicht soweit reducirt wird, um Auslösung von Athembewegungen zu bedingen. Berechnet man den annähernden Sauerstoffgehalt des Aortensystems, des Venensystems, wie den der Residualluft in den Lungen, so findet man, dass diese Zahlen zur Erklärung der Apnoë resp. der

so lange andauernden fast vollkommenen Sättigung des arteriellen Blutes aus der veränderten Geschwindigkeit des Blutstromes vielleicht ganz ausreichen könnten.

Ein Hund von 14 Kilo hatte bei apnoischer Ruhestellung des Thorax nach directer Messung 662 Ccm. Luft in seinen Lungen mit 119 Ccm Sauerstoff (die apnoische Lungenluft zu 18 pCt. Sauerstoff veranschlagt), was 8,5 Ccm. O auf das Kilo Hund ausmacht. Ein Kilo Hund braucht pro Minute 14 Ccm. Sauerstoff. Rechnet man die Gesamtblutmenge zu 83 Ccm. pro Kilo und den Inhalt des Arteriensystems zu 20 Ccm., so würde dieses 4 Ccm. Sauerstoff enthalten. 8,5 Ccm. O in der Lunge und 4 Ccm. in der Arterie pro Kilo giebt 12,5 Ccm., d. h. ohne Berücksichtigung der Venen nahezu den Werth, welcher für eine Minute ausreicht. — Sehr unterstützt wird noch die Apnoë durch den Mangel an CO_2 im Blute.

Selbstverständlich muss man hierbei nicht ausser Acht lassen, dass eine viel über eine Minute dauernde Apnoë nur bei Thieren, deren Stoffwechsel und Reizbarkeit durch Blutung, Abkühlung Misshandlung sehr herabgesetzt ist, beobachtet werden kann. Bei normalen Kaninchen dauert nach der energischsten Ventilation die Apnoë kaum länger als 20—30 Secunden. Bei Hunden währt sie etwas, aber auch nicht viel, länger.

6. Erwägt man endlich, dass während der Apnoë das Arterienblut wenig mehr, das Venenblut viel weniger Sauerstoff als im Normalzustande enthält, dass ferner die überwiegende Masse des Gesamtblutes Venenblut ist, und dass endlich der ganze Sauerstoffgehalt der Gewebe gegen den des Blutes verschwindet, so ergiebt sich die paradoxe Folgerung, dass der Körper während der Apnoë ärmer an Sauerstoff ist, als während des Normalzustandes.

Indem ich, was eine eingehendere Besprechung dieser Verhältnisse und Versuche betrifft, auf meine Dissertation verweise, möchte ich zum Schlusse noch meinem verehrten Lehrer, Herrn Geh. Rath Prof. Pflüger, und seinen beiden Assistenten, den Herren Dr. Zuntz und Dr. Strassburg, für die freudliche Unterstützung in Rath und That meinen wärmsten Dank ausdrücken.