

## Ueber die Wirkung des Sauerstoffmangels auf den thierischen Organismus.

Von Dr. **Carl Friedländer**, Assistent am pathol.-anat. Institut  
und Dr. **Erwin Herter**, Assistent am physiol.-chem. Institut zu  
Strassburg im Elsass.

(Der Redaktion übergeben am 20. Dezember.)

In einer früheren Mittheilung <sup>1)</sup> haben wir die Wirkungen der Kohlensäure auf den Organismus einer Betrachtung unterzogen. Die Erscheinungen der Kohlensäureanhäufung haben manche Aehnlichkeit mit denjenigen des Sauerstoffmangels; namentlich ist den Beobachtern aufgefallen, dass die Anregung der Athembewegungen durch Kohlensäure (L. Traube, Thiry, Dohmen), ebenso wie durch Mangel an Sauerstoff (Rosenthal, Dohmen) herbeigeführt wird.

Man ist nun vielfach geneigt gewesen, eine Identität oder wenigstens einen causalen Zusammenhang zwischen der Wirkung der Kohlensäureanhäufung und derjenigen des Sauerstoffmangels anzunehmen. So ist einerseits z. B. für die Auslösung der Athembewegungen die Hypothese aufgestellt worden, dass nur die Kohlensäure die Athembewegungen hervorrufe, aber der Sauerstoffmangel die Erregbarkeit der nervösen Apparate steigere <sup>2)</sup> und dieselben so für die Erregung durch kleine Mengen Kohlensäure empfindlich mache. Ein derartiger Einwand gegen die von Dohmen und Pflüger vertretene zweifache Auslösung der Athembewegungen ist theoretisch sehr anfechtbar, kann aber experimentell nicht

---

<sup>1)</sup> Diese Zeitschrift, Bd. II., p. 99. Diese Mittheilung enthält einige Druckfehler:

S. 128 Zeile 1 steht: 3h 20" statt 3h 41' 20."

S. 130 Zeile 10—14 stehen die Zahlen des Blutdrucks in der Columne für Respiration.

S. 144 Zeile 14 steht 7h — 10' statt 7' — 10'.

<sup>2)</sup> L. Hermann, Archiv f. d. ges. Physiol., 3, 8; 1870, Grundriss der Physiologie, Aufl. 5; 1874; p. 156.

direkt widerlegt werden, da einem lebenden Thiere die Kohlensäure nicht vollständig entzogen werden kann <sup>1)</sup>.

Andererseits hat, wie wir sahen (l. c. p. 100, 117), die ältere Auffassung, welche die toxische Wirkung der Kohlensäure auf Mangel an Sauerstoff zurückführte, indem sie derselben eine Behinderung der O-Aufnahme in das Blut zuschrieb, der experimentellen Prüfung nicht Stand gehalten, denn auch bei hoher CO<sub>2</sub>-Spannung in der Atmosphäre wird der Sauerstoff stetig aufgenommen, das Blut enthält dabei nicht weniger Sauerstoff als normal, und der Tod der Thiere erfolgt mit hellrother Färbung des arteriellen Blutes, also bei genügendem Vorrath an Oxy-Haemoglobin <sup>2)</sup>. Nun wurde aber eine beträchtliche Herabsetzung des respiratorischen Gaswechsels bei der Kohlensäure-Vergiftung nachgewiesen <sup>3)</sup>, und es bleibt daher den Vertretern der oben erwähnten Auffassung immer noch der Einwand, die Kohlensäure verhindere die Oxydationsprocesse in den Geweben, und ihre Wirkung komme somit doch im Wesentlichen auf eine Sauerstoffentziehung hinaus.

Diese beiden Auffassungen, welche entweder die Wir-

<sup>1)</sup> Pflüger (Archiv f. d. ges. Physiol., **15**, 89; 1877) macht gegen jene Unterscheidung geltend, dass ein Umstand, welcher die Erregbarkeit der Nervensubstanz schnell und bedeutend steigert, auch gleichzeitig erregt, eine Auffassung, welche auch Freusberg aussprach (ebend. **10**, 185, 1875). Vergl. O. Nasse, ebend. **15**, 481; 1877.

<sup>2)</sup> Rothe Färbung des arteriellen Blutes nach dem Tode an CO<sub>2</sub>-Vergiftung hat bereits Cl. Bernard (Leçons sur les effets des substances toxiques etc. p. 130, 1857.) gesehen, aber erst Bert stellte die Bedingungen für das Zustandekommen derselben fest. (Leçons sur la physiologie comparée de la respiration, p. 140, 1870.)

<sup>3)</sup> Wir finden schon bei Cl. Bernard (l. c. p. 206) einen Versuch über den Einfluss der CO<sub>2</sub>-Anhäufung auf die O-Aufnahme: «Deux cloches d'égale capacité et contenant de l'air plus un quinzième d'acide carbonique pour l'une, de l'air plus un quinzième d'azote pour l'autre, ont reçu chacune un oiseau qui a vicié pendant une heure la composition des milieux confinés qu'elles formaient. Au bout d'une heure, l'air additionné d'acide carbonique contenait 14,5% d'oxygène, tandis qu'au bout du même temps on n'en trouvait plus que 13% dans l'air additionné d'azote. Sous l'influence d'un excès d'acide carbonique, l'animal avait donc absorbé moins d'oxygène.»

kungen der Kohlensäure auf den Sauerstoffmangel oder die Wirkungen des Sauerstoffmangels auf die Kohlensäure zurückführen, verlieren nun jeden Grund, wenn sich der Nachweis führen lässt, dass die Kohlensäurevergiftung und die Sauerstoffentziehung bei vielen Aehnlichkeiten dennoch eine Reihe von wichtigen Unterscheidungspunkten darbieten.

Die vorliegende reichhaltige Literatur über die Erstickung enthält nur wenig für unsere Zwecke direkt brauchbares Material, da die überwiegende Mehrzahl der Beobachtungen sich auf die gewöhnliche Erstickung, also auf gemischte Zustände von CO<sub>2</sub>-Anhäufung und O-Mangel beziehen. Es war unsere Aufgabe, die Symptome des O-Mangels in möglicher Reinheit zur Anschauung zu bringen; darum wurde in unseren Versuchen eine gleichzeitige, irgend erhebliche Anhäufung von Kohlensäure vermieden. Auch unterblieb die Anwendung von «Beruhigungsmitteln», wie Curare, Morphinum etc., welche die Erscheinungen compliciren konnten. Ferner liessen wir uns eine genaue Analyse der Athmungsgase angelegen sein (cf. Bd. II p. 102), welche in manchen sonst vorzüglichen Untersuchungen über unseren Gegenstand fehlt. Endlich versäumten wir nie, uns durch die Autopsie von dem Zustande der Respirations- und Circulationsorgane der Versuchsthiere zu überzeugen.

Unsere Untersuchungen, welche sich fast ausschliesslich auf Kaninchen erstreckten, wurden theils im physiologisch-chemischen, theils im pathologisch-anatomischen Institut der Strassburger Universität angestellt.

Vergleichen wir zunächst die möglichst acuten Processe. Wenn auch die Dyspnœ und die Blutdrucksteigerung, sowie eine in beiden Fällen eintretende Aufhebung der Sensibilität der acuten Sauerstoffentziehung ebenso wie der Kohlensäurevergiftung eigen ist, so sind doch die Unterschiede hier sehr schlagend.

Bei acuter O-Entziehung durch Athmung eines indifferenten Gases tritt bekanntlich Dyspnœ ein, die rasch zunimmt und der sich klonische Krämpfe der ganzen Körpermuskulatur anschliessen, dann folgt gewöhnlich ein längerer

Athemstillstand; zugleich zeigt sich Exophthalmus und Dilatation der Pupillen <sup>1)</sup>; vor dem Tode tritt dann noch eine Anzahl schwächer Athembewegungen auf. Diese ganze Reihe von Erscheinungen spielt sich beim Kaninchen im Laufe von 1½ bis 2 Minuten ab.

Dagegen ist mindestens die zehnfache Zeit erforderlich für den Ablauf einer nicht complicirten tödlichen Kohlen säurevergiftung, herbeigeführt durch Athmung eines Gasgemisches von ca. 80 % CO<sub>2</sub> und ca. 20 % O, welches also neben dem normalen O-Gehalt die grösstmögliche Menge von CO<sub>2</sub> enthält (cf. Vers. XIII, p. 127 ff.). Hier setzen sofort die heftigsten Reizerscheinungen ein, welche sich meist in allgemeinen Krämpfen kundgeben. Die Dyspnœ (vermehrte Frequenz und Tiefe der Athemzüge) hat bereits im Beginn den höchsten Grad; die Athmung fällt dann schnell auf ein niedriges Niveau, von dem sie ganz allmählig auf Null sinkt. Einen wesentlichen Gegensatz bietet ferner das Verhalten der Reflexerregbarkeit und des Sensoriums. Während bei der acuten CO<sub>2</sub>-Vergiftung der Verlust des Bewusstseins und der Reflexe gleich anfangs (im Laufe der ersten Minute) auftritt, ist diese Erscheinung bei der acuten O-Entziehung ein unmittelbarer Vorbote des Todes. Die durch O-Mangel bedingte Ohnmacht darf nur kurze Zeit andauern, wenn durch neue Zufuhr von Sauerstoff das Leben gerettet werden soll, dagegen wird die CO<sub>2</sub>-Narkose ohne nothwendige Gefahr für das Leben halbe Stunden lang ertragen <sup>2)</sup>.

Die verschiedene Zeitdauer des Ablaufs der beiden Prozesse könnte vielleicht zur Erklärung der bezeichneten Differenzen herangezogen werden, wir mussten deshalb mehr chronisch verlaufende Sauerstoff-Ent-

<sup>1)</sup> Exophthalmus und Pupillendilatation werden auch bei CO<sub>2</sub>-Vergiftung beobachtet, sind hier aber keine constanten Erscheinungen.

<sup>2)</sup> Die Gefahr liegt hauptsächlich in dem unter Umständen auftretenden Lungenoedem (siehe B. II, p. 114) und der dadurch bedingten Erstickung. Eine solche Complication kann manchmal im Verlaufe der CO<sub>2</sub>-Vergiftung einen plötzlichen Tod herbeiführen und so das Bild derselben fälschen.

ziehungen an unseren Versuchsthieren herbeiführen. In einer ersten Reihe von Versuchen <sup>1)</sup> brachten wir die Thiere in eine mit atmosphärischer Luft gefüllte Glasglocke und liessen sie den Sauerstoffgehalt derselben allmählig aufbrauchen, während die ausgeschiedene Kohlensäure fortdauernd absorbiert wurde. In einer zweiten Versuchsreihe <sup>2)</sup> athmeten die Kaninchen durch eine Tracheal-Canule sauerstoffarme Gasgemischungen ein.

### A. Glockenversuche.

Die Thiere befinden sich in einer abgeschlossenen Glocke von ca. 12 Liter Inhalt und zehren allmählig den Sauerstoffgehalt der Glockenluft auf, während die expirirte Kohlensäure stetig absorbiert wird <sup>3)</sup>.

Die zur Aufnahme der Versuchsthiere dienende Glasglocke steht luftdicht auf einer geschliffenen Glasplatte, welche einfach durchbohrt ist während der Hals der Glocke zwei Bohrungen hat.

Die eine derselben, welche einen bis in die Mitte des Athmungsraumes hinabreichenden Kautschukschlauch trägt, ist mit einer Quecksilberpumpe in Verbindung und dient zur Entnahme von Gasproben. Zur Befreiung der Athmungsluft von Kohlensäure benutzten wir einen von Herrn Prof. Hoppe-Seyler construirten Apparat, ähnlich dem von Stroganow (l. c.) beschriebenen. Mittelst der wippenden Bewegung eines, an beiden Enden aufwärts gebogenen, theilweise mit Quecksilber gefüllten, dicken Glasrohrs, dessen Hohlraum beiderseits mit dem geschlossenen Glockenraum in Verbindung steht, wird in regelmässigen Rhythmus aus dem oberen Theile der Glocke durch die zweite Bohrung des Halses Luft ausgesaugt und zugleich in den unteren Theil des Apparates durch die Bohrung der Bodenplatte ein gleiches Quantum Luft

<sup>1)</sup> Entsprechend in der Anordnung den p. 101 ff. geschilderten Glockenversuchen mit allmählicher Anhäufung von Kohlensäure durch die ursprünglich in Sauerstoff gesetzten Thiere.

<sup>2)</sup> Entsprechend den p. 111 ff. beschriebenen Einathmungen CO<sub>2</sub>-haltiger Gasgemische.

<sup>3)</sup> Derartige Versuche wurden wohl zuerst von Magendie und Cl. Bernard angestellt. B. berichtet, (l. c. p. 116) dass die Thiere (Kaninchen) in einer Glocke von 12 Liter Inhalt bei 3 bis 5% O starben. Nach Stroganow (Archiv f. d. ges. Physiol. 12, 30; 1875), welcher in einem, dem unseren ganz ähnlichen Apparat Experimente an Hunden anstellte, trat der Tod (Schluss der Athembewegungen) ein, als der O-Gehalt des Athmungsraumes auf 3 bis 4% gesunken war.

eingepresst. Die so in Bewegung gesetzte Luft passirt zweimal mit Kalilauge beschickte hydraulische Ventile, welche die Kohlensäure derselben absorbiren. Vermittelst eines Wasserventils tritt, entsprechend der durch die O-Aufnahme und die CO<sub>2</sub>-Absorption eintretenden Druckminderung, atmosphärische Luft in den Apparat, in welchem so stets der gleiche (atmosphärische) Druck unterhalten wird.

Wiederholte Analysen zeigten, dass der Kohlensäuregehalt des Athmungsraumes in unseren Versuchen meist verschwindend klein war, und im höchsten Falle 1.2% betrug.

In diesen Versuchen starben die Kaninchen im Laufe von 1½ bis 2 Stunden; während dieser Zeit war der Sauerstoffgehalt der Glockenluft auf 2.1% bis 3.8% gesunken. Die hier auftretenden Erscheinungen haben anfangs eine grosse Aehnlichkeit mit denjenigen der allmäligen Kohlensäurevergiftung (durch Athmung im sauerstoffgefüllten geschlossenen Raum, cf. p. 108). Auch hier findet nach einiger Zeit eine Vertiefung und Vermehrung<sup>1)</sup> der Athemzüge statt, z. B. in Vers. XXX nach ca. 50 Minuten, etwa gegen die Mitte des Versuches, in Vers. XXXI etwas früher, doch ist es bei der successiven Ausbildung der Athemnoth kaum möglich, den Beginn derselben exact festzustellen. Eine von uns ausgeführte Analyse ergab übereinstimmend mit früheren Untersuchungen<sup>2)</sup>, dass bei den Kaninchen die Dyspnoe bei ca. 7% O auffallend wurde. (Die Steigerung der Respiration tritt bei der allmäligen O-Verarmung im geschlossenen Raum verhältnissmässig (zur Zeitdauer des Versuches) später ein als bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung und erreicht ihr Maximum, wenn bei der langsamen CO<sub>2</sub>-Vergiftung der anfänglich in O gesetzten Thiere sich schon längst eine Abnahme der Athemthätigkeit zeigt.) Die Dyspnoe steigert sich zur hochgradigsten Orthopnoe. Der Kopf, dessen Muskulatur heftige dyspnoe-

<sup>1)</sup> Wenn die Athemfrequenz vorher sehr hoch war, so greift bei eintretender Dyspnoe eine Verlangsamung der Athmung Platz; dies ist eine allgemeine Erscheinung, sei es, dass die Dyspnoe durch O-Mangel oder durch CO<sub>2</sub>-Anhäufung bewirkt wird. Bei Beginn des Versuches führt Aufregung des Thieres manchmal eine vorübergehende Vermehrung der Respirationsfrequenz herbei.

<sup>2)</sup> Vergl. W. Müller, Annalen d. Chemie u. Pharmacie Bd. 108, p. 311, Stroganow, l. c. p. 27.

tische Bewegungen ausführt (Hebung der Nasenflügel), wird bei jeder Inspiration emporgehoben und vorgestreckt; dieses Emporheben des Kopfes dauert auch noch fort, wenn das Thier später auf den Boden niedergesunken ist und wird oft von Aufsperrn des Maules und schnappenden Bewegungen begleitet. Mit der zunehmenden Schwäche des Thieres nimmt dann die Energie der Athembewegungen nach und nach ab, indessen niemals in so hohem Grade wie bei der Kohlensäurevergiftung; auch hält sich die Frequenz derselben bis unmittelbar vor dem Tode ganz oder nahezu auf ihrer Höhe. Dieses Verhalten der Athmung stellt einen auffallenden Gegensatz zu den bei der  $\text{CO}_2$ -Vergiftung beobachteten Erscheinungen dar. So betrug z. B. in Vers. VIII ( $\text{CO}_2$ -Vergiftung) in den letzten 45 Minuten des Lebens die Respirationsfrequenz 4 in der Minute. Dagegen wurden in Vers. XXX und XXXI (O-Mangel) noch 8 resp. 6 Minuten vor dem Tode 88 resp. 71 Respirationen pro Minute gezählt.

Der prägnanteste Unterschied gegen die Kohlensäurevergiftung kommt dann in den letzten Minuten zur Beobachtung. Während bei der  $\text{CO}_2$ -Vergiftung der Tod nur durch ein ganz allmähliges Sinken und schliessliches Aufhören der Athembewegung sich äusserlich kennzeichnet, treten bei der O-Entziehung kurz vor dem Tode die heftigsten Reizerscheinungen ein <sup>1)</sup>. Das Thier, welches vorher am Boden lag und, abgesehen von den Respirationsbewegungen, in vollständigster Ruhe verharrte, richtet sich wenige Minuten vor dem Tode ganz plötzlich auf, macht heftige Bewegungen mit Rumpf und Extremitäten, die sich oft zu eigentlichen Krämpfen steigern; häufig stösst es einen hellen langgezogenen Schrei aus oder auch mehrere. Diese so überraschend auftretenden Erscheinungen dauern indessen nur ganz kurze Zeit; das Thier sinkt dann um, die Respiration steht still und der Tod tritt ein.

Wir lassen hier die Protokolle der oben erwähnten zwei Versuche folgen:

<sup>1)</sup> Diese Reizerscheinungen fehlen bekanntlich bei den Kaltblütern.

**Vers. XXX. Kaninchen in geschlossener Glocke. Allmilige O-Verarmung der Glockenluft bei Absorption der Kohlensäure. Tod nach 1 1/2 Stunden unter Reizerscheinungen.**  
**Endluft: O : 3,8<sup>0</sup>%, CO<sub>2</sub> : 0,4<sup>0</sup>%, N : 95,8<sup>0</sup>%.**

Zeit.	Respirationsfrequenz.	Bemerkungen.
3 h 25'		Beginn des Versuchs.
— 30'	128	
— 35'	104	
— 50'	86	
4 h 0'	78	
— 15'	88	Thier richtet sich auf, athmet angestrongter.
— 25'	120	
— 30'	114	Starke Orthopnoe.
— 43'	108	Schwankungen des Körpers. Thier sinkt nieder.
— 47'	88	Mehrere starke krampfartige Bewegungen.
— 55'		<b>Tod.</b> Unmittelbar vorher ein Schrei, krampfhaftes Aufrichten des Körpers, leichtes Muskelzittern, schliesslich viermalige Streckkrämpfe. Temp. 37,1 <sup>0</sup> .
5 h 10'		Das Herz schlägt noch auf mechanischen Reiz. Keine Differenz in der Färbung des arteriellen und venösen Blutes.

**Vers. XXXI. Kaninchen in geschlossener Glocke. Allmilige O-Verarmung der Glockenluft. Ausgesprochene Dyspnoe nach 40 Minuten bei 7,5<sup>0</sup>% O. Tod nach 2 Stunden unter Reizerscheinungen.**  
**Endluft: O : 3,1<sup>0</sup>%, CO<sub>2</sub> : 0,0<sup>0</sup>%, N : 96,9<sup>0</sup>%.**

Zusammensetzung der Glockenluft.	Zeit.	Respirationsfrequenz.	Bemerkungen.
	4 h 0'	126	Beginn des Versuchs.
	— 14'	120	
	— 25'	102	R. etwasverstarkt.
	— 34'	96	R. noch mehr verstärkt. Thier richtet sich auf.
	— 38'	102	
<b>O : 7,5<sup>0</sup>%, CO<sub>2</sub> : 1,2<sup>0</sup>%.</b>	— 40'		
	— 43'	108	
	— 49'	104	
	— 53'	92	R. sehr angestrongt.
	5 h 6'	108	R. schwächer.
	— 10'	100	R. schnappend.
	— 16'	100	Thier sinkt nieder. Heben des Kopfes beim Athmen.
	— 20'	100	
	— 30'	92	R. wieder tiefer.
	— 41'	92	
<b>CO<sub>2</sub> : 0,5<sup>0</sup>%.</b>	— 49'	84	
	— 54'	71	
<b>O : 3,1<sup>0</sup>%, CO<sub>2</sub> : 0,0<sup>0</sup>%.</b>	6 h —		<b>Tod.</b> Vorher Krämpfe.

Die Vorhöfe schlagen noch spontan, die Ventrikel auf Reiz, auch die Korpersmuskeln contrahiren sich noch bei der Reizung. Keine Differenz in der Färbung des Blutes im rechten und linken Herzen.

In einem anderen Versuche starb ein Kaninchen in demselben Raume als der O-Gehalt bis auf 2.1 % verbraucht war. (Die Kohlensäure war vollständig absorbiert worden.) Der Ablauf des Versuches war hier ein ähnlicher, doch traten am Schlusse keine eigentlichen Krämpfe auf. Auch an Hunden haben wir derartige Experimente angestellt, welche in derselben Weise wie die oben geschilderten Kaninchenversuche verliefen.

### B. Canulen-Versuche.

Die Thiere athmen mittelst einer Tracheal-Canule O-arme Gasgemische ein; die Expiration erfolgt in die atmosphärische Luft.

Die O-armen Gasgemische, durch Beimengung von reinem Wasserstoff<sup>1)</sup> zu atmosphärischer Luft erhalten, wurden entweder in einem wohl aequilibrirten Gasometer oder in einem luftdichten Kautschuksack hergestellt. Die Trennung der Wege für die Inspiration und Expiration wurde, wie in unseren früheren Versuchen, durch Speck'sche Darmventile bewirkt. Ueber die Entnahme der Gasproben zur Analyse (stets am Ende des Versuches) siehe Bd. II. p. 141. Zur Bestimmung des Blutdrucks diente eine in die Carotis eingeführte, mit einem Quecksilbermanometer verbundene Glascanule, die mit Natriumcarbonat gefüllt war.

Aus Versuch XXXVII. (siehe Protocoll p. 41) ist zu ersehen, dass die Athmung eines Gemisches von 80% H und 20% O ohne Einfluss auf das Verhalten der Thiere war, dass mithin weder eine etwaige Verunreinigung des Wasserstoffs noch unsere Versuchsanordnung die beobachteten Erscheinungen beeinflusste.

Die zur Einathmung dienenden Gemische hatten einen Sauerstoffgehalt zwischen 12,7% und 1,5%; der Rest bestand aus Stickstoff und Wasserstoff. Die Grösse der uns zu Gebote stehenden Apparate erlaubte uns nicht, Versuche von längerer Dauer als ca. 20 bis 25 Minuten anzustellen, da in dieser Zeit gewöhnlich das vorhandene Gasquantum aufgebraucht war.

### Lebensdauer. Respiration. Allgemeine Erscheinungen.

Innerhalb des oben erwähnten Zeitraums starben die Thiere, wenn der O-Gehalt des Athmungsgemisches unter

<sup>1)</sup> Aus arsenfreiem Zink und reiner Salzsäure bereitet und sorgfältig gewaschen.

2.7 % betrug <sup>1)</sup>, und zwar wuchs bei den vorher intacten Thieren die Lebensdauer regelmässig mit dem O-Gehalt der Athmungsluft, wie folgende Tabelle zeigt.

Tabelle I.

Versuchs- Nummer.	Sauerstoffgehalt der Inspirationsluft.	Versuchsdauer bis zum Schluss der Athembewegungen.	Bis zum Verschwinden des Blutdrucks.
XXXII	1.5 %	5 Minuten.	7 Minuten.
XXXIII	1.5 %	5	7
XXXIV	2.2 %	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	10
XXXVI	2.7 %	21 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	23 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>

Vorhergegangene Experimente (Einathmung O-armer Gasgemischungen) bewirkten eine Herabsetzung der Lebensdauer für den darauf folgenden Versuch. Trotzdem überlebte in Vers. XLI ein Kaninchen, welches bereits vielen kurzdauernden Versuchen unterworfen war, eine 36 Min. währende Inhalation eines 4,7 % O haltenden Gemisches.]

(Durchschneidung der Nervi vagi bedingte ebenfalls eine Verkürzung der Lebensdauer. So starb in Vers. XXXV ein Kaninchen, welches vorher 15'30" eine Mischung mit 2,6 % O geathmet hatte, nach Vagus-Durchschneidung bei Athmung desselben Gemisches in 4'40".)

In diesen Versuchen trat sofort bei Beginn der Einathmung Beschleunigung und Vertiefung der Respiration ein <sup>2)</sup>. Im Allgemeinen zeigte sich, wie zu erwarten war, die Dyspnoe um so lebhafter, je grösser die O-Armuth der Athmungsgemische war; bei 12,7 % O war sie nur wenig ausgesprochen. Bei sehr geringem O-Gehalt der Einathmungsluft traten klonische Krämpfe ein, welche sich von Zeit zu Zeit wiederholten und durch die mit denselben verbundenen Athempausen dem ganzen Verlaufe des Processes den discontinuirlichen Charakter gaben, welcher denselben von dem ruhigen allmöglichen Ablauf der CO<sub>2</sub>-Vergiftung unterscheidet.

<sup>1)</sup> In Versuch XXXVIII. starb ein Kaninchen schon in 13' bei Einathmung eines Gemisches mit 2,9 % O; dieser Versuch ist aber nicht rein, da bereits ein anderer Versuch an demselben Thiere vorgenommen war.

<sup>2)</sup> Die Protokolle (siehe unten) enthalten mehrfach quantitative Angaben über die Vermehrung der Athemgrösse. Vergl. Dohmen, l. c.

Durch diese häufigen Unterbrechungen ist eine genaue Verfolgung der Respirationenfrequenz sehr erschwert.

Mit der zunehmenden Schwäche des Thieres nimmt die Energie der Athembewegungen ab; indessen ist diese Abnahme nur unerheblich, so dass die Quantität der in der Zeiteinheit verbrauchten Inspirationsluft sogar in den letzten Minuten des Lebens nur wenig geringer ist als in der Norm; z. B. betrug sie in Vers. XXXVI noch ein halbes Liter pro Minute. Dagegen sahen wir bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung die Tiefe der Athemzüge sehr frühe abnehmen, und die in den letzten Minuten des Lebens gemessenen Volumina der Athmungsluft fielen unter den zehnten Theil des obigen Werthes. Die Frequenz der Athmung nimmt in unseren Canulen-Versuchen bei O-Mangel nach und nach ab <sup>1)</sup>; indessen haben wir niemals die enormen Athmungsverlangsamungen gesehen, die bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung regelmässig beobachtet werden. Schliesslich erfolgt bei O-Mangel der Stillstand der Athmung stets in plötzlicher Weise.

Die Sensibilität bleibt bis kurz vor dem Tode erhalten und schwindet gewöhnlich erst ca. 2 Minuten vor dem letzten Athemzug. Das Herz übt durchschnittlich noch 2 bis 2½ Minuten nach dem Aufhören der Athmung einen am Manometer messbaren Druck aus. Nach Schluss der Athembewegungen folgen häufig noch mehr oder weniger verbreitete schwache fibrilläre Zuckungen <sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> In den Canule-Versuchen findet sich eine terminale Herabsetzung der Athemfrequenz, welche bei den Glockenversuchen fehlt; wahrscheinlich ist dieselbe auf Widerstände in dem Apparat zurückzuführen, welche, so klein wir sie zu machen suchten, doch nie ganz vermieden werden können. Sie müssen dem durch den O-Mangel geschwächten Thiere im Laufe des Versuches mehr und mehr beschwerlich fallen.

<sup>2)</sup> Aehnliche Versuche, wie die unsrigen, wurden von W. Müller (Ann. der Chemie, N. R. **32**, 306) angestellt, um zu entscheiden, bei welchem Procentgehalt an O die Luft unfähig wird, das Leben zu erhalten.

P. Bert (pression barométrique p. 670 ff.) liess Hunde mittelst hydraulischer, mit Kalilauge beschickter Ventile bis zum Tode an einem anfänglich mit Luft gefüllten Kautsekuksack ein- und ausathmen, bis sie an O-Mangel starben. (Die Athemluft enthielt trotz der Kaliventile zeitweise

Bei der Section findet man die Lungen meist etwas hyperämisch, aber nur selten zeigen sich die Ecchymosen, welche nach Klemmung der Trachea regelmässig auftreten, fast nie wird Lungenödem beobachtet, welches bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung so häufig ist. Das Herz contrahirt sich noch auf Reize. Die Färbung des arteriellen Blutes bietet zur Zeit, wo die Circulation stillsteht, dem unbewaffneten Auge keinen Unterschied von der des venösen dar <sup>1)</sup>, während bei dem Tode durch CO<sub>2</sub> eine deutliche Farbendifferenz der beiden Blutarten besteht. Die Muskeln sind nach dem Tode noch direkt und indirekt erregbar; die Därme findet man unmittelbar post mortem gewöhnlich in starker Peristaltik begriffen.

Wurde bei den nicht zum Tode führenden Versuchen nach der Einathmung der Gasmische wieder atmosphärische Luft zugeführt, so trat hier bei den O-ärmeren Mischungen (von 5,1 % an) eine Beschleunigung und Verstärkung der Athmung ein; war der O-Mangel ein sehr bedeutender gewesen, so wurde heftige Dyspnœ beobachtet, ähnlich wie beim Erwachen aus der CO<sub>2</sub>-Narcose (vergl. p. 113). Der Reizzustand, welcher sich auch im

---

bis 3,1 % CO<sub>2</sub>, was übrigens kaum von Einfluss auf die Versuchsergebnisse gewesen sein kann.) Hier waren die Erscheinungen sehr ähnliche. Die Athemfrequenz wurde allmählig etwas herabgesetzt, blieb aber bis zuletzt hoch; gegen das Ende der Versuche traten Krämpfe auf; die Sensibilität schwand in den bis über 5 Stunden dauernden Versuchen gewöhnlich erst 2 Minuten vor dem Tode.

M. Goltstein (Archiv f. d. g. Physiologie 17, 343) beschreibt einen Versuch, in welchem ein Kaninchen durch Kaliventile an einem anfänglich mit Luft erfüllten Quecksilbergasometer athmete, bis nach 31 Minuten die Athmung stillstand. Der Verlauf dieses Versuches bietet wesentliche Abweichungen von denen Bert's und den unsrigen; es wurden keine Reizerscheinungen beobachtet; die Athmung hörte weniger plötzlich auf; die Sensibilität erlosch sehr früh; wir müssen annehmen, dass hier Complicationen der Wirkungen des O-Mangels vorlagen.

<sup>1)</sup> Im Augenblick des Herzstillstandes finden sich im Blute noch spektroskopisch nachweisbare Mengen Oxyhämoglobin, welche nach dem Stocken des Kreislaufs schnell verschwinden (Stroganow, l. c. p. 24).

Verhalten des Blutdrucks ausspricht, ist um so stärker, und hält um so länger an, je grösser der vorhergehende O-Mangel war; stets geht er im Laufe weniger Minuten vorüber. In Vers. XXXVIII A (4 % O) stieg die Athemfrequenz von 51 in 1½ Minuten auf 88, in Vers. XXXIX B (5,1 % O) von 120 in 50'' auf 156 in der Minute. Nach der Einathmung des 12,7 % O-Gemisches traten keine Reizerscheinungen ein.

### Wirkung auf die Circulation.

In unseren Versuchen wurde bei intakten unvergifteten Thieren während der Einathmung der Gemische stets eine Steigerung des Blutdrucks in der Carotis constatirt. Sie zeigte sich schon bei Athmung eines Gemisches mit 12,7 % O, wo sie allerdings nur 10 Mm. Quecksilber betrug, also ganz unerheblich war; in den übrigen Versuchen schwankte sie zwischen 34 und 70 Mm. Ihre Höhe stand zu dem Grade des O-Mangels nicht in direktem Verhältniss; doch fiel die Zeit ihres Eintrittes im Allgemeinen um so früher, je geringer der O-Gehalt der Athemluft war. Die Erhöhung des Blutdrucks erhielt sich bis zum Schluss der Einathmung bei den Gemischen von 3,8 bis 12,7 % O; in den übrigen Fällen trat während des Versuches die den nahen Tod anzeigende Drucksenkung ein, Tabelle II veranschaulicht die beobachteten Blutdruckverhältnisse <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Ausser den in Tabelle II verzeichneten Versuchen haben wir einige Versuche mit kurzdauernden Einathmungen (20''—2') mit 3,5 und 4,7 % O-Gemischen angestellt. Im letzteren Falle betragen die dadurch bewirkten Steigerungen des mittleren Drucks 5—17 Mm. Hg. Bei den Einathmungen des 3,5 % O-Gemisches erfolgten Steigerungen von 39 bis 81 Mm. Hg.

Tab elle II.

Versuchsnummer.	Sauerstoffgehalt der Inspirationstluft.	Dauer der Einathmung.	Blutdruck			nach Beginn d. Versuchs		Blutdruck am Ende des Versuchs.	Bemerkungen.
			bei Beginn des Versuchs.	Maximum während des Versuchs.	Differenz.	Eintritt des Maximums.	Beginn der Drucksenkung.		
XXXII	1.5° 0	5'	105—125 Mm.	150—160 Mm.	40 Mm.	40"	2'	—	Tod.
XXXIII	1.5° 0	5'	95—105 »	150—165 »	57 »	1'	3'30"	—	Tod.
XXXIV	2.2° 0	7'	105—115 »	170—190 »	70 »	1'30"	5'	—	Tod.
XXXV	2.6° 0	15'30"	100—120 »	130—170 »	40 »	2'	15'	65—75 Mm.	Erholung.
XXXVI	2.7° 0	21'30"	110—125 »	170—180 »	58 »	50"	12'30"	—	Tod.
XXXVIII B	2.9° 0	13'	120—125 »	185—195 »	68 »	1'15"	7'	—	Tod.
XXXVII	3.8° 0	11'30"	105—115 »	140—142 »	31 »	9'	fehlt.	138—140 Mm.	Erholung.
XXXVIII A	4.0° 0	15'	122—132 »	160—162 »	34 »	3'30"	fehlt.	138—140 »	Erholung.
XXXIX B	5.1° 0	11'20"	105—120 »	150—160 »	43 »	1'30"	fehlt.	120—130 »	Erholung.
XXXIX A	12.7° 0	21'	110—120 »	120—130 »	10 »	4'15"	fehlt.	110—130 »	Erholung.

Charakteristisch gegenüber unseren  $\text{CO}_2$ -Versuchen ist hier einerseits das Fehlen der primären Senkung des Blutdrucks, welche bei  $\text{CO}_2$ -Wirkung fast immer eintritt, andererseits das lange Anhalten der Blutdrucksteigerung, welche erst kurz vor dem Tode einer schnellen Senkung Platz macht. Bei der  $\text{CO}_2$ -Vergiftung tritt die Drucksenkung viel früher ein und nimmt einen ganz allmöglichen Verlauf. Die absolute Höhe der Drucksteigerung ist bei  $\text{CO}_2$ -Vergiftung im Allgemeinen geringer als bei der O-Entziehung <sup>1)</sup>. Die von Traube zuerst beschriebenen wellenförmigen Schwankungen des mittleren Blutdrucks finden sich bei den beiden Processen.

Wir haben bereits erwähnt, dass der Reizzustand, welcher eintritt, wenn nach Einathmung der O-armen Gemische wieder atmosphärische Luft zugeführt wird, sich auch durch eine Steigerung des Blutdrucks bemerklich macht <sup>2)</sup>. Diese Steigerung ist um so bedeutender und anhaltender, je grösser der vorhergehende O-Mangel war. Nach Vers. XXXIX A (12,7 % O) wurden gar keine Reizerscheinungen beobachtet; in den übrigen Fällen trat die Steigerung regelmässig ein, sei es dass der Blutdruck bis zum Ende der Einathmung hoch geblieben oder bereits im Sinken begriffen war. So stieg in Vers. XXXIX B (5,1 % O) der mittlere Blutdruck nach Wiederaufnahme der Luftathmung in 1'40" von 125 auf 134 Mm. Hg., in Vers. XXXVIII A (4 % O) in 30" von 139 auf 147 Mm., in Vers. XXXV (2,6 % O) in 30" von 70 auf 105 und dann in weiteren 4' auf 165 Mm. Hg.

Was das Verhalten des Pulses betrifft, so zeigte sich regelmässig bei den Einathmungen O-ärmerer Gasgemische (unter 4 % O) eine bedeutende Herabsetzung der Frequenz.

<sup>1)</sup> Nach Goltstein (l. c.) und N. Zuntz (Arch. f. d. g. Physiol. 17, 374) ist die Blutdrucksteigerung in der Carotis keine konstante Erscheinung bei O-Mangel. Vergl. dagegen Thiry (Zeitschr. f. rat. Med. 31, 17; Heidenhain und Grützner und Andere.

<sup>2)</sup> Ueber die beim Erwachen aus der Asphyxie nach Athmung indifferenten Gase auftretende Blutdrucksteigerung vergl. Goltstein l. c. Zeitschr. f. physiol. Chemie. III.

## Stoffwechsel.

In unseren CO<sub>2</sub>-Versuchen haben wir durch vergleichende Analysen der Inspirations- und Expirationsluft und gleichzeitige Messung der Athemgrösse eine sehr bedeutende Herabsetzung des gasförmigen Stoffwechsels, der O-Aufnahme wie der CO<sub>2</sub>-Ausscheidung constatirt. Es war nun von Interesse zu sehen, ob die Beschränkung der O-Zufuhr eine ähnliche Wirkung hervorbringen würde. Wir bestimmten daher in mehreren Versuchen gleichfalls neben der Menge der inspirirten Gasmischungen<sup>1)</sup> auch die Veränderungen, welche dieselben in der Lunge des Thieres erlitten. Die Probe der Expirationsluft wurde stets am Ende der Versuche genommen<sup>2)</sup>; wo der Versuch mit dem Tode endigte, wurde demnach stets die zuletzt expirirte Luft analysirt. Wir stellen zunächst die erhaltenen Resultate in einer Tabelle zusammen, in welcher wir zur Vergleichung auch die oben erwähnten Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Versuche eintragen.

Tabelle III.

Versuchs- Nummer.	Dauer der Ver- suche.	Inspirations- luft.		Expirations- luft.		Differenz.		Respira- tions- frequenz pro Minute am Ende des Versuchs.
		O	CO <sub>2</sub>	O	CO <sub>2</sub>	O	CO <sub>2</sub>	
<b>Kohlensäure-Vergiftung.</b>								
XXIX	25'	17,2%	77,3%	17,0%	77,6%	-0,2%	+0,3%	—
XXVIII	36'	26,4 »	65,8 »	24,7 »	66,6 »	-1,7 »	+0,8 »	8
»	100'	»	»	26,3 »	66,6 »	-0,1 »	+0,8 »	—
<b>Sauerstoff-Mangel.</b>								
XXXIX A	21'	12,7 »	—	11,1 »	2,1%	-1,6%	+2,1%	72
XXXIX B	11'20"	5,1 »	—	4,8 »	1,2 »	-0,3 »	+1,2 »	120
XXXVI	21'30"	2,72 »	—	2,27 »	2,3 »	-0,45 »	+2,3 »	—
XXXIV	7'30"	2,2 »	—	1,7 »	2,3 »	-0,5 »	+2,3 »	—
XXXII	5'	1,5 »	—	1,6*) »	1,8 »	+0,1 »	+1,8 »	—

\*) Diese paradoxe Zahl, welche den O-Gehalt der Expirationsluft um 0,1% höher zeigt als den der Inspirationsluft, kann mit einem Versuchsfehler behaftet sein. Sie kann vielleicht auch dadurch erklärt werden, dass gegen das Ende der nur 5 Minuten dauernden Einathmung die Spannung des Wasserstoffs in der Inspirationsluft sich mit der Spannung dieses Gases im Blute noch nicht vollständig ausgeglichen hatte, dass demnach durch eine noch in der letzten Zeit stattfindende H-Absorption der procentische O-Gehalt der Expirationsluft erhöht wurde. Die anderen, länger dauernden Versuche waren dieser Fehlerquelle nicht ausgesetzt.

<sup>1)</sup> Die Ablesung der Athemgrösse geschah an der Scala des Gasometers; die Schwankungen des Luftdrucks und der Temperatur wurden dabei nicht berücksichtigt.

<sup>2)</sup> Die Entnahme der Gasproben geschah wie früher erwähnt (p. 141).

Ein Blick auf die Tabelle III zeigt sofort, dass in allen O-Mangel-Versuchen die procentische Abnahme des Sauerstoffs in der Expirationsluft herabgesetzt ist, während die procentische Zunahme der  $\text{CO}_2$  weniger beeinflusst erscheint<sup>1)</sup>.

Stellen wir nun mit diesen Werthen die für die Athmung verwendeten Luftvolumina zusammen, so finden wir bei mässigem O-Mangel durch Vermehrung der Athemgrösse eine Compensation der verringerten procentischen O-Aufnahme. So kommt es, dass bei 12,7 % O (Athemgrösse 1100 Cc.) die Quantität des in der Zeiteinheit aufgenommenen Sauerstoffs nicht vermindert erscheint. Dagegen reicht bei den O-ärmeren Gemischen diese Compensation nicht aus. Bei 5,1 % (Athemgrösse 2000 Cc.) wird bedeutend weniger Sauerstoff absorbiert, während die  $\text{CO}_2$ -Ausscheidung dabei nicht abgenommen hat.

Die aus Vers. XXXIX A u. B pro Minute berechneten Werthe sind:

Athmungsgemisch.	O-Aufnahme.	$\text{CO}_2$ -Ausscheidung.
12,7 % O	17,6 Cc.	23,1 Cc.
5,1 %	6,1 Cc.	24,4 Cc.

Berechnet man für Vers. XXXVI, XXIX und XXVIII die erhaltenen Werthe auf ein Kilo Körpergewicht und den Zeitraum einer Minute, so erhält man folgende Zahlen:

Tabelle IV.

Versuchsnummer.	Inspirationsluft.		Athemgrösse pro Kilo und Minute.	O-Aufnahme pro Kilo und Minute.	$\text{CO}_2$ -Aussch. pro Kilo und Minute.
	O	$\text{CO}_2$			
Kohlensäure-Vergiftung:					
XXVIII A	26,4%	65,8%	80,3 Cc.	1,36 Cc.	0,64 Cc.
XXVIII B	»	»	6,7 »	0,007 »	0,054 »
XXIX	17,2%	77,3%	14,2 »	0,088 »	0,133 »
Sauerstoff-Mangel.					
XXXVI	2,72 »	—	386,5 »	1,5 »	8,4 »

<sup>1)</sup> Zur Vergleichung führen wir an, dass Raoult (Comptes rendus 82, 1101) bei luftathmenden normalen Kaninchen in der Expirationsluft 18,0% O und 2,3%  $\text{CO}_2$  fand (Mittel aus 6 Bestimmungen; Respirationsfrequenz 72); wir fanden in einem Falle bei Luftathmung 18,0% O und 3,1%  $\text{CO}_2$ .

Diese Tabelle <sup>1)</sup> lässt die Unterschiede zwischen den Stoffwechsel-Verhältnissen bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung und bei dem O-Mangel klar erkennen. Vers. XXIX und XXXVI, welche in nahezu derselben Zeit (25 resp. 21<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Min.) zum Tode führen, sind zu einer Vergleichung besonders geeignet. Bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung sehen wir eine Herabsetzung des gesammten Gaswechsels unter die Norm <sup>2)</sup> bis auf minimale Werthe, und diese Herabsetzung ist durch eine Beeinflussung des innern Lebens der Zellen bedingt. Das Athmungsgemisch enthält eine vollständig genügende Menge Sauerstoff und das Blut vermag sich in normaler Weise damit zu sättigen. Trotzdem nehmen die Gewebe aus dem ihnen fortdauernd zugeführten O-reichen Blute nur äusserst geringe Mengen O auf, so dass hier also eine tiefgreifende Schädigung des Stoffwechsels vorliegt. In gleicher Weise ist die CO<sub>2</sub>-Ausscheidung auf's äusserste herabgesetzt, obgleich für dieselbe kein äusseres Hinderniss besteht.

Andererseits ist bei dem O-Mangel die Aufnahme des Sauerstoffs ebenfalls herabgesetzt, wenn auch nicht in dem Masse, wie bei CO<sub>2</sub>-Vergiftung. Hier ist aber wohl zu beachten, dass die O-Aufnahme nicht aus inneren, physiologischen, sondern aus äusseren, physikalischen Gründen abnimmt. Das Hämoglobin des Blutes vermag sich aus der O-armen Lungenluft nicht mehr mit O zu sättigen, der Gehalt und die Spannung des Sauerstoffs im Blute nimmt ab, und die Gewebe vermögen dem Blute nicht mehr den gewohnten

---

<sup>1)</sup> Das Volumen der Expirationsluft wurde für obige Berechnung gleich dem der Inspirationsluft angenommen.

<sup>2)</sup> Nach Regnault und Reiset (Ann. de chim. et de phys., 3<sup>me</sup> sér., T. 26) berechnet sich die O-Aufnahme und CO<sub>2</sub>-Ausscheidung beim Kaninchen zu 10,7 resp. 9,8 Cc. pro Kilo und Minute; nach Finkler und Oertmann (Archiv f. d. ges. Physiol. **14**, 62; 1876) zu 11,2 resp. 9,5 Cc.; nach Pflüger (ebend. **18**, 355; 1878) zu 11,3 resp. 10,7 Cc. (bei 0° C und 0,76 M.). Die Athemgrösse pro Kilo Kaninchen berechnet sich auf die Minute nach Raoult (l. c.) zu 619 Cc., nach unseren Bestimmungen (p. 142, 143) im Mittel zu 503,8 Cc. (bei Zimmertemperatur gemessen).

Bedarf an O zu entnehmen<sup>1)</sup>. Das Sauerstoffbedürfniss des Körpers braucht dabei durchaus nicht abgenommen zu haben, wie das bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung der Fall ist. Wenn man dem Thiere jetzt mehr O zuführt, so wird derselbe reichlich aufgenommen.

Merkwürdiger Weise ist dagegen die Kohlensäure-Ausscheidung zu derselben Zeit, wo die O-Aufnahme eine sehr geringe geworden ist, annähernd normal geblieben. In Vers. XXXVI wurden bei einer Herabsetzung der O-Aufnahme bis auf 1,5 Cc. noch 8,4 Cc. CO<sub>2</sub> pro Kilo in der Minute ausgeschieden. Dieses Verhalten steht in vollständiger Analogie mit den an Kaltblütern bei absoluter O-Entziehung beobachteten Erscheinungen. Wie zuerst Spallanzani<sup>2)</sup> beobachtete und zuletzt Pflüger mit vervollkommenen Untersuchungs-Methoden bestätigte, scheiden Kaltblüter in reinem Stickstoff eine Zeit lang nahezu dieselbe Menge Kohlensäure aus als in atmosphärischer Luft. Aus diesen und anderen Thatsachen geht hervor, dass die Ausscheidung der Kohlensäure in weiten Grenzen unabhängig von der Aufnahme des Sauerstoffs ist, ob unter diesen Umständen die Bildung der Kohlensäure mit ihrer Ausscheidung parallel geht, diese Frage ist bis jetzt nicht mit Sicherheit zu beantworten; immerhin ist gewiss auch die Bildung der Kohlensäure zum grossen Theil von der gleichzeitigen Sauerstoffaufnahme nicht unmittelbar bedingt.

---

<sup>1)</sup> P. Bert (l. c. p. 680) hat diese Verhältnisse in seinen oben besprochenen Versuchen näher verfolgt. Er fand, dass bei der allmählichen O-Verarmung der Athmungsluft der O-Gehalt des Arterien- und Venenblutes zunächst gleichmässig abnimmt, so dass also bei einer O-Spannung der Athmungsluft zwischen 20 und ca. 10% keine Minderung des O-Verbrauchs eintrat. Sank aber mit der O-Spannung der Athmungsluft auch der O-Gehalt des arteriellen Blutes unter eine gewisse Grösse, so verlor dasselbe jetzt weniger Sauerstoff beim Passiren der Capillaren.

Goltstein (l. c.) bestimmte in seinem oben erwähnten Versuch die O-Aufnahme des Kaninchens in den letzten Minuten auf 0,66 Cc.

<sup>2)</sup> Mémoires sur la respiration, trad. de Senebier, Genève, 1803.

**Protocolle der Canulenversuche.\*)**

**Versuch XXXII.**

**Kaninchen, 1845 gr.**

**Einathmung eines O-armen Gasmisches bis zum Tode.  
Athemstillstand nach 5 Minuten, Schwinden des Blutdrucks nach  
7 Minuten.**

**Inspiration: O: 1,5 %; N + H: 98,5 %.**

Zeit.	Respira- tions- frequenz pro Minute.	Blutdruck Mm. Hg.	Bemerkungen.
6 h	72	105-125	<b>Luftathmung.</b>
— 2'	72	bis 85 sinkend	Grosse Schwankungen d. Blutdrucks.
— 5'		<b>105-125</b>	<b>Athmung des Gemisches. T. 37,5.°</b>
— — 30"	84	130-140	
— — 40"		<b>150-160</b>	Heftige Zuckungen.
— 6' —		150	Ruhe des Thieres; Drucksenkung be- ginnt.
— 7' —		50-100	Athmung langsam.
— — 30"		60-70	
— — 45"		70-80	
— 8' —	16	70-80	Cornea unempfindlich.
— 9' —	14	60-62	
— — 30"		3	P. 128.
— 10' —		40-50	Athemstillstand.
— — 30"		30-35	
— 11' —		28-30	P. 116. Schwaches Zittern der Mus- kulatur.
— — 30"		12-14	
— 12' —		0	P. 48, gleich darauf Puls nicht mehr föhlbar. <b>Tod. T. 37,1.°</b>

Lungen leicht hyperämisch, nicht ödematös.

**Versuch XXXIII.**

**Kaninchen, ca. 1800 gr.**

**Athmung desselben Gemisches bis zum Tode. Atemstillstand nach  
5 Minuten, Schwinden des Blutdrucks nach 7 Minuten.**

**Inspiration: O: 1,5 %; N + H: 98,5 %.**

Zeit.	Respira- tion.	Blutdruck.	Bemerkungen.
7 h 5'	72	90-94	<b>Luftathmung.</b>
— 6'		95-105	Schwankungen des Drucks, der zeit- weise unter 90 fällt.
— 7'	104	<b>95-100</b>	<b>Athmung des Gemisches.</b>
— — 20"		Steigerung.	
— — 30"		140-150	Heftige Bewegungen.
— — 45"		150-160	
— 8' —		<b>150-165</b>	
— — 15"		140-150	
— — 30"		140-160	Ruhe des Thieres.
— 9' —	12	120-130	Schwache Muskelzuckungen.
— — 45"		115-120	P. 108.
— 10' 30"	16	100-105	

\*) Ueber die Anordnung von Versuch XXXII—XXXIX siehe p. 27.

Zeit.	Respiration.	Blutdruck.	Bemerkungen.
— 11' —		78—80	
— — 20"			Cornealreflex fehlt.
— — 40"		20	P. 96.
— 12' —		35—40	Athemstillstand.
— 13' 30"		20—22	Sehr schwache Zuckungen.
— — 45"		12—14	P. 72. Hohe Pulse.
— 14' —		0	Tod. T. 38,3.°

Bei Oeffnung des Thorax zuckt das Herz noch; kein Unterschied der Blutfarbe in den beiden Ventrikeln. Lungen etwas hyperämisch, ein wenig Schaum in den Bronchien. Kräftige Darmperistaltik.

Gasverbrauch: 9,72 Liter = 1,94 Liter pro Minute.

#### Versuch XXXIV.

Kaninchen, 1230 gr.

Athmung des O-Gemisches bis zum Tode. Athemstillstand nach 7 Minuten, Schwinden des Blutdrucks nach 9½ Minuten.

Inspiration: O: 2,2 %; N + H: 97,8 %.

Expiration: O: 1,7 %; N + H: 96,0 %, CO<sub>2</sub>: 2,3 %.

Zeit.	Respiration.	Blutdruck.	Bemerkungen.
4 h 27'	56	105—115	Luftathmung. T. 38,0.°
— 30' 30"			Athmung des Gemisches.
— — 40"			Dyspnö.
— 31' 15"	64	120—130	Krämpfe.
— — 30"	56	140—160	
— 32' —	60	170—190	Krämpfe.
— — 15"		170—175	
— — 45"		150—160	
— 33' —	24	145—150	
— — 30"		135—140	
— 34' —		100—135	
— — 15"		100	Krämpfe.
— — 30"		100	Krämpfe.
— — 45"		120	
— 35' —	16	118—120	
— — 30"		95—100	T. 37,5.°
— 36' —		70—80	
— — 30"		40—50	P. 108.
— 37' —		25—30	
— — 30"		18—20	Athemstillstand.
— 38' —		10—12	P. 144.
— 39' —		3—4	
— 40' —		0	Tod. T. 37,0.°

Kein Unterschied in der Blutfarbe der beiden Herzhälften. Lungen etwas ödematös.

## Versuch XXXV. Kaninchen von 1500 gr.

A. Athmung des O-Gemisches 15', Minuten. Cornealreflex erhalten.  
Blutdrucksteigerung, dann Senkung gegen Ende der Einathmung;  
neue Steigerung nach derselben.

B. Athmung desselben Gemisches nach Durchschneidung der Vagi.  
Tod nach 5 Minuten.

Inspiration: O: 2,6 %; N + H: 97,4 %.

Zeit.	Respira- tions- frequenz.	Athemgrösse pro Minute.	Blutdruck.	Bemerkungen.
5h 20'	84		100-120	<b>Luftathmung.</b>
— 23' —				<b>Athmung des Gemisches.</b>
— — 30''			120-140	<b>A. Nn. Vagi intact.</b>
— — 45''			140-150	Dyspnoe.
— 24' —			170-180	Krämpfe.
— — 20''			140-160	Ruhe.
— 25' —			130-170	
— 26' 30''			130-150	
— 27' —	128	1,58 Liter pro Min.	135-145	
— 28' —			130-135	
— 29' 30''			130-140	
— 30' —			140-145	
— 31' —	100	1,41 Liter pro Min.	140-150	
— 32' 30''			142-146	
— 33' —	88	1,30 Liter pro Min.	140-150	
— 34' —			142-146	
— 35' 30''			135-142	
— 36' —	80		134-138	
— 37' —			110-150	Zuckungen.
— — 15''		0,67 Liter pro Min.	130-140	Heftige Bewegungen.
— — 40''	48		110-120	Heftige Bewegungen.
— 38' —			70-80	Cornealreflex erhalten.
— — 30''			<b>65-75</b>	<b>Luftathmung.</b>
— 39' —			100-110	
— — 30''			120-125	
— 40' —	144		130-132	
— 41' —	133		148-150	
— 42' —			160-162	
— 43' —	156		<b>164-166</b>	
— 45' —	112		158-160	
— 46' —	104		150-152	
6h 15' —				<b>B. Nn. Vagi durchschn.</b>
— 22' —	44		160-162	
— 32' —	52		135-140	
— 35' —				<b>Athmung des Gemisches.</b>
— — 30''			140-150	Zuckungen.
— 36' —			140-150	Krämpfe. Athmung unregelmässig, nicht zu zählen.
— — 30''			135-140	Ruhe.
— — 45''		0,69 Liter pro Min.	110-115	
— 37' —			105-110	
— — 15''			70-85	Zuckungen.
— — 30''			60-70	Zuckungen.
— 38' —			35-40	
— — 30''			25-30	P. 108.
— 39' —			18-20	Athemstillstand.
— — 30''			12-14	
— 40' —				<b>Tod.</b>

**Versuch XXXVI. Kaninchen, 1480. gr.**

**Athmung des O-Gemisches bis zum Tode. Athemstillstand nach 21½ Minuten. Schwinden des Blutdrucks nach 23¾ Minuten.**

**Inspiration: O: 2,72 %; N + H: 97,28 %.**

**Expiration: O: 2,27 %; N + H: 95,43 %; CO<sub>2</sub>: 2,3 %.**

Zeit.	Respiration.	Athemgrösse.	Blutdruck	Bemerkungen.
5 h 16' —	60		110—125	<b>Luftathmung.</b>
— 17' 30"				<b>Athmung des Gemisches.</b>
— 18' —			140—150	<b>Krampfartige Bewegungen.</b>
— — 20"		1,14 Liter pro Min.	170—180	
— 21' —	32		140—150	
— 22' —	28	1,33 Liter pro Min.	130—140	T. 37,6°
— 23' —	32		130—140	
— 24' —		1,62 Liter pro Min.	135—140	P. 180.
— 25' —			130—135	P. 180.
— 26' —		1,11 Liter pro Min.	120—125	
— 28' 30"	36		110—115	
— 29' —		0,50 Liter pro Min.	108—112	
— 30' —			86—88	P. 140.
— 31' —		35—40	82—84	Cornealreflex erfolgt.
— 34' —	30		72—74	
— 35' —		20—25		Heftige inspirator. Krämpfe.
— 36' —			20—25	Cornealreflex fehlt.
— 37' —		15—20		P. 78, hoch. Athem-
— — 30"	12		10—15	stillstand.
— 38' —			5	
— — 30"	8		3	
— 39' —			0	<b>Tod.</b>
— — 30"				
— 40' —				
— 41' —				
— — 15"				

Gesamt-Gasverbrauch: 23,74 Liter = 1,10 pro Minute.

**Versuch XXXVII. Kaninchen.**

**A. Athmung eines Gemisches von 20 % O mit 80 % H, 25 Minuten lang ohne Einfluss.**

**B. Athmung eines O-armen Gemisches 11½ Minuten.**

**Steigerung der Respiration und des Blutdrucks.**

**Inspirationsgemisch B: O: 3,8 %; H + N: 96,2 %.**

Zeit.	Respirationsfrequenz.	Athemgrösse.	Blutdruck	Bemerkungen.
4 h 20'	92			<b>Luftathmung ohne Ventile.</b>
— 21'	84	0,80 Liter pro Min.	120—130	T. 38,4°
— 23'			114—117	R. unregelmässig.
— 27'			118—120	
— 29'	72			<b>Athmung von Gemisch A</b> (O: 20%; H: 80%), verm. Speck'scher Ventile.

Zeit.	Respirationsfrequenz.	Athemgrösse.	Blutdruck	Bemerkungen.
4 h 37' —	72	0,80 Liter pro Min.	114 - 116	<b>Luftathmung.</b>
— 38' —	66		114—118	
— 46' —	66		115—120	
— 51' —	66		120—125	
— 54' —	66		122—124	
— 58' —			115—122	
5 h 59' —	54		105—115	
6 h 0' 30"			<b>Athmung von Gemisch B</b> (O: 3,8%; H + N: 96,2%).	
— 1' —		1,57 Liter pro Min.	110—120	Heftige Bewegungen.
— — 30"	78		100—120	Thier ruhig.
— 2' —	68		95—115	Grosse Schwankungen des Blutdrucks.
— 4' —			100—114	
— 5' —	66		105—120	
— 6' —	64		115—120	
— 7' —			120—125	
— — 30"			130—135	
— 8' —	68		138—142	
— 9' 30"			140—142	
— 10' —			138—140	Cornealreflex erhalten.
— 12' —	64			<b>Luftathmung.</b>

Versuch abgebrochen.

**Versuch XXXVIII. Kaninchen von 1530 gr.**

**A. Athmung eines Gemisches mit 4% O während 15 Minuten.**

**Excitationserscheinungen.**

**B. Athmung eines Gemisches mit 2,9% O. Erst Steigerung, dann Senkung des Blutdrucks. Athempause nach 13 Minuten, Schwinden des Blutdrucks nach 15 Minuten.**

Zeit.	Respiration.	Blutdruck.	Bemerkungen.
4 h 26' 30"		134—140	<b>Luftathmung ohne Ventile.</b>
— 27' —	88	127—132	
— 28' —		122—126	
— 40' —	68	132—136	<b>Athmung von Gemisch A (O: 4,0% : N + H: 69,0%).</b>
— 41' —		128—132	Respirationsfrequenz wechselnd.
— — 30"		140—150	
— 42' —	84	152—166	
— — 30"		145—155	
— 43' —		150—160	
— — 30"	120	160—162	
— 44' —		147—150	
— — 20"		152—154	
— — 30"		150—154	
— 45' —		158—162	
— 46' —	84	150—152	

Zeit.	Respiration.	Blutdruck.	Bemerkungen.
4h 47' 30''		130—132	
— 48' —	72	126—130	
— 49' —	66	133—138	
— 50' —	60	138—142	
— 51' —		138—142	
— — 30''		140—145	Vorübergeh. Senkungen des Drucks.
— 52' 30''	64	145—150	P. 196. Cornealreflex erhalten.
— 54' —	51	138—140	
— 55' —			<b>Luftathmung.</b>
— — 30''		145—150	
— 56' 30''	88	140—150	
— 59' —	64	140—150	
— — 30''		135—140	
5h — —		125—135	
— 1' —		120—125	
— 2' —	68	115—120	
— 7' —		118—125	
— 11' —		118—125	T. 36,9.°
— 15' —	64	118—124	
— 25' —		118—124	
— 46' —	64	120—125	
— 47' —			<b>Athmung von Gemisch B (O: 2,9%; N + H: 97,1%).</b>
— — 15''			Dyspnœ.
— — 30''		140—150	Heflige Bewegungen.
— — 45''		160—180	Respiration beschleunigt.
— 48' —		180—190	Thier ruhig.
— — 15''	56	185—195	
— — 45''		170—180	
— 49' —		160—170	
— — 30''	76	150—160	
— 51' —	44	140—145	P. 128.
— 52' —		133—140	
— 53' —		124—126	
— 54' —		110—118	P. 136.
— 55' —		110—115	Respiration schnell wechselnd.
— 56' —	56	95—100	P. 136.
— 57' —	44	75—80	P. 124.
— 58' —		60—65	Cornealreflex fehlt.
— 59' —	26		P. 112. Hohe Pulse.
— — 15''		40—70	Krämpfe.
— — 30''		30—40	Krämpfe.
— — 45''		20—30	Krämpfe.
6h — —		10	Athemstillstand.
— — 15''		5—15	
— — 45''		10—25	
— 1' —		10—20	
— — 15''		8—10	P. 60.
— — 30''		8—10	
— — 45''		5—6	
— 2' —		1—2	
— — 15''		0	<b>Tod.</b>

Herz pulsirt noch auf Reize, zeigt keine Differenz der Blutfarbe. Muskeln und Nerven erregbar. Starke Darmperistaltik. Lungen hinten unten leicht geröthet. Kein Oedem.

Gasverbrauch: 20 Liter = 1,54 Liter pro Minute = 1,00 L. pro Kilo in der Minute.

## Versuch XXXIX. Kaninchen.

A. Athmung eines Gemisches mit 12,7% O während 21 Minuten,  
bewirkt nur Verstärkung der Respiration.

B. Athmung eines Gemisches mit 5,1% O während 11½ Minuten.  
Verstärkung der Respiration und Erhöhung des Blutdrucks.

Zeit.	Respiration.	Blutdruck.	Bemerkungen.
4 h 53' —	64	110—120	<b>Luftathmung.</b> P. 192. T. 38,3.0
— 56' —			<b>Athmung von Gemisch A (O: 12,7%).</b>
— 57' —	80	110—120	
— 58' —	76		R. vertieft.
— 30''	76	115—125	
— 59' —	72		
5 h —		100	Zuckungen.
— — 15''		120—130	
— 1' —	72	115—130	Langsame Wellen des Blutdrucks.
— 3' —	72		P. 216. T. 38,3.0
— 5' —		105—130	
— 11' —	72	105—130	P. 192.
— 14' —		100	P. 208. Heftige Bewegungen.
— 15' —		110—130	Cornealreflex erhalten.
— 17' —			<b>Luftathmung.</b>
<b>Inspiration: O: 12,7%; N + H: 87,3.</b>			
<b>Letzte Expiration: O: 11,1%; N + H: 86,8; CO<sub>2</sub>: 2,1%.</b>			
<b>Gasverbrauch: 23 Liter = 1,10 Liter pro Min.</b>			
5 h 17' 30''	68	110—130	
— 36' —		115—125	Langsame Wellen des Blutdrucks.
— 47' —	80	110—125	
6 h 17' —	76	105—120	
— 26' —		105—120	P. 224—240.
— 27' 30''		105—120	
— 28' 30''			<b>Athmung von Gemisch B (O: 5,1%)</b>
— — 40''			Dyspnœ.
— — 50''		105—120	
— 29' —		130—140	Krampfhaftige Bewegungen.
— — 15''		130—140	Thier ruhig.
— — 30''		150—160	
— — 45''	96	145—155	
— 30' —		145—155	
— — 15''		135—155	
— — 30''	96	135—145	
— 31' —		135—145	
— — 45''		125—135	
— 32' 30''	112	118—122	P. 162.
— 33' 30''	128	115—120	P. 174.
— 34' —	128	115—120	Nystagmus.
— 35' —		110—112	
— 36' —	132	108—110	
— 37' —		115—120	T. 38,3.0
— 38' —	120	110—120	
— 39' —		120—125	
— — 20''		120—130	<b>Luftathmung.</b>

**Inspiration: O: 5,1%; N + H: 94,9%.**

**Letzte Expiration: O: 4,8%; N + H: 94,0%; CO<sub>2</sub>: 1,2%.**

**Gasverbrauch: 23 Liter = 2,03 Liter pro Min.**

Zeit.	Respiration.	Blutdruck.	Bemerkungen.
6h 40' —	156	120—130	T. 37,9.°
— — 30''		130—135	
— 41' —		132—136	
7h — —		115—120	

Das Thier, welches bald darauf einem dritten Versuch unterworfen wird (Einathmung eines noch O-ärmeren Gasgemisches), stirbt dabei unter hochgradigem Lungenödem.

Versuchen wir nun, die hauptsächlichsten Erscheinungen, die bei der Kohlensäurevergiftung einerseits und andererseits bei der Sauerstoffentziehung an den Thieren beobachtet werden, einander gegenüber zu stellen.

I. Sowohl die Kohlensäurevergiftung als der Sauerstoff-Mangel bewirkt:

- 1) Dyspnœ,
- 2) Blutdrucksteigerung,
- 3) Herabsetzung der Sauerstoff-Aufnahme.

II. Der Kohlensäurevergiftung ist eigenthümlich:

- 4) Herabsetzung der Kohlensäure-Ausscheidung.
- 5) die rasche Lähmung der motorischen und sensorischen Nervencentra.

III. Dem Sauerstoffmangel ist eigenthümlich:

- 5) das Auftreten heftiger Reizerscheinungen, kurz ante mortem.

Ad 1. Die Dyspnœ setzt in beiden Fällen nahezu eben so schnell ein, bei CO<sub>2</sub>-Vergiftung bleibt sie aber nur relativ kurze Zeit bestehen, die Athmung sinkt — je höher die CO<sub>2</sub>-Dosis um so rascher — bald unter die normale Grösse, fällt dann continuirlich aber langsam weiter bis auf Null, bis zum Tode.

Bei O-Entziehung bleibt die Dyspnœ sehr lange hoch, erst kurz vor dem Tode sinkt die Athmung ab.

Ad 2. Der Blutdruck zeigt bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung gewöhnlich eine kurzdauernde primäre Senkung, ehe er an-

steigt; bei O-Entziehung fehlt diese Erscheinung; ferner ist die durch O-Entziehung bedingte Drucksteigerung im Allgemeinen bedeutender und dauert länger an als bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung. Das nachträgliche Sinken des Blutdrucks tritt bei der O-Entziehung erst kurz ante mortem ein und schreitet dann rasch fort, während bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung die Absenkung relativ früher eintritt und dann nur sehr allmählig zunimmt.

Ad 3 und 4. In beiden Fällen ist die O-Aufnahme herabgesetzt, bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung in sehr hohem Grade, und zwar wegen des verminderten O-Bedürfnisses des Körpers, bei der O-Entziehung in geringerem Maasse, und zwar im Wesentlichen aus physikalischen Gründen. Die CO<sub>2</sub>-Ausscheidung ist bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung ebenfalls erheblich verringert, erscheint dagegen bei dem O-Mangel so gut wie unverändert.

Ad 5. Der CO<sub>2</sub>-Vergiftung eigenthümlich ist das rasche Erlöschen der Reflexthätigkeit und der willkürlichen Bewegungen, welches bei hohen CO<sub>2</sub>-Dosen schon innerhalb der ersten Minute beobachtet wird; bei der O-Entziehung bleibt die Sensibilität und Motilität lange Zeit unverändert, Schwächung und vollständiges Aufhören derselben tritt erst kurze Zeit vor dem Tode ein.

Ad 6. Bei O-Entziehung zeigen sich, dem Moment des Todes vorangehend und denselben ankündigend, heftige Reizerscheinungen bis zu eigentlichen Krämpfen, gleichzeitig mit dem raschen Absinken des Blutdrucks und der Respiration, während bei der CO<sub>2</sub>-Vergiftung der Moment des Todes niemals durch besondere Erscheinungen gekennzeichnet wird; der Tod tritt als allmähliges Erlöschen sämtlicher Funktionen ein.

### Anhang.

#### **Gemischte Zustände von Sauerstoffmangel und Kohlensäurevergiftung.**

Wird der Gasaustausch in den Lungen plötzlich gehemmt (acute Erstickung), so tritt gleichzeitig Mangel an Sauerstoff und Kohlensäureanhäufung ein.

Es unterliegt nun keinem Zweifel, dass die Erscheinungen der acuten Erstickung lediglich einen Effect des O-Mangels darstellen<sup>1)</sup>. Die Klemmung der Trachea hat durchaus denselben Erfolg wie die Athmung in ein indifferentes Gas hinein.<sup>2)</sup> Es ist für den Ablauf der Erstickungserscheinungen<sup>3)</sup> ganz gleichgültig, ob die geringe Quantität der in den wenigen Minuten bis zum Tode gebildeten Kohlensäure im Körper verbleibt oder abdunsten kann. Die Kohlensäurespannung der Lungenluft (und damit wohl auch die des Blutes) erreicht bis gegen 15 %<sup>4)</sup>; wir wissen aber, dass bei Einathmung eines 15 % und mehr Kohlensäure enthaltenden Gasgemisches lediglich eine etwas gesteigerte Athmung und Blutpression zu Stande kommt, niemals aber die weiteren Erscheinungen, die bei der Erstickung auftreten; die Thiere können in einer 20 % CO<sub>2</sub> enthaltenden Luft mehrere Stunden ihr Leben erhalten.

Um die bei der Erstickung auftretenden bedrohlichen Erscheinungen hervorzurufen, das Absinken des Blutdrucks und den Stillstand der Athmung, dazu müsste die CO<sub>2</sub> im Blute eine sehr viel höhere Spannung erreichen und diese hohe Spannung längere Zeithin durch beibehalten. Wir haben den Eintritt von Depressionserscheinungen bei den Kohlensäurevergiftungen niemals beobachtet, wenn nicht die Kohlensäurespannung (der Inspirationsluft und damit) des Blutes mindestens 20 bis 30 % betrug; auch dann erst nach Ablauf von etwa einer Stunde beginnend und in ganz lang-

<sup>1)</sup> Vergl. Pflüger, Archiv f. d. ges. Physiol. 1, 104; 1808.

<sup>2)</sup> Nur dient wohl die im ersteren Falle in den Respirationsorganen verbleibende Luft dazu, das Leben ein wenig länger zu fristen.

<sup>3)</sup> Vergl. Goltstein (l. c.) über den Verlauf der Athembewegungen. Nach Boehm (Arch. f. exper. Pathol. 8,69) werden die Chancen für das Gelingen der Wiederbelebung nicht merklich grösser, wenn man bei der Erstickung dafür sorgt, dass die Expirationsgase nach aussen entweichen können.

<sup>4)</sup> W. Müller (l. c.) fand bei Erstickung von Hunden in einem Luftraum von 30 Cc. den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Lungenluft zu 15,76 resp. 15,08 %; Stroganow (l. c.) bestimmte an Kaninchen bei Verschluss der Trachea den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Lungenluft nach Schluss der Herzthätigkeit zu 13,48 resp. 11,13 %.

samer Weise fortschreitend. Selbst die stürmischsten Fälle von Kohlensäurevergiftung, in denen die Kohlensäurespannung des Blutes, wie die Analyse der Expirationsluft lehrte, nahezu 80 % betrug, verliefen immer noch etwa 10 mal langsamer und in ganz anderem Rythmus als die acute Erstickung.

Kaum anders gestalten sich die Verhältnisse bei chronischer, mehrere Stunden fortgesetzter gleichzeitiger Wirkung von Sauerstoffmangel und Kohlensäureanhäufung z. B. bei Athmung im geschlossenen Luftraum. Es treten hier die oben geschilderten Symptome des Sauerstoffmangels trotz der gleichzeitigen Anhäufung von Kohlensäure auf; <sup>1)</sup> die Athemfrequenz bleibt bis zuletzt hoch, und schliesslich folgt der Tod unter Reizerscheinungen in plötzlicher Weise; die gleichzeitig vorhandene CO<sub>2</sub>-Anhäufung kommt auch hier für den Ablauf der Erscheinungen so gut wie gar nicht in Betracht. Wir haben, um die durch die Kohlensäure bewirkte Complication zu studiren, folgenden Erstickungs-Versuch angestellt; er beweist, dass selbst bei einer Spannung von 26 % CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre (resp. im Blute) der O-Mangel seine reizende Wirkung ausübt.

Ein Kaninchen wurde in eine mit O erfüllte Glocke gesetzt und zeigte die charakteristischen Wirkungen der allmäligen CO<sub>2</sub>-Vergiftung, die Athmung nahm allmähig bis auf 36 Respirationen pro Minute ab, und nach 7<sup>3</sup>/<sub>4</sub> Stunden hielt die Athmungsluft CO<sub>2</sub> : 28,0 %, O : 18,0 %. Jetzt wurde ein zweites Kaninchen in die Glocke gebracht, wobei die angesammelte Kohlensäure zum grossen Theil in dem Athmungsraume blieb. Beide Thiere zeigten jetzt trotz der hohen CO<sub>2</sub>-Spannung der Glockenluft die Erscheinungen des allmäligen O-Mangels, die Athmung hob sich bei dem ersten Thiere und blieb auch bei dem zweiten hoch bis unmittelbar vor dem Tode, der ca. 9 Stunden nach Beginn des Versuchs unter den charakteristischen Reizerscheinungen des O-Mangels eintrat.

---

<sup>1)</sup> Vergl. u. A. Valentin, Zeitsch. f. rat. Med. III. Reihe, Bd. 10. p. 33; 1860.

**Versuch XL. Ein Kaninchen in einer Glasglocke, gefüllt mit einer Mischung von Luft und Sauerstoff, zeigt die Symptome der allmählichen CO<sub>2</sub>-Vergiftung. Nach 7 h. 51 Min. ein zweites Kaninchen in die Glocke gebracht; 1 h. 26 Min. resp. 1 h. 34 Min. darauf Tod der beiden Thiere unter heftigen Excitationserscheinungen (O-Mangel).**

Kaninchen I (1040 gr.) wurde unter eine Glasglocke gesetzt, deren Innenraum (12,37 Liter) durch ein Wasserventil von der Atmosphäre abgeschlossen war, darauf die Glockenluft theilweise durch Sauerstoff ersetzt. Beim Einbringen von Kaninchen II (1967 gr.) entwich ein Theil der Glockenluft, während etwas atmosphärische Luft eindrang.

Zeit.	Respirationsfrequenz.		Bemerkungen.
	Kaninchen I.	Kaninchen II.	
12 h 5'	94		Kaninchen I in die Glocke gebracht, darauf O eingeleitet. Verschluss der Glocke. Beginn des Versuchs.
— 15'	116		
— 16'	104		R. unregelmässig, sehr flach.
— 33'	84		R. tiefer.
7 h 47'	36		Thier liegt nieder, kann sich noch aufrichten.
— 52'	36		<b>Glockenluft: CO<sub>2</sub>: 28,0%; O: 18,0%.</b>
— 56'			Kaninchen II eingebracht.
— 58'		52	
8 h 4'	60	60	
— 7'	58	62	
— 9'		56	Kan. I athmet tiefer mit activer Expiration, Kan. II athmet flacher.
— 12'	56	90	
— 15'		56	
— 16'	60	54	
— 21'	54	60	
— 28'	70	60	Die Thiere reagiren beim Anschlagen an die Glocke.
— 29'	60	60	
— 31'	56	60	
— 32'	60		
— 42'	56	56	Kan. II hält noch den Kopf, auch Kan. I hebt ihn von Zeit zu Zeit.
— 54'	66	86	
— 55'	60	90	Unruhe.
— 57'	60	76	Beide Thiere reagiren.
9 h 2'	63	84	
— 5'	63	96	
— 11'	56	96	
— 16'	60	96	
— 17'			R. angestrengt. Die Thiere reagiren noch auf äussere Reize.
— 19'	56	96	Kan. I stösst einen Schrei aus.
— 20'			Kan. I hebt mehrmals den Kopf.

Zeit.	Respirationsfrequenz.		Bemerkungen.
	Kaninchen I.	Kaninchen II.	
9 h 21'			Kan. I sperrt mehrmals das Maul auf.
— 22'			<b>Tod von Kaninchen I.</b>
— 27'		81	
— 28'			Kan. II schreit.
— 29'		4	
— 30'			<b>Tod von Kaninchen II. Glockenluft: CO<sub>2</sub>: 26.0%; O: 4,2%.</b>
— 35'			Glocke geöffnet. Kan. I: T 30,5;° Kan. II: T 36,1.°

Kaninchen I. Lungen ohne Oedem, zeigen einige kleine Echy-mosen. Kaninchen II: Lungen etwas ödematös. Kein Farbenunterschied im Blute beider Herzhälften.

Hier war also der Raum, in welchem die Thiere erstickten, absichtlich mit Kohlensäure versehen worden, und trotzdem liess der Verlauf der Erscheinungen keine Abweichung von den Fällen erkennen, in denen die Ansammlung der Kohlensäure vermieden wurde.<sup>1)</sup> (Nur zeigte das Thier I, welches vor dem Beginn des eigentlichen Erstickungsversuchs eine fast 8stündige allmähliche Kohlensäurevergiftung erlitten hatte, am Schlusse eine geringere Respirationsfrequenz als das zweite Thier, welches dieser Schädlichkeit nicht ausgesetzt war). Wir haben somit a fortiori erwiesen, dass die gleichzeitige CO<sub>2</sub>-Anhäufung an dem Gange der Erstickungserscheinungen so gut wie nichts ändert, auch wenn die Erstickung in langsamer Weise im Laufe mehrerer Stunden sich entwickelt. Allerdings erfolgt der Tod fast ganz ohne Reizerscheinungen, wenn acuter Sauerstoffmangel während einer tiefen Kohlensäurenarkose eintritt, aber um diese zu bewirken ist eine so hohe Kohlensäurespannung nöthig, wie sie niemals bei Athmung im geschlossenen Luftraum, geschweige denn bei sonstigen Respirationshindernissen herbeigeführt werden kann.

Fragen wir uns nun, wie bei pathologischen Zuständen, wo durch Störungen in den Respirations- oder

<sup>1)</sup> Vgl. Vers. XXX und XXXI, p. 26.

Circulationsorganen eine sehr allmähliche Erstickung herbeigeführt wird, der Verlauf der Erscheinungen bedingt ist, so können wir diese Frage nicht so direkt beantworten. Es fehlen uns hier die nöthigen experimentellen Anhaltspunkte; wir wissen nicht, wie weit in solchen Fällen das Blut an Sauerstoff verarmen und wie weit die Kohlensäurespannung sich über die Norm erhöhen mag; auch sind die Erscheinungen des, Tage und Wochen dauernden reinen Sauerstoffmangels, ebenso wenig festgestellt als die Symptome einer chronischen geringen Steigerung der Kohlensäurespannung. Bei sehr lange fortgesetzter Athmung im geschlossenen Luftraum zeigt sich eine Tendenz zur Herabsetzung der Athemfrequenz und es können die Reizerscheinungen des Sauerstoffmangels ausbleiben <sup>1)</sup>; es fragt sich nun, ob man hier eine Wirkung der Kohlensäure annehmen soll, deren Spannung in diesem Falle nie 20 % einer Atmosphäre erreichen kann, oder ob bei sehr langer Dauer der Sauerstoffmangel selbst einen derartigen allmähigen Tod durch Erschöpfung herbeiführt. Da aber in den oben erwähnten pathologischen Fällen die Athmung nicht in einem geschlossenen Raum sondern in die freie Atmosphäre geschieht, so ist eine erhebliche Steigerung der CO<sub>2</sub>-Spannung im Blute hier nicht möglich. Allerdings mag auch eine mässige Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Spannung des Blutes auf die Dauer nicht ohne schädliche Wirkung bleiben (Erschöpfung durch die angestrenzte Athmung, Herabsetzung des Stoffwechsels etc.); ausserdem werden in solchen Fällen noch eine Reihe von anderen complicirenden Momenten in Rechnung kommen; jedenfalls aber wird man hier nicht, wie so häufig geschieht, von einer Kohlensäurevergiftung reden dürfen und es wird der Sauerstoffmangel immer als das dominirende Moment auch bei der langsamen Erstickung zu betrachten sein.

---

<sup>1)</sup> Siehe Bert, *Leçons sur la physiologie de la respiration* Paris 1870, p. 505.