

XIX.

Ueber die Vergiftung mit Kohlenoxydgas.

(Material zur Physiologie der Kohlendunstvergiftung.)

Von Dr. W. Pokrowsky in St. Petersburg.

Zum ersten Male und fast zu gleicher Zeit beschäftigten sich F. Hoppe und Cl. Bernard mit der genauen Untersuchung der Beziehung des Kohlenoxydgases (CO) zum Blute der Thiere. Die Hauptfacta, die wir über diesen Gegenstand besitzen, gehören dem Pariser Professor. Er zeigte die charakteristische hellrothe Färbung des Blutes, welches Kohlenoxydgas absorbirt. Weiter ergab es sich nach seinen Untersuchungen, dass das Oxyd, indem es vom Blute absorbirt wird, aus demselben den Sauerstoff und etwas Kohlensäure verdrängt *). Das mit Kohlenoxydgas gesättigte Blut absorbirt 5 Mal weniger Sauerstoff, als gewöhnliches.

Die Fähigkeit des Blutes zu gerinnen wird nicht alterirt. Das Serum löst sogar weniger Pigment auf und erscheint daher heller über dem Gerinnsel, als in gewöhnlichem Blute. Die Blutkörperchen werden sehr dauerhaft, so dass sie wochenlang (ausserhalb des Organismus) weder ihre Farbe noch Form verändern. Dieselbe Dauerhaftigkeit der Blutkörperchen wurde auch in Hoppe's Versuchen bemerkt. Er fand nämlich, indem er defibrinirtes Ochsenblut mit reinem Kohlenoxydgase sättigte, dass dieses Blut (gleichviel ob venöses oder arterielles) die charakteristische Farbenänderung eingeht **). Jedesmal wird es hellroth mit deutlicher

*) Lothar Meyer hat schon sogar gezeigt, dass das CO vom Blute in gleichem Volumen, wie Sauerstoff absorbirt wird, und dass es desswegen sehr wahrscheinlich sei, dass beide Gase sich in dem Blute mit ein und demselben Körper vereinigen, indem CO den Sauerstoff verdrängt, da es mit dem fraglichen Körper eine Verbindung von grösserer Beständigkeit eingeht. Henle und Pfeiffer, Zeitschrift für rat. Medicin 1859. Heft 1.

**) Diese Farbenänderung wurde auch schon früher an den Leichen der durch

violetter Nüance, wie bei durchgehendem, so auch reflectirtem Lichte, die besonders scharf im Blutschaume hervortritt. Diese charakteristische Farbe verändert sich weder durch die Einwirkung von Sauerstoff, noch Kohlensäure auf solches Blut (bei anhaltendem Schütteln mit diesen Gasen), so wie auch nicht nach Verlust der Gase durch die Luftpumpe; wo doch bei letzterer Bedingung das arterielle Blut fast schwarz wird.

Die Menge der Gase, die durch die Luftpumpe aus dem mit CO gesättigten Blute ausgeschieden wird, ist bedeutend geringer, als die aus dem arteriellen. Bei langsamer Erwärmung bis zur Gerinnung bekommt das Gerinnsel des durch Kohlenoxydgas vergifteten Blutes eine ziegelrothe, das des venösen aber eine beinahe schwarze Farbe. Nur beim Kochen des vergifteten Blutes erhielt man ein Gerinnsel von gleicher Farbe, wie aus gewöhnlichem venösen Blute. Das in einem Stücke eines faulenden Eingeweides enthaltene vergiftete Blut verändert nicht bei gewöhnlicher Temperatur im Verlaufe mehrerer Tage seine Farbe. Man erhält die kirschrothe Färbung durch Kohlenoxydgas ohne Unterschied in der wässrigen Lösung des venösen, wie auch des arteriellen Blutes. Umgekehrt bei Zusatz von Wasser zu dem mit Kohlenoxydgas verbundenen Blute erhält man eine Lösung von charakteristischer kirschrother Farbe.

Aber weder die wässrigen, noch Alkohollösungen des nach Wittich*) erhaltenen Hämatins absorbiren Kohlenoxydgas, oder verändern ihre Farbe. Umgekehrt, man erhält aus dem mit Kohlenoxydgas gesättigten Blute ein eben solches Hämatin, wie aus gesundem. Aus Allem diesen schliesst Hoppe, dass das Kohlenoxydgas sich nicht einfach in dem Blute löse, sondern eine tiefe und ziemlich constante Veränderung in dem Blutpigmente hervorbringe, und dass das auf solche Art veränderte Hämatoglobulin

Kohlendunst gestorbenen Menschen, sowie auch an mit Kohlenoxydgas vergifteten Thieren beobachtet. Nach Hoppe's Versuchen soll kein anderes Gas, nicht einmal die Dämpfe sehr flüchtiger Flüssigkeiten, wie Chloroform, Aether, eine solche Veränderung in der Färbung des Blutes hervorbringen, wie es durch Kohlenoxydgas geschieht.

*) Journal für praktische Chemie. Bd. 61. S. 15.

nicht mehr fähig sei, in zwei verschiedenen Abänderungen, dem arteriellen und venösen, zu bestehen und als Träger des Sauerstoffs im Organismus zu dienen *).

Das Blut durch Kohlendunst Gestorbener, in gleichen Volumen mit einer starken Lösung Natronhydrat gemischt, gibt eine dicke Masse von rother Farbe, wo dagegen gewöhnliches defibrinirtes Blut bei denselben Umständen eine schleimige Masse von schmutziggrünlicher Farbe gibt. Ebenso war es leicht, bei gesagter Bearbeitung, zu beweisen, dass in dem Falle eines durch Kohlendunst Erkrankten, jedoch am Leben gebliebenen, offenbar die Gegenwart von Kohlenoxydgas in dem durch Aderlass gewonnenen Blute vorhanden war. Indessen haben beide letzten Arten von Blut, wenn auch in schwachem Grade, die Fähigkeit, sich beim Schütteln mit Luft, zu röthen, beibehalten; dazu war daselbst die genannte Reaction mit Natronhydrat weniger scharf ausgeprägt, als es mit vollständig mit Kohlenoxydgas gesättigtem Blute der Fall war.

Daraus folgt nach Hoppe, dass bei der Kohlendunstvergiftung der Tod vor der vollkommenen Sättigung des Blutes mit Kohlenoxydgas eintreten kann, und dass die Gegenwart des letzteren im Blute auch in Fällen von Genesung leicht zu bestimmen ist *). Auf dem letztgenannten Umstande und der schon erwähnten Dauerhaftigkeit der mit Kohlenoxydgas verbundenen Blutkörperchen gegründet, drängt sich ganz natürlich die Frage über das weitere Schicksal der auf solche Art veränderten Blutkörperchen auf. Diese von Professor Botkin ausgesprochene Frage diene meinen Untersuchungen über die Wirkung des Kohlenoxydgases zum Ausgangspunkte. In der That, wenn bei jeder Vergiftung mit Kohlenoxydgas, folglich in jedem Falle von Dunstvergiftung, eine ganze Masse rother Blutkörperchen die Fähigkeit, Sauerstoff zu absorbiren, verliert und überhaupt eine Veränderung, die die Blutkörperchen in so hohem Grade dauerhaft macht, eingeht, so müssten daraus sehr wichtige und dazu stationäre Störungen im Organismus folgen. Ausserdem ist aus Cl. Bernard's Versuchen über die Absorption verschiedener Gase durch das Blut bekannt,

*) Virchow's Archiv. Bd. XI. S. 288.

dass eine geringe Quantität Kohlenoxydgas ein grosses Volumen Blut sättigt ($\frac{1}{10}$). Folglich wird in jedem Falle von Vergiftung mit Kohlenoxydgas eine grosse Menge Blutkörperchen zur Gasaustauschung im Organismus untauglich. Andererseits wurden Fälle (Bourdon, Cl. Bernard, Ozanam etc.) schwerer chronischer Folgen der Dunstvergiftung (stationäre Paralyse u. s. w.) beobachtet, Fälle, die bis jetzt noch unerklärt bleiben. Desshalb wird die Frage über die Bedeutung für den Organismus und das weitere Schicksal der durch Kohlenoxydgas vergifteten Blutkörperchen höchst interessant. Der directe Weg zur Beantwortung dieser Frage stellte sich in Versuchen an Thieren, bei künstlicher Vergiftung durch Kohlenoxydgas dar.

Indem Cl. Bernard sich mit der unmittelbaren Bestimmung der Wirkung des Kohlenoxydgases auf das Blut beschäftigte, richtete er auch seine Aufmerksamkeit auf die Frage über die Folgen der chronischen Wirkung von Kohlenoxydgas. An Thieren aber kam er zu verneinenden Resultaten, d. h. blieben die Thiere am Leben, so zeigten sich keine Zeichen von Vergiftung. Ausserdem fand er noch, dass die Veränderung der Blutfarbe, die sogleich nach der Vergiftung eintrat, nach einiger (?) Zeit mit Aufhebung aller durch die Vergiftung verursachten Störungen verschwinde. Cl. Bernard bleiben hier zwei Möglichkeiten — die Veränderung der Blutfarbe und die Reduction derselben zur normalen zu erklären; er gibt nämlich zu, dass entweder die durch Kohlenoxydgas vergifteten Blutkörperchen zerstört, oder vom Gase mit vollkommener functioneller Wiederherstellung befreit werden. Die dritte Möglichkeit — die Umänderung des Gases in Kohlensäure — gibt Cl. Bernard aus weiter zu erörternden Gründen nicht zu. Jedenfalls bleibt also im Grunde die Frage dieselbe: es muss das Schicksal des durch Kohlenoxydgas vergifteten Blutes verfolgt werden. Die Lösung dieser Aufgabe könnte einestheils als Grundlage zur Pathologie des Blutes bei der Dunstvergiftung, andererseits aber vielleicht auch zur Physiologie der Zerstörung der rothen Blutkörperchen dienen. Ja, und auch dessenungeachtet ist die Untersuchung und Erklärung der Erscheinungen bei der Vergiftung durch Kohlenoxydgas, als unstreitigen Hauptbestandtheil des Koh-

lendunstes (Leblanc, Bernard), an und für sich interessant, besonders für Russland, desto mehr da hinsichtlich dieses Gegenstandes in der medicinischen Literatur überhaupt die verschiedensten und willkürlichsten Erklärungen herrschen; eine physiologische Untersuchung aber der Erscheinungen und des Wesens der Kohlendunstvergiftung gibt es gar nicht.

Die genannten Arbeiten von F. Hoppe und Cl. Bernard eröffnen den Weg zu den Untersuchungen über diese Frage. Ohne mich in eine voreilige Kritik dieser Erklärungen einzulassen, gehe ich direct zur Auseinandersetzung der Erscheinungen bei der Vergiftung mit reinem Kohlenoxydgase über, desto mehr, da bei der Analyse dieser Erscheinungen mehr oder weniger auch die erste Aufgabe über das Schicksal der vergifteten Blutkörperchen, so wie auch des vergiftenden Gases gelöst wird, andererseits aber auch die Möglichkeit vorliegt, die existirenden Erklärungen der Erscheinungen, so wie auch des Wesens der Vergiftung einer Revision zu unterwerfen.

Die Erscheinungen der Vergiftung durch Kohlenoxydgas.

Viele von den Erscheinungen der acuten Vergiftung durch Kohlenoxydgas wurden schon mehrmals von Anderen, wie an Thieren, so auch an Menschen beobachtet (Samuel Witt, Berthollet junior — an sich selbst, auch Chenot), jedoch meistens ohne Verbindung untereinander und ohne richtige Erklärung, so dass noch kein allgemeines symptomatologisches Bild dafür existirt. In dieser Hinsicht besitze ich nur eine Beobachtung am Menschen (wovon die Rede unten sein wird). Künstliche Vergiftungen aber wurden von mir an Katzen, Hunden, Kaninchen angestellt. Die Thiere wurden in einen gläsernen, oder mit einer gläsernen Platte fast bedeckten Zinkcylinder gesperrt. Der Cylinder besitzt zwei Röhren: die eine — damit Luft, oder das zum Versuche verwendbare Gas einströmen könne, die andere wird mit dem Aspirator verbunden. Die Rolle dieses Aspirators spielt ein grosser Gasometer von 100 Liter Volumen; die Gasröhre nimmt die Röhre des Cylinders, in welchem das Thier sitzt,

auf. Das Kohlenoxydgas wurde erhalten, indem Kleesäure mit concentrirter Schwefelsäure erhitzt, das Gas durch einen Waschapparat, aus zwei Gläsern mit Aetzkali bestehend, gelassen und mit Barytwasser geprüft wurde. Letzteres blieb vollkommen klar. Die ersten mit Luft gemengten Portionen wurden nicht aufgefangen. Auf solche Weise wurde ein Gas, das 97—99 pCt. Kohlenoxydgas enthielt, erhalten. Bei schneller Einführung eines solchen Gases in die Atmosphäre des Thieres (3—4 pCt. dem Volumen nach) wurden folgende Erscheinungen beobachtet: nach einigen Athemzügen wurden Hunde und Katzen unruhig, versuchten zu entkommen, stiessen ein wimmerndes Angstgeschrei aus, legten sich hin, oder fielen; nach 2—3 Min. fingen sie langsam und tief zu athmen an, bekamen Krämpfe in den Extremitäten, Trismus, Verziehung der Mundwinkel, Tetanus *), Hautzuckungen, Erweiterung der Pupillen, Hervorstarren der Augen, Verziehen des Blinzhäutchens, höchst tiefe und seltene Einathmungen, und endlich Tod nach 3—5 Min. An Kaninchen ging Allem diesen — Stehen der Ohren, und Erweiterung der Ohrgefässe, hauptsächlich aber der Rand-Ohrvenen, voraus. Nach 1—2 Min. stiessen die Thiere mit der Schnauze gegen die Cylinderwand, liessen sich nieder, fielen und bekamen immer den stärksten Tetanus. An Hunden und Katzen war der Tetanus immer viel weniger ausgeprägt hinsichtlich der Stärke und der Dauer, als an Kaninchen. Wie an Kaninchen, so auch an Hunden und Katzen stimmte der Zeit nach die Erweiterung der Pupille und das Hervorstarren des Auges mit dem Beginne der Krämpfe überein, indem erstere Erscheinungen letzteren nur einige Secunden vorhergingen. An Hunden und Katzen wurde fast stets Speichelfluss wahrgenommen. Während der seltenen und tiefen Athemzüge vor dem Tode wurden die Thiere völlig gelähmt, ohne auf irgend einen Reiz zu antworten, herausgenommen. Die Herzschläge wurden sehr selten, dafür die einzelnen ziemlich energisch. Hauteinschnitte und glühende Nadeln verursachten nicht den geringsten Reflex. Es kam vor, dass die Cornea und Conjunctiva des Auges ein wenig Reizbarkeit beibehielten, das war

*) Im Verlaufe der Krämpfe — unwillkürliche Harn- und Stuhlentleerung, aber nach guter Mahlzeit noch ausserdem immer Erbrechen.

aber auch die einzige Stelle, die in Hinsicht der Reizbarkeit die anderen Gebiete überlebte, aber bald verschwand sie auch hier. Die Thiere hörten ganz auf zu athmen. Die Herzschläge waren verschwunden und es war augenscheinlich der Tod eingetreten. Jedoch rief künstlich unterhaltenes Athmen die Thiere allmählig wieder in's Leben. Dabei begannen anfangs wieder die Herzschläge; zeitweise halfen die Thiere auch durch künstliche Athembewegungen mit, fingen mit seltenen und tiefen an und gingen sehr rasch zu immer öfteren und oberflächlicheren Einathmungen über; nach 30 Sec. bis 3 Min. war das Athmen schon vollkommen hergestellt, die Herzschläge wurden öfterer. Die Reflexfähigkeit kehrte wieder, anfangs im Gebiete des Auges und des Gesichts, alsdann in dem des Rückens, des Bauches und der Extremitäten. Alles dieses geschah in nicht mehr als 3—5 Min. Die Pupille verengerte sich mehr als normal. Das Auge nahm die normale Stellung ein. Dessenungeachtet waren die Thiere noch träge, blieben ohne äussere Anregungen liegen und erhielten nur allmählig die vollkommene Fähigkeit sich zu bewegen wieder. Erschreckt, versuchten sie, in den ersten Minuten nach der Wiedererlangung der Reflexfähigkeit, die Stelle zu verlassen, indem sie bald kaum die Hinterbeine fortzuschleppen konnten, bald auf einer Seite liefen und niederfielen, aber nach 5—10 Min. erhoben sie sich wieder und liefen in ihre Winkel; einige aber (Kaninchen) fingen nach 3—5 Min. nach der Wiederherstellung der Reflexe zu essen an, wenn sie vor dem schon hungrig waren. Wiederholte Versuche wurden jedesmal von ganz denselben Erscheinungen begleitet. Nur in Fällen von zu schnell nach einander wiederholten Versuchen waren die Erscheinungen nicht so ausgeprägt und traten nicht so rasch wieder auf. Kaninchen, die 5 Min. nach dem Tetanus zum zweiten Male in eine Atmosphäre von gleicher Beschaffenheit gebracht wurden, bekamen Krämpfe nicht nach 2—3 Min., sondern nach $3\frac{1}{2}$ —4 Min., die dabei leichter und nicht so anhaltend waren. Künstliches Athmen gab den Thieren, auch in Fällen von secundären starken Vergiftungen, das Leben wieder, wenn es nur noch nicht zu spät war.

Etwas verschieden davon waren die Erscheinungen in den Fällen, wenn man die Thiere in eine an Kohlenoxydgas weniger

reiche Atmosphäre brachte. In $\frac{1}{2}$ pCt. Atmosphären zeigte sich auch Unruhe, aber gar nicht so stark und auffallend. Die Thiere legten sich nieder, stießen ein klägliches Geschrei aus (Hunde und Katzen) und bekamen nach $\frac{1}{2}$ —1 Stunde noch keine Krämpfe; die Herzschläge wurden langsamer, das Athmen seltener und tiefer, endlich trat nach 2—3 Stunden der Tod unter leichten oder gar keinen Krämpfen ein (die Kohlensäure wurde durch mit Kalilösung befeuchtete Lappen, die in den Cylinder gelegt waren, absorbirt). Die Kaninchen wurden dieses Mal in ein 100 Litercylinder gebracht.

Während eines secundären, gleich nach dem ersten folgenden, 2stündigen Aufenthaltes in einer solchen Atmosphäre war das Kaninchen auch etwas unruhig, dann legte es sich aber nieder und verharrte in einer solchen Lage, ohne den ihm vorgelegten Kohl anzurühren. Wieder beobachtete man zuletzt leichte Krämpfe, die zuweilen nur in Hautzuckungen bestanden; die Thiere schienen einzuschlafen. Richtete man alsdann Ventilation im Cylinder ein, und wurde die Zufuhr von Kohlenoxydgas gehemmt, so waren die Thiere wieder vollkommen nach 20—30 Minuten hergestellt; wurde dieses aber nicht gethan, so hörten sie endlich auf zu athmen und starben, einige ohne alle vorhergehenden Krämpfe.

In einer 1 pCt. Atmosphäre wurden schon alle Erscheinungen einer vollkommenen Vergiftung, aber nicht früher als nach 20—25 Minuten wahrgenommen. Kaninchen bekamen stets leichte Krämpfe; seltenes und tiefes Athmen dauerte 10—15 Minuten. Die Erscheinungen von Seiten des Auges, des Athmens, der Herzschläge und der Reflexe traten auch langsamer ein. Endlich endigte die Sache auch mit vollkommener Lähmung und Tod. Das Letzte der Zeit nach war das Aufhören der Herzschläge. Verlangsamung des Herzschlages war durchaus jedesmal, ebenso wie alle anderen Zeichen von Vergiftung vorhanden. Zur genaueren Bestimmung dieses Umstandes wurden die Thiere auf folgende Art vergiftet: Die Gasröhre des Gasometers wurde mit der Röhre eines Glastrichters, der mit der breiten Oeffnung dem Thiere an die Schnauze befestigt wurde, verbunden. Die Herzschläge wurden mittelst des Stethoscops gezählt. Nach einigen Einathmungen wurde die Inspiration bedeu-

tend tiefer, alsdann tief und stossweise, und nach 1— $1\frac{1}{2}$ Minuten traten alle Erscheinungen einer vollkommenen Vergiftung ein und mit Aufhören der Respirationsbewegungen und Verlust von Gefühl und Bewegung fiel die Zahl der Herzschläge bei Hunden von 90 bis auf 12, bei Kaninchen von 120 bis auf 30—20. Einzelne Herzschläge wurden sehr stark. Die Zunahme der Zahl der Herzschläge im Anfange der Vergiftung konnte ich niemals mit Genauigkeit bemerken. Dazu überlebten die ziemlich rhythmischen Herzschläge in allen Fällen alle übrigen Lebenserscheinungen. Frösche, die in eine aus reinem Kohlenoxyde (98 pCt.) bestehende Atmosphäre gebracht wurden, begannen nach $\frac{1}{2}$ —1 Stunde selten zu athmen, Luft zu schlucken, die Reflexe wurden schwächer, alsdann hörte das Athmen vollständig auf, und es reflectirten auf äussere Reize nur noch die Cornea und Conjunctiva, endlich trat totale Paralyse des Gefühls und der Bewegung, jedoch nicht früher als nach 2—3 Stunden, ein. Von Zeit zu Zeit eingeblasene Luft rief den Frosch wieder in's Leben. Bei wiederholten Vergiftungen trat dasselbe ein. Krämpfe waren nie vorhanden. Stärkere Frösche wurden nicht früher als nach 4—5—6 Stunden paralytisch*). Dessenungeachtet dauerte oft bei solchen Fröschen der Herzschlag noch 24 Stunden nach dem Eintritte der totalen Paralyse.

Unter anderem konnte man sich auch an Fröschen leicht von der Veränderung der Blutfarbe überzeugen. Nachdem ich den Frosch an einen Kork befestigt und das Sternum durchschnitten hatte, brachte ich ihn unter eine Glasglocke mit Kohlenoxydgas. Nach 5—10 Minuten veränderte sich die Farbe des Herzens aus einer dunkelrothen in eine hellrothe. Nach 10—15 Minuten beobachtete man Verlangsamung der Herzschläge, die immer seltener und seltener wurden.

Nach 30 Minuten bis 1 Stunde erlangte die Häufigkeit der Herzschläge ihr Minimum und blieb auf dieser Höhe 12 Stunden,

*) Wirbellose Thiere — Schaben, Krebse, Blutegel — blieben Tage lang in einer Kohlenoxyd-Atmosphäre, ohne alle sichtbaren Folgen. Für Krebse und Blutegel wurde eine, im Verhältniss zur grossen Menge Gas, genügende Schicht Wasser gelassen. Im Gase ohne Wasser wurden die Krebse ebenso träge, wie in gewöhnlicher Luft, wegen des behinderten Kiemenathmens.

alsdann wurde sie noch seltener, die Herzschläge wurden unregelmässig und wurden durch äussere Reize häufiger; das Herz wurde durch Blut ausgedehnt und blieb nach 24 Stunden endlich ganz stehen, gewöhnlich gleich beim Eintritt von Austrocknung.

Die Circulation in den Haargefässen der Schwimmembran vollkommen paralysirter Frösche dauerte bis zum Eintritt des Trocknens *). Dabei war keine Veränderung in der Breite der Gefässe. Nur war der Blutstrom nicht von beständiger Schnelligkeit, sondern wurde mit jedem Herzschlage stärker und wieder etwas langsamer in Erwartung des nächstfolgenden Stosses.

Die Leichen der rasch durch Kohlenoxyd getödteten und sogleich secirten Thiere (Hunde, Katzen, Kaninchen), zeigten immer ein und dieselben Erscheinungen, ausser der schon bekannten Beständigkeit der Veränderung der Blutfarbe. Die Section wurde oft augenblicklich nach dem Eintritte der totalen Paralyse, bei noch vorhandenen Herzschlägen, unternommen. Dabei wurde beobachtet, dass das venöse System mit Blut überfüllt war. Das rechte Herz war erweitert und bald mit Gerinnseln, bald mit noch nicht geronnenem Blute angefüllt. Das linke immer leer und zusammengezogen. Die Lungenarterie war sehr stark erweitert. In den Lungen stets örtliche hämorrhagische Anhäufungen. Bei jungen Thieren (3 Fälle) war Lungenödem (bei ihnen floss fast beständig vor dem Tode blutiger Schaum aus dem Munde und der Nase). Die Hirnhäute, wie auch die das Rückenmark umgebenden Venengeflechte waren stark mit Blut angefüllt. Bei jungen Thieren war (3 Fälle) Hirn-Oedem, auffallend durch seine verhältnissmässig ausserordentliche Feuchtigkeit, durch Flüssigkeit in den Hirnventrikeln und in den Knochenvertiefungen an der Schädelbasis. Alle blutreichen Organe hatten einen violetten Schimmer; besonders

*) Ich führe diese Beobachtung hauptsächlich deswegen an, weil unter anderem folgende Erklärung der Paralyse bei Kohlenoxydvergiftung existirt, dass sie nämlich abhängt von der Hemmung der Circulation, von den Haargefässen angefangen bis zum Herzen hin (Wanner, *Compt. rend.* 24. 1857., und Faure, *Gaz. des hôp.* 150. 1856.). Weiter werden wir sehen, dass in dieser Erklärung die Folge für die Ursache angesehen ist, indem nämlich die Paralyse früher eintritt und die Ursache der Verlangsamung der Herzschläge ist.

intensiv war die Leber gefärbt. Die Section vollkommen paralytirter Frösche zeigte stets ausgedehnte Lungsäcke und ein grosses Volumen des mit Blut gefüllten Herzens (hauptsächlich aber der Arterien). Die subcutane Bauchvene war stets erweitert.

Dieses war die beständige Summe von Erscheinungen an mit Kohlenoxydgas vergifteten Thieren. Während der Versuche kam es mir und meinem Kameraden vor, mit Kohlenoxydgas gemischte Luft einzuathmen. Dabei trat sehr bald (1 Minute) Kopfweh ein, manchmal ein sehr heftiges Ohrensausen, Schwindel, Klopfen in den Schläfen, das Sehen wurde undeutlich, es trat Schläfrigkeit und Apathie ein, zuweilen gesellte sich noch Ueblichkeit dazu. Alle diese Erscheinungen vergingen übrigens schnell, ausser dem Kopfweh, welches nur nach dem Schläfe aufhörte.

Erinnern wir uns der Erscheinungen, die an stark durch Kohlendunst erkrankten Menschen beobachtet werden, so finden wir, dass auch Menschen dieselben Symptome von Kohlenoxydvergiftung zeigen, wie alle anderen Säugethiere *). Vor einem Jahre hatte ich selbst die Gelegenheit, einen stark durch Kohlendunst erkrankten Menschen zu beobachten, an dem ich, ausser heftigem Erbrechen im Anfange der Anfälle von Dunstvergiftung und dem alsdann fast vollständigen Verluste von Gefühl, Bewegung auch Bewusstsein, noch Verlangsamung des Athmens und des Herzschlages, allgemeine Blässe und Hervorstarren der Augen mit Erweiterung der Pupillen, wodurch die Augen einen ungewöhnlich wilden Ausdruck erhielten, bemerkte. Nur Krämpfe stellten sich gar nicht ein (wie sie auch nicht bei langsam mit Kohlenoxyd vergifteten Thieren auftraten). Es war nämlich ein junger Mensch, der während der Heizung der Badstube durch Kohlendunst erkrankte. Man brachte ihn in die frische Luft hinaus (im Winter) und begann ihn mit Schnee abzureiben. Als dann brachte man ihn in eine warme Hütte. Der soporöse Zustand dauerte die ganze Nacht hindurch. Gegen Morgen schlief er ein und erwachte nur mit den Resten des heftigen Kopfwehes. Ich verweile nicht mehr bei den Symptomen der Kohlendunstvergiftung, die an Menschen beobachtet und unter an-

*) Grisolle, Traité de pathologie interne. 1861. T. 2.

derem in gerichtlich medicinischen Werken *) beschrieben werden, sondern muss noch, bevor ich zur Kritik derjenigen, die experimentell an Thieren erhalten wurden, schreite, den Einfluss der Kohlenoxydvergiftung auf die Temperatur der Thiere, und den Druck des Blutes in den Arterien auseinander setzen. Die Temperatur wurde vermittelt 100theiliger Thermometer, Geissler's Arbeit, deren Empfindlichkeit so gross ist, dass bei der Annäherung der Hand, in einer Entfernung von 2 Centimetern, bei gewöhnlicher Temperatur, die Quecksilbersäule schon auf $0,1^{\circ}$ C. steigt, gemessen. Die Temperaturmessungen wurden an Hunden, Katzen und Kaninchen, im Ohre, Munde (zwischen Zunge und Gaumen an Kaninchen **), im Rectum oder in der Scheide vorgenommen. Nach Bestimmung der Normaltemperatur dieser Theile wurden die Thermometer herausgenommen und nach 1—2 Minuten langer Vergiftung der Thiere bis zur totalen Paralyse mit Hülfe des schon erwähnten Trichters den Augenblick wieder eingeführt. Dabei wurde ohne Ausnahme immer Verminderung der Temperatur in den genannten Gebieten beobachtet.

Der mittlere arterielle Druck wurde vermittelt Setschenow's Quecksilbermanometer, der mit der Carotis des Hundes in Verbindung gebracht war, bestimmt. Zu gleicher Zeit wurde dabei die Häufigkeit der Einathmungen und der Herzschläge, auch die Temperatur des Blutes des rechten Herzens und der Scheide bestimmt. Der Thermometer wurde in das Herz durch die rechte Vena jugularis eingeführt.

Folgende Tabellen zeigen die beobachteten Veränderungen:

Kaninchen 1725 Grm. schwer.

Zeit	Temperatur des Rectum	Anmerkungen
	38,8 ^o	
Nach 4 Min.	38,5 ^o	Vergiftet. Athmen selten. Reflexe schwach.
- 15 -	38,8 ^o	Völlig hergestellt.

*) Van Hasselt, Handbuch der Giftlehre, bearbeitet v. Henkel. S. 367. (Grisolle, Traité de pathologie interne.)

**) Der Thermometer wurde zwischen den Schneide- und Mahlzähnen eingeführt und war nicht der Gefahr zu zerbrechen ausgesetzt.

	Zeit	Temperatur des Rectum	Anmerkungen.
Nach	4 Min.	37,6°	Sehr stark vergiftet. Athmet selten.
-	30 -	38,2°	Hergestellt.
-	4 -	37,2°	Wieder vergiftet.
-	1 -	36,5°	Noch vergiftet.
-	30 -	37,7°	Hergestellt.
-	4 -	37,4°	Wieder vergiftet.
-	30 -	38°	Hergestellt.
-	20 -	38,6°	Ganz munter.

Dasselbe Kaninchen am Abende.

	Zeit	T. recti	des Ohres	des Mundes	Anmerkungen
		39,6°	39,4°	39,6°	
Nach	2 Min.	39°	38°	38,4°	Vergiftet.
-	2 -	38,7°			
-	1 -	38,4°	37,2°	38,4°	
-	1 -	38,2°		38,2°	Noch vergiftet.
-	20 -	38,6°	38,2°	38,4°	Erholt sich.
-	30 -	39,4°	39,4°	39,6°	Ist hergestellt.

Kaninchen, 1490 Grm. schwer.

	Zeit	T. recti	des Ohres	Anmerkungen
		40,1°	39,5°	
Nach	1 Min.	39,8°	38,5°	Vergiftet.
-	1 -	39,8°	38,4°	
-	1 -	39,6°	38,4°	Noch vergiftet.

Dasselbe Kaninchen am anderen Tage.

	Zeit	T. recti	des Ohres	Anmerkungen
		39,9°	39,2°	
Nach	3 Min.	38,9°	38,2°	
-	1 -	38,9°	37,7°	
-	1 -	38,6°	37,7°	Vergiftet.

Katze.

	Zeit	T. recti	Anmerkungen
		39,3°	
Nach	2 Min.	38,6°	Vergiftet. Der Puls ist von 180 auf 70 gefallen.
-	5 -	38,6°	Der Puls ist bis auf 150 gestiegen.
-	2 -	36,6°	Noch vergiftet. Puls 40, unregelmässig. Tod.
		36,6°	

Hund von mittlerer Grösse.

	Zeit	T. recti	Anmerkungen
		38,9°	Puls 156.
Nach	2 Min.	38,1°	Vergiftet. Puls 72.
-	2 -	36,9°	Noch vergiftet. Puls 76.

Der Thermometer wurde nicht herausgenommen. Deswegen konnte man die Ordnung der Temperaturabnahme, was die erste halbe Minute auf 0,1° geschah, beobachten; beständig abnehmend, fiel die Temperatur auf 0,8° C. in 2 Minuten.

Derselbe Hund ist an den Tisch gebunden zum Versuche mit dem Manometer.

Zeit	Athmen in Minut.	Puls in Minut.	Der Blutdruck in Millim.	Temperatur des rechtl. Herzens	Temperatur der Vagina	Anmerkungen.
Nach	30	156	120	38,9	39,1	
30 Sec.	36	150	120	38,6		Der Hund wird mit Hilfe des Trichters vergiftet.
30 -	unbem.	140	unbemerkt	38,2	38,9	Der Hund ist unruhig.
30 -	26	120	130	37,8		Idem.
1 Min.	20	unbem.	100	37,6	38	Das Thier ist paralysirt.
1 -	12	96	90-80 80-60	37,6	37,5	Keine Reflexe. Künstliches Athmen. Es zeigen sich Reflexe beim Reize des Auges. Der Hund geneset.
2 -	12	72	40 40-100	37,6	37,5	
4 -	34	156	120	37,5	37,5	
5-8 -	34	156	116	37,6	37,6	Ist hergestellt.
8 -	18	50	90-60	37,5	37,7	Wieder vergiftet. Blinzeln der Augenlider bei Reiz des Auges.
3 -	unbemerkt		80-110	37,4	37,5	
9 -	38	150	110	37,2	37,4	Geneset.
1 -	20	70	110-48	36,9	37,3	Wieder paralysirt.
1 -	14		48-90	36,8	37,2	Geneset.
1 -	36	100	100	36,7	37,1	
2 -	36	140	110	36,6	37,0	Ist hergestellt.
6 -	40	156	110	36,7	36,8	
5 -	12	40	90-60	36,6	36,8	Völlig paralysirt. Ungleichmässiges, tiefes Athmen. Einzelne Pulsschwingungen = 5 Millim.
1 -	8	40	40	36,6	36,8	Endlich = 0.
3 -	4	36	20-4-5-7	36,4	36,6	
1 -	0	0	3-0	36,4	36,6	Tod.

Ein anderer Hund von mittlerer Grösse.

Zeit	Puls	Blutdruck in Millim.	Anmerkungen
	90	102	
Nach 5 Min.	60	174-166	Vergiftet, sehr unruhig.
		100	

Zeit	Puls	Blutdruck in Millim.	Anmerkungen
- 1 -	42	50	Das Athmen ist sehr selten und sehr tief.
- 1 -	40	30	Nur ein Auge ist etwas reizbar.
- 2 -	60	50	
- 1 -	100	100	Geneset.
- 2 -	42	30	Noch vergiftet.
- 2 -	40	30	Leichte Reflexe beim Berühren des Auges.
- 1 -	90	100	

Derselbe Hund den anderen Tag. In die rechte Vena jugularis ist ein Thermometer in der Richtung nach dem Herzen gesteckt.

Zeit	Puls	Blutdruck in Millim.	Anmerkungen
	90	105	Temperatur im rechten Herzen 38,9°.
		186	Der Hund hat seine Schnauze befreit.
		172	Ist sehr unruhig. Der zerbrochene
Nach 1 Std. 15 Min.	160	180	Thermometer blieb im Herzen. Wieder
- 1 -	100	60	angebunden und vergiftet. Reflexe
			nur bei Reiz des Auges.
- 2 -	180	118	Hergestellt.
- 1 -	180	186	
- 1 -	84	86	Wieder stark vergiftet.
- 1 -	60	66	Totale Paralyse. Tod.
- 1 -	30	46-20-16	Bei der Section wurde das Thermometer-
			kügelchen in der rechten Vorkammer
			gefunden. Die zerbrochene Röhre
			steckte in deren Muskelwand.

Ein neuer Hund mittlerer Grösse.

Zeit	T. V. jugularis	T. vaginae	Anmerkungen
	38,8°	39°	Der Thermometer ist in die rechte Vena
			jugularis eingeführt.
Nach 30 Sek.	38,7°	39°	Der Hund ist stark mit Hülfe des Trich-
- 30 -	38,6°	39°	ters vergiftet. Reflexe werden kaum beim
- 30 -	38,4°	38,9°	Reize des Auges erhalten.
- 1 -	38,2°	38,6°	
- 1 -	38,2°	38,6°	Der Hund geneset.
- 2 -	38,2°	38,6°	
- 3 -	38,3°	38,7°	
- 8 -	38,5°	38,7°	Vollkommen hergestellt.
- 10 -	38,7°	38,9°	
- 15 -	38,8°	39°	
- 15 -	38,8°	39°	

Hund mittlerer Grösse. Normaler Seitendruck in der Carotis. 150 Millim. Beide Vagi durchschnitten. Blutdruck 220—240. Bei Reizung des peripherischen

Endes des Vagus 180—120—80—60—40. Das Thier hat sich erholt — 120. Es ist durch Kohlenoxyd vergiftet: 120—80 60—40. Alsdann steigt der Blutdruck etwas, 30—50—80. Reiz des peripherischen Endes des Vagus — Stillstand des Herzens und Verschwinden des Seitendruckes in den Arterien. Künstliches Athmen — dem Thiere wird besser, Druck 90 Millim. Vergiftung durch Kohlenoxyd — Verschwinden des Seitendruckes in den Arterien und Tod.

Die Resultate aus diesen Tabellen sind, wie es scheint, sehr bestimmt durch die Stabilität der bei ein und denselben Bedingungen erhaltenen Erscheinungen, namentlich: 1) Die Temperatur der Gewebe und des Blutes der durch Kohlendunst erkrankten Thiere sinkt beständig; 2) dieses Sinken geschieht sehr rasch. Eine halbe Minute nach den ersten Einathmungen von Kohlenoxydgas erhält man schon Sinken der Temperatur auf $0,1^{\circ}$ — $0,2^{\circ}$ C. Dieses geht bis auf 1° — $1,5^{\circ}$ C., und bei wiederholtem Athmen bis auf 2° — 3° C. 3) Zuerst sinkt die Temperatur des Blutes, alsdann die der übrigen Gebiete des Körpers. 4) Hört das Einathmen von Kohlenoxydgas auf, so fängt die Temperatur aller Gewebe und des Blutes gleichzeitig zu steigen an und gelangt zur Norm in 30 Minuten bis einer Stunde, oder auch etwas mehr, wenn das Thier wiederholt und stark einige Male nacheinander vergiftet wurde. 5) Der arterielle Druck sinkt stets sehr bedeutend gleich nach Eintritt von bedeutender Schwäche oder Verschwinden der Reflexe, gleichzeitig mit Verlangsamung des Athmens und des Herzschlages. 6) Mit Wiederherstellung der Reflexfähigkeit wachsen Athmen, Herzschlag und Blutdruck wieder zur Norm heran, dabei werden alle diese Momente sehr rasch hergestellt. Die wiederhergestellte Häufigkeit des Pulses überstieg die vor der Vergiftung gewesene auf sehr kurze Dauer, 5—8 Minuten. 7) Die Durchschneidung der Vagi ändert nicht die Reihenfolge und den Grad dieser Erscheinungen bei der Einwirkung von Kohlenoxydgas. 8) Die Vergiftung durch Kohlenoxydgas paralysirt den Vagus selbst nicht. Zur Bestätigung des letzteren Resultates führe ich folgende Umstände an.

An allen unter der Einwirkung von Kohlenoxydgas gestorbenen Thieren, denen sogleich die Brust geöffnet wurde, beobachtete ich noch einzelne Herzschläge. Bei einer Katze dauerten sie ein Mal eine volle halbe Stunde nach dem Tode fort, indem sie immer schwächer wurden und endlich sich nur noch auf die

Arterien und auf einzelne Stellen der Muskelwand beschränkten. In allen diesen Fällen brachte die Reizung des Vagus durch den inductiven Strom Stillstand des Herzens in Diastole und zugleich Bewegung des Magens und der Eingeweide hervor. Einige Sekunden darnach begannen die Herzschläge von Neuem, wurden schwächer und hörten wieder auf, sobald die Vagi von Neuem gereizt wurden, und stellten sich wieder bei Ruhe derselben ein u. s. w. Die unter der Einwirkung von Kohlenoxyd verlangsamten Herzschläge hörten bei Reizung des Vagus vollkommen auf; alsdann erneuerten sie sich wieder bei Ruhe, blieben wieder bei Reizung des Vagus aus und stellten sich wieder bei Ruhe desselben ein u. s. w.

Indem ich die Frage über die Reizbarkeit der Nerven überhaupt unter der Einwirkung von Kohlenoxyd bei so eben vergifteten Säugethieren weiter verfolgte, fand ich, dass der Phrenicus, gereizt, Contractionen des Zwerchfells verursachte. Reizung des Splanchnicus hemmte die Bewegungen des Magens und der Eingeweide, die durch Reizung des Vagus in Bewegung versetzt waren. Diese beiden Erscheinungen konnte man abwechselnd mehrere Male erhalten. Die Anlegung der Elektrode auf die näher zum Herzen gelegenen Theile des Sympathicus rief häufigere Herzschläge hervor, oder verursachte sie sogar, wenn sie durch den N. vagus gehemmt waren. Weiter rief durch inductiven Strom hervorgebrachte Reizung eines jeglichen peripherischen Nerven einzeln und ganzer Geflechte, so wie auch deren Durchschneidung 15 — 20 — 30 Minuten nach dem Tode, Contraction der entsprechenden Muskelgruppen hervor. Durchschneidung oder elektrische Reizung des Rückenmarkes auf verschiedenen Höhen, in bestimmten Zeiträumen, rief stets Contraction beider Hinterextremitäten hervor. An Fröschen wurden alle diese Erscheinungen der Reizung und Durchschneidung bald der Nerven, bald des Rückenmarks einige Stunden, oft aber auch einige Tage nach dem Eintritte der totalen Paralyse unternommen. Directe Reizung der Muskeln durch irgend etwas wurde auch stets von deren Contraction begleitet. Nie wurden nur reflectorische Contractionen erhalten. Um gründlicher über die Reizbarkeit der Nerven und Muskeln unter der Einwirkung von Kohlenoxyd, so wie auch über die Reihenfolge des Verschwindens

der Reflexe urtheilen zu können, habe ich Folgendes gethan: ich durchschnitt die enthäuteten Hinterschenkel eines Frosches in der Kniearticulation, den N. ischiadicus aber viel höher. Es wurden die Nerven auf Meissner's Elektrode (von Zink, belegt mit Papierstückchen, die mit einer Lösung von schwefelsaurem Zink und ausserdem noch mit anderen, die mit Eiweiss befeuchtet sind) in ein und derselben Richtung, und in gleicher Entfernung von den Muskeln gelegt. Es wurde so die geringste Grösse des Inductionstromes, die hinreichend ist, die geringste Muskelcontraction hervorzubringen, bestimmt. Die Kraft des Inductionstromes wurde nach der Entfernung zwischen der ersten und zweiten Spirale gemessen. Die Contraction war so ziemlich an beiden Schenkeln gleich. Als Elektromotoren dienten zwei kleine Elemente von Grove. Jeder Schenkel wurde auf einem feuchten Bausche unter ein apartes Glas über Wasser gebracht, von denen das eine mit Kohlenoxydgas, das andere mit gewöhnlicher Luft gefüllt war. Um das Austrocknen zu verhüten, wurden die Nerven auf einen feuchten mit Froschblut benetzten Muskel gelegt. Nach Verlauf von 1—2—3 Stunden wurde die Reizbarkeit der Nerven auf eben solche Weise geprüft. Sie blieb für beide Schenkel gleich unverändert, obgleich das die Oberfläche des Muskels bedeckende Blut unter der Einwirkung von Kohlenoxyd augenscheinlich die Farbe veränderte. Ebenso wurden auch die Mm. gastrocnemii geprüft. Ihre Reizbarkeit blieb nach Verlauf von 3—4 Stunden unverändert. Ich fand es für unnütz, die sich in ihnen verzweigenden Nerven zu paralisieren (mit Curare oder einem starken Strome in aufsteigender Richtung), da ich mich durch vorhergehende Versuche von der Unveränderlichkeit der Nervenreizbarkeit bei der Einwirkung von Kohlenoxyd überzeugt hatte.

Versuche anderer Art mussten die Wirkung von Kohlenoxyd auf die Endigungen der Gefühlsnerven zeigen. In der französischen Literatur ist schon mehrmals die Meinung ausgesprochen, dass das Kohlenoxyd wie ein örtliches Anästheticum, dem Chloroform gleich, wirke (Tourdes, Gaz. de Strasb. 1. 1857.; Coze, L'Union méd. 5. 1857.). Es wurden sogar örtliche Kohlenoxydgas-Douchen bei Krebs des Gebärmutterhalses, bei Coxalgia u. s. w. sogar mit Er-

folg gemacht. Ozanam sagt sogar, dass das Kohlenoxyd nur auf eine der Epidermis beraubte Stelle eine augenscheinliche anästhetische Wirkung hervorbringe. Tourdes, welcher Thiere mit Kohlenoxydgas vergiftete, nennt die Erscheinungen der Paralysis geradezu anésthésie u. s. w.

Nachdem der Grad der Reizbarkeit der Hinterextremitäten des Frosches zur Lösung einer Säure von gewisser Stärke bestimmt war, wurde das Thier an einem Korke befestigt. Ein Schenkel steckte in einem über Wasser stehenden und mit Kohlenoxyd gefüllten Probirgläschen, der andere aber in einem mit gewöhnlicher Luft gefüllten. Nach 3—6—10 Stunden wurde von Neuem die Reizbarkeit der Schenkel zu derselben Säure bestimmt und man fand sie unverändert. Hinsichtlich gewisser auf die Schenkel gelegter Gewichte, sowie auch heissen Wassers von verschiedener, jedoch bestimmter Temperatur, in welches man die Schenkel vor und nach 5—6stündigem Aufenthalte im Kohlenoxydgase legte, zeigte sich dieselbe Unveränderlichkeit der Reizbarkeit des zu vergiftenden Schenkels, im Vergleiche zum gesunden, obgleich der in Kohlenoxyd gebrachte Schenkel immer eine Farbenänderung (Röthung) zeigte.

Dieselben Erscheinungen wurden auch in dem Falle erhalten, wenn beide Schenkel nur durch den N. ischiadicus mit dem Frosche in Verbindung, und alle übrigen Theile zwischen zwei vorläufig auf den Schenkel gelegten Ligatures en masse durchschnitten waren (um den Zufluss des vergifteten Blutes des in Kohlenoxydgas getauchten Schenkels zu verhüten), und ein Schenkel auf 3—4 Stunden in ein Probirgläschen mit Kohlenoxyd, der andere in ein solches mit Luft gesteckt wurde. Nach 30 Minuten bis 1 Stunde wurde ersterer stets röther, der andere aber veränderte nicht die Farbe. Ebenso veränderte sich nicht die Reizbarkeit der Haut der Säugethiere nach reichlichen Unterhauteinspritzungen von Kohlenoxyd.

Die Reihenfolge des Verschwindens der Reflexe wurde auf folgende Weise bestimmt. Man merkte sich die Empfindlichkeit des Frosches für eine Lösung einer Säure von bestimmter Concentration. Darauf wurde der Frosch in eine Atmosphäre von Kohlenoxyd gebracht, und jede halbe Stunde wurde seine Empfindlichkeit

(Reflexfähigkeit) zu derselben Säure untersucht, und es zeigte sich, dass nach einer halbstündigen Anwesenheit in Kohlenoxyd die Reflexe oft früher als vorher eintraten, jedoch nach einer Stunde begann die Reflexfähigkeit beständig zu sinken und nach 3—4 Stunden verschwand sie vollkommen. Die zeitweise Verstärkung der Reflexfähigkeit war übrigens keine constante Erscheinung.

Aus allen diesen Versuchen ist es evident, dass unter der Einwirkung von Kohlenoxyd weder die Gefühls-, noch Bewegungsnerven, so wie auch die Muskeln sich in Hinsicht ihrer Reizbarkeit verändern. Es werden folglich nur die Nervencentra des Rückenmarksystems paralytisch. Das Rückenmark, als Leiter, bleibt verschont. Dasselbe gilt auch für die sympathischen Centra (Erweiterung der Pupille, rhythmische Contractionen des Herzens, Bewegung der Eingeweide, die Erscheinungen der Reizung des Splanchnicus und anderer Abtheilungen des sympathischen Stromes). Folglich sind die Ansichten genannter Autoren in Hinsicht der anästhesirenden Wirkung des Kohlenoxydes vollkommen falsch und auf Zufälligkeit gegründet. Das Schwächerwerden und die Paralysis der Reflexfähigkeit ist evidenter Weise der Ausdruck der Paralysis der Centra. Es scheint mir sogar die vermehrte Reizung des sympathischen Nervensystems in den ersten Momenten der Paralysis der Rückenmarkscentra zulässig, gestützt auf die Dauer der Herzcontractionen, die noch nach der Paralysis bei Säugethieren fort dauern, sowie auch auf die Dauer der Bewegung der Eingeweide und noch mehr auf die Erscheinungen des Auges. — Bei diesen Erscheinungen verweile ich einige Zeit, weil sie bedeutendes Interesse bieten. Sie traten ohne Ausnahme jedes Mal ein und stimmten der Zeit nach mit den ersten Momenten der Paralysis überein. Hervorstarren der Augen geschieht gleichzeitig mit von vorn nach hinten gehender Axendrehung derselben (Verdrehung der Augen — eines der Symptome von Kohlendunstvergiftung), so dass die Augen eine solche Lage einnehmen, dass sie wie für einen unendlichen Raum accommodirt erscheinen. So wie diese Erscheinungen, so geschieht auch die Erweiterung der Pupille allmählig, indem sie ihr Maximum in 5—10 Sekunden erreicht. Dabei wird der Boden des Auges höchst blass. Die Gefässe der

Chorioidea und der Retina scheinen im Auge eines weissen Kaninchens bei ophthalmoskopischer Untersuchung bedeutend verengt. Letztere Erscheinung steht augenscheinlich in Verbindung mit der Vermehrung des Druckes im Innern des Auges. Denn vorsichtiges Durchstechen der Cornea und Herauslassen des Humor aqueus verhindert die Verengerung der Gefässe des Bodens des Auges, bei gleichzeitiger Beibehaltung aller übrigen Erscheinungen und des fast vollkommenen Verschwindens der rothen Streifen der Gefässe auf dem Boden des anderen Auges. Die Vermehrung des Druckes im Innern des Auges wird durch den von zwei entgegengesetzten Seiten auf den Augapfel wirkenden Druck bedingt. Das Hervorstarren desselben wird, nach H. Müller, durch einen glatten Muskel — *M. orbitalis*, der sich auf dem Boden der Augenhöhle befindet, die freien Zwischenknochenräume ausfüllt und von hinten nach vorn wirkt, hervorgebracht; aber diesem Hervorstarren widerstrebt die Elasticität der geraden Muskeln des Auges, die von vorn nach hinten wirkt. Alle diese Erscheinungen erhielt ich in derselben Reihenfolge bei Reizung des oberen Knotens des Hals-theiles des Sympathicus.

Andererseits wurde die Vergiftung durch Kohlenoxyd an Kaninchen, an denen zuvor von einer Seite ein Stück des Halstheiles des Sympathicus mit dem oberen Knoten ausgeschnitten war, von Erscheinungen folgender Art begleitet: das Auge der operirten Seite starrte weniger hervor, und die Pupille erweiterte sich bedeutend schwächer, als auf der gesunden Seite. Ebenso wurde auch keine Verengerung der Gefässe am Boden des Auges auf der kranken Seite wahrgenommen.

Ausser Allem diesen ist noch das Verhalten der Erweiterung der Pupillen nach dem Tode an mit Dunst vergifteten Thieren bemerkenswerth. Bald nach dem Tode nimmt das hervorstarrende Auge seine normale Lage ein, die Erweiterung der Pupille aber verharret der eintretenden Todtenstarre ungeachtet noch einige Stunden. Nur nach Verlauf von 6—8—10 Stunden verringerte sie sich bis zur normalen Grösse, und das auch nur in den Fällen, wenn das Auge geöffnet blieb. Trat die Todtenstarre aber bei dem Thiere mit geöffneten Augen ein, so verschwand die Erweiterung der Pu-

pillen nicht. blieb ein Auge offen, das andere zu, so verengerte sich nur die Pupille des geöffneten Auges *). Ausser der Verkleinerung der Pupille erlitten die geöffneten Augen noch leichtes Austrocknen der Cornea und Trübung der Linse. Wurde das Austrocknen durch Befeuchten mit einem nassen auf die Augen gelegten Lappen verhindert, so fand dennoch die Verengerung der Pupille an dem nicht ganz vor dem Einflusse des Lichtes durch einen Lappen geschützten Auge statt, und garnicht an dem vollkommen verdeckten. Auf das Gesagte gestützt, könnte man glauben, dass die Reizung und die Reizbarkeit der Nervenknotten, von denen die Contraction des Dilator iridis abhängt, so wie auch die Reizbarkeit des Muskels selbst nach dem Tode durch Dunstvergiftung sehr lange noch vorhanden sei, und dass der endlich eintretenden Paralysis des sympathischen Nervensystems stets ihr Erregungszustand vorangeht. Die Lichteirregbarkeit der Iris nach dem Tode ist von H. Müller bewiesen.

Was das Sinken der Temperatur bei an Kohlendunst erkrankten Thieren anbelangt, so kann man in dieser Hinsicht nicht Cl. Bernard, der dasselbe der Störung der Blutcirculation zuschreibt, beistimmen (C. Bernard, *Leçons sur les substances toxiques et médicamenteuses*, p. 368), da doch das Sinken der Temperatur des Blutes gleich nach den ersten Einathmungen von Kohlenoxyd eintritt, irgend einer Störung vorausgeht und nur mit dem Eintritt der charakteristischen Blutfärbung zusammenfällt. Auf den letzteren Umstand — die charakteristische Blutfärbung, die sich nach einigen Einathmungen von Kohlenoxyd in der Vena jugularis zeigt — gestützt, will Bernard sogar über die Zeit des vollen Blutkreislaufes urtheilen und hält denselben für länger dauernd, als es andere Experimentatoren angeben.

*) Bei einer gerichtlich-medicinischen Section eines durch Kohlendunst vergifteten starken Mannes sah ich diese Erscheinung. Eine Pupille war weiter, die andere enger ohne alle Verwachsung der Iris. Die Cornea des zweiten Auges war runzlig und welk, die des ersten aber bedeutend saftreicher; das letztere war halb offen. Das andere Mal an einer jungen Leiche (eines 18jährigen durch Kohlendunst vergifteten Mannes) waren beide Pupillen bedeutend erweitert, die Augenlider zu, die Cornea sehr trübe.

Weiter werden wir sehen, was man von dieser längeren Dauer zu denken hat. Auf das Sinken der Temperatur des Blutes unter der Einwirkung von Kohlenoxyd, ist es unmöglich anders zu sehen, als auf den Ausdruck der Unterdrückung der chemischen Prozesse im Blute, in Folge deren die Fähigkeit der Resorption des Sauerstoffs in den Blutkörperchen, die mit Kohlenoxyd eine Verbindung eingegangen sind, verloren gegangen ist. Weiter werden wir die Bestätigung dieser Ansicht von Seiten der auszuathmenden Luft finden. Nur von diesem Standpunkte aus kann man sich die Schnelligkeit des Sinkens der Temperatur erklären. Noch mehr, durch diese Eigenschaft des vergifteten Blutes lassen sich alle übrigen Erscheinungen der Vergiftung und die Art des Todes bei Kohlendunstvergiftung erklären. Bei Mangel an Sauerstoff im Blute (Tod in Wasserstoffgas, Stickstoff, schon nicht so analog bei Unterbindung der Luftröhre. Alle dabei erhaltenen Erscheinungen sind mit denen der Kohlenoxydvergiftung identisch. Specielle Erscheinungen der Vergiftung durch Kohlenoxyd, die von denen des Mangels an Sauerstoff verschieden wären, gibt es nicht), folgt gleich nach vorhergehender, kurz dauernder Erregtheit der Rückenmarkscentren (tiefe Einathmungen, Unruhe der Thiere, Krämpfe), rasch deren Paralysis (vollkommenes Aufhören der Empfindung und Bewegung, Aufhören des Athmens, Verlangsamung und Aufhören der Herzschläge). Aber aus diesem Zustande der Paralysis erholen sich die Thiere bei Erneuerung des Zutrittes von Sauerstoff in das Blut (künstliches Athmen in gewöhnlicher Luft). Das Ueberleben der Muskelreizbarkeit und sogar deren grössere Dauer, die von Bernard bewiesene ungestörte Leitungsfähigkeit der Nerven, des Rückenmarks und endlich des sympathischen Nervensystems, und nur die später folgende Paralysis der letzteren — alle diese Umstände, ich wiederhole es noch einmal, sind ganz dieselben, wie wir sie auch bei der Vergiftung mit Kohlenoxyd gesehen haben. Ausserdem halten es Thiere, die längere Zeit eine Atmosphäre mit Kohlenoxyd vertragen, auch länger ohne Sauerstoff aus. Schaben leben ebenso lange in Kohlenoxydgas, wie auch in Wasserstoff oder Stickstoff.

Bei allmählicher Entbehrung von Sauerstoff, so wie auch bei

langsamer Kohlendunstvergiftung passt sich das Thier allmählig diesen Umständen an, und stirbt es endlich, so geschieht dieses ohne vorhergehende Krämpfe. Der Unterschied in beiden Fällen kann in Folgendem begriffen sein. Das Kohlenoxyd, indem es sich mit dem Blute vereinigt, verdrängt den Sauerstoff der Blutkörperchen und hindert ihn absorbirt zu werden; das Athmen dagegen in Wasserstoff oder Stickstoff hinterlässt dem Blute doch noch den Sauerstoff, der in ihm schon früher vorhanden war, und hindert den Sauerstoff nicht absorbirt zu werden, wenn welcher zugegen ist. Was den Tod durch Unterbindung der Trachea anbelangt, so muss er sich von dem durch Dunstvergiftung durch Aufhalten von Kohlensäure im Blute unterscheiden. Cl. Bernard vergleicht auch den Tod durch raschen Blutverlust mit dem durch Kohlenoxydvergiftung in der Hinsicht, dass in letzterem Falle ebensoviel Blutkörperchen aus dem Organismus entfernt seien. Natürlich kann man dasselbe nicht vom Blutserum sagen, da auf die Lösung desselben, des Sauerstoffs — das Kohlenoxyd keinen Einfluss ausüben kann.

Folglich ist die enorme Giftigkeit des Kohlenoxyds nur durch den Mangel des Sauerstoffs im Blute bedingt, in Folge des Verlustes seiner Eigenschaft, Sauerstoff zu binden und Träger desselben im Organismus zu sein. In diesem Sinne ist das Wesen des Todes bei Vergiftungen durch Kohlenoxyd schon von Cl. Bernard erklärt in seinen im Jahre 1856 gehaltenen *Leçons sur les substances toxiques et médicamenteuses*. Jedoch ist einerseits in seine Erklärung unnützer Weise der conditionelle Begriff der Asphyxie hineingebracht, als eines solchen Zustandes des Organismus, in welchem im Blute der Gehalt an Sauerstoff vermindert, und die Ansammlung von Kohlensäure vermehrt ist, andererseits werden die Erscheinungen der Asphyxie unrichtiger Weise verneint. Hier seine Worte: „Il y aurait donc empoisonnement par manque d'oxygène, ou asphyxie, bien que cependant les caractères, habituellement signalés de l'asphyxie ne se rencontrent pas. Il serait nécessaire, pour comprendre cette espèce nouvelle d'asphyxie, d'élargir la définition et d'y faire la part d'une asphyxie avec sang rouge. Ici l'oxygène ne peut plus entrer, l'acide carbonique ne peut plus sor-

tir (l. c. p. 196). Darüber wird die Rede weiter unten sein. Dennoch existiren charakteristische Merkmale der Asphyxie. Sie erscheinen sehr deutlich nach dem Tode, wie auch die Sectionen der nur eben durch reines Kohlenoxyd vergifteten Thiere es gezeigt haben; alle diese Erscheinungen können ganz folgerecht aus der Grundeigenschaft des durch Kohlenoxyd vergifteten Blutes, aus seinem Mangel an Sauerstoff gefolgert werden. Dadurch werden die Erscheinungen, die das Nervensystem betreffen, leicht erklärt, die Veränderungen aber der Respiration und der Thätigkeit des Herzens können sogar aus ihnen gefolgert werden. Bei tiefen Inspirationen, welche immer seltener und seltener werden und Folgen einer Lähmung des verlängerten Markes, welcher die Erregung desselben vorausging, sind, erweitert sich der Brustkasten immer mehr und mehr. (Bei Fröschen, die durch Kohlenoxyd gelähmt wurden, waren die Lungsäcke sehr ausgedehnt.) Dadurch wird der Zufluss des Blutes zum rechten Herzen und die Ansammlung des Venenblutes im Venensystem erleichtert. Die dabei entstandene Erhöhung des Respirationsdruckes in Folge der Zunahme der elastischen Kraft des erweiterten Brustkastens und der Thätigkeit der Ausathmungsmuskeln einerseits, andererseits die Vergrößerung der Widerstände im Blutkreislaufe der Lungenarterie in Folge der Ausdehnung der Lungensubstanz vermehren ausserordentlich den Seitendruck in ihrem Bette. Dadurch werden die Blutergüsse in den Lungen und deren Oedem bei jungen Thieren erklärt. Die Summe dieser Umstände bedingt die geringere Füllung des linken Herzens und des ganzen arteriellen Systems mit Blut und das Sinken ihres Seitendruckes. Jedoch werden alle Erscheinungen, die das Herz betreffen, dadurch noch nicht erklärt, wie die Verlangsamung der Herzcontractionen, besonders bei Fröschen mit ausgeschnittenem Brustknochen, so auch selbst die durch die enorme Grösse des Sinkens bemerkenswerthe Verminderung des arteriellen Druckes. Dazu kommt noch, dass, bevor die Respirationsbewegungen beim Beleben des Thieres hergestellt sind, schon der arterielle Druck mit dem ersten Erwachen der reflectorischen Thätigkeit seine frühere Grösse erreicht.

Zur Erklärung des schon Gesagten ist es nöthig, seine Zu-

flucht wiederum zur Lähmung der Centra zu nehmen. Seit der Entdeckung durch Bezold des centralen herzbewegenden Mechanismus (siehe Referat im Centralblatte für medicinische Wissenschaften 1863. No. 39), der sich im verlängerten Marke befindet und seine Fäden durch das ganze Rückenmark und dann durch den Sympathicus zum Herzen schickt, ist man berechtigt, über die Thätigkeit desselben bei verschiedenen Variationen der Herzcontractionen zu sprechen. Die Reizung dieses Centrums bewirkt eine vergrößerte Frequenz der Herzcontractionen und eine Erhöhung des arteriellen Druckes, die Isolirung aber vom Herzen, — Sinken der Frequenz der Herzcontractionen und des arteriellen Druckes. Dasselbe muss auch eine Lähmung dieses Centrums unter dem Einflusse von Kohlenoxyd bewirken. Nur durch diese Lähmung des herzbewegenden cerebrospinalen Centrums, zusammengefasst mit den erwähnten mechanischen Momenten kann man sich das enorme Sinken des arteriellen Druckes und die verminderte Frequenz der Herzcontractionen erklären, besonders aber die verminderte Herzthätigkeit bei durch Kohlenoxyd vergifteten Fröschen, nach der Exstirpation des Sternums und der Blosslegung des Herzens, in welchem letzterem Falle der Einfluss der Respiration auf den Blutkreislauf vollkommen eliminirt ist.

Zur Bestätigung dieser Erklärung besitze ich folgenden experimentellen Beweis. Nachdem ich 8 Fröschen nach vorausgegangener Durchschneidung der Vagi die Medulla oblongata vom Cervicaltheile des Rückenmarkes getrennt hatte, sah ich immer nach kurzdauernder Vergrößerung der Frequenz der Herzschläge eine Verminderung derselben von 60—48 bis auf 20—16—12. Bei solchen Fröschen entstand in einer Atmosphäre von Kohlenoxyd schon keine weitere Verminderung der Frequenz der Herzcontractionen, während die Wirkung des Kohlenoxyds sich deutlich durch vollkommene Lähmung aller übrigen cerebrospinalen Centra zeigte.

Die Restitution nach Vergiftungen durch Kohlenoxyd.

Nachdem ich die Erscheinungen der Vergiftung, ihr Wesen und die Art des Todes erörtert habe, gehe ich zu den Restitutionserscheinungen über. Kommt nach den Erscheinungen der vor-

übergehenden Lähmung das Thier zu sich, sei es dass es entweder nicht stark vergiftet oder dass ihm vermittelt künstlicher Respiration der Blutkreislauf unterhalten wird, und die Centra zur Thätigkeit angeregt sind, so kann es sich noch einige Zeit nicht willkürlich bewegen, oder es schleppt seine Füsse, ist aber nach Verlauf von 3—5—8 Minuten seiner Bewegungen vollkommen mächtig; die Respiration, die Herzcontractionen, die Augen werden normal. Die Temperatur des Blutes und der Organe steigt bis zur normalen Grösse im Verlauf von 20—30—50 Minuten, zuweilen aber nach wiederholten starken Vergiftungen im Verlauf einer Stunde oder 70—80 Minuten nach der letzten Vergiftung. Zugleich verändert sich auch die Farbe des Blutes, indem sie der normalen immer ähnlicher wird. Diese Veränderung ist der Beobachtung an dem, erwähneter Weise, entblösten Froschherzen sehr zugänglich. Zur Bestimmung dieses Umstandes an Säugethieren verfuhr ich mit denselben folgendermaassen: ich zapfte alle 5—10 Minuten von einem grossen Hunde, welcher durch Kohlenoxyd vergiftet und durch künstliche Respiration am Leben geblieben war, aus der V. jugularis kleine Portionen Blut (5—8 Ccm.). Vor der Vergiftung wurden 10 Ccm. Blut aus der nämlichen Vene gelassen. Das Zimmer wurde vordem gelüftet und die Vergiftung im Nebenzimmer vollführt, so dass die mögliche directe Wirkung des Kohlenoxyds auf das Blut unmöglich war. Diese Portionen wurden in dünnen Schichten, nach der Farbe des Schaumes bestimmt und mit Aetznatron geprüft; dabei erwies es sich, dass das völlige Verschwinden der charakteristischen Färbung, und die Abwesenheit der Reaction mit Aetznatron nicht früher als 18—25—30 Minuten und nicht später als 40 Minuten erschien. Uebrigens boten schon die letzten Portionen grössere Schwierigkeiten bei der Bestimmung ihrer Farbe. Das Experiment wurde das zweite und dritte Mal wiederholt und gab dieselben Resultate. Bedeutend exacter konnte man die Farbe des Froschherzens bestimmen. Bei zwei grossen Fröschen mit exstirpirtem Sternum war das Herz blossgelegt; seine Farbe war intensiv dunkelroth. Der eine wurde in eine mit atmosphärischer Luft, der andere in eine mit Kohlenoxyd gefüllte Glocke gebracht. Nach Verlauf von 10—15 Minuten

röthete sich das Herz des letzteren, nach Verlauf einer halben Stunde folgten tiefe Respirationen und Verschlucken von Luft, hierauf athmete der Frosch nur selten und schliesslich nur beim Kneipen der Haut; nach etwa 2 Stunden war der Frosch gelähmt, und es waren keine respiratorischen Bewegungen mehr vorhanden. Reflexe konnten durchaus nicht hervorgerufen werden. Nur die Erregung des Auges rief eine langsame Schliessung der Augenlider hervor. Die Frequenz der Herzcontractionen war vermindert, die Vorhöfe ausgedehnt. Die Farbe des Herzens war intensiv carmoisin-roth. Der Frosch wurde herausgenommen und es wurde einige Mal mittelst einer engen Röhre Luft in den Larynx hineingeblasen, worauf nach Verlauf einer halben Stunde bei Reizung der Haut sich respiratorische Bewegungen zeigten; der am Rücken gefasste Frosch schrie. Die Farbe des Herzens war dunkler. Nach Verlauf einer Stunde sprang der Frosch, beim Drucke auf die Pfote desselben, vom Teller. Die Farbe des Herzens zeigte noch immer eine violettartige Schattirung. Nach Verlauf von $1\frac{1}{2}$ — 2 Stunden wurde die Farbe des Herzens der eines nicht vergifteten Frosches gleich. Die Thiere lebten darauf noch einige Tage. Das Experiment mit Fröschen wurde einige Male mit denselben Resultaten wiederholt. Cl. Bernard, welcher schon diese Restitution der Farbe des Blutes bei Säugethieren beobachtet hatte (abgesehen von der Zeit der Restitution) stellte die Hypothese auf, dass sich das Kohlenoxyd aus den Blutkörperchen ausscheide und ausgeathmet werde. Diese Hypothese stellte er mehrere Male auf, weil die Abwesenheit der Merkmale von Vergiftung bei langsamen Injectionen des Kohlenoxyds in das Blut, und die Unschädlichkeit der Einführung des Gases unter die Haut und in den Pleurasack, von wo verständlicher Weise sein Eintritt in's Blut ziemlich langsam war, ihn dazu veranlasste. In beiden Fällen wurde die Abwesenheit der Erscheinungen von Vergiftung der möglichen Entfernung des Gases durch die Lungen zugeschrieben. Abgesehen von der Unwahrscheinlichkeit der Ausathmung des Kohlenoxyds als solches, bei vergifteten Thieren wegen der Beständigkeit der Verbindung des Gases mit dem Blutpigmente, entscheidet sich die Frage mittelst des directen Versuches. Ich machte bei dem Thiere die

Tracheotomie, setzte durch die Oeffnung in die Trachea eine gläserne gebogene Röhre ein und verband letztere mit 2 Waschflaschen, die die Klappen ersetzten: durch die eine strömte Luft zur Inspiration, durch die andere expiratorische, welche vermittelt einer Kautschukröhre mit einem den Aspirator ersetzenden Gasometer verbunden war, wurde die expirirte Luft aufgefangen. Es werden dem Thiere 80 Ccm. Kohlenoxyd unter die Haut der inneren Fläche des Oberschenkels injicirt. In Folge dieser Injection entstand ein augenscheinliches Unterhautemphysem; nach Verlauf von 20 Minuten verschwand es. Keine Erscheinungen von Vergiftung erfolgten. Nach einer halben Stunde war das Experiment beendet. Die Luft im Gasometer wurde folgender Probe unterworfen. Die das Gas ausführende Röhre des Gasometers wurde mit zwei kleinen Röhren, welche mit trockenem Aetzkali gefüllt waren, verbunden, letztere von beiden Röhren wurde mit einer langen gläsernen Röhre, die spiralförmig gewunden war, verbunden. Das äussere Ende der Spiralaröhre wurde mittelst einer anderen Röhre mit einer zweihalsigen Flasche verbunden und ziemlich tief in frisch durchfiltrirtes Barytwasser hineingesenkt. Ein ganzer Liter ausgeathmeter Luft wurde durch das schon beschriebene Röhrensystem gepresst, und das Barytwasser blieb vollkommen durchsichtig, darauf wurde die Spiralaröhre zum Glühen gebracht, und zwei neue Liter expirirter Luft durchgeleitet, dabei veränderte sich die Durchsichtigkeit des Barytwassers durchaus nicht. Jetzt wurden 80 Ccm. Kohlenoxyd in den mit expirirter Luft (28 Liter) gefüllten Gasometer hineingeleitet, umgeschüttelt und die Luft durch das beschriebene Röhrensystem bei glühender Spiralaröhre wiederum geleitet. Nach einigen Luftblasen wurde die Oberfläche des Barytwassers schaumig und in den oberen Schichten derselben entstand eine leichte Trübung, welche bald stärker wurde. Es wurden 2 Liter Luft durchgepresst, und es bildete sich in dem abgestandenen Barytwasser ein feinpulveriger Niederschlag, der beim Zusatze einiger Tropfen Salzsäure Gasbläschen entwickelte. Ein anderes ähnliches Experiment wurde auf andere Weise wiederholt. Ein Hund war bis zur Lähmung vergiftet; als kaum die respiratorischen Bewegungen sich offenbarten, wurde er

in den bekannten Zinkcylinder gebracht, welcher hermetisch verschlossen und mit einem Aspirator verbunden war. Nach Verlauf einer halben Stunde erholte sich das Thier vollkommen und nach einer Stunde wurde es gesund herausgenommen. Das Blut hatte die normale Farbe. Die expirirte Luft zeigte nach der erwähnten Probe, die sehr acurat vollzogen war, keine Spur von Kohlenoxyd. Ein drittes eben solches Experiment ergab dasselbe Resultat.

Aus diesen drei sorgfältig angestellten Experimenten folgt sehr deutlich, dass das einst mit Kohlenoxyd verbundene Blut es nicht mehr als solches ausscheide, und dass nicht darin die Ursache der Restitution der Blutfarbe zu suchen sei. Das Wiederkehren der normalen Farbe des Blutes bei nach Dunstvergiftung auflebenden Thieren bewog mich zur Prüfung des aus dem Organismus während der Vergiftung gelassenen Blutes zu schreiten. Vor der Vergiftung wurde dem Thierte eine Portion Blut abgewonnen (in ein warmes Glas) und stark zur Zerstückelung des fibrinösen Gerinnsels geschüttelt. Das Thier wurde durch Kohlenoxyd vollkommen vergiftet. Eine andere Portion Blut wurde ihm ebenfalls entzogen und in einem anderen ventilirten Zimmer geschüttelt. Darauf wurden beide Blutsorten in verschiedenen Proportionen in gleichen Probirgläsern mit einander gemischt und ausserdem enthielt ein Probirgläsern ungemischtes gesundes, ein zweites ganz vergiftetes Blut. Alle diese Probirgläsern wurden in ein grosses Glas gethan. Hierbei zeigte sich eine deutliche Farbenscala von einer kirsch- bis zur intensiv arteriellrothen Farbe. Die Mischungen waren nach dem Verhältnisse ihrer Volumen folgender Art (+ bedeutet gesundes, — vergiftetes Blut): No. 1 + 10 Ccm., No. 2 + 9—1, No. 3 + 8—2, No. 4 + 5—5, No. 5 + 2—8, No. 6 + 1—9, No. 7 — 10. Das Glas mit den Probirgläsern wurde in ein Oelbad, dessen Temperatur binnen 24 Stunden auf 38—42° C. erhalten war, gethan; von Zeit zu Zeit wurde das Blut in den Probirgläsern stark geschüttelt. Nach Verlauf von 10—12 Stunden zeigte sich eine Verdunkelung der Farbe in den ersten drei Nummern, eine bedeutend stärkere in No. 2, dann in No. 1, und eine schwache in No. 3. Die anderen Nummern blieben kirschrothfarbig. Nach 20 Stunden wurden die ersten Nummern voll-

kommen dunkel und zeigten, weder in dünnen Schichten, noch mit Aetznatron geprüft, irgend einen Unterschied in der Färbung. Am 2., 3., 5. Tage wurden allmählig, unter deutlichen Erscheinungen der Fäulniss, die übrigen Nummern dunkler; jedoch war die Differenz der Farbe in dünnen Schichten noch bemerkbar. Nach Verlauf von 10 Tagen wurden alle Nummern bis zum Verschwinden der Farbedifferenz dunkel. Nur die letzte Nummer schimmerte noch kirschfarbig. Drei Mal gab das wiederholte Experiment dieselben Resultate. Das zweite Experiment wurde an defibrinirtem Blute vorgenommen. No. 1 wurde weniger, als die beiden folgenden dunkel. Beim dritten wurde die Sättigung des Blutes durch Kohlenoxyd nicht im Thiere selbst (durch Inspiration), sondern am aufgefangenen Blute vollführt, worauf es in 2 Portionen getheilt wurde. Das Blut war defibrinirt, und dann eine Portion mit Kohlenoxyd gesättigt. Beim 4. Versuche war das Blut von der umgebenden Luft, die Probirgläschen (No. 1, 2 u. 3) waren nämlich über Quecksilber umgekehrt, isolirt. Es entstand eine vollkommene Verdunkelung aller 3 Portionen. Diese Verdunkelung des geringe Mengen Kohlenoxyd enthaltenden Blutes, vor dem Erscheinen der Fäulniss, gleichzeitig mit dem Verschwinden der Reaction auf Kohlenoxyd im Blute, lassen mit grosser Gewissheit vermuthen, dass in diesem Falle das Kohlenoxyd im Blute zu Kohlensäure umgewandelt sei, was durch die thierische Wärme und die Anwesenheit einer grossen Zahl gesunder, Sauerstoff enthaltender Blutkörperchen im Blute bedingt war.

Die Bildung von Kohlensäure im Blute selbst, welches aus dem Organismus herausgelassen war, wurde im Laboratorium des Professors Tschelkow zu Charkow von Sachs bewiesen. Dabei erwies sich als *Conditio sine qua non*, dass das Blut nicht defibrinirt sei, wie dies schon von Lothar Meyer gezeigt wurde. In meinen Fällen entstand die Verdunkelung auch im defibrinirten Blute, vor dem Beginne der Fäulniss, welches vordem mit geringen Portionen vergifteten Blutes vermengt war. Dieser Umstand erlaubt den Schluss, dass sich die Kohlensäure im Blute auf Kosten des Kohlenoxyds gebildet habe *).

*) Ich bin so eben mit der genaueren Entscheidung dieser Frage beschäftigt.

Nachdem auf diese Weise die ganze Grundlosigkeit der Hypothese in Betreff der Ausathmung des Kohlenoxyds der sich von der Dunstvergiftung erholenden Thiere einerseits, andererseits die Wahrscheinlichkeit seiner Verbrennung zu Kohlensäure im Blute selbst, welches aus dem Organismus herausgelassen wurde, so wie auch ausserdem die Restitution der Farbe des Blutes nach Kohlenoxydvergiftung in Thieren selbst, wie auch deren völlige Restitution nach wiederholten Vergiftungen durch Kohlenoxyd bewiesen war, bleibt am wahrscheinlichsten nur diese Erklärung der Restitution, nämlich die Zerstörung des vergiftenden Gases und seine Umwandlung im Blute in Kohlensäure, und andererseits die völlige Wiederherstellung der Function der vergifteten Blutkörperchen.

Diese Hypothese über die Umwandlung des Kohlenoxyds in Kohlensäure im Organismus der Thiere wurde von Chenot (*L'union medicale* 1854) in sehr phantastischer Form gemacht. Während er Zinkoxyd mittelst Kohlenoxyd, welches beim Brennen erhalten war (*oxyde de carbone de combustion*) reducirte, athmete er zufälliger Weise das reducirende Gas ein, fühlte darauf ein starkes Brennen in der Brust und fiel besinnungslos zu Boden; doch erinnerte er sich des Momentes der starken Exaltation seiner Nerven-thätigkeit, darauf erwachte er nach einer Viertelstunde, jedoch blieb er hypochondrisch und mit überhaupt zerrütteter Gesundheit. Dieser und ein ähnlicher Fall führten ihn zur Annahme, dass das eingeathmete Kohlenoxyd in den Lungen schnell zu Kohlensäure verbrenne, dabei eine grosse Quantität Wärme entwickle, Lungenbläschen anbrenne und ein chronisches Uebel des Nervensystems nach sich ziehe, wie den Verlust der Sensibilität, die Erregbarkeit u. s. w., mit einem Worte, dass das Kohlenoxyd ein furchtbares Gift, welches selbst in den geringsten Dosen blitzschnell tödte, sei.

Abgesehen davon, dass beim Verbrennen der Kohle nie reines Kohlenoxyd, unter keiner Bedingung erhalten wird, und dass das Chenot'sche Gas leicht Stickstoff- und selbst Cyanverbindungen enthalten konnte, welche eher die fast momentane Ohnmacht von Chenot erklären; aber sogar unter der Voraussetzung, dass dieses fehlte und das Kohlenoxyd vollkommen rein wäre, so ist doch auch

die Verbrennung desselben in den Lungen eine vollkommen willkürliche Hypothese, welche keiner Betrachtung werth ist, nachdem das unmittelbare Erscheinen des Kohlenoxyds im Blute gleich nach den ersten Inspirationen bewiesen ist.

Was aber die Tödtlichkeit des reinen Kohlenoxyds in geringen Dosen betrifft, so spricht, abgesehen von dem Fehlen der Beweise in den Chenot'schen Experimenten, der directe Versuch dagegen. Es wurde bei einem Hunde die Tracheotomie gemacht, und die Luftröhre direct mittelst einer Kautschukröhre mit einem 98 pCt. Kohlenoxyd enthaltenden Gasometer verbunden. Im Laufe einer Minute machte das Thier tiefe Einathmungen des Gases, war sehr unruhig, und es stellten sich Krämpfe ein; die Kautschukröhre wurde weggenommen; die ausgeathmete oder durch Compression der Brust ausgetriebene Luft verbrennt angezündet mit blauer Flamme; das Thier erholt sich nach einigen Minuten und bleibt am Leben. Man ersieht hieraus, dass das Kohlenoxyd nicht blitzschnell tödtet.

Bernard, der die Theorie von Chenot in Betreff der Verbrennung des Kohlenoxyds im Organismus wiederlegte, sagt, dass Chenot eine bedeutende Temperaturerhöhung an den Kohlenoxyd einathmenden Thieren bemerken musste und hält den Uebergang von CO in CO₂ für vollkommen unwahrscheinlich. Diese deutliche Erklärung hielt den Dr. Gauchet nicht ab, sich auf die Autorität von Bernard zur Bekräftigung der auch von ihm selbst aufgestellten Hypothese hinsichtlich der Umwandlung von CO in CO₂ zu berufen und die vom Pariser Professor wiederlegte als die ihm angehörige Meinung zu bezeichnen (s. L'union médicale 1857 p. 78). Was Bernard betrifft, so sagt er deutlich, abgesehen davon, dass er mit der Theorie der Umwandlung des CO in CO₂ im Blute und speciell mit der Chenot'schen Theorie *) nicht einverstanden ist,

*) Scheinbar besass Bernard diesen Chenot'schen Artikel nicht. Er schrieb dessen Familiennamen (Cheneau) unrichtig und schrieb ihm die Ansicht über die Umwandlung des CO in CO₂ im Blute zu, während Chenot sich deutlich über den Verbrennungsact in den Lungen ausspricht. Uebrigens ist es uns gleichgültig. Nur eins ist augenscheinlich, dass Bernard keine Umwandlung des CO in CO₂ im Organismus zulässt.

zum Schlusse der Untersuchung über die Wirkung des Kohlenoxyds: „Nous sommes donc obligés, de voir dans l'oxyde de Carbone un poison à effets immédiats, mais durant peu. Lorsque le poison à été éliminé et lorsque, soit qu'ils aient été détruits, soit que le sang s'en soit débarassé, les globules ont repris leurs fonctions, l'animal revient à la santé“ (l. c. p. 198), d. h. er flieht vollkommen den Gedanken an eine Umwandlung des CO in CO₂ und lässt eher entweder Ausscheidung und Ausathmung des vergifteten Gases, oder Zerstörung der vergifteten Blutkörperchen und Ausscheidung derselben aus dem Blute zu. Die Grundlosigkeit der ersten Hälfte der Erklärung (der Ausscheidung des CO) haben wir schon gesehen. Die Zerstörung aber und die Ausscheidung der Blutkörperchen aus dem Blute sollten doch irgend welche secundäre Veränderung im Organismus — eine Auflösung des Blutfarbestoffes im Blute, oder eine Ablagerung grosser Massen Blutkörperchen an irgend welchem Orte — bewirken; ferner die Ausscheidung des Blutpigments auf irgend eine Weise bedingen; schliesslich müsste die Zerstörung von grossen Massen vergifteter Blutkörperchen und deren Ausscheidung aus dem Organismus zu den Erscheinungen der allgemeinen Anämie, zum darauf folgenden Sinken der Temperatur und zur Verminderung des Gewichtes des Thieres, die öftere Wiederholung der Dunstvergiftung aber zum völligen Schwinden der rothen Blutkörperchen führen.

Alle diese Möglichkeiten verfolgend, überzeugte ich mich von der Unrichtigkeit auch dieser zweiten Hälfte der Erklärung Bernard's. Das Blut der vergifteten Thiere, welches sogleich nach der Wiederherstellung derselben von der Dunstvergiftung herausgelassen wurde, zeigte beim Gerinnen immer ein ebenso helles und reines sogar mehr reines Serum, wie vor der Vergiftung, folglich enthielt es kein gelöstes Pigment. Es wurden nie Ablagerungen oder Blutergüsse, weder in der Leber, oder in der Milz, noch in den Drüsen und überhaupt nirgends*), so oft auch das Thier vergiftet wurde, gefunden. Die relative Menge des Haematoglobulins im Blute, welche nach der Farbe mit der durch Wasser

*) Ausgenommen die Blutergüsse in den Lungen, welche zu den Erscheinungen der Asphyxie gehören und bei starken Vergiftungen vorkommen.

bis zur gleichen Färbung verdünnten Blutlösung verglichen wurde, erwies sich immer gleich wie vor, so auch nach der Vergiftung, selbst nach mehrmaliger. Die Hämatinquantität veränderte sich nicht nach starken Dunstvergiftungen. Sie wurde nach der Hoppe'schen Methode bei 2 Hunden mittlerer Grösse bestimmt. Das Gewicht des Hundes betrug 8970 Grm. Es wurden 8 Ccm. Blut herausgelassen. Das Quantum des Hämatins betrug 0,749 pCt. Nach Verlauf von 2 Mal 24 Stunden, in welchen der Hund 4 Mal stark vergiftet wurde, betrug sein Gewicht 9302. Es wurden abermals 6 Ccm. Blut herausgelassen. Das Quantum des Hämatins betrug 0,790 pCt. Der andere Hund wog 6140 Grm. Es wurden 15 Ccm. Blut herausgelassen. Das Quantum des Hämatins betrug 0,801 pCt. Er wurde 3 Mal täglich vergiftet. Nach Verlauf von 3 Mal 24 Stunden wog er 5970. Es wurden fernere 7 Ccm. Blut herausgelassen. Das Quantum des Hämatins betrug 0,782 pCt. Die Schwankungen sind gering und theilweise durch Blutverlust erklärbar. Nachdem ich weiter das Gewicht der Kaninchen, die im Verlauf von 2 Monaten fast 7 Mal täglich stark vergiftet wurden, von Zeit zu Zeit bestimmte, überzeugte ich mich, dass, wenn auch im Verlaufe dieser langen Zeit Schwankungen (Verminderung des Gewichtes) vorkamen, dieselben doch bei den häufig wiederholten Vergiftungen, mit der Zeit, in welcher die Thiere den Appetit verloren, zusammenfielen; dass aber die Grösse des Gewichtes, wenn sie gut gefüttert wurden, ungeachtet der häufigen Dunstvergiftungen, zunahm. Dabei stieg die Temperatur (auf 0,1 — 0,2° C. durchschnittlich in 24 Stunden) oder sie blieb gleich. Was die Zerstörung der Blutkörperchen betrifft, so ist bekannt (Kühne Virchow's Archiv. XIV. Bd.), dass das in's Blut injicirte Hämatoglobulin der Blutlösung im Harne in Form von Gallenpigment erscheint. Die Injicirung der Gallensäuren in's Blut vergrössert auch, indem sie eine Lösung der Blutkörperchen bewirkt, das Quantum des Gallenpigmentes im Harne. Mittelst der Reaction mit salpetrige Säure enthaltender Salpetersäure konnte ich bei Hunden und Kaninchen vor und nach der Vergiftung nie die Anwesenheit des Gallenpigments im Harne bestimmen. Nach allen diesen Wiederlegungen ist für die Erklärung der Wiederherstellung des Thieres

aus dem Vergiftungszustande nur eine Möglichkeit, nämlich die erwähnte Umwandlung des CO in CO_2 zulässig. Für diese Erklärung sprachen schon viele positive Thatsachen. Die Restitution der Farbe des Blutes im Organismus, die Verdunkelung des vergifteten Blutes ausserhalb des Organismus unter den erwähnten Bedingungen, die temporäre Verminderung der Temperatur mit folgender Erhöhung derselben bis zur Norm, welche Erhöhung mit der Restitution der Farbe des Blutes der Zeit nach zusammenfällt, schliesslich auch die Bestimmung der ausgeathmeten CO_2 — dieses alles spricht sehr für die Umwandlung des CO in CO_2 im Organismus.

Zur Bestimmung der auszuathmenden Kohlensäure wurde mit Kaninchen, als den ruhigsten, dazu sehr geeigneten Thieren, bei denen also die wenigsten Bedingungen für Schwankungen der ausgeathmeten CO_2 vorhanden sind, experimentirt. Die Thiere wurden in einen gläsernen Cylinder von 13 Liter, welcher hermetisch verschlossen war und zwei Röhren zum Herein- und Herausströmen der Luft besass, gebracht. Die hereinströmende Luft musste eine Lösung von Aetzkali (welche für den Fall auch als Klappe dienen kann) passiren. Die austretende Luft wurde in einen Aspirator durch ein Röhrensystem geleitet. Die erste grosse Uförmige Röhre war mit Stückchen von ClCa , welches vordem einem Strome kohlensauren Gases ausgesetzt war, gefüllt; darauf folgt der Liebig'sche Kugelapparat, in welchem sich eine ziemlich concentrirte Kalilösung befand; dann folgen zwei Röhrechen, welche mit trocknen Kalistückchen gefüllt waren. (Das Abwägen dieser beiden Röhrechen zusammen mit dem Liebig'schen Apparat vor und nach dem Experiment ergibt in Grammen das Quantum der gesammelten Kohlensäure); schliesslich folgt noch ein Röhrechen mit Kalistücken, welches sich vor dem Aspirator (Gasometer von 100 Liter) befand. Das Quantum der durchströmenden Luft wurde durch das aus dem Aspirator ausströmende Wasser bestimmt. Dabei wurden nur jene vergleichenden Experimente, welche nach dem Quantum, der Temperatur und dem Drucke gleich waren, in Betracht genommen. Ich stellte keine ergänzende Analyse der Luft aus dem Cylinder, in welchem sich das Thier befand, an; folglich sind meine Zahlen geringer, als die normalen,

was jedoch ihrer relativen Wichtigkeit nicht im Mindesten schadet. Bevor ich in die Auseinandersetzung dieser Experimente eingehe, will ich noch an die Ausscheidung des Sauerstoffs und der Kohlensäure aus dem Blute bei der Absorption des Kohlenoxyds von demselben erinnern. Dasselbe geschieht freilich auch bei der Kohlenoxydvergiftung des Thieres. Um das Gewicht dieser Portion der durch Kohlenoxyd ausgeschiedenen Kohlensäure richtig zu bestimmen, vergiftete ich die Thiere zuerst und brachte sie sogleich nach dem Verluste ihrer (immer kurzdauernden 30 — 40 Sekunden) Krämpfe in den Cylinder, sobald ich nämlich bemerkte, dass die Thiere noch athmen und noch hergestellt werden können. Dies war insofern praktischer, als ich weniger Thiere zu verlieren in Gefahr war (da ich die Möglichkeit einer künstlichen Respiration im schlimmsten Falle besass) und als so der Einfluss der Krämpfe, wie auch der unwillkürlichen Entleerungen auf das Quantum der ausgeathmeten Kohlensäure ausgeschlossen wurde.

Folgende Versuche werden auch die übrigen Bedingungen, die zur Richtigkeit des Resultates nothwendig sind, zeigen.

1. Versuch. Kaninchen, 1580 Grm. Gibt in 30 Min. 0,647 Grm. Kohlensäure. Vergiftet mit Hilfe des Trichters, ganz ohne Krämpfe in den Cylinder gebracht; die folgenden 30 Min. gibt es 0,680 Grm. Kohlensäure. Das Kaninchen ist vollkommen hergestellt. Die im Rectum gemessene Temperatur ist wieder normal.

2. Versuch. Kaninchen, 1850 Grm. Gibt in einer Stunde 1,686 Grm. Kohlensäure. Stark mit Hilfe des Trichters vergiftet. Die nächste Stunde 1,804 Grm. Kohlensäure. Das Kaninchen ist vollkommen hergestellt, die Temperatur des Rectum ist wieder normal. In beiden Versuchen war die Menge der vor dem Kaninchen vorbeiziehenden Luft in einer Stunde gleich 32 Liter.

3. Versuch. Dasselbe Kaninchen gab in einer Stunde 1,678 Grm. Kohlensäure. Stark vergiftet, in den Cylinder gebracht. Athmete tief und war unruhig. Die Wände des Cylinders bedeckten sich stark mit Wassertropfen. Die Menge der in einer Stunde vorbeiziehenden Luft war gleich 18 Liter. Nach dem Versuche war die Temperatur des Rectum 2°C. unter der Norm. Die Menge von $\text{CO}_2 = 1,157$.

4. Versuch. Dasselbe Kaninchen nüchtern; die Menge der Kohlensäure in einer Stunde = 1,462. Stark vergiftet, athmete oberflächlich. In beiden Fällen bedeckten sich die Wände des Cylinders mit Wassertropfen. Die Menge der vorbe-

ziehenden Luft betrug 20 Liter. Die Temperatur des Rectum sank nach dem Versuche auf $0,5^{\circ}\text{C}$. Die Menge $\text{CO}_2 = 1,402$.

5. Versuch. Ein Hund, 4500 Grm., gab in 30 Min. 1,313 Grm. Kohlensäure, und die folgenden 30 Min. war die Menge $\text{CO}_2 = 1,352$ Grm. Vergiftet bis zur leichten Paralyse, in den Cylinder gebracht. Vollkommen hergestellt. Die Temperatur des Rectum erlangte die Norm, die Menge der jede 30 Min. vorbeiziehenden Luft war gleich 18 Liter. Die Menge $\text{CO}_2 = 1,636$ Grm.

Zwei Kaninchen wurden nach der Reihe im Cylinder vergiftet. Der Tod erfolgte nach 5 Min. und 8 Min. Die nachgebliebene Luft wurde durch allmähig bis zum Cylinderdeckel eingegossenes Wasser verdrängt; die Menge der gesammelten Kohlensäure betrug im ersten Falle 0,086, im zweiten $= 0,092$.

Ehe ich zur Betrachtung dieser Thatsachen schreite, führe ich noch eine Reihe von Versuchen, die an ein und demselben ganz zahmen Kaninchen gemacht wurden, an.

6. Versuch. Gewicht des Kaninchens 1380 Grm. Die Menge der Kohlensäure in einer Stunde $= 1,286$ Grm. Die Menge der in einer Stunde vorbeiziehenden Luft $= 42$ Liter. Die nächste Stunde wurde der Versuch auf folgende Weise eingerichtet. Zwei an Volumen gleiche Cylinder, 13 Liter. Es waren 3 Systeme von Apparaten mit Aetzkali, die einander abwechselten, vorbereitet. Das Kaninchen wurde jede 10 Min. geschwind in den frischen Cylinder gebracht. In 10 Min. zogen ungefähr 7 Liter Luft vorbei (Schwankungen waren selten und betrugen höchstens 50—150 Ccm.). In einer ganzen Stunde zogen 42 Liter Luft vorbei. Die die Kohlensäure auffangenden kleinen Apparate wurden jede 10 Min. separat gewogen. Man erhielt folgende Quantitäten:

die ersten 10 Min. war die Menge $\text{CO}_2 = 0,202$			
2	-	-	$= 0,198$
3	-	-	$= 0,206$
4	-	-	$= 0,208$
5	-	-	$= 0,198$
6	-	-	$= 0,212$
<hr/> in einer Stunde			<hr/> 1,234.

Folgende Versuche wurden ganz eben so eingerichtet.

7. Versuch. Den anderen Tag. Das Kaninchen wog 1400 Grm.,

die ersten 10 Min. war die Menge $\text{CO}_2 = 0,202$

2 - - - $= 0,206$.

Das Kaninchen wurde mit Hülfe des Trichters bis zu leichten Krämpfen vergiftet und gleich nach dem Aufhören derselben in einen Cylinder gebracht.

3 - - - $= 0,256$

4 - - - $= 0,264$

5 - - - $= 0,205$.

Das Kaninchen hat sich vollkommen erholt.

6	-	-	$= 0,204$
<hr/> in einer Stunde			<hr/> $= 1,333$.

8. Versuch. Gleich nach dem vorhergehenden.

die ersten 10 Min. war die Menge $\text{CO}_2 = 0,208$
ist bis zu leichten Krämpfen vergiftet.

2	-	-	-	= 0,206
3	-	-	-	= 0,320
4	-	-	-	= 0,236
5	-	-	-	= 0,224
6	-	-	-	= 0,198
<u>in einer Stunde</u>				<u>= 1,392.</u>

9. Versuch. Dasselbe Kaninchen nach 3 Stunden:

die ersten 10 Min. war die Menge $\text{CO}_2 = 0,192$
ist stark vergiftet.

2	-	-	-	= 0,174
3	-	-	-	= 0,272
4	-	-	-	= 0,245
5	-	-	-	= 0,205
6	-	-	-	= 0,223
<u>in einer Stunde</u>				<u>= 1,311.</u>

10. Versuch. Dasselbe Kaninchen nach einer Stunde:

die ersten 10 Min. war die Menge $\text{CO}_2 = 0,196$

2 - - - = 0,192

Stark vergiftet, gleich nach den Krämpfen in den Cylinder gebracht. Erholt sich allmählig.

3 - - - = 0,168

4 - - - = 0,252

5 - - - = 0,288

Das Kaninchen hat sich völlig erholt und putzt sich.

6	-	-	-	= 0,196
<u>in einer Stunde</u>				<u>= 1,292</u>
7	-	-	-	= 0,204
<u>in 1 Std. und 10 Min.</u>				<u>= 1,496.</u>

11. Versuch. Das Kaninchen wog 1250 Grm.,

die ersten 10 Min. war die Menge $\text{CO}_2 = 0,213$.

Ist bis zu leichten Krämpfen vergiftet.

2	-	-	-	= 0,202
3	-	-	-	= 0,213
4	-	-	-	= 0,294
5	-	-	-	= 0,298
6	-	-	-	= 0,218
<u>in einer Stunde</u>				<u>= 1,438.</u>

12. Versuch. Dasselbe Kaninchen,

die ersten 10 Min. war die Menge $\text{CO}_2 = 0,226$

2 - - - = 0,218

Bis zur totalen Paralysis vergiftet. Künstliches Athmen. Kaum fing es an zu athmen, so wurde es in einen Cylinder gebracht. Es vergingen 5 Min. ausserhalb des Cylinders.

3 - - - = 0,192

4 - - - = 0,286

5 - - - = 0,331

6 - - - = 0,247

in einer Stunde = 1,500

7 - - - = 0,210

in 1 Std. und 10 Min. = 1,710.

Aus allen diesen Versuchen können folgende Schlüsse gezogen werden. In den ersten Augenblicken wird unter der Einwirkung von Kohlenoxyd die Quantität der ausgeathmeten Kohlensäure bei starken Vergiftungen vermindert, alsdann relativ und absolut vermehrt. Bei schwachen Vergiftungen ist diese Verminderung nicht vorhanden, sondern in den ersten Augenblicken schon zeigt sich die Vermehrung der auszuathmenden Kohlensäure. Die allgemeine Summe der stündlichen Zeiträume der Ausathmung von CO_2 unter der Einwirkung von CO ist stets grösser, als die normale, die Fälle ausgenommen, wo das Thier in einem verschlossenen, schlecht ventilirten Raume athmet. Die Wirkung des Kohlenoxydes auf die Vermehrung der auszuathmenden Kohlensäure dauert nicht länger als 20—30—40 Minuten. Folglich entspricht in Hinsicht der Temperatur und der Blutfarbe die Dauer der Periode des vermehrten Ausathmens von CO_2 so ziemlich der Zeit der Wiederherstellung des Thieres nach der Vergiftung. Die am meisten wahrscheinliche Erklärung für die Verminderung der Quantität der auszuathmenden Kohlensäure ist die Niederdrückung der chemischen Prozesse im Blute, die sich durch Sinken der Temperatur kundgibt und schon a priori verständlich ist, wenn man sich erinnert, dass eine grosse Masse Blutkörperchen, so zu sagen, paralsirt, und der Sauerstoffgehalt im Blute vermindert ist. Die darauf folgende Vermehrung der auszuathmenden Kohlensäure hat für sich keine andere Erklärung, als die der Verbrennung des Kohlenoxydes selbst. Weil bei der Untersuchung der Erscheinungen der Wiederherstellung der

Thiere von der Kohlendunstvergiftung wir keine andere Bedingung im Organismus gesehen haben, die im Stande gewesen wäre, das Entstehen der Kohlensäure im Blute zu vermehren, weder verstärkte Muskelbewegungen, noch häufige oder tiefe Einathmungen, noch Steigen des Blutdruckes. Endlich lässt die Unveränderlichkeit des Körpergewichts oft vergifteter Thiere keinen vermehrten Stoffwechsel im Körper nach der Vergiftung, d. h. keine vermehrte Bildung von Kohlensäure aus den Geweben zu. Es bleibt folglich nur eins wahrscheinlich — die Verwandlung des Kohlenoxydes in Kohlensäure. Diesem widerspricht nichts. Bernard's Hinweis auf das Fehlen des Steigens der Temperatur hat keine widerlegende Kraft, wenn man alle thermischen Erscheinungen gegeneinanderstellt. Erstens muss die Verbrennung des Kohlenoxydes eine andere Quantität Wärme geben, als seine Verbrennung in Verbindung mit dem Blute, die so ziemlich dauerhaft ist. Zweitens geschieht seine Verbrennung im Blute augenscheinlich allmählig, und die sich bildende Wärme dehnt sich auf eine geraume Zeit aus, dazu bildet sich aus einer festen Verbindung von Kohlenoxyd mit Blut eine gasförmige — Kohlensäure, wodurch eine grosse Quantität Wärme latent wird. Drittens geschieht dennoch das relative Steigen der Temperatur bei Erholung des Thieres von der Kohlendunsterkrankung. Das in den ersten Augenblicken der Vergiftung kälter gewordene Blut erlangt wieder seine Temperatur bei der Wiederherstellung. Inwiefern dieses Steigen der Temperatur auf Kosten der Verbrennung von CO , oder der sich wiederherstellenden Function der Blutkörperchen geschieht, ist natürlich nicht direct zu beantworten. Jedenfalls sind dieses Steigen der Temperatur gleichzeitig mit der Wiederherstellung der Blutfarbe, dem vermehrten Ausathmen von CO_2 , und die totale Wiederherstellung des Thieres selbst nach oftmaligen Dunstvergiftungen, wobei kein reines Kohlenoxyd ausgeschieden wird, — zuviel beweisende Momente, um nicht die Verbrennung des Kohlenoxydes zu Kohlensäure im Organismus selbst anzunehmen.

Jetzt fragt es sich, entspricht wohl der Ueberfluss der auszuathmenden CO_2 der Quantität des eingeathmeten CO . Doch ist schon theoretisch dieses Entsprechen nicht zu erwarten, da das

normale Entstehen von CO_2 im Blute, und deren Ausathmen in den ersten Augenblicken nach der Vergiftung geringer sind. Die Grösse aber dieser vorläufigen und zeitweiligen Verringerung zu bestimmen, ist eine Unmöglichkeit. Deshalb kann man wohl schwerlich daran denken, dass die Quantität des einzuathmenden CO dem Ueberfluss der auszuathmenden CO_2 entspreche; jedenfalls muss dieser Ueberschuss gewiss kleiner sein, als diejenige Grösse, die, bei vollkommener Verbrennung des eingeathmeten Kohlenoxyds, durch Berechnung erhalten würde. Der Versuch bestätigt in der That diese Vermuthung.

In denselben Cylinder wurde ein Kaninchen gebracht. Die Röhre des Cylinders war mit einem Systeme zweihalsiger Gläser, die eine alkalische Lösung von Pyrogallussäure zur Absorption von O und CO_2 enthielten, verbunden; dann zwei Röhren mit trockenem Aetzkali; weiter Liebig's Kugelapparat, gefüllt mit einer Lösung von Kupferchlorür in Salzsäure ($\text{Cu}_2\text{Cl} + x\text{HCl}$), zur Absorption von CO; alsdann zwei Röhren mit frischem trockenem Aetzkali; endlich noch eine vor dem Aspirator, und der Aspirator selbst. Es wurden allmählig in den Cylinder im Verlaufe von 7 Min. 1000 Ccm. Gasgemenge, welches 98 pCt. Kohlenoxyd bei bestimmter Temperatur und Druck enthielt, eingeführt. Das Gewicht des Kohlenoxydes war gleich 1,224 *). Das Kaninchen starb nach 12 Min. Die Luft war aus dem Cylinder durch Wasser verdrängt. Die Menge des nachgebliebenen, nicht eingeathmeten CO wurde durch Wägen des Apparates mit $\text{Cu}_2\text{Cl} + x\text{HCl}$ und mit KHO bestimmt und war = 0,098. Folglich athmete das Kaninchen im Verlaufe von 12 Min. 1,126 Grm. Kohlenoxyd ein, woraus gegen 1,780 Grm. Kohlensäure erhalten werden müssten. Einen solchen Ueberschuss von Kohlensäure hatten wir nie.

Anderer Versuch. Dieselbe Einrichtung. Es wurden rasch 500 Ccm. Kohlenoxyd eingeführt. Sein Gewicht war 0,600 Grm. Das Kaninchen starb nach 3 Min. Gewicht des vor dem Kaninchen vorbeiziehenden Kohlenoxydes = 0,240 Grm. Eingeathmet 0,360, was 0,591 Kohlensäure entspricht. Der grösste Ueberschuss von CO_2 für ein Kaninchen war bei uns in einer Stunde 0,170 Grm. Doch vergessen wir nicht, dass in unseren Versuchen CO in nicht tödtlichen Dosen gegeben wurde — die Kaninchen erholten sich.

Aus diesen zwei Versuchen können unter anderem folgende Schlüsse gezogen werden. Die vergiftende Dosis CO ist nicht so

*) Bei der Berechnung wurden Volumen, Temperatur des Gasgemenges, Barometerdruck, die Spannung des Wasserdampfes bei gegebener Temperatur und das specifische Gewicht des Kohlenoxydes 0,967 in Betracht genommen.

sehr gering, und hängt dabei vollkommen von Bedingungen ab. Sie hängt vom Procentgehalt an Kohlenoxyd in der einzuathmenden Luft, und von der Zeit, welche das Thier in ihr verweilt, ab. In an Dunstgas armer Atmosphäre kann das Thier gar nicht, oder sehr langsam sterben, obgleich es verhältnissmässig eine grössere Quantität CO einathmet, da letzteres allmählig verbrennt. In an CO reicher Atmosphäre erfolgt der Tod von einer absolut geringeren, jedoch rasch eingeathmeten Quantität Kohlenoxyd.

Folglich bildet sich ohne Zweifel im Augenblicke von starker Vergiftung durch Kohlenoxyd weniger Kohlensäure, die auch positiv weniger ausgeathmet wird. In den ferneren Momenten jedoch bildet sich mehr als normal Kohlensäure und wird auch mehr ausgeathmet. Folglich ist der conventionelle Begriff von Asphyxie nur für total paralsirende Dunstvergiftungen anwendbar.

Was aber die chronischen Folgen der Dunstvergiftung, die von vielen Autoren (s. Gauchet in *L'Union médic.*, 1857, p. 77), erwähnt werden, anbelangt, wie die permanenten Paralysen des Gefühls und der Bewegung, die mehr oder weniger dauernd und verbreitet sind, oftmals in der Form von Hemiplegie, manchmal aber von örtlichen Paralysen, endlich sogar lobuläre Pneumonien, so muss ihre Erklärung auf das schon oben genannte Hirn-Oedem bei jungen Thieren, die Hyperämie der Hirnhäute, hauptsächlich aber die Erweiterung der das Rückenmark umgebenden Venengeflechte (Bourdon), so wie auch auf Lungenödem und Lungenhämorrhagien zurückgeführt werden.

Bringen wir nun alle sich im Aufsätze befindenden Resultate in Einklang, so erhalten wir folgende Theorie der Vergiftung durch Kohlenoxyd.

Als Grundlage der Vergiftung steht die Dauerhaftigkeit der Verbindung von Kohlenoxyd mit dem Hämatoglobulin fest, welche die Fähigkeit des letzteren, als Träger des Sauerstoffs im Organismus zu dienen, vernichtet. Und diese Eigenschaft des Hämatoglobulins bildet das Wesentliche bei der Vergiftung, so dass alle Erscheinungen der Vergiftung durch dieselbe bedingt werden. In

der Reihenfolge des Beginnens dieser Erscheinungen geht Allem diesen Sinken der Temperatur des Blutes und der Gewebe, dann Erscheinungen von Reizbarkeit der Rückenmarksnervencentren, die rasch durch Erscheinungen von Paralysis vertreten werden, voraus. Die Reizbarkeit der Nerven, als Leiter, bleibt unangetastet. Ebenso verändert sich auch die Reizbarkeit der Muskeln nicht. Gleichzeitig mit der Paralysis der Rückenmarkscentren beginnt die Reizung des sympathischen Nervensystems. Letzteres überlebt aber bedeutend das Rückenmarkssystem; endlich verkümmert auch dieses, und es tritt totale Paralysis — Tod des Thieres ein. Die Wiederherstellung aus dem Zustande von Vergiftung geschieht auf Kosten der Zerstörung des vergiftenden Gases. Die schon einmal mit Kohlenoxyd verbundenen Blutkörperchen werden bei Verbrennung desselben wieder functionell hergestellt *).

Zum Schlusse fühle ich mich gedrungen, den aufrichtigsten Dank meinem freundlichen Kameraden Beresin für seine mir im experimentellen Theile dieser Untersuchung gefälligst geleistete Hülfe abzustatten.

*) Diese Erklärung gilt ohne Zweifel nur für Wirbelthiere. Das Verhalten von Kohlenoxyd zu den wirbellosen liegt eigentlich ausserhalb der Grenzen meiner Aufgabe, desto mehr da die Wirkung verschiedener Gifte auf den Organismus der wirbellosen jetzt die Aufgabe des Prof. Setschenow bildet, der schon vor mir die Unschädlichkeit des Kohlenoxyds für Schaben beobachtet hat, was mir mündlich von ihm mitgetheilt wurde.