

standen war, freundlicherweise durch die Liebig-Gesellschaft in Köln, die zu unseren Mitgliedern und Förderern des Liebig-Museums gehört. Herr Dr. Paret hat eine Arbeit über das Gesicht des deutschen Silbergeldes verfaßt¹⁾, die den beachtenswerten Vorschlag enthält, für die Silbermünzen die Porträts von Persönlichkeiten zu verwenden, die sich besonders um die Wirtschaft und Technik in Deutschland verdient gemacht haben. Er nennt in der Arbeit folgende: Friedrich List, Werner v. Siemens, H. v. Helmholz, Alfred Krupp, Robert Mayer, M. v. Eyth, A. v. Baeyer, Justus v. Liebig, H. v. Stephan und Zeppelin. Es liegt also ein ähnlicher Gedanke zugrunde, wie er bei der Gestaltung unserer Postwertzeichen mit einer anders gerichteten Auswahl durchgeführt worden ist. — In diesem Zusammenhange hat Dr. Paret die uns zugegangene Silbermünze geschaffen. Das Liebig-Bild war in der vorliegenden Form für uns nicht verwendbar, da es offenbar nach ungenügenden Vorlagen geschaffen war, andererseits zeichnete es sich durch sehr gute Durcharbeitung und vorzügliche Prägung aus. Wir wendeten uns daher unter Sendung besserer Vorlagen, besonders einer kleinen Büste Liebigs

aus unserem Museum, an Herrn Dr. Paret mit der Bitte, außer einem Liebig-Kopf zwei Rückseiten für zwei Formen der Medaille zu schaffen, unter Verwendung 1. der architektonisch sehr schönen Front des Laboratoriums, 2. der sehr charakteristischen chemischen Herde aus dem analytischen Laboratorium. Letztere beiden Entwürfe wurden sofort angenommen, das Liebig-Porträt erst nach einer von mir veranlaßten Korrektur an der Oberlippe, deren Beschaffenheit bei den menschlichen Physiognomien wesentlich vom Alter abhängt. Nach dieser kleinen

¹⁾ Vgl. „Schwäbischer Merkur“ vom 9. Juni und „Mitteilungen f. Münzsammler“ Nr. 43, Juli 1927.

Aenderung ist der von Dr. O. Paret für die Medaille geschaffene Liebig-Kopf (Abb. 1) den besten Vorbildern, die in größeren Bronzearbeiten aus den Jahren 1835 und 1845 vorliegen, durchaus gleichwertig und zeichnet sich durch die Kraft und geschlossene Energie des Ausdrucks aus. Die Darstellung der Rückseite (Abb. 2 und 3) ist von Dr. O. Paret streng stilisiert und wirkt in dem gewählten Material, ebenso wie der Kopf, durch die scharfe Prägung ausgezeichnet. Zur Verleihung an Förderer des Liebig-Museums in Gießen, das seit 1911 besteht und sich vorzüglich entwickelt hat, ist die Medaille, in Silber vergoldet, mit dem Liebig-

Kopf (Abb. 1) und der Säulenhalle (Abb. 2) bestimmt. Von dieser, und der zweiten Form mit dem Liebig-Kopf (Abb. 1) und den chemischen Herden (Abb. 3), sind Bronzemedailen im Liebig-Museum in Gießen käuflich, Preis für Mitglieder 3,— M., für Nichtmitglieder 4,— M. Bei dem Empfang der Versammlung von der Darmstädter Liebig-Wöhler-Feier am 8. Juli 1928 im Liebig-Museum in Gießen haben die Medaillen, besonders auch bei den zahlreichen ausländischen Chemikern, lebhaften Beifall gefunden.

Von der Generalversammlung der Gesellschaft Liebig-Museum in Gießen wurde die Liebig-Museums-Medaille in der beschriebenen Ausführung an folgende Familien, Industriefirmen und Einzelpersonen verliehen: Familie E. A. Merck, Darmstadt, Geheimrat Prof. Dr. R. Sommer, Gießen, Herrn Prof. Dr. Albert von Hofmann, Gernsbach, als Sohn des Chemikers A. W. von Hofmann, Fr. Marie Fehling, Familie Pribram, Familie des Herrn Dr. Wasle, Gießen, I. G. der Farbenindustrie, z. Hd. von Herrn Geheimrat Prof. Dr. K. Duisberg, Leverkusen, Dynamit-A.-G., vorm. Nobel, Köln a. Rh.

[A. 222.]

Abb. 1.



Abb. 2.

Abb. 3.

Das Dimethylhydroresorcin als Aldehydareagens und die Assimilation des Kohlenstoffs.

Von Prof. Dr. D. VORLÄNDER, Halle a. d. S.

(Eingeg. 2. Juli 1928.)

Das von mir entdeckte, als Aldehydareagens empfohlene und sehr eingehend erprobte Dimethylhydroresorcin (Habilit. Schrift 1896) hat im Laufe von mehr als drei Jahrzehnten eigenartige Wandlungen durchgemacht, deren Erörterung allgemeines Interesse beanspruchen könnte.

Die Verbindung hat ihren Vorläufer in G. Merlings nicht methyliertem Hydroresorcin, doch ist dieses als Aldehydareagens unbrauchbar. Das Dimethylhydroresorcin — wir nennen es im Laboratorium Methon — bietet vor den vielen anderen Carbonylreagenzien den Vorteil, daß es in wässriger alkoholischer Lösung überhaupt nicht mit Ketonen reagiert; man kann z. B. Acetaldehyd und Formaldehyd neben Aceton, oder Glyoxylsäure neben Brenztraubensäure ausfällen. Die Kondensationsprodukte haben im Gegensatz zu den Verbindungen aus Resorcin, Phloroglucin und ähnlichen ein sehr gutes

Kristallisierungsvermögen, bestimmten Schmelzpunkt und andere charakteristische Kennzeichen (verschiedene Acidität, Fähigkeit zur Anhydridbildung). Von den Aldehyden reagieren am leichtesten die einfacheren, mit aktivem, echtem Carbonyl bewaffneten Aldehyde. Traubenzucker, Milchzucker, Arabinose und ähnliche werden überhaupt nicht, die höheren aliphatischen Aldehyde vom Valeraldehyd aufwärts — ebenso Citronellal, Citral u. a. — nur langsam angegriffen. Durch starke Mineralsäuren wird die Fällung der Aldehydverbindungen zuweilen verhindert, weil diese durch Säuren — zum Teil schon durch kochendes Wasser — in Aldehyd und Methon zerfallen. Anderseits ist das Methon in schwach saurer, neutraler und alkalischer Lösung anwendbar. Sogar gegen kochende Alkalilauge ist es sehr beständig (Wirkung der beiden an einem C sitzenden Methyle), und die Umsetzung in sodaalkalischer, kalter

oder warmer Lösung mit Formaldehyd oder mit Acetaldehyd erfolgt rascher, als die Zersetzung der Aldehyde durch die verdünnten Alkalien. An der Ausarbeitung dieser und anderer Versuche haben sich vor Jahren meine damaligen Schüler Hans Volkholz, Kurt Ihle (jetzt Abteilungsleiter a. d. Landwirtschaftl. Versuchsstation Bonn-Poppelsdorf) und M. P. Neumann (jetzt Professor a. d. Landwirtschaftl. Hochschule zu Berlin) betätigt^{1).}

Bald nach meiner ersten Publikation erschien mein Hydroresorcins zu meinem Erstaunen als Erdmanns Reagens auf Aldehyde in Mercks Reagenzien-Verzeichnis. Was war geschehen? In dieser Zeitschrift für angew. Chemie (13, 938 [1901]) hatte Ernst Erdmann, ohne jemals eigene Versuche mit Dimethylhydroresorcins angestellt zu haben, auf Grund meiner Mitteilungen ein völlig korrektes Referat über meine Arbeiten — dies ist deutlich angegeben — veröffentlicht und damit den eigenartigen Erfolg gehabt! Und das Reagens von Erdmann lebt weiter in dem Buch von L. Rosenthaler „Der Nachweis organischer Verbindungen“, 2. Aufl., 1923, S. 118, worauf ein wohlwollender Kollege mich kürzlich hinwies, als ob von Anfang an die Sache vielleicht gar nicht von mir herkäme.

Berichtigungen von falschen Angaben in Büchern gehören zu den schwierigsten Aufgaben, die es gibt. Ich habe eine ansehnliche Zahl von solchen Fällen gesammelt und z. T. am eigenen Leibe gespürt, denn mir sind im Laufe meiner wissenschaftlichen Praxis — ganz abgesehen von Ansichten und Theorien — Präparate vom Experimentierstisch weg und Photographien mit Platten, „enteignet“ worden. Es besteht für solche Fälle bei wissenschaftlichen Büchern eine Lücke im Pressegesetz sowohl wie auch im Gesetz über Urheberschutz.

Ich hoffe, der mir unbekannte Verfasser jenes Buches, L. Rosenthaler, bringt gutwillig eine Berichtigung in der ihm geeignet erscheinenden Form zu jener falschen Angabe, wenn er den vorliegenden Aufsatz zu Gesicht bekommt.

Im Jahre 1919 wandte sich C. Neuberg an mich mit der Bitte um Auskunft über Dimethylhydroresorcins. Selbstverständlich wurde diesem Wunsche entsprochen. Es gelang Neuberg und Reinfurth²⁾, den bei der geistigen Gärung entstehenden Acetaldehyd mit meinem Hydroresorcins-Verfahren nachzuweisen. Eine sehr erfreuliche Entdeckung von Neuberg und Reinfurth. Doch nimmermehr hätte ich es für möglich gehalten, daß nunmehr meine Reaktion als neues Abfangverfahren unter dem besonderen Namen „Dimedonverfahren von Neuberg und Reinfurth“ erscheinen würde, daß in dem Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden IV., Teil I, S. 608, jene oben beschriebenen Vorzüge des Dimethylhydroresorcins als Aldehydreaktions so hingestellt werden, als ob sie von Neuberg und Reinfurth erst ermittelt wären, und daß Paul Mayer in dieser Zeitschrift 41, 672 [1928], sogar das ganze Verfahren einschließlich des von mir ermittelten Reaktionschemas glatt als Entdeckung von Neuberg und Reinfurth erwähnt.

Auch dieser Fall hat seine allgemein bedeutsame Seite. Es gibt also Biologen, die eine chemische Reaktion als solche von deren Eignung bei biologischen Versuchen unterscheiden. Haben sie mit letzteren Erfolg, so glauben sie — ohne etwas wesentlich anderes Neues getan zu haben, als das Reagens bei ihren Versuchen hinzuzuschütten — berechtigt zu sein, die Reaktion und das Reagens als ihre Entdeckungen zu betrachten und auch mit besonderem Namen zu belegen, etwa so wie bei der Entdeckung neuer therapeutischer Verwertungsmöglichkeit von längst bekannten chemischen Präparaten. Ich habe gegen solche Art der Biologie große Bedenken, und diese würden auch dann bestehen bleiben, wenn der rein

chemisch arbeitende Autor von dem Biologen auf das genaueste zitiert wäre.

Nun hat mein Hydroresorcinsverfahren einige Tücken. Vor wenigen Jahren erschienen mehrere Mitteilungen von G. Klein³⁾ (aus dem pflanzenphysiologischen Institut der Universität Wien), daß es gelungen sei, endlich den Formaldehyd als Zwischenprodukt der Kohlenstoffassimilation mit Hilfe des „Dimedonverfahrens von C. Neuberg“ sicher nachzuweisen. Schon vor 30 Jahren hatte ich die Absicht, diesen Nachweis zu führen, allerdings mit meinem Dimethylhydroresorcins. Die ersten Versuche an Wasserpflanzen mißlangen. Weiterhin wurde der Versuch gemacht, Formaldehyd als Zwischenprodukt bei der Darstellung von Azoxybenzol aus Nitrobenzol und Natriummethylalkoholat abzuscheiden. Der Versuch gelang ausgezeichnet, aber ein Teil des Hydroresorcins war zu Dimethylglutarsäure oxydiert worden. Dies machte uns mißtrauisch. Jener Formaldehyd könnte auch aus dem Dimethylhydroresorcins durch Oxydation der Gruppe $\text{CO} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CO}$ entstanden, dann durch einen anderen Teil vom Reagens gebunden sein. Zur Gewißheit wurde eine solche Bildung des Formaldehyds, als sich bei der Elektrolyse einer wässrigen Lösung des Natriumsalzes des Methons mit Diaphragma (Tonzelle im Platintiegel, Platindrahtanode in der Tonzelle) bei Zimmertemperatur (unter Kühlung) bedeutende Mengen von Formaldimethon aus dem Anodenraum gewinnen ließen; die Hauptmenge des Methons wird unverändert ausgefällt; man trennt beide mit Hilfe von warmem Wasser, in welchem sich Formaldimethon sehr schwer löst. Die Versuche sind in jüngster Zeit von E. Boenické wiederholt und bestätigt worden. Aus 1 g Methonnatrium in konzentrierter wässriger Lösung wurden einige Hundertstel Gramm der Formalverbindung abgeschieden, während Klein und Werner etwa $\frac{1}{50}$ der theoretischen Menge bei den Assimulationsversuchen gewinnen. Die Übereinstimmung ist trotz der sehr verschiedenen Versuchsbedingungen überraschend. Der anodisch entwickelte Sauerstoff und der assimiliatorisch gebildete Sauerstoff dürften etwa von der gleichen Virulenz sein.

Das Methon ist demnach in oxydierend wirkenden Mischungen durchaus ungeeignet als Formaldehyd-Reagens, nicht nur bei rein chemischen Versuchen, sondern natürlich ebenso bei biologischen Arbeiten. Es ist ganz ausgeschlossen, mit dem sonst sehr braven Methon den Formaldehyd bei der Kohlenstoffassimilation exakt nachzuweisen. Da bei jedem Assimilationsversuch im Lichte Sauerstoff entstehen muß, so bleibt vollständig ungewiß, ob die schließlich auftretende Formalverbindung des Methons aus diesem oder aus dem Kohlendioxyd hervorgegangen ist; beides ist möglich, und beides kann gleichzeitig geschehen. Man könnte unter Ausschluß von Luftsauerstoff quantitative Assimilationsversuche machen, bei denen nicht nur der Formaldehyd, sondern auch der Assimilationskoeffizient zwischen aufgenommenem Kohlendioxyd und abgegebenem Sauerstoff zu bestimmen wäre, um zu ermitteln, wieviel Sauerstoff zur Oxydation des Methons verbraucht ist. Unanfechtbar aber würden auch solche Versuche nicht sein. Wenn nach Versuchen von G. Klein die Pflanze im Dunkeln und bei Belichtung im kohlensäurefreien Raum kein Formaldimethon liefert, so steht dies in bestem Einklang mit meiner Auffassung von der Herkunft des Formaldehyds.

Durch die Arbeiten von G. Klein und seinen Mitarbeitern ist leider die Frage nach dem Zwischenprodukt der Kohlenstoffassimilation einstweilen noch keineswegs beantwortet, und unser Wissen von der Chemie der Kohlenstoffassimilation ist weit entfernt von einem bestimmten Abschluß. Bis jetzt hat noch kein Sterblicher den nach der hypothetischen Assimilationsgleichung aus Kohlendioxyd, Wasser und Licht zu erwartenden Formaldehyd sicher und einwandfrei nachweisen können, weder bei Gegenwart noch bei Abwesenheit organisierter lebender Materie⁴⁾. [A. 144.]

¹⁾ Zusammenstellung der Literatur Ber. Dtsch. chem. Ges. 58, 2656 [1925].

²⁾ Neuberg und Reinfurth, Biochem. Ztschr. 106, 282 [1920].

³⁾ Naturwiss. 1925, 21; G. Klein u. O. Werner, Biochem. Ztschr. 168, 361 [1926]; Klein u. Pirschie, ebenda 168, 340; 169, 132; 176, 20 [1926]; Klein u. Svolba, Ztschr. Botanik 19, 63 [1926].

⁴⁾ Vgl. Ber. Dtsch. chem. Ges. 58, 2656 [1925].

1. Bemerkung zur vorstehenden Reklamation D. Vorländers.

Von Paul Mayer.

Leider hat es Vorländer verabsäumt, die Originalarbeiten nachzulesen, auf die sich mein Referat bezieht. Er hätte sich überzeugen können, daß die Formelbilder wie die Auffindung des Reagenzes einzig und allein ihm zugeschrieben sind. Offenbar unklar ist sich Vorländer über die Unterschiede, die zwischen der Brauchbarkeit eines Reagenzes zum rein chemischen Nachweis von Aldehyden *in vitro* bestehen und seiner Eignung für die biologische Auffangung von Durchgangsgliedern im Stoffwechsel tierischer und pflanzlicher Zellen. Über den letzten Punkt ist in Vorländers Arbeiten nicht das geringste enthalten. So eindeutig die Sachlage ist, erscheint ihre Beleuchtung durch einige Beispiele nützlich.

Nach Lapworth und Franzen kann man Aldehyde durch die Doppelverbindungen mit Alkali- und Erdalkalicyaniden nachweisen und isolieren. Niemand wird die Cyanide für taugliche Auffangmittel bei physiologischen Vorgängen halten. Abderhalde hat gefunden, daß Tierkohle zur biologischen Fixierung im Zellstoffwechsel intermediär auftretenden Acetaldehyds dienen kann; niemand wird Tierkohle als Reagens auf Aldehyde betrachten. Kein Chemiker hat zum Nachweis von Acetaldehyd Acetaldehyd benutzt; denn die Acyloinkondensation zum charakteristischen Acetyl-methylcarbinol vollzieht sich eben nicht im Reagensglase. Dagegen ist Acetaldehyd eines der wirksamsten Auffangmittel für Acetaldehyd, indem er, gärenden Zuckerlösungen zugesetzt, ein der zugefügten Menge Acetaldehyd gleiches Quantum Acetaldehyd als Acetoin abfängt!

So unbestritten es ist, daß Vorländer im Dimethylhydroresorcin ein neues Reagens zum rein chemischen Nachweis einfacher Aldehyde *in vitro* gefunden hat, so strittig ist es, ob ein Berichterstatter verpflichtet ist, in einem Referat über biologische Ergebnisse alle mit diesen nur noch locker zusammenhängende Literatur immer und immer wieder zu zitieren.

2. Bemerkung zur vorstehenden Reklamation D. Vorländers.

Von C. Neuberg.

In welch bedauerlicher Weise Vorländer die Sachlage verkennt, ergibt sich aus folgendem:

1. Bertagnini hat 1853 entdeckt, daß man mit Sulfiten Aldehyde abscheiden kann; er hat nicht entdeckt, daß man durch Zugabe von Sulfiten die alkoholische Gärung in andere

Bahnen lenken und bis 80% der theoretisch möglichen Menge des normaliter nicht auftretenden Acetaldehyds abfangen kann. Dies ist erst in den Jahren 1916 bis 1920 von Neuberg, Färber, Reinfurth und Hirsch geschehen. 2. Thiele, Curtius und Freund sowie Mitarbeiter haben gefunden, daß Semicarbazid bzw. Thio-semicarbazid ausgezeichnete Aldehydreagenzien sind. Sie haben nicht gefunden, daß man mit diesen Substanzen das Gärungzwischenprodukt Acetaldehyd abfangen kann. Dies ist erst 1927 und 1928 von Neuberg, Kobel und Tykowski festgestellt. 3. Victor Meyer und Janny haben gefunden, daß sich Aceton mit Hydroxylamin verbindet. Sie haben nicht gefunden, daß man durch Zugabe von Aceton zu einer Kultur von Bodenbakterien das bei der biologischen Reduktion von Nitraten als Zwischenprodukt auftretende Hydroxylamin fixieren kann. Dies gelang erst Bloom 1928. 4. Vorländer hat gefunden, daß Dimethylhydroresorcin sich in einer Anzahl von Fällen zur Abscheidung einfacher Aldehyde vortrefflich eignet; er hat nicht gefunden, daß man es dazu benutzen kann, in gärenden Zuckerlösungen oder in Muskelbrei normalerweise nicht nachweisbaren Acetaldehyd anzusammeln. Dies haben erst 1920 Neuberg und Reinfurth bzw. Hirsch gezeigt.

Zwischen Eignung als Auffangmittel und Brauchbarkeit *in vitro* besteht keinerlei Abhängigkeit. Mit Sulfit, einem der schlechtesten Reagenzien auf Acetaldehyd in wässriger Lösung, werden 80% der Theorie abgefangen, mit Dimethylhydroresorcin, einem der besten Aldehydreagenzien, gelang es nur 5% abzufangen.

Ganz unzutreffend ist, was Vorländer hinsichtlich der Literatur bemerkt. Für die freundlich erteilte Auskunft über das auf Dimethylhydroresorcin bezügliche Schrifttum ist Herrn Vorländer privat und öffentlich (Biochem. Ztschr. 106, 282 und 286) gedankt, und gleichzeitig sind seine Verdienste hervorgehoben. Dasselbe ist geschehen Ber. Dtsch. chem. Ges. 55, 3633 [1922], Biochem. Ztschr. 134, 415 [1923], ferner Ergebn. d. Physiol. 21, 1, 422, ferner in Oppenheimer-Pincussen, Meth. d. Fermente, Seite 1177. Auch an der von ihm angeführten Stelle, Handb. d. biol. Arbeitsmeth. 4, 608, fehlt sein Name nicht. Dabei handelt es sich, wohlgeremert, zum Teil um Zusammenfassungen, für die der Hinweis auf unsere Originalarbeiten genügt hätte! Während so Biochemiker verfahren, ist festzustellen, wie sich die gewiß einwandfreien Chemiker solchen Fragen gegenüber verhalten. Ich konstatiere, daß einer ihrer hervorragendsten Vertreter noch jüngst (Ber. Dtsch. chem. Ges. 61, 1761 [1928]) Dimethylhydroresorcin — sogar unter dem abkürzenden Namen Dimedon — angewendet hat, ohne Herrn Vorländer zu gedenken.

VERSAMMLUNGSBERICHTE

Faraday Society.

Cambridge, 28. und 29. September 1928.

Vorsitzender: Prof. Dr. C. H. Desch.

Hauptverhandlungsthema: Katalyse homogener Reaktionen.

Prof. T. M. Lowry, Cambridge: „Einige Probleme der homogenen Katalyse.“

Bei der Untersuchung der Reaktionen im Gaszustand betrachten wir meistens Zweierstöße, da Dreierstöße seltener vorkommen. Man ist gewohnt, Gasreaktionen in verschiedene Stufen zu zerlegen, welche jede den Stoß von nur zwei Körpern bedingen. Bei allen Katalysen handelt es sich darum, die Beziehung zwischen Katalysator und reagierenden Stoffen aufzustellen. Wenn ein Katalysator erforderlich ist, können wir ihn in das Schema einordnen und einen ternären Kontakt annehmen. Kendall hat bewiesen, daß binäre Verbindungen der drei wichtigsten Komponenten ständig sich bilden, daß aber der ternäre Komplex viel labiler ist. — Vortr. verweist dann auf einen Fall der homogenen Katalyse, der sich von den meisten bisher untersuchten sehr unterscheidet, nämlich die Mutarotation optisch aktiver Koordinationsverbindungen, wie z. B. der Beryllium- und Aluminiumderivate von Benzoylcämpher. Die Mutarotation dieser Verbindungen wird durch optische Inversion eines asymmetrischen Beryllium- oder

Aluminium-Atoms bewirkt, und zwar wird im Falle des Benzoylcämmers die Umwandlung durch Aceton oder Chloroform katalysiert. Diese neue Gruppe der Katalysatoren umfaßt wahrscheinlich alle Moleküle und Ionen, die in den inneren Kern des Koordinationskomplexes eindringen können. Bei dem am meisten erörterten Problem der Katalyse durch Säuren oder Basen muß man annehmen, daß eine Base nur in Gegenwart von Säure als Katalysator wirken kann, und umgekehrt eine Säure nur in Gegenwart einer Base. Diese Beobachtung gilt ganz allgemein, wenn man als Ausnahme das Auftreten der Autokatalyse annimmt, bei der eine Substanz selbst weder Säure noch Base ist. Dieser Schluß wird durch die Tatsache gestützt, daß weder Säure noch Basizität möglich ist, solange nicht ein Proton von einer Säure abgegeben und von einer Base aufgenommen wird. —

Dr. C. N. Hinshelwood, Cambridge: „Homogene Katalyse.“

Der logische Weg, den inneren Mechanismus der Katalyse zu erforschen, ist der, zunächst die nichtkatalytischen Reaktionen zu untersuchen und zu prüfen, wie die Erscheinungen sich ändern, wenn man katalytische Einflüsse einwirken läßt. Vortr. erörtert zunächst den homogenen Reaktionsmechanismus, und zwar Reaktionen, bei denen auf dem ersten Blick kein katalytischer Einfluß vorhanden ist. Die einfachste Art homogener Reaktionen sind wahrscheinlich die bimolekularen Gasreaktionen, wo für die chemische Reaktion nichts weiter erforderlich scheint als ein genügend heftiger Stoß zwischen zwei