

lysatorschicht vorausgesetzt⁴⁾). Die Messungen mit Verbrennungskapillaren haben ferner gezeigt, daß die Stoßausbeute am (kompakten) Katalysator bei hohen Temperaturen nahezu 100% beträgt, und daß die zu Stickoxyden führenden Reaktionen für die Erforschung solcher schnellverlaufenden Prozesse sehr geeignet sind.

Nun kann man für die Vorgänge am Katalysator bei Sauerstoffüberschuß und hoher Temperatur (wo die Verhältnisse einfacher liegen) sowie bei „normalen“ Verhältnissen (kein Auftreten der Explosionszone) folgendes Bild angeben: An der Katalysatoroberfläche verschieben sich die Konzentrationsverhältnisse $[O_2] : [NH_3] : [HNO]$ erheblich zugunsten des Sauerstoffs, teils durch das Vorhandensein einer Sauerstoffschicht an der Oberfläche des Katalysators, teils durch den steilen Abfall der Ammoniakkonzentration in der Nähe des Kata-

⁴⁾ Andernfalls kann sich die stehende Explosionszone, in welcher das am Katalysator nicht umgesetzte Ammoniak zu Stickstoff verbrennt, auch hinter dem Kontakt bilden; siehe Abhandlung V.

lysators⁵⁾. Somit ist die Wahrscheinlichkeit für das Zustandekommen der Reaktionen I. $NH_3 + O_2 \rightarrow NH_2 + O$, $O = HNO + H_2O$ und II. $HNO \xrightarrow{O_2} NO$ erheblich größer, als für Reaktion III. $HNO + NH_3 \rightarrow N_2H_3 + H_2O$; die zu Verlusten an gebundenem Stickstoff führende Diimidbildung ist also ganz gering, und es resultiert die fast quantitative Bildung von Stickoxyd⁶⁾.

Bei allen diesen Betrachtungen ist stillschweigend die bis jetzt noch offene Frage umgangen, weshalb und wie diese außerordentliche Beschleunigung der Reaktionen am Katalysator (wie auch in der Explosionszone) zutage tritt, und weshalb sonst im freien Gasraum auch bei hoher Temperatur (z. B. 1400° und darüber) das Ammoniak so träge gegenüber dem Sauerstoff ist. [A. 9.]

⁵⁾ Siehe Nächstes Abhandlung V; die Konzentrationsverhältnisse an der Katalysatoroberfläche ($r = a$) müssen zwischen den beiden extremen Annahmen liegen, welche in den Berechnungen von Townsend und Kohlrausch als Randbedingungen dienen.

⁶⁾ Es kommt hier noch der thermische Zerfall, hauptsächlich des Stickoxyds, hinzu.

Analytisch-technische Untersuchungen.

Zum Phosgennachweis in chemischen Feuerlöschern.

Von Prof. Dr. med. et phil. ERHARD GLASER und Dr. phil. S. FRISCH.

Chemisches Laboratorium des pharmakognostischen Instituts der Universität Wien.

(Eingeg. 14. Januar 1928.)

Die meisten chemischen Feuerlöscher beruhen auf der Anwendung von Tetrachlorkohlenstoff allein oder in Mischung mit anderen Substanzen. Es ist bekannt, daß dieses in dieser seiner Verwendung bei höheren Temperaturen und Vorhandensein von Sauerstoff das äußerst giftige Phosgen entstehen läßt und in dieser Hinsicht auch schon Opfer gefordert hat. Über die Wirkung des Tetrachlorkohlenstoffs als Feuerlöschmittel, das schon in W. Doeblings Handbuch des Feuerlöschwesens aus dem Jahre 1881 als solches erwähnt wird, ist das Urteil einstimmig günstig. Daß Tetrachlorkohlenstoff gewisse anästhesierende Eigenschaften¹⁾ hat, dürfte bei der Dauer, Art und Menge, wie sie bei Feuerlöschzwecken in Betracht kommen, keine besondere Rolle spielen. Wichtiger sind technische Bedenken, die Stahl²⁾ vorbringt. Wiederholt konnte Verrostung der Apparatewandungen und dadurch Verschlammung des Tetrachlorkohlenstoffs festgestellt werden, wodurch einsteils die Apparate betriebsunfähig werden, andernteils der Vorteil der absoluten Nichtleitfähigkeit dadurch, daß dieses Lösungsmittel Metalle durch Angreifen der Wandungen in sich aufnimmt, verlorengeht. Gesundheitlich bedenklich sind die Angaben von F. Wirth³⁾ bezüglich des Tetrachlorkohlenstoffs. So ereigneten sich in England ein akuter Todesfall und mehrere leichte Vergiftungen, weil Tetrachlorkohlenstoff als Shampoomittel gebraucht wurde, ferner erkrankten Arbeiter, die mit einer Tetrachlorkohlenstoff enthaltenden Flüssigkeit einen Dampfkessel innen anstrichen, an Tobsuchts- und Ohnmachtsanfällen und blieben längere Zeit berufsunfähig. Auch Minot und Smith⁴⁾ berichten über Anzeichen von Vergiftungen bei Arbeitern, die in Kunstseidesfabriken mit Tetrachlorkohlenstoff in Berührung kamen. Desgleichen sind in Frankreich⁵⁾ beim Kopfwaschen mit Tetrachlor-

kohlenstoff, dem 5% Schwefelkohlenstoff zugesetzt war, Fälle von Unwohlsein leichterer und schwererer Art vorgekommen⁶⁾. Trotzdem hat es Fülleborn⁷⁾ in einer Gabe von 3 ccm als vorzügliches Anthelminticum innerlich empfohlen; es wurde auch vielfach als solches verwendet, ist aber jetzt, seit Kehler und A. J. Oudental⁸⁾ über fünf Todesfälle Mitteilung machten, wieder verlassen. Aus diesen Angaben geht schon hervor, daß Tetrachlorkohlenstoff schon an sich durch seine spezifischen Wirkungen gefährlich werden kann; in seiner besonderen Verwendung als Feuerlöscher kommt aber noch ein Gefahrenmoment hinzu. Bei der thermischen Zersetzung des Tetrachlorkohlenstoffs in Gegenwart von Sauerstoff bildet sich nämlich Phosgen, wobei hier noch besonders in Betracht gezogen werden muß, daß es in solchen Fällen an Katalysatoren nicht zu mangeln pflegt.

Da das Phosgen eines der wirksamsten Kampfgase gewesen ist, so sind seine Wirkungen aus den Darstellungen Flurys, Heitzmanns, Laqueurs und Magnus⁹⁾ bekannt. Es hat einen süßlichen Geruch und riecht erst bei höheren Konzentrationen erstickend; der Unerfahrene wird daher durch Chlorgas viel eher gewarnt als durch Phosgen. Die tödliche Dosis beträgt pro kg Katze $\frac{1}{4}$ mg, und nach Laqueur und Magnus war die subjektive Unerträglichkeitsgrenze bei kurzem Aufenthalt bei 20 mg im cbm, doch ist länger dauernder Aufenthalt in Luft mit einem Gehalt von 5 bis 10 mg im cbm schon mit Lebensgefahr verbunden. Der Vergiftete erstickt. Wo Gewebe (z. B. Lunge) mit dem Phosgen in Berührung kommt, wird Salzsäure abgespalten, das Gewebe verätz, das Blut zerstört, so daß die Lunge ihre Funktionen nicht mehr ausüben kann, während das Phosgen selbst sich nach der Gleichung $COCl_2 + H_2O \rightarrow CO_2 + 2HCl$ zersetzt. Floret¹⁰⁾ berichtet von einem Arbeiter, der beim Reinigen von

¹⁾ Kober, Kompendium der praktischen Toxikologie, Lehmann, Lehrbuch der Arbeits- und Gewerbehygiene.

²⁾ Stahl: Feuerschutz, Ztschr. d. Reichsvereines deutscher Feuerwehringenieure 1922, 274.

³⁾ Vgl. L. Levin, Ztschr. Dtsch. Öl-Fettind. 1920, 28

⁴⁾ Minot u. Smith, Chem. Ztbl. 1924, I., 1412.

⁵⁾ Zentralblatt Gewerbehygiene Unfallverhüt. 1914, 311.

⁶⁾ Lehmann, Arbeits- u. Gewerbehygiene 1919, 233.

⁷⁾ Fülleborn, Arch. f. Schiffs- u. Tropenhygiene 27, 280 [1923].

⁸⁾ Kehler u. A. J. Oudental, Nederl. Tijdschr. Geneeskunde 70,

746 [1926].

⁹⁾ Ztschr. ges. exp. Medizin 1921, Gasband.

¹⁰⁾ Floret.

Phosgenflaschen sein Leben einbüßte, und unlängst ging durch alle Zeitungen die Mitteilung, daß in Offenbach zwei Chemiker, die dem Manipulieren eines Arbeiters mit Phosgenflaschen zuschauten, an Phosgenvergiftung starben.

Es ist daher begreiflich, daß durch sein Entstehen beim Feuerlöschen sich bereits Unglücksfälle ereignet haben. So werden zwei Todesfälle beim Auslöschen eines Brandes in einem Unterseeboot der amerikanischen Marine im Jahre 1919 mitgeteilt, die zu einer Untersuchung durch A. C. Fieldner, Katz, Kinney und Longfellow¹¹⁾ Veranlassung gegeben haben, wobei die Bildung von 13,2% Phosgen nachgewiesen werden konnte. Bezuglich des Chloroforms war dies schon früher von W i k i¹²⁾, ja nach C l o v e r¹³⁾ sogar bei der bloßen Autoxydation festgestellt. W i r t h meldet eine ganze Reihe von Unfällen, ebenso L e h m a n n¹⁴⁾, und zwar bezüglich der Essener Feuerwehr, der Hawag in Köln, Hamburg, und von Bränden in Hermsdorf, Tschechnitz bei Breslau. Dasselbe berichtet die Berufsgenossenschaft der Feinmechanik in ihrem Jahresberichte 1922, ebenso auch Quarterly of the National Fire Protection Association (I. Bd., p. 173)¹⁵⁾. Diese Tatsachen veranlaßten den Gutachterausschuß (Tetraausschuß) des R. D. F.¹⁶⁾, den Inhalt auf zwei Liter zu begrenzen, wie auch schon früher von rein wissenschaftlicher Seite¹⁷⁾ verlangt wurde, daß Tetrachlorapparate nicht in geschlossenen Räumen in Anwendung gebracht, Gasmasken benutzt und mit einer genauen Anwendungsvorschrift versehen werden, in der auf die Giftigkeit der entstehenden Gase hingewiesen wird.

Als das Zentralgewerbeinspektorat in Wien infolge eines Unfalles in einer Fabrik sich mit einer Feuerlöschflüssigkeit zu befassen hatte, die aus Brommethyl, Äthylenbromid und Tetrachlorkohlenstoff bestand und patentamtlich deshalb geschützt worden war, weil der Zusatz von Äthylenbronid das Auftreten von Phosgen in dieser Zusammensetzung verhindern sollte, war es aus den genannten Gründen von Interesse, jene Flüssigkeit zu prüfen.

Die pyogene Phosgenbildung hat B i e s a l s k i¹⁸⁾ unter den verschiedensten Versuchsbedingungen quantitativ durch Bindung an Anilin als schwerlöslichen Diphenylharnstoff nach der Methode von K l i n g und S c h m u t z¹⁹⁾ zu bestimmen versucht. Er hat dabei unter Verwendung von Kupferoxyd als Katalysator bei 450° das Optimum der Phosgenbildung aus Tetrachlorid mit 13,64% der theoretischen Ausbeute festgestellt, welches ungefähr mit dem von F i e l d n e r, K a t z, K i n n e y und L o n g f e l l o w gefundenen Werte von 13,2% Phosgen übereinstimmt.

Mit Rücksicht auf die Gefährlichkeit des Phosgens schwiebte uns vor allem vor, die Empfindlichkeit der Methode von K l i n g und S c h m u t z zu steigern. Dazu schien uns einerseits die Verwendung von wasserfreiem Eisenchlorid geeignet, bei dem schon B i e s a l s k i einmal bei 250° ein Optimum von 25,4% erzielen konnte, andernteils erschien es gangbar, durch Verlängerung des Streichens über den Kontaktkörper eine Besserung der Ausbeute zu erreichen. Angesichts der Erfahrungen

B i e s a l s k i s, daß wasserfreies Eisenchlorid beim Erhitzen auf 250° das Rohr verstopft, mußte versucht werden, diesen Übelstand zu beseitigen. Als brauchbar erwies sich das Vermischen des wasserfreien Eisenchlorids mit etwa der zehnfachen Menge scharfgetrockneten Bimssteins, wobei niemals Verstopfungen der Rohre aufraten. Was den zweiten Punkt anlangt, machten wir die Erfahrung, daß die Verlängerung des Kontaktweges nur bis zu einer bestimmten Grenze zu einer Verbesserung der Phosgenausbeute führt; eine Steigerung über 30 cm erwies sich als überflüssig. Nach zahlreichen Versuchen ergab es sich, daß die Einhaltung der im folgenden erwähnten Bedingungen die günstigste Phosgenausbeute gewährleistete. Die Verbrennung vollzog sich in einem mittels konzentrierter Schwefelsäure vorgetrockneten Luftstrom, welcher weiterhin durch ein Kölbchen strich, in welches das zu verbrennende Tetrachlorid mittels einer Meßpipette eingefüllt worden war. Beim Durchstreichen dieses Kölbchens nahm die Luft den Tetrachlorkohlenstoff in gasförmigem Zustande mit, und das erhaltene Gemisch wurde nun durch eine doppelt rechtwinkelig gebogene, 30 cm lange und 1,8 cm dicke Glasröhre geleitet. Die Glasröhre befand sich mit ihrem mittleren Teile in einem auf 220—250° geheizten Sandbade. Die Reaktionsprodukte wurden nach dem Vorgange von B i e s a l s k i mit Antimontrisulfid von Chlor befreit und in Anilinwasser geleitet. Der entstandene Niederschlag ließ sich bequem durch einen Goochtiegel aus Berliner Porzellan mit eingearbeitetem Tonboden (Format B 1) filtrieren und wurde bei 70° getrocknet. Die Ausbeuten differierten anfangs ganz beträchtlich, doch gelang es späterhin, ziemlich konstant ca. 45% der Theorie zu erhalten. Bei Einhaltung dieser Bedingungen gelang es leicht, in ca. zwei Stunden eine Doppelbestimmung zu Ende zu führen, so daß wir oft diese Methode direkt zur Bestimmung des Tetrachloridgehaltes in Gemischen mit anderen halogenierten Kohlenwasserstoffen verwenden konnten. Die erhaltenen Resultate führten uns auf den Gedanken, daß die Ausbeute an Phosgen nur deshalb nicht über 50% der Theorie zu steigern ist, weil sich bei der Reaktion ein Gleichgewichtszustand zwischen Phosgen und Tetrachlorid einstellt. Wir haben deshalb nach dem Passieren des Anilinwassers die Gase vorgetrocknet durch eine zweite Kontaktrohre geleitet, doch gelang es uns auf diese Weise nicht, die Ausbeute irgendwie nennenswert zu verändern. In einem besonderen Versuche hatten wir festgestellt, daß durch Durchleiten eines Luftstromes durch ein Gemisch von Anilinwasser und Tetrachlorkohlenstoff sich letzteres vollständig verjagen läßt. Die Erfahrung, daß nach etwa fünf Bestimmungen mit einer Kontaktrohre die Ausbeute an Phosgen merklich zu sinken begann, zwang uns, bei Durchführung von Serienbestimmungen mehrere Kontaktrohren zu verwenden. Die Schwankungen der Ausbeuten ließen es ratsam erscheinen, bei Prüfung von CCl₄-haltigen Gemischen auf Phosgenbildung vor der Durchführung der Bestimmung mit dem Gemisch in einem Vorversuch mit reinem Tetrachlorkohlenstoff uns über die Verwendbarkeit der Kontaktrohre zu vergewissern. Die verhältnismäßig rasche Abnahme der Kontaktwirkung erklärt sich offenbar durch eine Veränderung der Kontaktsubstanz, welche zu Produkten führt, denen eine nur beschränkte Kontaktwirkung kommt.

So fanden wir in Serienuntersuchungen mit reinem CCl₄ folgende Werte in Prozenten der theoretischen Ausbeute an COCl₂: 56,1, 43,8, 43,8, 42,3, 42,6, 42,2;

¹¹⁾ C. Fieldner, Katz, Kinney u. Longfellow, Journ. Franklin Inst. **88**, 45; Pittsburgh Experimental Station, Chem. Ztbl. **1921**, I., 347.

¹²⁾ W i k i, Chem. Ztbl. **1921**, III., 132.

¹³⁾ C l o v e r, ebenda **1924**, I., 1503.

¹⁴⁾ L e h m a n n, Ztschr. "Die Berufsfeuerwehr" **1923**, 18.

¹⁵⁾ Chem. Ztbl. **1920**, II., 691.

¹⁶⁾ Ztschr. Feuerschutz **3**, 28 [1920].

¹⁷⁾ Chem. Ztbl. **1921**, 2312.

¹⁸⁾ E. B i e s a l s k i, Ztschr. angew. Chem. **37**, 314 [1924].

¹⁹⁾ K l i n g u. S c h m u t z, Compt. rend. Acad. Sciences **108**, 773; ebenda **1919**, IV, 257.

51,5, 45,1, 57,9, 43,6, 56,3, 47,4%. Die Prüfung anderer halogenierter Kohlenwasserstoffe auf Phosgenbildung ergab bei Tetrachloräthan 0,92 und bei Trichlorkäthylen 0,0% Phosgen.

Die Untersuchung des Einflusses, den Zusätze von anderen halogenierten Kohlenwasserstoffen zu Tetrachlorkohlenstoff auf die Bildung von Phosgen COCl_2 ausüben, führte zu folgenden Ergebnissen:

Tetrachlorkohlenstoff im CH_3Br -Strom:	67,21, 63,57, 48,75%
Tetrachlorkohlenstoff mit 5% Äthylenbromid:	27,43, 15,45, 10,85%

Es ergibt sich somit, daß diese zwei halogenierten Kohlenwasserstoffe, welche zu Feuerlöschzwecken mit Tetrachlorkohlenstoff gemischt verwendet werden, auf die pyrogene Phosgenbildung aus Tetrachlorkohlenstoff mittels Eisenchlorid in quantitativer Hinsicht einen Einfluß ausüben, und zwar hat Methylbromid eine mäßige Erhöhung, Äthylenbromid eine bedeutende Verminde rung der Phosgenausbeute bewirkt. Eine Deutung der ersten Erscheinung vermögen wir nicht zu geben. Die Wirkung des Äthylenbromids scheint sich in der Weise geltend zu machen, daß es sowohl an der Reaktion teilnimmt und dadurch die Menge der gebildeten Reaktionsprodukte modifiziert, als auch durch Vergiftung des Katalysators die Phosgenbildung im fallenden Sinne beeinflußt.

Da sich eine ganze Reihe in- und ausländischer Feuerlöschapparate teils mit reinem Tetrachlorkohlenstoff, teils aber mit tetrachlorkohlenstoffhaltigen Flüssigkeitsgemischen im Verkehr befindet, so zogen wir einige solcher in den Kreis unserer Untersuchungen, um festzustellen, ob erstens überhaupt und zweitens in welchem Maße bei ihrer Verwendung die Bildung des giftigen Phosgens möglich ist. Die Ergebnisse lassen wir in einer Tabelle folgen.

Danach ergibt sich, daß von den untersuchten Feuerlöschnern drei teils nur, teils zum größten Teile aus Tetrachlorkohlenstoff bestehen. Bei ihrer Verwendung

Bemerkung zum Aufsatze „Über den Stil usf.“.

In diesem Aufsatze, auf S. 159 der Zeitschrift, hat unter Nr. 23 auch ein Zitat Aufnahme gefunden, über das mir der Autor der Abhandlung, aus der es entlehnt ist, schreibt: „Die Ausdrücke mögen auffallend sein, sind aber deshalb nicht als ‚absonderlich‘ zu bezeichnen. . . Das Zitat ist unrichtig herausgezogen und steht so nicht in meinem Aufsatze. . . Wären die unterschlagenen Worte z. B. gerade mit gesperrtem Druck hervorgehoben worden, so würde sich der Satz durchaus klar und richtig lesen lassen. Ich halte ihn also aufrecht und protestiere besonders dagegen, daß er an den Platz III, 23, ihrer Zusammenstellung gehöre“. Ich beeile mich, dies, mit

Name	Typen- größe ccm	Destill.-Fraktionen	Spez. Gew.	Zusammensetzung	Pro- zent ge- gen
Ardex	500	ca. 40% bis 50% ca. 60% bei 131–133°	1,920	ca. 40% CH_3Br ca. 60% $(\text{CH}_3\text{Br})_2$	0
Custos	300	zwisch. 4–8° vollst.	1,73	CH_3Br	0
Extincteur seul efficace	400	zwisch. 78–79° vollst.	1,565	CCl_4	42
Pyrène	1000	zwisch. 78–80° vollst.	1,540	CCl_4	41
Knock-out Baby	350	91% zw. 80–105° 7% zw. 105–270°	1,432	ca. 85% CCl_4 Rest: Gemisch höher 17,8% siedender Anteile	

können unter Umständen sehr große Mengen von Phosgen entstehen, welche nach den eingangs erwähnten Mitteilungen zu den schwersten gesundheitlichen Bedenken Anlaß geben müssen.

Zusammenfassung.

Durch die Verlängerung der Kontaktrohre und ihr Beschicken durch mit Bimsstein untermischtem Eisenchlorid (wasserfrei) ist es gelungen, die von Kling und Schmutz angegebene und von Biesalski zur Bestimmung des pyrogen gewonnenen Phosgens benutzte Methode so zu modifizieren, daß beinahe 50% der theoretischen Menge erhalten werden, also ungefähr doppelt so viel, wie von Biesalski nachgewiesen werden konnten. Dadurch erscheint es möglich, bei Prüfung der verschiedenen Feuerlöschmittel auf die gefährliche Phosgenbildung einen strengeren Maßstab, als es bisher der Fall war, anzulegen.

Zusätze von halogenierten Kohlenwasserstoffen zu Tetrachlorkohlenstoff, wie z. B. Äthylenbromid, können unter Umständen die Ausbeute an Phosgen herabsetzen, offenbar dadurch, daß sie an der Reaktion teilnehmen und das Umsetzungsgleichgewicht zuungunsten des Phosgen verschieben.

Tetrachlorkohlenstoff-Feuerlöscher — und diese sind gegenwärtig am meisten im Gebrauch — sollen wegen der Möglichkeit erheblicher Phosgenbildung bei ihrer Verwendung durch solche ersetzt werden, bei welchen dieser höchst bedenkliche Nachteil fortfällt. [A. 10.]

dem Ausdruck meines lebhaften Bedauerns über den Vorfall, den Lesern zur Kenntnis zu bringen, muß aber den Fachgenossen, der mir den Satz einsandte, insoweit entschuldigen, als wegen des Raummangels größte Kürze wiederholt gefordert wurde, er also sicherlich nur das ihm nötigst Erscheinende hervorheben wollte, nicht aber die Absicht einer Unterschlagung hatte.

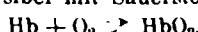
Edmund O. v. Lippmann.

Berichtigung.

Dr. F. Raschig. Über die Ammoniakverbrennung.

Es muß in Ztschr. angew. Chem. 40, S. 1183, Zeile 16 von unten, linke Spalte, lauten: „kann, in Stickoxydul. Daß diese Verwandlung nach . . .“ (Nicht: Stickoxyd.)

Das Hämoglobin besteht aus einer farblosen Komponente, dem Globin, und einer gefärbten Komponente, dem Hämin. Globin kann man durch andere basische Verbindungen, wie Pyridin oder Nicotin, ersetzen. Das Hämin ist 1853 von Teichmann entdeckt und im kristallisierten Zustand erhalten worden. Es ist eine Tetrapyrroleisenverbindung vom Molekulargewicht 650. Über die Konstitution sind wir durch die Arbeiten von Nentzki, Küster, Willstätter und Hans Fischer unterrichtet. Hans Fischer gelang es vor kurzem, das Hämin synthetisch darzustellen*. Das reaktionsfähige Atom des Hämins ist das Eisen. Das Eisen des Hämoglobins reagiert reversibel mit Sauerstoff nach der Gleichung



Hämoglobin ist nicht Katalysator, sondern Transportmittel für Sauerstoff. Katalytische Wirkung wäre der Bestimmung

* Vgl. Ztschr. angew. Chem. 40, 1237 [1927].

Versammlungsberichte.

Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften.

Berlin, 22. Februar 1928.

Vorsitzender: Exzellenz v. Harnack.

Prof. Dr. Otto Warburg, Berlin: „Chemische Konstitution des Atmungsfermentes.“

Vortr. beschäftigte sich, gemeinsam mit E. Negelein und A. Krebs, mit dem Atmungsferment. Es wurde gefunden, daß das Atmungsferment nahe verwandt ist mit dem roten Farbstoff des Blutes, dem Hämoglobin.