

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XI. Jahrgang 1881.

München.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1881.

~
In Commission bei G. Franz.

Sitzung vom 5. Februar 1881.

Herr v. Pettenkofer legt vor und bespricht die Abhandlung:

„Ueber den Nachweis und die Giftigkeit des Kohlenoxydes und sein Vorkommen in Wohnräumen.“ Von Dr. Max Gruber.

Seit der Entdeckung von H. St. Claire Deville und Troost, dass glühende Metalle für Gase durchgängig sind, dass speciell glühendes Eisen für Kohlenoxyd permeabel sei, wurde das Augenmerk der Hygieniker in erhöhtem Masse auf dieses Gas gelenkt. Man hat aus der Beobachtung der beiden französischen Forscher weitgehende Schlüsse auf die Gesundheitsschädlichkeit der Heizung mit eisernen Oefen und, was wichtiger ist, der Luftheizungssysteme mit eisernen Calorifèren gezogen. In zahlreichen Fällen will man bereits den Nachweis des Kohlenoxydes in der Luft derartig geheizter Räume geführt haben und schreibt schon minimalen Mengen des Gases in der Athemluft eine hohe gesundheits-schädliche Wirkung zu. Es war daher eine eingehende Untersuchung dieses Gegenstandes geboten.

Die Methoden, die zum Nachweis des Kohlenoxydes bisher angewendet wurden, haben grösstentheils nur geringen Wert, worauf schon wiederholt, unter andern auch von

G. Wolffhügel¹⁾, hingewiesen wurde. Wenn man von Kohlensäure befreite Luft über glühendes Kupferoxyd leitet und hierbei Neubildung von Kohlensäure beobachtet, so ist man nur berechtigt auf Anwesenheit oxydirbarer Kohlenstoffverbindungen überhaupt zu schliessen, nicht aber auf Anwesenheit von Kohlenoxyd speciell. Sind grössere Mengen solcher oxydirbarer Stoffe in einer Luft enthalten, dann kann man sie wol mit Recht als schlecht bezeichnen, wenn aber, wie gewöhnlich, nur geringe Mengen nachweisbar sind, dann wird es eine wesentlich andere Bedeutung haben, ob diese Mengen Kohlenoxyd oder ob sie Kohlenwasserstoffe sind und gerade darüber gibt die Verbrennung keinen Aufschluss. Ebenso wenig ist die directe Anwendung von Palladiumchlorürlösung zur Prüfung der Luft auf Kohlenoxyd statt- haft. Gelingt es auch Ammoniak, Schwefelwasserstoff und einen Theil der schweren Kohlenwasserstoffe vor dem Eintritt des Gases in die Palladiumlösung zu entfernen, so können doch andere reducirende Stoffe, wie z. B. Sumpfgas, nicht abgehalten werden und können bei den beträchtlichen Luftmengen, die in Untersuchung genommen werden müssen, Reduction von Palladium bewirken und so einen Kohlenoxydgehalt vortäuschen.

Zum sicheren Nachweis des Kohlenoxydes darf man nicht eine Gruppenreaction sondern nur eine dieses Gas speciell characterisirende anwenden. Eine solche ist das Verhalten desselben zu Blut, die Bildung und die Eigenschaften des Kohlenoxydhämoglobin. In den letzten Jahren wurden mehrere Versuche gemacht, sie zur Luftuntersuchung zu verwerthen.

Eine sehr bequeme und bei positivem Ergebnisse durch- aus zuverlässige Methode wurde von H. W. Vogel²⁾ an-

1) Zeit. f. Biol. 14. Bd. S. 506.

2) Ber. d. d. chem. Ges. X. Bd. S. 794, XI. Bd. S. 235.

gegeben und von Wolffhügel¹⁾ adoptirt. Man schüttelt 100 cc der Untersuchungsluft mit einigen Cub.-Cent. sehr verdünnter Blutlösung. Noch bei Gegenwart von 0,25 % Kohlenoxyd sind im Spectralapparate die charakteristischen Absorptionsstreifen des Kohlenoxydhämoglobins wahrnehmbar. Bei weiterer Verdünnung sind diese Streifen nicht mehr zu sehen und Vogel und Wolffhügel hielten sich darnach zu dem Schlusse berechtigt, dass bei 0,25 % die Grenze des Partiardruckes liege, unterhalb welcher die Bildung des nach den Versuchen von Donders²⁾ und Zuntz²⁾ sich dissociirenden Kohlenoxydhämoglobins nicht mehr möglich, hiermit also auch die Grenze der Schädlichkeit erreicht sei.

Hempel³⁾ gab bald darauf an, dass man bei Verwendung grösserer Luftmengen noch 0,1 % nach Vogel nachzuweisen vermöge und schlägt vor zur Absorption des Gases nicht Blutlösung sondern lebende Thiere (Mäuse) zu verwenden. Es soll möglich sein bei diesem Verfahren noch 0,05 % Kohlenoxyd zu entdecken. Zugleich beobachtete Hempel bei seinen Versuchsthieren auch noch bei Einathmung einer Luft mit weniger als 0,1 % Kohlenoxyd beträchtliche Vergiftungserscheinungen.

Vor Kurzem hat endlich v. Fodor⁴⁾ ein etwas umständlicheres Verfahren angegeben, bei dem noch viel geringere Mengen Kohlenoxyd gefunden werden können. Nach seiner Angabe schüttelt man 10—20 Liter Luft mit mässig verdünntem Blute 15--20 Minuten lang und erhitzt das Blut in einem Kölbchen zum Sieden, während durch dasselbe Luft gesaugt wird, die vorher schon Palladiumchloridlösung passirte und nach der Blutlösung durch Bleizucker-

1) A. a. O.

2) Pfüger's Arch. V. Bd. S. 20 u. S. 584.

3) Zeit. f. analyt. Chem. 18. Bd. S. 399.

4) Deutsche Viertelj. f. ö. Ges. 12. Bd. 3. Hft.

lösung, verdünnte Schwefelsäure und endlich abermals Palladiumchlorürlösung durchstreicht.

Ich habe diese Methoden nachgeprüft. Bei Anwendung grösserer Luftmengen ist es allerdings möglich, wie Hempel angibt, auch geringere Mengen Kohlenoxyd nach Vogel's Methode nachzuweisen. Doch wird der Nachweis bald unsicher, da man zur Beseitigung des Absorptionsstreifens des reducirten Hämoglobin das Blut ausserordentlich verdünnen muss. 0,1 % ist nicht mehr mit Sicherheit zu erkennen. Hempel's Verfahren gab mir aus demselben Grunde kein besseres Resultat. Ich war ebensowenig wie v. Fodor im Stande, bei geringeren Mengen als 0,1 % Kohlenoxyd im Blute der Thiere zu entdecken, obwol ich eine ziemliche Uebung in der Beobachtung hatte. Dagegen gibt Fodor's Verfahren vortreffliche Resultate, falls gewisse Vorsichten beachtet werden. Das Blut muss sogleich, nachdem es aus dem Ballon entfernt ist, rasch zum Sieden erhitzt und das Durchsaugen von Luft 3–4 Stunden lang fortgesetzt werden. Man kann dann nach dieser Methode noch 1:20,000 Theile Kohlenoxyd oder 0,005 % mit aller Sicherheit nachweisen. Normales Blut gibt keine Spur von Reduction und auch die Kohlenwasserstoffe sind in den Verdünnungen, wie sie in der Luft von Wohnräumen vorkommen, ohne Einfluss auf das Resultat, wovon ich mich durch Versuche mit kohlenoxydfreiem Leuchtgase überzeugte.

Wie aus den Ergebnissen nach Fodor's Methode zugleich hervorgeht, ist der Schluss von Vogel und Wolffhügel nicht zutreffend. Das Unsichtbarwerden der Kohlenoxydhämoglobinstreifen beruht nicht auf der Abwesenheit dieser Verbindung, da ja auf ihrer Bildung die Möglichkeit des Nachweises eines 50mal verdünnteren Kohlenoxydgases nach Fodor's Verfahren beruht. Es kann daher auch 0,25 % nicht die Grenze der Schädlichkeit sein, wenn man auch nicht

mit Fodor dem Gase eine ganz unbegrenzte Giftigkeit zuschreiben wird.

Zu demselben Resultate haben mich Vergiftungsversuche an Thieren geführt, die ich schon vor dem Erscheinen von Fodor's Arbeit begonnen hatte. Es lagen nämlich bisher nur Versuche mit concentrirterem Kohlenoxyde bis zu 1% herab vor, gerade die Wirkungen verdünnteren Gases aber sind vom hygienischen Standpunkte aus wichtig, und der Mangel einschlägiger Versuche gab eben der Phantasie eines Jeden freien Spielraum, die Grenze der Schädlichkeit nach Belieben hinauszuschieben.

Um entscheidende Resultate zu erzielen, mussten die Thiere längere Zeit hindurch das Gasgemische von bestimmtem Kohlenoxydgehalte athmen und im Uebrigen unter möglichst normalen Verhältnissen leben. Es musste daher auch soviel Luft zugeführt werden, dass keine Anhäufung von Kohlensäure und anderen gas- und dampfförmigen Ausscheidungen in der Athemluft stattfinden konnte. Da es unmöglich war, die hierzu erforderlichen grossen Luftmengen vor dem Versuche mit Kohlenoxyd in der gewünschten Menge zu mischen, so musste eine Vorrichtung getroffen werden, die Gase während des Versuchs mit ausreichender Genauigkeit und Gleichmässigkeit zu mischen und den Concentrationsgrad zu ermitteln. Diesen Bedingungen genügte der folgende Apparat, der auf Anwendung der Gasuhr basirt, die sich zu toxicologischen Untersuchungen mit Gasen vortrefflich eignet.

Die Thiere (Kaninchen und Hühner) wurden in den Kasten des kleinen Pettenkofer'schen Respirationsapparates gesetzt, mit Futter versorgt, die Fugen an der Thüre des Kastens mit Klebwachs verschlossen, so dass die Luft nur durch das Zufuhrrohr eintreten konnte und der Kasten durch reichliche Luftmengen ventilirt.

In das Zufuhrrohr wurde auf $\frac{2}{3}$ der Länge das Gasleitungsrohr eingesenkt, durch welches aus einem Glas-

gasometer das unverdünnte oder schon vorgängig mit Luft gemischte Kohlenoxydgas zugeleitet wurde. Dieses wurde aus dem Gasometer durch Wasser verdrängt, das mit constanter Geschwindigkeit entweder aus einem zur Mariotteschen Flasche adaptirten grossen Gasometer oder aus einer grossen zweihalsigen Woulff'schen Flasche zuffloss, in welcher das Niveau durch auswechselbare Berzelius-Flaschen in constanter Höhe erhalten wurde. Letztere Vorrichtung diente dazu, während des Versuches durch Wägung der Berzelius-Flaschen die Gleichmässigkeit der Kohlenoxydzufuhr constatiren zu können und insbesondere um vor Einbringen des Thieres durch Regelung des Zuflusses den gewünschten Procentgehalt der Athemluft herzustellen und zu ermitteln. Das Gas im Gasometer stand unter Atmosphärendruck und war nur durch eine wenige Millimeter hohe Wasserschicht von Aussen abgeschlossen. Am Schlusse des Versuchs wurde das Gasometer gewogen und aus der Differenz vom Anfangsgewichte unter Berücksichtigung der Temperatur das verwendete Kohlenoxyd berechnet. Aus den Angaben der Gasuhr ergab sich die Gesamtventilation und aus dem Verhältnisse beider der Procentgehalt der Athemluft an Kohlenoxyd. Wie aus der Uebereinstimmung der Vergiftungserscheinungen bei gleicher Concentration und aus der Controle durch die Berzelius-Flaschen sich ergab, geschah die Mischung sehr gleichmässig. Schwankungen im Kohlenoxydgehalte konnte der Wechsel der Temperatur bedingen, doch waren ihre Schwankungen nicht gross und ihr Einfluss wurde dadurch wesentlich vermindert, dass die Ventilation sehr bedeutend war (durchschnittlich 350 Liter per Stunde) und desshalb die Veränderung der Dichtigkeit des Gases in dem ca. 20 Liter haltenden Gasometer nicht in Betracht kam.

Ausser den Versuchen an Kaninchen und Hühnern, die in diesem Apparate angestellt wurden, führte ich auch zahlreiche Versuche an weissen Mäusen aus. Hierzu stellte ich

die Gasmische schon vor dem Versuche her und benützte den von Hempel angegebenen handlichen Apparat aus zwei mit ihren weiten Mündungen durch ein Kautschukband zusammengehaltenen Trichtern. Die Resultate waren im Ganzen übereinstimmend mit denen bei grösseren Thieren, doch ist die Wirkung geringerer Giftmengen auf so kleine Thiere natürlich schlecht zu beurtheilen. Ich verwendete bei meinen Versuchen Concentrationen des Kohlenoxydes von 0,02 %—0,5 %. Die Dauer der Versuche schwankte bei den verdünnten Gemischen von 10 Stunden bis 3½ Tagen. Ohne auf die Details der Einzelversuche hier näher einzugehen, werde ich nur kurz die Krankheitserscheinungen und ihre graduelle Steigerung zu skizziren versuchen.

Schon bei einem Gehalte der Athemluft von circa 0,06—0,07 % ist eine Veränderung im Verhalten des Thieres wahrnehmbar. Längstens eine halbe Stunde nach Beginn der Einathmung werden die Athemzüge flach und sehr zahlreich, ohne dass Dyspnoe vorhanden wäre. Die Thiere verhalten sich aber möglichst ruhig, da jede Bewegung eine lebhaftere weitere Beschleunigung der Respiration bedingt. Bei gleichbleibender Concentration ist aber auch bei tagelanger Einwirkung ein weiteres Symptom von Erkrankung nicht wahrzunehmen. Bei Steigerung des Kohlenoxydgehaltes bis 0,1 % etwa treten keine anderen Veränderungen ein, als dass das Athmen sehr rasch erfolgt und erschwert ist, der Mund ist geöffnet, die Nasenflügel bewegen sich mit, oft wird der ganze Leib mitbewegt. Die Thiere fressen nicht oder wenig, und sitzen meist flach mit weit ausgestreckten Vorderbeinen da. Erst bei einem Gehalte von 0,15 % etwa zeigen sich weitere Krankheitserscheinungen. Die peripheren Gefässe sind stark erweitert, daher die Ohren und anderen unbehaarten Theile stark geröthet. Zu den starken Athembeschwerden gesellt sich Unsicherheit und Schwäche der Bewegungen. Das Thier schwankt,

wenn es sich aufrichtet oder geht, insbesondere die Hinterbeine gehorchen den Willensimpulsen nur mangelhaft. Es vermag den Kopf nicht mehr aufrecht zu halten, hält nur mühsam das Gleichgewicht und sinkt öfter auf die Seite. Es gleitet leicht aus und vermag die weitabgerutschten Beine erst nach einiger Zeit wieder anzuziehen. Ein Huhn zeigte bei diesem Procentgehalte der Luft merkwürdige Stellungen des Kopfes, die nur aus Schwindelgefühl erklärbar schienen und lebhaft an die Stellungen von Hühnern mit zerstörten Bogengängen erinnerten. Auch diese Erscheinungen steigern sich nicht weiter auch bei 9—10 Stunden langer Einwirkung des Gasgemisches. Steigt der Gehalt des Kohlenoxydes noch höher, so vermögen die Thiere nicht mehr sich aufrecht zu halten. Sie sinken bald auf die Seite; an die Wand des Kastens gelehnt verharren sie oft stundenlang in den unbequemsten Stellungen in tiefer Betäubung. Sie reagiren nicht auf Anklopfen oder Geräusche, die Respiration ist mühsam, die Zahl der Athemzüge noch immer hoch, aber weit geringer als bei verdünnterem Kohlenoxyde und tiefer. Doch können in diesem Stadium die Respirationsstörungen sehr hinter die Erscheinungen der Betäubung zurücktreten. Von Zeit zu Zeit erwachen sie etwas, machen ungeschickte Versuche, sich aufzurichten. Die Bewegungen sind mangelhaft coordinirt. Ist es nach vielen Schwankungen in aufrechte Stellung gelangt, so stürzt es bald wieder auf die Seite oder sinkt mit weitgestreckten Beinen auf den Bauch nieder, um sich nach langer Pause wieder aufzuraffen. Je höher der Kohlenoxydgehalt ist, um so heftiger werden die zeitweise wiederkehrenden Versuche sich aufzurichten und nehmen einen krampfartigen Charakter an. Aber auch diesen Zustand vermögen die Thiere noch lange zu ertragen. Ich liess Kaninchen eine Luft mit 0,2 % bis zu 12 Stunden, eine solche mit 0,28 % acht Stunden lang, eine mit 0,35 % und 0,36 % je 3 Stunden einathmen, ohne dass die Thiere

zu Grunde gingen; obwol bei den zwei letzten Concentrationen bei Schluss des Versuches die Zahl der Athemzüge bereits bedenklich gesunken war. Steigt aber der Kohlenoxydgehalt auf 0,4 und 0,5 %, dann verläuft die Vergiftung sehr rapid. Die Respiration wird nach wenigen Minuten stürmisch, die Thiere stürzen bald zusammen, liegen kurze Zeit regungslos, um bald darauf einige wilde Sätze zu machen, bei denen es zweifelhaft ist, ob man noch willkürliche Bewegungen oder clonische Krämpfe vor sich hat. Doch schienen sie mir stets mit der Absicht ausgeführt, die aufrechte Stellung zu erlangen. Sehr bald werden die Athemzüge seltener, 60, 40, 10, 8, 6 in der Minute, und stehen entweder plötzlich still, ohne dass eine weitere Veränderung am Thiere wahrnehmbar wäre, oder das Thier stösst kurz vor dem Tode ein oder zwei gellende Schreie aus und wird vom Opisthotonus ergriffen, der aber nie sehr hochgradig ist.

Aus diesen Versuchen ergibt sich also, dass schon überraschend geringe Mengen des untersuchten Gases giftige oder schädliche Wirkungen bedingen. Es zeigt sich aber das Auffallende, dass trotz fortdauernder Zufuhr neuer Dosen des Giftes bei gleichbleibender Concentration eine Steigerung der Giftwirkung doch nur in sehr beschränktem Masse stattfindet. In kurzer Zeit, längstens in einer Stunde, sind die Symptome zu einer gewissen Höhe entwickelt, um dann auf dieser tage- oder stundenlang annähernd gleich zu bleiben, so dass innerhalb gewisser Grenzen jeder Concentration ein bestimmter Grad der Vergiftung entspricht. Dass die Höhe der Vergiftung in der That von der Concentration und nicht von der Dauer der Einwirkung des Gases abhängt, zeigen besonders deutlich Versuche, die ich öfter wiederholte, bei denen, nach Ausbildung der Symptome, von einem höheren Kohlenoxydgehalte auf einen niedrigeren herabgegangen wurde. Trotz continuirlicher Zufuhr des Giftes nahmen die Vergiftungserscheinungen doch bedeutend ab

und die Thiere erholten sich bis zu einem gewissen Grade oder auch völlig, wenn der Kohlenoxydgehalt niedrig genug war. Es ist also unmöglich anzunehmen, wie diess Fodor gethan hat, dass im Organismus eine continuirliche Anhäufung des Kohlenoxydes stattfindet. Im Gegentheile muss der Organismus Mittel haben, das Gas unschädlich zu machen. In Uebereinstimmung hiermit steht auch, dass das Kohlenoxyd bei und unter 0,05 % nicht die geringste wahrnehmbare Wirkung hervorbringt. So hatte insbesondere ein 72stündiger Versuch mit einem trächtigen Kaninchen mit ca. 0,05 % Kohlenoxyd ein völlig negatives Resultat. Das lebhaftes Thier blieb fortwährend frisch und munter und zeigte einen höchst gesunden Appetit. Um aber völlig sicherzustellen, dass es einen messbaren Grad der Verdünnung gebe, unterhalb dessen jede Schädlichkeit des Gases erlischt, stellte ich auch zwei Versuche an mir selbst an.

Die Mischung der Luft mit dem Kohlenoxyde geschah in derselben Weise wie bei den Thierversuchen im kleinen Respirationsapparate. Das aus der Gasuhr abströmende Gasgemische gelangte zunächst in ein genau äquilibrirtes Gasometer, das als Reservoir diente, und konnte von da durch den einen Schenkel eines T-rohres und ein wenige Millimeter hohes Wasserventil ins Freie entweichen. Der zweite Schenkel des T-rohres führte zu einem Müller'schen Ventil, das wieder mit dem einen Schenkel eines Mundstückes verbunden war, das zwischen Lippen und Kiefer eingeführt werden konnte und die Ausathmung durch ein zweites Müller'sches Ventil gestattete, während die Nase durch eine Klemme geschlossen wurde. Der Wasserabschluss im Müller'schen Einathmungsventil war etwas höher als bei dem für den Abfluss des continuirlichen Luftstromes bestimmten, so dass, während dieser ohne Unterbrechung abfloss, der Luftbedarf durch jenes in die Lungen geschöpft werden konnte. Zwischen Gasuhr und Gasometer war noch eine Zweig-

leitung angebracht, durch die eine Luftprobe zur Untersuchung nach Fodor abgesaugt werden konnte.

Mittelst dieses Apparates athmete ich an zwei aufeinanderfolgenden Tagen je 3 Stunden lang einmal Luft mit 0,021 %, das andere Mal Luft mit 0,024 % Kohlenoxyd ein. Obwol in den Luftproben das Gas deutlich nachweisbar war, also jedenfalls auch in meinem Blute nach Fodor's Methode nachweisbar gewesen wäre, verspürte ich doch nicht die geringste schädliche Wirkung. Als erste Symptome werden von Selbstbeobachtern, z. B. von Klebs, Hitzegefühl in den Wangen, Druck in den Schläfen, Rauschen in den Ohren, Schwindel angegeben. Nichts von alledem konnte ich wahrnehmen, obwol ich ziemlich reizbar bin. Ich las während der ganzen Versuchsdauer und hatte keine andere unangenehme Empfindung als vom Druck der Nasenklemme und von der Trockenheit des Gaumens in Folge mangelhafter Einspeichelung.

War auch die Dauer der Versuche kurz, so scheinen sie mir doch für die Unschädlichkeit des so verdünnten Gases beweisend. Nach Massgabe der Thierversuche hätten sich in dieser Zeit bereits Symptome einstellen müssen, ja, wenn im Körper wirklich eine beträchtliche Anhäufung des Kohlenoxydes stattfände, dann hätte man eine arge Vergiftung erwarten müssen, wenn man bedenkt, dass die Blutmasse eines Erwachsenen etwa 1 Liter Sauerstoff resp. Kohlenoxyd zu binden vermag und in den drei Versuchsstunden mehr als 300 ccm Kohlenoxyd in meine Lungen gelangten.

Die Grenze der Schädlichkeit des Kohlenoxydgases liegt also wahrscheinlich bei einer Verdünnung von 0,05, sicher aber von 0,02 %. 1) Von einer beträchtlichen Anhäufung

1) In neuerer Zeit sind mehrere Beobachtungen veröffentlicht worden, wornach dem Kohlenoxyde eine noch grössere Giftigkeit zukommen

des Gases im Organismus kann keine Rede sein, und es fragt sich daher, auf welche Weise sich der Körper desselben entledigt. Es liegen diessbezüglich zwei Möglichkeiten vor; die Dissociation des Kohlenoxydhämoglobins und das Abdunsten des Gases entsprechend dem Partiardrucke desselben in der Aussenluft oder die Oxydation desselben zu Kohlensäure.

Da über diese Punkte lange Zeit Streit geführt wurde und die Meinungen darüber noch getheilt sind, prüfte ich in beiden Richtungen. Insbesondere schien gegen die Dissociation die Ausführbarkeit von Fodor's Verfahren zu sprechen, durch welches so minimale Mengen nachweisbar sind. Andererseits sprach die Proportionalität zwischen Concentration und Stärke der Vergiftung sehr für dieselbe, da es bei Annahme einer so lebhaften Oxydation schwer

würde. So führen Biefel und Poleck (*Zeit. f. Biol.* 16. Bd. S. 322) in ihren so sorgfältigen und mühsamen Untersuchungen ein Experiment an einem Kaninchen an, das Taumelbewegung und Sopor zeigte, während in der Athemluft 0,04% CO nachgewiesen wurden. Diese heftigen Erscheinungen erfolgten aber um 12^h, während die Luftprobe um 5^h entnommen wurde und die Vergiftungserscheinungen zu dieser Zeit schon nachgelassen hatten.

Fodor hat (a. a. O.) eine Reihe von Vergiftungsversuchen, die in einem dem meinen ähnlichen Apparate angestellt wurden, publicirt. Darnach sollen Kaninchen schon bei 0,023% Tetanus bekommen haben. Eine Durchsicht der Versuchstabelle führt aber zur Ueberzeugung, dass F.'s Apparat nicht genau functionirt haben kann; denn in anderen Fällen sind wieder die Symptome bei 0,2% ja bei 0,4% bei vierstündiger Einwirkung sehr unbedeutend, bei welcher letzterer Concentration nach meinen Versuchen in einer Stunde unfehlbar der Tod eintritt. Individuelle Verschiedenheiten sind bei diesem Gifte sehr unwahrscheinlich und sind mir nicht vorgekommen.

Endlich will Hempel (a. a. O.) bei Mäusen hochgradige Giftwirkungen bei 0,06 und 0,07% beobachtet haben. Ich habe bei etlichen 20 Versuchen an weissen Mäusen nichts Derartiges gesehen. Die Thiere athmeten nur angestrengt und waren ruhig, vielleicht etwas betäubt.

verständlich wäre, warum schon so geringe Gasmengen so schädlich wirken.

Ich habe die Versuche von Eulenburg, Donders und Zuntz wiederholt und es kann gar kein Zweifel darüber bestehen, dass das Kohlenoxydhämoglobin sich bei Körpertemperatur in beträchtlichem Masse dissociirt. Es wäre auch ohne Annahme der Abhängigkeit der Bildung desselben vom Partiardrucke des Kohlenoxydes unverständlich, warum die Vogel'sche Probe auch bei Anwendung grösserer Luftmengen im Stiche lässt. Setzen wir den Fall, wir hätten in eine 20-Liter-Flasche 6 ccm Kohlenoxyd gebracht und fügen 10 ccm Blut hinzu. 10 ccm Blut vermögen höchstens 1,7 ccm Kohlenoxyd zu binden; wenn also einfach das Kohlenoxyd den Sauerstoff austreiben würde, wäre mehr als 3mal so viel Kohlenoxyd vorhanden, um das Blut völlig zu sättigen, worauf es auch im unverdünnten Zustande die charakteristische Spectralreaction geben müsste. Aber Fodor's Verfahren selbst ist beweisend. So vortreffliche Dienste es zum qualitativen Nachweis des Kohlenoxydes leistet, zur quantitativen Bestimmung ist es unbrauchbar. Das reducirte Palladium entspricht stets nur einem geringen Theile des vorhandenen Kohlenoxydes, und zwar deshalb, weil das Blut stets nur einen kleinen Theil desselben absorbiert. Bei richtigem Verfahren verliert man bei den weiteren Operationen nichts. Folgender, öfter von mir wiederholte Versuch ist beweisend. In eine 20 Liter-Flasche werden 2 ccm Kohlenoxyd gebracht, 10 ccm Blut zugefügt, geschüttelt, nach einiger Zeit das Blut entleert, die Reste mit Wasser ausgespült und diess Verfahren mit neuen Blutproben 3 und 4mal wiederholt. Das Resultat war stets das gleiche, ob jede Blutprobe 20 Minuten oder 3 Stunden mit der Luft in Berührung blieb. Alle Blutproben gaben in Fodor's Apparate die Kohlenoxydreaction und, wenigstens die 3 oder 4 ersten, annähernd in gleicher Stärke.

Nebenbei bemerkt, ermöglicht es dieses Verhalten in gerichtlichen Fällen, eine bereits untersuchte Luftprobe zur Controle der höheren Instanz zu übersenden. Es muss nur das Blut sorgfältig ausgespült und die Flasche luftdicht verschlossen werden.

Auch die insbesondere von Pokrowsky ¹⁾ urgirte, von Dybkowsky ²⁾ bestätigte Oxydation findet zweifellos statt. Sie erfolgt langsam schon bei gewöhnlicher Temperatur. Auch diesen Beweis kann man mit der eben erwähnten Anordnung erbringen. Je mehr Oxyhämoglobin neben Kohlenoxydhämoglobin in einer Blutprobe enthalten ist, um so rascher wird die Oxydation verlaufen. Bringt man von den wie oben bereiteten 4 oder 5 Blutproben die 4. oder 5. sogleich in Fodor's Apparat, während man die übrigen wohlverkorrt bei gewöhnlicher Temperatur stehen lässt, so ist in letzteren schon nach 6 Stunden kein Kohlenoxyd mehr nachweisbar, während die sogleich untersuchte starke Reduction bewirkte.

Bei Körpertemperatur geht die Oxydation viel rascher vor sich, wovon ich mich wiederholt überzeugte.

Im Organismus finden also jedenfalls beide Prozesse statt, das Ueberwiegen der Dissociation ist mir aber aus dem oben angegebenen Grunde wahrscheinlicher.

Nachdem durch die bisherigen Versuche festgestellt war, dass es eine Grenze der Schädlichkeit des Kohlenoxydes gebe, dass es möglich sei, nach dem Verfahren Fodor's noch eine mindestens viermal kleinere Menge in der Luft nachzuweisen, durfte man hoffen durch Untersuchungen in verschiedenen Wohn- und Heizräumen Bestimmteres über das Vorkommen und damit über die hygienische Bedeutung des

1) Virchow Archiv 36. Bd. S. 482.

2) Hoppe-Seyler Med.-chem. Untersuchungen I. Heft 1866 S. 116.

Kohlenoxydes zu erfahren. Zwar fehlt es noch an einer quantitativen Methode, denn die von Fodor neuerdings empfohlene ist die alte fehlerhafte, aber wenigstens kann man auf folgende Weise gewisse Grenzwerte erlangen. 20 Liter Luft werden mit 10 cc Blut geschüttelt. Das Blut wird nach Fodor auf Kohlenoxyd geprüft. Das Spülwasser davon wird im Spectralapparate untersucht. Erhält man die Reaction nach Fodor, aber die im Spectralapparate nicht, so weiss man, dass der Gehalt weniger als 0,1% und mehr als 0,005% beträgt.

Ferner nimmt man 100 ccm Luft etwa und prüft nach Vogel. Gab die Untersuchung der grossen Luftprobe die Absorptionsstreifen, die zweite aber nicht, dann liegt der Kohlenoxydgehalt zwischen 0,1 und 0,25%. Eine Luft, die mehr als 0,25% enthält, würde wohl als höchst giftig zu bezeichnen sein. Vorkommenden Falls könnten diese allerdings rohen Grenzbestimmungen doch Anhaltspunkte abgeben, ob man beobachtete Krankheitserscheinungen auf den Kohlenoxydgehalt der Athemluft beziehen dürfe.

Indess kam ich nie in den Fall, davon Anwendung zu machen, denn niemals gelang mir der Nachweis der geringsten Kohlenoxydmenge. Ich untersuchte die Luft mehrerer Laboratoriumsräume, eines Dampfkesselhauses, in dem eben ein leichter Kohlengeruch wahrnehmbar war, eines durch einen eisernen Ofen geheizten Wohnzimmers, dessen Bewohner während der kalten Jahreszeit an beständigem Kopfschmerz litten, der angeblich bei Heizung des Ofens sich steigerte, wodurch der Verdacht auf diesen gelenkt wurde: immer ohne Erfolg.

Dasselbe negative Resultat hatten mehrere Versuche, bei denen ich den eisernen Ofen eines kleinen Badezimmers stundenlang zum grössten Theile glühend erhielt. Obwol eine Luftprobe direct von der Ofenwand abgesaugt wurde, konnte ich doch keine Spur von Kohlenoxyd auffinden.

Wenn auch die Thatsache der Durchgängigkeit des glühenden Eisens für Kohlenoxyd feststeht — ich überzeugte mich abermals durch einen geeigneten Versuch davon — so wirkt doch bei einem eisernen Ofen die Druckdifferenz zwischen der Luftsäule im Kamin und der Aussenluft der Diffusion jedenfalls in bedeutendem Masse entgegen und die etwa diffundirenden Mengen sind so gering, dass sie sich selbst bei meinen der Diffusion sehr günstigen Versuchen nicht nachweisen liessen. Auch wird man berücksichtigen müssen, dass die durch die glühenden Ofenwandungen in die freie Luft diffundirenden Kohlenoxydmengen bei Entzündungstemperatur mit reichlichem Sauerstoffe zusammentreffen, daher wahrscheinlicher Weise sogleich zu Kohlensäure verbrennen. Von dieser Seite droht also von den eisernen Oefen, denen ich im Uebrigen nicht das Wort reden will, mit Bestimmtheit keine Gefahr.

Ebenso liess die Untersuchung einer Hauber'schen Luftheizung weder in der Heizkammer noch in dem geheizten Schulzimmer die geringste Spur Kohlenoxyd erkennen, obwol zehn der kleinen Calorifären zur Hälfte rothglühend waren. Hiermit ist wol der principiellen Bekämpfung der Luftheizung von diesem Gesichtspuncte aus, der Boden entzogen. Etwaiges Vorkommen von Kohlenoxyd in Luftheizungen wird auf mangelhafte Anlage oder Instandhaltung zu beziehen sein.

Ueberhaupt gelang mir der Nachweis des Kohlenoxydes bisher nur einmal, als ich in ein Zimmer Leuchtgas in gemessenen Mengen einströmen und darin diffundiren liess. Bei einem Maximalgehalte von 0,007 % Kohlenoxyd war dasselbe nachweisbar. Der charakteristische Leuchtgasgeruch war aber bereits deutlich, wenn auch schwach erkennbar, als höchstens 0,003 % Kohlenoxyd in der Zimmerluft enthalten sein konnten.

Es ergibt sich also der Geruch empfindlicher zum

Nachweise des Leuchtgases als die Reaction auf Kohlenoxyd und ganz dasselbe zeigte sich beim Kohlendunste; auch dessen charakteristischer Geruch war wahrzunehmen, während noch kein Kohlenoxyd sich auffinden liess.

In Anbetracht 1. dass es einen Grad der Verdünnung gibt, bei welchem das Kohlenoxyd keinerlei Symptome im Organismus bewirkt;

2. dass auch bei sehr lange fortgesetzter Athmung einer das Kohlenoxyd in unschädlicher Verdünnung enthaltenden Luft keine Anhäufung dieses Gases im Körper stattfindet;

3. dass das Kohlenoxyd noch in einer weit unter der Grenze der Schädlichkeit liegenden Verdünnung nach Fodor's Methode sicher nachweisbar ist, und

4. trotzdem in mit stark glühenden eisernen Stuben- und Luftheizungsöfen geheizten Zimmern kein Kohlenoxyd zu finden war;

darf ich wohl aussprechen, dass die namentlich von der Anwendung eiserner Oefen und Luftheizungen befürchteten Gefahren für die Gesundheit in der vielfach angenommenen Weise nicht bestehen.

Die vorliegende Untersuchung wurde im hygienischen Institute des Herrn Geheimrath von Pettenkofer auf dessen Anregung ausgeführt. Ich sage meinem verehrten Lehrer für seine Theilnahme und Unterstützung meinen innigsten Dank.
