

**CHEMISCHE BERICHTE**

Fortsetzung der

BERICHTE DER DEUTSCHEN CHEMISCHEN  
GESELLSCHAFT

95. Jahrg. Nr. 11

S. XLVII—LXIII

**GEORG BREDIG**

1868—1944

GEORG BREDIG, dessen Lebenswerk und dessen Andenken die folgenden Zeilen gewidmet sind, gehört zu den Gelehrten und Dozenten, deren wissenschaftliche Tätigkeit der chemischen Forschung während einer entscheidenden Periode Inhalt und Richtung gegeben hat.

BREDIG wurde am 1. Oktober 1868 in Glogau (Schlesien) geboren. Er besuchte die dortigen Schulen, unter anderem das humanistische Gymnasium, und erhielt das Reifezeugnis im Frühjahr 1886. Er studierte hierauf naturwissenschaftliche Fächer, zunächst (während eines Semesters) an der Universität Freiburg in Baden und dann, vom Herbst 1886 bis zum Herbst 1889 an der Universität Berlin, wo er in den Laboratorien von A. W. HOFMANN und von KUNDT arbeitete. Er hatte ursprünglich die Absicht, sich der Medizin zuzuwenden. Während der Studienzeit in Berlin wurde er aber, insbesondere durch W. WILL, auf das damals eben erschienene „Lehrbuch der allgemeinen Chemie“ von W. OSTWALD und auf die ersten Bände der Zeitschrift für physikalische Chemie aufmerksam gemacht. Er entschloß sich, von diesem Zweig der Naturforschung begeistert, vom Herbst 1889 an an die Universität Leipzig zu gehen, um dort die Vorlesungen und das Laboratorium von WILHELM OSTWALD zu besuchen. Unter dessen Leitung führte er eine Promotionsarbeit aus mit dem Titel: I. Beiträge zur Stöchiometrie der Ionenbeweglichkeit, II. Über die Affinitätsgrößen der Basen. Einen großen Einfluß übten auf ihn auch die Vorlesungen von J. WISLICENUS (Stereochemie) und besonders von KARL LUDWIG (Physiologie) aus, sowie die Fühlungnahme mit W. NERNST, E. BECKMANN und M. LE BLANC, welche zu jener Zeit als Assistenten am Ostwaldschen Institut tätig waren.

Nach seiner Promotion zum Dr. phil. zog BREDIG zwecks weiterer Ausbildung für ein Jahr nach Amsterdam an das Laboratorium von J. H. VAN'T HOFF, wo er zum Teil selbständig und zum Teil zusammen mit dem schon damals hervorragenden Assistenten des Instituts, E. COHEN (später Professor in Utrecht), arbeitete. Für einige Monate begab er sich darauf nach Paris, um im Laboratorium von M. BERTHELOT die thermochemischen Methoden kennen zu lernen, und hierauf bis November 1895 nach Stockholm ins Laboratorium von SVANTE ARRHENIUS.

Im Herbst 1895 wurde er Assistent von W. OSTWALD in Leipzig, wobei er zunächst in der Verwaltung tätig war, dann, gemeinsam mit R. LUTHER, die Leitung des physikalisch-chemischen Praktikums für Anfänger übernahm und wo er gleichzeitig



*Brady*

durch W. OSTWALD bei der Leitung wissenschaftlicher Forschungsarbeiten, gemeinsam mit R. LUTHER und M. BODENSTEIN eingesetzt wurde. Die von W. OSTWALD in den Jahren 1901, 1902 durchgesetzte Erweiterung der „Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft“ zur „Deutschen Bunsengesellschaft“ ging in ihrem Keim teilweise auf Anregungen BREDIGS zurück.

Zu Beginn des Jahres 1901 habilitierte sich BREDIG an der Leipziger Universität mit einer Arbeit über „Anorganische Fermente“. Im Herbst desselben Jahres wurde er auf die planmäßige außerordentliche Professur für physikalische Chemie und als Abteilungsleiter an das unter TH. CURTIUS stehende chemische Laboratorium der Universität Heidelberg berufen. In dasselbe Jahr (1901) fällt auch die Heirat mit ROSA FRAENKEL aus Hirschberg (Schlesien). Ein Sohn (MAX A. BREDIG) und eine Tochter (MARIANNE HOMBURGER, geb. BREDIG), welche aus dieser sehr glücklichen Ehe hervorgingen, leben heute in den Vereinigten Staaten. Die 9 Jahre der Heidelberger Tätigkeit zeichneten sich durch besondere Intensität der Forschungs- und Lehrtätigkeit aus. In den Arbeiten über Katalyse wurden in diesen Jahren in Heidelberg große Fortschritte erzielt; die Arbeiten über die *asymmetrische Katalyse* haben hier ihren Ursprung gehabt.

Im Jahre 1910 wurde BREDIG als Nachfolger von R. LORENZ auf den ordentlichen Lehrstuhl für physikalische Chemie an die Eidgenössisch-Technische Hochschule in Zürich berufen. Er hat diesem Ruf Folge geleistet, erhielt aber bereits ein Jahr später, im Herbst 1911, einen Ruf als Nachfolger seines Jugendfreundes F. HABER an die Technische Hochschule Karlsruhe. Er verließ daher nach nur einjähriger Tätigkeit die Technische Hochschule in Zürich, um nach Karlsruhe überzusiedeln, wo er von 1911 bis 1933 als ordentlicher Professor für physikalische Chemie und als Direktor des Instituts für physikalische Chemie und Elektrochemie tätig war. Von den Vertretern der Chemie, die während jener Zeit als seine Kollegen, teilweise auch als seine Mitarbeiter an der Technischen Hochschule Karlsruhe tätig waren, seien erwähnt CARL ENGLER, H. BUNTE, P. PFEIFFER, K. FREUDENBERG, A. STOCK, STEFAN GOLDSCHMIDT, K. FAJANS, P. ASKENASY, E. ELÖD und W. KUHN. Im Studienjahre 1922/23, mitten in der besonders schwierigen Zeit einer Inflation, hat er das Amt eines Rektors der Technischen Hochschule Karlsruhe bekleidet. Seine von hohem Idealismus getragene verantwortungsbewußte und kritische Einstellung nicht nur zu wissenschaftlichen Problemen, sondern auch gegenüber Strömungen allgemein menschlicher und politischer Art zeigte sich gerade bei seiner Tätigkeit als Rektor. Durch die Ereignisse des ersten Weltkrieges überzeugter Pazifist geworden, scheute er sich in seiner Rektoratsrede 1922 nicht, seine Einstellung öffentlich kundzutun; gleichzeitig wendete er sich heftig gegen Ungerechtigkeiten des Versailler Vertrags und forderte vernünftige Lösungen, insbesondere der Rohstoffprobleme der Erde, ohne Anwendung von Gewalt. Die Warnung vor gewaltsamen Lösungen hat neben Anerkennung auch persönliche Anfeindungen zur Folge gehabt.

In den darauffolgenden Jahren 1924 und 1929/30 mußte er sich infolge schwerer Erkrankungen zweimal chirurgischen Eingriffen unterziehen; er erholte sich rasch, so daß er die Vorlesungen und die Leitung des Instituts jeweils bald wieder aufnehmen und weiterführen konnte. Im März 1933 wurde BREDIG durch den Tod

seiner Frau schwer getroffen. In der darauffolgenden Zeit kam der Nationalsozialismus mit den Nürnberger Gesetzen, durch welche der Lehr- und Forschungstätigkeit BREDIGS ein sofortiges und hartes Ende gesetzt wurde; er wurde im selben Jahre (1933) emeritiert. Trotz der Diffamierung, durch die er tief betroffen wurde, blieb BREDIG bis zum Herbst 1939 in Karlsruhe. Mehr und mehr zog er sich dabei von anderen Menschen zurück, in erster Linie auf Grund der Besorgnis, jemandem, der mit ihm umgehen würde, zu schaden. Auf eindringliches Zureden von Sohn und Tochter übersiedelte er Ende 1939 nach Holland, wo ihm eine Einreisegenehmigung erwirkt worden war, und zwar durch Prof. E. COHEN in Utrecht, mit dem ihn seit der Zeit gemeinsamer Arbeit in Amsterdam eine enge Freundschaft verbunden hat. Von Holland aus gelangte er im Frühjahr 1940, kurz vor dem Einmarsch der deutschen Armee, nach den Vereinigten Staaten. HUGH S. TAYLOR, Vorstand der chemischen Abteilung der Princeton University, hatte für ihn unter besonderer Gelehrten-Quote ein Visum mit der Einladung, in Princeton Vorlesungen zu halten, erwirkt. Aus Gesundheitsrücksichten ist es in der Folge nicht zur Übernahme einer Tätigkeit in Princeton gekommen. G. BREDIG starb am 24. April 1944. Seine Asche wurde auf dem Ferncliff Cemetery in Ardsley bei New York beigesetzt.

#### DIE WISSENSCHAFTLICHEN ARBEITEN VON G. BREDIG

Die Arbeiten G. BREDIGS entfallen, von einzelnen Ausnahmen abgesehen, auf zwei Hauptgebiete. Es ist dies einerseits die Elektrochemie, insbesondere die elektrolytische Dissoziation und das Leitvermögen von Elektrolytlösungen, ein Thema, welches bereits in seiner Doktordissertation in Angriff genommen wurde und welches wohl zu den allgemeinen Problemstellungen gehört hat, die im OSTWALDSCHEN Institut in Leipzig, zur Zeit als BREDIG dort tätig war, bearbeitet wurden. Verschiedene Entdeckungen, wie z. B. die Schaffung des Begriffs der amphoteren Elektrolyte und Zwitterionen und andere Arbeiten, auf die wir zurückkommen, sind als besondere Leistungen hervorzuheben.

Das zweite Hauptgebiet bilden die Untersuchungen über Katalyse und Reaktionskinetik, deren Hauptergebnis die optisch aktive Synthese mit Hilfe künstlicher asymmetrischer Katalysatoren gewesen ist. Die Arbeiten (über Katalyse) sollen an erster Stelle besprochen werden.

##### 1. KATALYSE UND REAKTIONSKINETIK

Der Anlaß für die Untersuchungen über die Katalyse war die schon von C. F. SCHÖNBEIN und J. BERZELIUS betonte Analogie zwischen den katalytischen Wirkungen bekannter, beispielsweise anorganischer Katalysatoren und den Wirkungen der in den Lebewesen verwendeten biologischen Katalysatoren, den Fermenten, eine Analogie und ein Problem, welches durch die Isolierung der Zymase aus dem Preßsaft der Hefe durch E. BUCHNER (1897) einen neuen Impuls erfahren hatte. Für BREDIG, der wie erwähnt, ursprünglich Medizin hatte studieren wollen und der sich dann der physikalischen Chemie zugewandt hatte, mag für die Bearbeitung dieses Themas wie für viele andere vor und nach ihm der Drang entscheidend gewesen sein, in die für die Lebensvorgänge wichtigen Vorgänge in einem bescheidenen, aber den Rahmen des Aussagbaren nicht überschreitenden Maße Einblick zu erhalten.

a) *Anorganische Katalysatoren mit zu den Merkmalen natürlicher Fermente ähnlichen Eigenschaften*

In der Überzeugung, daß zwischen den natürlichen Fermenten und künstlichen, beispielsweise anorganischen Katalysatoren, kein grundsätzlicher Unterschied bestehe, stellte BREDIG vom Jahre 1899 an eine große Reihe von sorgfältigen Untersuchungen an, um zu zeigen, daß man mit Modellen, sogar mit richtig konstruierten anorganischen Modellen, viele Eigenschaften der Enzyme nachahmen kann. Er bezeichnete die kolloidalen Metallsole, an welchen er ferment-ähnliche Eigenschaften feststellen konnte, als anorganische Fermente. Der Nachweis, daß solche Metallsole wirklich als Biokatalysatoren in lebenden Organismen verwendet werden und welcher allein die Bezeichnung „Anorganische Fermente“ rechtfertigen würde, ist in Wirklichkeit nicht erbracht worden, und es ist wahrscheinlich, daß eine Bezeichnung, welche den Grad des Geleisteten schärfer abgegrenzt hätte, für alle Teile nützlich gewesen wäre.

Die von BREDIG erhaltenen Ergebnisse über die katalytische Wirkung fein verteilter Metalle sind tatsächlich von unmittelbarem Interesse, und ihre Bedeutung hängt nicht davon ab, wie weit eine formale Analogie zu wirklichen Fermentreaktionen vorhanden ist und wie weit oder wie entfernt der formalen Analogie im einzelnen Falle eine Analogie der Wirkungsmechanismen gegenübersteht.

Mit Hilfe der kolloidalen Metallsole konnte BREDIG gewisse Fermentwirkungen, insbesondere die der Katalasen, Oxydasen und Dehydrasen bis zu einem gewissen Grade nachahmen; er konnte eine hohe Empfindlichkeit seiner Katalysatoren gegen geringste Mengen von Katalysatorgiften feststellen, wobei die Vergiftung des Katalysators in einzelnen Fällen, z. B. bei der Vergiftung der Katalase mit Blausäure, reversibel, in anderen Fällen, wie bei der Vergiftung mit Quecksilbersalzen, irreversibel war. Manchmal, insbesondere bei der Platinkatalyse wurde eine starke pH-Abhängigkeit bzw. sogar ein pH-Optimum der Umsetzungsgeschwindigkeit festgestellt. Bei den Oxydasen und Dehydrasen wurde auf die Bedeutung des Redoxpotentials des reversiblen Wasserstoffacceptors hingewiesen.

Beim Studium der katalytischen Zersetzung des Hydroperoxyds durch Quecksilber wurde die sogenannte „pulsierende Katalyse“, eine regelmäßige rhythmische Zu- und Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeit entdeckt, begleitet von rhythmischen Änderungen der Oberflächenspannung, der Oberflächengröße und des elektrischen Potentials des katalysierenden Quecksilbers.

Die Untersuchungen der katalytischen  $H_2O_2$ -Zersetzung führten auch zur Entdeckung eines explosiven  $HgO_2$  sowie (in einer Nebenuntersuchung) zur Feststellung der Bildung eines Ions  $HO_2^\ominus$  (durch Säuredissoziation des  $H_2O_2$ ), zur Feststellung der entsprechenden Säuredissoziationskonstanten und zur Feststellung der Lichtabsorption des entstehenden  $HO_2^\ominus$ -Ions.

Die von BREDIG zur Herstellung der kolloidalen Metallsole erstmals benützte Zerstäubung mit dem elektrischen Lichtbogen in Flüssigkeiten ist später von anderen Autoren, insbesondere von THE SVEDBERG ausgebaut und zu einer praktischen Methode für die Herstellung kolloider Metallsole entwickelt worden.

### b) Stereochemisch-asymmetrische Katalyse

Mit Arbeiten über stereochemisch-asymmetrische Katalyse wird in ähnlicher Weise wie in den Arbeiten über die anorganischen Katalysatoren der Nachweis angestrebt, daß die Leistung der von den Organismen verwendeten Biokatalysatoren keine auf die lebenden Organismen beschränkte Fähigkeit ist, daß sie vielmehr durch künstliche Modelle grundsätzlich ebenfalls hervorgebracht werden kann. Schon zu Beginn der Arbeiten BREDIGS war es (seit PASTEUR) bekannt, daß es möglich ist, durch Zuhilfenahme bereits vorhandener optisch aktiver Verbindungen aus asymmetrischen Ausgangsstoffen neue, optisch aktive Verbindungen herzustellen, dabei die benützten Hilfsstoffe zu regenerieren und so mit Hilfe einer kleinen Menge eines vorhandenen Hilfsstoffes eine beliebig große Menge einer oder mehrerer anderer Verbindungen in optisch aktivem Zustande zu gewinnen. Die Benützung stereochemisch spezifischer Katalysatoren gehört grundsätzlich zu diesen Methoden, in welcher ein aktiver Hilfsstoff für die Darstellung neu herzustellender aktiver Verbindungen verwendet wird, in eleganter Weise jedoch so, daß die Regenerierung des Hilfsstoffes (des aktiven Katalysators) im Laufe der durchgeführten Operation immer wieder von selbst erfolgt.

In einer im Jahre 1908 gemeinsam mit K. FAJANS durchgeführten Arbeit ist es BREDIG gelungen, durch Einwirkung von optisch aktiven Alkaloiden (Chinin und Chinidin) als Katalysatoren auf ein optisch inaktives Gemisch von (+)- und (-)-Camphocarbonsäure eine teilweise Racematspaltung herbeizuführen. Die durch den Katalysator bewirkte Reaktion besteht in einer Abspaltung von  $\text{CO}_2$  aus Camphocarbonsäure, wobei, wie diese Versuche zeigten, bei Verwendung des asymmetrischen Chinins oder Chinidins als Katalysator die im Substrat vorhandenen spiegelbildlichen Moleküle von (+)- und (-)-Camphocarbonsäure mit ungleicher Geschwindigkeit zur Umsetzung gebracht werden. Die optische Aktivität konnte sowohl am Umsetzungsprodukt (Campher) als auch an dem bei unvollständiger Umsetzung verbleibenden Ausgangsprodukt festgestellt werden.

In späteren Arbeiten (mit P. S. FISKE, M. MINAEFF, F. GERSTNER und H. LANG) ist es BREDIG gelungen, mit Hilfe von optisch aktiven Katalysatoren, nämlich mit Hilfe von Chinin und Chinidin, eine teilweise *asymmetrische Synthese* des Mandelsäurenitrils aus Benzaldehyd und Cyanwasserstoff (und in ähnlicher Weise die asymmetrische Synthese anderer Hydroxynitrile) zustandezubringen. Es wurde damit die durch das Fermentgemisch Emulsin bewirkte asymmetrische Nitrilsynthese mit Hilfe künstlicher und bekannter Katalysatoren zustandegebracht. Gegenüber der vorher erwähnten Darstellung aktiver Stoffe durch asymmetrisch katalysierte Spaltung der in einem Racemat vorliegenden Antipoden stellt die asymmetrisch katalysierte Synthese insofern eine Verbesserung dar, als bei der asymmetrisch geleiteten Synthese das gesamte Ausgangsmaterial in den einen, gewünschten Antipoden umgesetzt wird, während beim Weg über das Racemat nur die Hälfte des Ausgangsmaterials den gewünschten Antipoden liefert.

In späteren Arbeiten ist es BREDIG (mit F. GERSTNER und H. LANG, 1932) gelungen, einen Katalysator mit besonders stark asymmetrierender Wirkung dadurch zu erhalten, daß er eine niedrigmolekulare katalysierende Gruppe (Diäthylamin) an der Oberfläche eines festen, optisch aktiven Trägers (an Cellulose) chemisch verankerte.

Es ist ihm damit gelungen, eine aus bekannten, vorwiegend organischen Substanzen aufgebaute, katalytisch asymmetrisch wirkende Substanz aufzubauen, deren Analogie zur Wirkung bekannter Fermente auffallend ist. Er hat, namentlich bei den Arbeiten über die anorganischen Katalysatoren wiederholt die Vermutung geäußert, daß die Enzyme mikro-heterogene Katalysatoren seien, eine Einsicht, die mit der heutigen Erkenntnis, daß es sich in vielen Fällen um Makromoleküle handelt, bis zu einem gewissen Grade übereinstimmt.

c) *Kinetik des Diazoessigesters*

Die reaktionskinetische Bearbeitung der Zersetzung des von CURTIUS entdeckten Diazoessigesters begann BREDIG im Jahre 1905, zu einer Zeit als er Abteilungsvorsteher an dem unter TH. CURTIUS stehenden chemischen Institut der Universität Heidelberg war. Er konnte feststellen, daß die Abspaltung von Stickstoff aus Diazoessigestern eine streng nach der ersten Ordnung verlaufende und in sehr empfindlicher Weise durch H-Ionen katalysierte Reaktion ist. Er hat diese Empfindlichkeit und die Proportionalität der Geschwindigkeitskonstante mit der H-Ionenkonzentration dazu benützt, um H-Ionenkonzentrationen in Fällen, in welchen diese Konzentration damals schwer oder nicht meßbar war, genau zu bestimmen, so z. B. in Chromsäure und Dichromatlösungen, im Wein sowie in Lösungen amphoterer Aminosäuren. Bei der genaueren Untersuchung stellte er eine gewisse Abhängigkeit der H-Ionenkatalyse von der Gegenwart von Neutralsalzen fest, welche der Genauigkeit der H-Ionenbestimmung als solcher eine Grenze setzt und welche heute als Einfluß der Neutralsalze auf die H-Ionenaktivität gedeutet wird.

In weiteren Versuchen wurde eine bereits von CURTIUS beobachtete, der  $N_2$ -Abspaltung parallel laufende, mit einem Verbrauch des Katalysators verbundene Nebenreaktion festgestellt und in Analogie zu entsprechenden Erscheinungen bei gewissen Fermentreaktionen gesetzt. Die  $N_2$ -Abspaltung wurde auch in alkoholischen Lösungen untersucht, wobei eine starke Erniedrigung der Reaktionsgeschwindigkeit durch sehr kleine Mengen von Wasser festgestellt und durch den Unterschied der Protonenbindung an Alkohol einerseits, an Wasser andererseits, gedeutet wurde.

d) *Weitere anorganische und organische Katalysen*

Eine von BREDIG gemeinsam mit J. BRODE durchgeführte Untersuchung über die Oxydation von Jodwasserstoff mit Hydroperoxyd und deren Katalyse durch Molybdänsäure lieferte einen der ersten Fälle, in welchem als Mechanismus der Katalyse eine Zwischenreaktion des Substrats mit dem Katalysator experimentell nachgewiesen werden konnte; in diesem Falle durch die an der Färbung erkennbare intermediäre Bildung von Permolybdänsäure aus dem Hydroperoxyd und der katalysierenden Molybdänsäure. In ähnlicher Weise wurde in einer anderen Untersuchung (mit E. STERN) die Entstehung einer Zwischenverbindung des Katalysators mit dem Substrat bei der durch KCN katalysierten Benzoinbildung aus Benzaldehyd dargestellt.

Von weiteren Arbeiten seien erwähnt die katalytische Bildung von Cyanwasserstoff aus  $NH_3$  und CO bzw. aus  $NH_3$  oder NO und Kohlenwasserstoffen, welche nebenbei zur Bestimmung der wichtigsten physikalischen Konstanten der Blausäure (Dampfdruckkurve, kritische Daten, Dielektrizitätskonstante usw.) Anlaß gab; ferner die

katalytische Wirkung von Quecksilber und Kupfersalzen bei der Bestimmung des Stickstoffes nach KJELDAHL, eine Reaktion, bei welcher, wie in anderen Fällen bekannt war, die gleichzeitige Wirkung von zwei Katalysatoren größer als die Summe ihrer Einzelwirkungen gefunden wurde.

Mit F. EPSTEIN untersuchte er im Jahre 1904 die Selbsterhitzung beim Zerfall des Hydroperoxyds unter dem katalytischen Einfluß plötzlich zugegebener Jodkaliumlösung und in ähnlicher Weise im Jahre 1910 mit H. LACHS die nach Zugabe von Säure eintretende Selbsterhitzung einer in einem wärme-undurchlässigen Gefäß befindlichen wäßrigen Lösung von Diazoessigester.

## 2. ARBEITEN AUS DEM GEBIETE DER ELEKTROCHEMIE

Im ersten Teil der bereits erwähnten, in Leipzig durchgeführten Dissertation wurde die Ionenbeweglichkeit von insgesamt 310 verschiedenen Ionen gemessen und diskutiert. In interessanter Weise wurde in einer nachfolgenden Arbeit eine Beziehung der Wärmeleitung der Dämpfe zur Ionenbeweglichkeit in Lösung in dem Sinne festgestellt, daß das symmetrische Trimethylamin die Wärme besser leitet als das weniger symmetrische Propylamin, und daß entsprechend die Wanderungsgeschwindigkeit des Tetramethylammoniumions größer ist als z. B. die des isomeren Butylammoniumions.

Im zweiten Teil der Dissertation wurden die elektrolytischen Dissoziationskonstanten der wichtigsten organischen Basen festgestellt.

Weitere Arbeiten betreffen die elektromotorische Kraft von galvanischen Ketten, bei welchen einzelne der beteiligten Stoffe an chemischen Gleichgewichten in den an die Elektroden grenzenden Lösungen teilnehmen. In diesem Falle wird, was von H. v. HELMHOLTZ und von J. H. VAN'T HOFF theoretisch vorausgesagt wurde, durch BREDIGS Untersuchungen bestätigt, daß die genaue Konzentration der betreffenden Stoffe und dadurch die elektromotorische Kraft der Kette berechenbar wird, wenn die Gleichgewichtskonstante der in Frage kommenden chemischen Reaktion bekannt ist.

Von Bedeutung sind die Untersuchungen über den Wert des Redoxpotentials bei Lösungen, welche die beiden Oxydationsstufen nebeneinander enthalten. Die im Anschluß an die van't Hoff'schen Gleichungen sich ergebende Lösung führte zu dem bekannten quantitativen Ausdruck, welcher zuerst von BREDIG unter Mitwirkung von R. LUTHER aufgestellt worden ist.

In seiner Dissertation (1894) hat BREDIG als erster darauf hingewiesen, daß es (beim Betain) dipolartige, gleichzeitig mit einer positiven und einer negativen Ladung versehene Gebilde gibt, welche später (von F. KÜSTER) als *Zwitterionen* bezeichnet wurden. In der Folge hat er (von 1899 an) gemeinsam mit K. WINKELBLECH die simultane basische und saure Funktion amphoterer Elektrolyte durch die Bestimmung der Basen- und Säuredissoziationskonstante  $K_b$  und  $K_s$  zu ermitteln begonnen. Diese wichtigen Begriffe und die Grundgleichungen sind also auf die Arbeiten BREDIGS zurückzuführen.

## 3. WEITERE ARBEITEN

Von weiteren Arbeiten kann die in Gemeinschaft mit A. KÖNIG und O. H. WAGNER studierte Bildung von Hydrazin aus Ammoniak bei der elektrischen Entladung erwähnt werden und sodann die anlässlich des Aufenthaltes im Laboratorium von

VAN'T HOFF in Amsterdam (1895) durchgeführte Untersuchung „Über den Einfluß der Zentrifugalkraft auf chemische Systeme“. In jener Arbeit ist erstmals eine teilweise Trennung eines Gasgemisches, eines Gemisches von  $H_2$  und  $HJ$  im Schwerefeld einer (von Hand getriebenen) Zentrifuge durchgeführt worden. Es ist bekanntlich in neuester Zeit mit verbesserten technischen Mitteln gelungen, mit Hilfe dieses Prinzips, d. h. durch Zentrifugierung von Gasgemischen, Isotope so zu trennen, daß eine praktische Darstellung von Isotopen nach dieser Methode zwar noch nicht verwirklicht ist aber geprüft werden kann.

Neben der Forschungstätigkeit von BREDIG sei seine nicht minder anerkannte Tätigkeit als akademischer Lehrer erwähnt, dessen Vorlesungen sich durch Klarheit und Folgerichtigkeit auszeichneten, und sodann seine zusätzliche, dem Fortschritte der Wissenschaft dienende literarische Tätigkeit.

Es seien hier insbesondere genannt die Herausgabe des Handbuches der Angewandten Physikalische Chemie, sowie des Bandes „Die Gesetze des chemischen Gleichgewichtes für den verdünnten, gasförmigen oder gelösten Zustand“ von J. H. VAN'T HOFF, übersetzt und herausgegeben von G. BREDIG in Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften No. 110, 1900.

#### 4. PERSÖNLICHES

Der Unterzeichnete ist im Herbst 1930 als Abteilungsleiter an das physikalisch-chemische Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe berufen worden, so daß sein persönlicher Kontakt mit BREDIG sich in einem Zeitpunkt auswirkte, in welchem ein großer Teil von dessen wissenschaftlicher Arbeit bereits vorlag. Es war eine Zeit, in welcher von seiten der Behörden in zunehmendem Maße Einschränkungen der Ausgaben im allgemeinen und des Etats der wissenschaftlichen Institute im besonderen verfügt wurden. Es bleibt mir in Erinnerung die mit echtem Bedauern gemischte Korrektheit, mit welcher er diese Verfügungen an seine jüngeren Mitarbeiter übermittelte und mit besonderer Dankbarkeit möchte ich die Freizügigkeit der Arbeitsgestaltung und die Gewährung der Hilfsmittel des Instituts erwähnen, welche er denjenigen zukommen ließ, zu denen er persönliches und wissenschaftliches Vertrauen gefaßt hatte.

Eine Einzelheit, welche mir eine kurze Zeit nach dem Eintritt in das BREDIGSche Institut begegnet und seither in Erinnerung geblieben ist, ist eine gedruckte, auf Karton aufgezugene kleine Erzählung, welche in der Bibliothek des Instituts neben den üblichen, die Ausleihe betreffenden Mitteilungen angebracht war. Die kleine anekdotenhafte Erzählung schilderte eine Begebenheit in einem kaufmännischen Betriebe, in dem unmittelbar nacheinander zwei Angestellten dieselbe Aufgabe übertragen wird, mit dem Ergebnis, daß der eine zur Aufklärung des Sachverhaltes (Lagerbestand, frühere Lieferungen, Preis, früherer Preis usw.) vier- oder fünfmal ausgeschickt werden muß, indem er immer gerade die Frage, die ihm gestellt wurde, beantwortet, während der andere spontan im ersten Mal über alle im Zusammenhang mit dem Auftrag interessierende Einzelheiten Bericht gibt. Inhalt und Verwendung dieser Geschichte zeigt die Bedeutung, welche BREDIG der Erfassung *aller* mit einer Erscheinung zusammenhängenden Aspekte zugeschrieben hat. Sie macht in wesent-

lichen Zügen den Zusammenhang zwischen den verschiedenen, in den Arbeiten BREDIGS behandelten Gegenständen klar, und sie zeigt die Art und Weise wie er als Lehrer die ihm wichtig erscheinenden Prinzipien an seine Schüler und Mitarbeiter zu übertragen suchte. Auf viele von ihnen hat sein Vorbild und sein Einfluß eine nachhaltige Wirkung gehabt.

Neben der wissenschaftlichen Betreuung hat er sich in wohlwollender aber nicht auffälliger Weise für das Wohl seiner Mitarbeiter und Schüler bekümmert und eingesetzt. Schöne und intensive Gefühle kamen bei Feiern im engen Kreise zum Ausdruck, bei welchen er dem, was er gegenüber Angehörigen seiner Familie und gegenüber Freunden empfand, in ergreifender Weise Ausdruck zu geben verstand.

#### 5. EHRUNGEN

Die Anerkennung, welche BREDIGS wissenschaftliche Tätigkeit in Deutschland und in anderen Ländern gefunden hat, ist durch eine Reihe von Ehrungen zum Ausdruck gekommen.

1899 erhielt er den Ehrenpreis der „Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft“ (jetzt Bunsengesellschaft) für seine Arbeiten auf dem Gebiete der Elektrochemie.

1910 wurde er korrespondierendes Mitglied des naturhistorisch-medizinischen Vereins Heidelberg.

1911 korrespondierendes Mitglied der Naturforschenden Gesellschaft Zürich.

1914 erhielt er den Ehrenpreis des „Institut Solvay“ (Brüssel) für seine Arbeiten über die Katalyse.

1920 Mitglied der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Amsterdam.

1924 wurde er Ehrenmitglied des physikalischen Vereins in Frankfurt am Main.

1929 wurde ihm die Würde eines Dr. med. h. c. durch die Universität Rostock,

1930 die eines Dr. sc. techn. h. c. durch die Technische Hochschule Zürich verliehen.

Im Jahre 1928 erschien eine „Bredig-Festschrift“ der Zeitschrift für physikalische Chemie (Band 137) sowie ein Glückwunsch von F. HABER in der Zeitschrift für Elektrochemie, Band 34, S. 677.

Basel, im Mai 1962

WERNER KUHN

## VERZEICHNIS DER SCHRIFTEN VON G. BREDIG UND MITARBEITERN\*)

*Anorganische Katalysatoren mit zu den Merkmalen natürlicher Fermente  
ähnlichen Eigenschaften*

1. G. BREDIG, Elemente der chemischen Kinetik, mit besonderer Berücksichtigung der Katalyse und der Fermentwirkung. In SPIRO-ASHERS Ergebnisse der Physiol., Abt. I, Bd. 1, S. 134 [1902].
- 1 a. Diskussion: zum Vortrage von Sv. ARRHENIUS über Serumtherapie. Bunsenges. Bonn. Z. Elektrochem. 10, 674 [1904].
2. G. BREDIG, Altes und Neues von der Katalyse, Biochem. Z. 6, 283 [1907].
3. G. BREDIG, Inorganic Ferments. Aus „Colloid Chemistry“, edited J. Alexander. Bd. II, S. 327. Chemical Catalog Co. New York 1928.
4. G. BREDIG, Anwendungen des elektrischen Lichtbogens, Z. Elektrochem. 4, 514 [1898].
5. G. BREDIG, Darstellung kolloidaler Metallösungen durch elektrische Zerstäubung, Z. angew. Chem. 11, 951 [1898].
6. Diskussion: zum Vortrage ZSIGMONDY „Über lösliches Gold“, Z. Elektrochem. 4, 547 [1898].
7. G. BREDIG, Über kolloidales Cadmium, Z. physik. Chem. 32, 127 [1900].
8. G. BREDIG und A. COEHN, Über kolloidale Lösungen, Z. physik. Chem. 32, 129 [1900].
9. G. BREDIG, Heterogenität der kolloidalen Sole, Ann. Physik (4. F.) 11, 218 [1903].
10. G. BREDIG, Vortrag Aachen „Fermentative Wirkung des katalytischen Platins u. a. Metalle“, Referat (Autor unbekannt) Chemiker-Ztg. 24, 895 [1900].
11. G. BREDIG, Selbstreferat „Die fermentativen Eigenschaften des Platins u. a. Metalle“, Physik. Z. 2, 7 [1901].
12. G. BREDIG, Les actions diastasiques du platin colloidal et d'autres métaux, C. R. Acad. Sci. Paris 1901.
13. G. BREDIG und R. MÜLLER VON BERNECK: Selbstreferat, Naturwiss. Rundschau 15, 137 [1900].
14. G. BREDIG, Anorganische Fermente, Habilitationsschrift Leipzig 1901.
15. G. BREDIG und R. MÜLLER VON BERNECK, Anorganische Fermente I (Platinkatalyse), Z. physik. Chem. 31, 258 [1899].
16. G. BREDIG und K. IKEDA, Anorganische Fermente II (Platinkatalyse), Z. physik. Chem. 37, 1 [1901].
17. G. BREDIG, Über Quecksilber als Kontaktgift, Ber. dtsch. chem. Ges. 51, 1477 [1918].
- 17 a. G. BREDIG, Lähmung der Platinkatalyse durch Gifte (gegen RAUDNITZ), Z. physik. Chem. (A) 38, 122 [1901].
18. G. BREDIG und W. REINDERS, Anorganische Fermente III (Goldkatalyse), Z. physik. Chem. 37, 323 [1901].
19. G. A. BROSSA, Anorganische Fermente IV (Iridiumkatalyse), Z. physik. Chem. 66, 162 [1909].
20. D. MCINTOSH, Inorganic Ferments (Silberkatalyse des  $H_2O_2$ ). J. physik. Chem. 6, 15 [1902].
21. G. BREDIG und FRITZ SOMMER, Anorganische Fermente V. SCHARDINGERSche Reaktion, Z. physik. Chem. 70, 34 [1909].
22. G. BREDIG, Mechanismus der Oxydationsvorgänge, Ber. dtsch. chem. Ges. 47, 546 [1914].
23. G. BREDIG, Anorganische Fermente und organische Enzyme (gegen BOKORNY), Chemiker-Ztg. 1907, Nr. 15, S. 184.
24. G. BREDIG, Physiologische Katalyse (gegen BOKORNY), Zbl. Bakteriologie II. Abt. 19, 485 [1907].
25. TH. BLACKADDER, Anorganische Fermente VI. (Katalytische Zersetzung der Ameisensäure durch Rhodium), Z. physik. Chem. 81, 385 [1912].

\*) Der Autobiographie (vgl. S. LXIII) entnommen.

26. G. BREDIG und M. FORTNER, Palladiumkatalyse des Wasserstoffsperoxyds, Ber. dtsh. chem. Ges. 37, 798 [1904].
27. G. BREDIG, Katalytische Wasserstoffanlagerung, Ber. dtsh. chem. Ges. 63, 488 [1930].
28. G. BREDIG und A. MARCK, Kolloidales Mangandioxyd und sein Verhalten gegen Wasserstoffsperoxyd, Gedenkboek an VAN BEMMELEN, 1910.
29. CARL ERNST, Katalyse des Knallgases durch kolloidales Platin, Z. physik. Chem. 37, 448 [1901].
30. E. B. SPEAR, Catalytic Decomposition of Hydrogen Peroxyde under High Pressure of Oxygen. J. Amer. chem. Soc. 30, 195 [1908].
31. EMIL REISS, Katalase der Milch, Z. klin. Med. 56, Heft 1 und 2 [1901].
32. EMIL REISS, Beziehung des Lecithins zu Fermenten, Berliner klin. Wochenschr. 1904, Nr. 45.
33. A. FAITELOWITZ, Studie zur Kenntnis der Milchkatalyse, Dissertat. Heidelberg 1904.
34. A. FAITELOWITZ, Entstehung der Katalase in Milch und deren Bedeutung für die Milchkontrolle. Milchwirtschaftl. Zbl. 1910, 299, 361, 420.
35. K. JABL CZYNSKI, Zersetzung des Chromchlorürs an Platinblech, Z. physik. Chem. 64, 748 [1908].
36. H. G. DENHAM, Katalyse in heterogenen Systemen (Titano- zu Titani- und umgekehrt), Z. physik. Chem. 72, 641 [1910].
37. G. BREDIG und R. ALLOLIO, Röntgenuntersuchungen an katalytisch wirkenden Metallen, Z. physik. Chem. 126, 41 [1927].
38. G. BREDIG und E. SCHWARZ von BERGKAMPF, Über hexagonales Nickel, Z. physik. Chem. BODENSTEIN-Festband 1931, 172.
39. G. KÄB, Einfluß von Gasbelastungen bei Platinkatalyse. Z. physik. Chem. 115, 224 [1925].
40. G. BREDIG und J. WEINMAYR, Periodische Kontaktkatalyse. Verh. naturhist. med. Ver. Heidelberg, N. F. 7, 405 [1903].
- 40a. G. BREDIG und J. WEINMAYR, Periodische Kontaktkatalyse, Z. physik. Chem. 42, 601 [1903].
41. G. BREDIG und J. WEINMAYR, Minimale Schichtdicke des katalytisch wirkenden Quecksilbers. Ann. Physik, BOLTZMANN-Festschrift 1904, 839.
42. G. BREDIG und E. WILKE, Periodische Kontaktkatalyse II, Verh. naturhist. med. Ver. Heidelberg, N. F. 8, 165 [1905].
43. G. BREDIG und A. STARK, Topochemie der Quecksilberkatalyse des Hydroperoxyds und pH-Wert bei Pulsation, Z. physik. Chem. (B) 2, 282 [1929].
44. A. VON ANTROPOFF, Pulsierende Quecksilber-Wasserstoffsperoxydkatalyse. Z. physik. Chem. 62, 513 [1908].
45. A. VON ANTROPOFF, Wasserstoffsperoxydsalze des Quecksilbers, J. prakt. Chem. N. F. 77, 1 [1908].
46. G. BREDIG und E. WILKE, Erregung und Beeinflussung katalytischer Pulsationen durch elektrische Ströme, Biochem. Z. 11, 67 [1908].
47. G. BREDIG und J. W. KERB, Über die elektrische Reizschwelle katalytischer Pulsationen, Verh. naturhist. med. Ver. Heidelberg, N. F. 10, 23 [1909].
48. G. BREDIG, Über heterogene Katalyse und ein neues Quecksilberoxyd, Z. Elektrochem. 12, 581 [1906].
- 48a. Diskussion: zum Vortrag V. HENRI, Paris: „Enzymwirkung und heterogene Katalyse“, Z. Elektrochem. 11, 794 [1905].
49. G. BREDIG und TH. BLACKADDER, Katalytische Zersetzung der Ameisensäure durch Rhodium, Vortrag, Chemiker-Ztg. 1911, 1095.
50. G. BREDIG, Katalytische Ameisensäuresynthese unter Druck und ein photochemisch-katalytisches Assimilationsmodell, Vortrag, Chemiker-Ztg. 1914, Nr. 57.
51. G. BREDIG und S. R. CARTER, Katalytische Synthese der Ameisensäure unter Druck, Ber. dtsh. chem. Ges. 47, 541 [1914].
52. G. BREDIG, I. Gleichgewicht der Kohlensäurereduktion, Vortrag, Chemiker-Ztg. 1915, 72.

53. G. BREDIG, S. R. CARTER und M. ENDERLI, Gleichgewicht der Kohlendioxydabspaltung aus Ameisensäure und ihr Potential, *Mh. Chem.* **53/54**, 1023 [1929].
54. G. BREDIG, Welche Zwischenprodukte entstehen bei der Assimilation der Kohlensäure durch die Pflanze? *Umschau* **18**, 362 [1914].
55. L. STUCKERT und M. ENDERLI, Bombe mit Rührwerk für hohe Drucke (KIRCHENBAUER), *Z. Elektrochem.* **19**, 570 [1913].
56. G. BREDIG und TH. H. CALVERT, Wasserstoffsperoxyd als Säure, *Z. Elektrochem.* **7**, 622 [1901].
57. H. TH. CALVERT, Alkalisalze des Hydroperoxyds in wäßriger Lösung, *Z. physik. Chem.* **38**, 513 [1901].
58. H. TH. CALVERT, Dielektrizitätskonstante des Wasserstoffsperoxyds, *Ann. Physik, Folge IV*, **1**, 483 [1900].
59. R. A. JOYNER, Affinitätskonstante des Hydroperoxyds, *Z. anorg. Chem.* **77**, 103 [1912].
60. G. BREDIG, H. L. LEHMANN und W. KUHN, Lichtabsorption des Hydroperoxyds in alkalischer Lösung, *Z. anorg. allg. Chem.* **218**, 16 [1934].

#### *Stereochemisch-asymmetrische Katalyse*

61. G. BREDIG und R. W. BALCOM, Kinetik der Kohlendioxyd-Abspaltung aus Camphocarbonsäure; G. BREDIG und K. FAJANS, Zur Stereochemie der Katalyse, *Ber. dtsh. chem. Ges.* **41**, 740 [1908].
62. K. FAJANS, Über die stereochemische Spezifität der Katalysatoren, *Verh. naturhist. med. Ver. Heidelberg, N. F.* **10**, 357 [1910].
63. K. FAJANS, Über die stereochemische Spezifität der Katalysatoren, *Z. physik. Chem.* **73**, 25 [1910].
64. K. FAJANS, Über die stereochemische Spezifität der Katalysatoren. (Antwort an ROSENTHALER), *Z. physik. Chem.* **75**, 232 [1910].
65. G. BREDIG und H. J. M. CREIGHTON, Über die katalytische Zersetzung und optische Aktivierung der Bromcamphocarbonsäure, *Z. physik. Chem.* **81**, 543 [1913].
66. W. PASTANOGOFF, Über die Kinetik der katalytischen Zersetzung der Bromcamphocarbonsäure, *Z. physik. Chem.* **112**, 448 [1924].
67. G. BREDIG und R. A. JOYNER, Katalytische Abspaltung von Kohlendioxyd aus Ketocarbonsäuren, *Z. Elektrochem.* **24**, 285 [1918].
68. G. BREDIG, Durch Katalysatoren bewirkte asymmetrische Synthese. Autoreferat zum Vortrag, *Chemiker-Ztg.* **1911**, 324.
- 68a. G. BREDIG, Synthèses asymétriques provoquées par des catalyseurs. *Arch. Sci. physiques nat. Quatrième Période* **31**, 259 [1911].
69. G. BREDIG und P. S. FISKE, Durch Katalysatoren bewirkte asymmetrische Synthese, *Biochem. Z.* **46**, 7 [1912].
70. G. BREDIG, Über den angeblich optisch aktiven Benzaldehyd, *Chemiker-Ztg.* **1915**, 72.
71. G. BREDIG und M. MINAEFF, Asymmetrische Synthese durch Katalysatoren II, *Biochem. Z.* **249**, 241 [1932].
72. G. BREDIG, Herstellung von optisch aktiven Stoffen durch Fermente und andere Katalysatoren, *Verh. Naturwiss. Vereins Karlsruhe* **25** [1913].
73. G. BREDIG und M. MINAEFF, Asymmetrische Synthese durch Katalysatoren als Modell der Fermentwirkung. *Festschrift zur Hundert-Jahr-Feier der Techn. Hochschule Karlsruhe 1925*.
74. G. BREDIG und F. GERSTNER, Asymmetrische Katalyse mit organischer Faser, *Biochem. Z.* **250**, 414 [1932].
- 74a. G. BREDIG, F. GERSTNER und H. LANG, Katalyse mit organischer Faser II, *Biochem. Z.* **282**, 88 [1935].
- 74b. G. BREDIG und F. GERSTNER, Über eine neue Art von organischen Katalysatoren, Autoreferat, *Z. angew. Chem.* **45**, 436 [1932].
75. G. BREDIG mit P. MANGOLD und TH. WILLIAMS, Über „absolute“ asymmetrische Synthese, *Z. angew. Chem.* **36**, 456 [1923].

*Chemische Kinetik und Katalyse des Diazoessigesters*

76. G. BREDIG, Chemische Kinetik des Diazoessigesters und ihre Anwendungen, Verh. naturhist. med. Ver. Heidelberg, N. F. 9, 1 [1907].
77. G. BREDIG und W. FRAENKEL, Eine neue sehr empfindliche Wasserstoffionenkatalyse, Z. Elektrochem. 11, 525 [1905].
78. W. FRAENKEL, Zur chemischen Kinetik des Diazoessigesters, Z. physik. Chem. 60, 202 [1907].
79. G. BREDIG und W. FRAENKEL, Über antikatalytische Wirkungen des Wassers, Ber. dtsh. chem. Ges. 39, 1756 [1906].
80. G. BREDIG, W. S. MILLAR und H. BRAUNE, Katalytische Wirkungen der Wasserstoffionen in alkoholischen Lösungen, Z. Elektrochem. 18, 535 [1912].
- 80a. H. C. S. SNETHLAGE, Über katalytische Wirkungen der undissoziierten Säuren, Selbstreferat Chemiker-Ztg. 1912, 587.
- 80b. H. C. S. SNETHLAGE, Über katalytische Wirkungen der undissoziierten Säuren, Z. Elektrochem. 18, 539 [1912].
81. W. S. MILLAR, Über hemmende Wirkung kleiner Wassermengen bei der Diazoessigesterzersetzung in alkoholischen Lösungen I, Z. physik. Chem. 85, 129 [1913].
82. H. BRAUNE, Über hemmende Wirkung kleiner Wassermengen bei der Diazoessigesterzersetzung in alkoholischen Lösungen II, Z. physik. Chem. 85, 170 [1913].
83. H. C. S. SNETHLAGE, Einfluß von Neutralsalzen auf katalytische Reaktionen in verschiedenen Lösungsmitteln, Z. physik. Chem. 85, 211 [1913].
- 83a. Diskussion: zum Vortrage H. GOLDSCHMIDT „Alkoholyse von Salzen“, Z. Elektrochem. 22, 15 [1916].
84. G. BREDIG und P. F. RIPEEY, Kinetik der Einführung von Säuren in das Diazoessigester-molekül, besonders mit Hilfe von Neutralsalzen, Ber. dtsh. chem. Ges. 40, 4015 [1907].
85. BROR HOLMBERG, Esterbildung durch Massenwirkung von Anionen, Ber. dtsh. chem. Ges. 41, 1341 [1908].
86. HILARY LACHS, Simultane Reaktionskinetik des Diazoessigesters, Z. physik. Chem. 73, 291 [1910].
- 86a. HILARY CHIL LACHS, Adiabatische und simultane Reaktionskinetik des Diazoessigesters, Verh. naturhist. med. Ver. Heidelberg, N. F. 11, 46 [1910].
87. E. SPITALSKY, Über den Zustand der Chromate und der Chromsäure in wäßriger Lösung, Z. anorg. allg. Chem. 54, 265 [1907].
88. G. BREDIG und K. SIEBENMANN, Zur Säuregradbestimmung im Wein mit Diazoessigester, J. prakt. Chem. 116, 118 [1927].
- 88a. Diskussion: zum Vortrag TH. PAUL „Entsäuerung“ des Weines, Z. Elektrochem. 21, 559 [1915].
89. BROR HOLMBERG, Zur Kenntnis der amphoterer Elektrolyte, Z. physik. Chem. 62, 726 [1908].

*Allgemeines über Katalyse*

90. G. BREDIG, Katalyse. Aus ULLMANN'S Enzyklopädie der technischen Chemie, 1. Aufl. 1919 (Wien-Berlin) VI, S. 665.
- 91a. G. BREDIG, Altes und Neues von der Katalyse. Dasselbe wie in [2]. Vortrag Leiden 1907.
- 91b. G. BREDIG, Bemerkungen zu RASCHIG'S „Gedanken über Katalyse“, Z. angew. Chem. 19, 1985 [1906].
- 91c. G. BREDIG, Über Katalyse II (wegen RASCHIG), Z. angew. Chem. 20, 308 [1907].
- 91d. G. BREDIG und F. HABER, Herrn F. RIEDEL'S Einwand gegen die Zwischenreaktionen, Z. angew. Chem. 16, 557 [1903].

*Anorganische Katalyse*

92. J. BRODE, Katalyse bei der Reaktion zwischen Wasserstoffperoxyd und Jodwasserstoff, Z. physik. Chem. 37, 257 [1901].
93. E. SPITALSKY, Zur Katalyse der Chromsäure und ihrer Salze, Z. anorg. Chem. 53, 184 [1907].

94. E. SPITALSKY, Zur Katalyse der Chromsäure und ihrer Salze, II. Mitteilung, Z. anorg. Chem. **56**, 72 [1907].
95. G. BREDIG und J. MICHEL, Zur chemischen Kinetik der Überchlorsäure und ihrer Salze, Z. physik. Chem. **100**, 124 [1921].
96. G. BREDIG und J. H. WALTON jr., Die Jodionenkatalyse des Wasserstoffsperoxyds, Z. Elektrochem. **9**, 114 [1903].
97. J. H. WALTON jr., Die Jodionenkatalyse des Wasserstoffsperoxyds, Z. physik. Chem. **47**, 185 [1904].
98. G. BREDIG, Die Jodionenkatalyse des Wasserstoffsperoxyds, Nachtrag, Z. physik. Chem. **48**, 368 [1904].
99. G. BREDIG, Adiabatische Reaktionsgeschwindigkeit, Vortrag a. d. Naturforscherversammlung 1904, Abt. Chem., S. 96.
100. G. BREDIG und F. EPSTEIN, Adiabatische Reaktionskinetik chemischer Systeme, Physik. Z. **5**, 698 [1904].
101. G. BREDIG und F. EPSTEIN, Geschwindigkeit der chem. Selbsterhitzung (Adiabatische Reaktionskinetik), Z. anorg. Chem. **42**, 341 [1904].
102. S. L. BIGELOW, Katalytische Wirkungen auf die Geschwindigkeit der Oxydation des Natriumsulfits durch den Sauerstoff der Luft, Z. physik. Chem. (A) **26**, 494 [1898], (Dissertat. Leipzig) bei OSTWALD.
103. G. BREDIG, Über Kalkstickstoff, Vortrag, Chemiker-Ztg. **1908**.
104. G. BREDIG, W. FRAENKEL und E. WILKE, Über Kalkstickstoff I, Z. Elektrochem. **13**, 69 [1907].
105. G. BREDIG, W. FRAENKEL und E. WILKE, Über Kalkstickstoff II, Z. Elektrochem. **13**, 605 [1907].
106. E. WINTER, Der katalytische Ammoniakzerfall an Eisen, Z. physik. Chem. (B) **13**, 401 [1931].

#### *Organische Katalyse*

107. W. WILL und G. BREDIG, Umwandlung von Hyoscyamin in Atropin durch Basen. Beitrag zur Kenntnis der Massenwirkung, Ber. deutsch. chem. Ges. **21**, 2777 [1888].
108. K. KOELICHEN, Die chemische Dynamik der Acetonkondensation, Z. physik. Chem. **33**, 129 [1900]. Dissertat. Leipzig 1900.
109. D. M. LICHTY, The chemical kinetics of the decomposition of oxalic acid in concentrated sulphuric acid, J. physic. Chem. **11**, 225 [1907].
110. G. BREDIG und D. M. LICHTY, Chemische Kinetik in konzentrierter Schwefelsäure (Zerfall der Oxalsäure), Z. Elektrochem. **12**, 459 [1906].
111. G. BREDIG und J. W. BROWN, Katalytische Oxydation organischer Substanzen mit konzentrierter Schwefelsäure. I. Beiträge zur chemischen Kinetik der Kjeldahlanalyse und Naphthalinoxidation, Z. physik. Chem. **46**, 502 [1903].
- 111a. G. BREDIG, Chemische Kinetik in konzentrierter Schwefelsäure und Bestimmung sehr kleiner Wassermengen in derselben. Autoreferat, Z. angew. Chem. **19**, 367 [1906].
112. G. BREDIG und E. STERN, Die Cyanionenkatalyse bei der Benzoinbildung, Z. Elektrochem. **10**, 582 [1904]. Siehe auch: E. STERN, Z. physik. Chem. **50**, 513 [1905].
113. E. ELÖD und H. NEDELMANN, Zur Kenntnis der katalytischen Blausäuresynthese aus Stickoxyd und Kohlenwasserstoffen, Z. Elektrochem. **33**, 217 [1927].
114. G. BREDIG, E. ELÖD und E. DEMME, Zur Kenntnis der katalytischen Blausäurebildung. II. Blausäurebildung aus Kohlenwasserstoffen und Ammoniak, Z. Elektrochem. **36**, 991 [1930].
115. G. BREDIG, E. ELÖD und R. K. MÜLLER, Zur Kenntnis der katalytischen Blausäurebildung. III. Blausäurebildung aus Kohlenoxyd und Ammoniak, Z. Elektrochem. **36**, 1003 [1930].
116. G. BREDIG, E. ELÖD und G. KORTÜM, Zur Kenntnis der katalytischen Blausäurebildung. IV. Blausäurebildung aus Kohlenoxyd und Ammoniak, Z. Elektrochem. **36**, 1007 [1930].
117. G. BREDIG, E. ELÖD und W. KÖNIG, Zur Kenntnis der katalytischen Blausäurebildung. V. Über Ceroxyd als Katalysator bei der Blausäurebildung, Z. Elektrochem. **37**, 2 [1931].

118. G. BREDIG und L. TEICHMANN, Kritische Konstanten und Dampfdrucke des Cyanwasserstoffs, *Z. Elektrochem.* **31**, 449 [1925].
119. G. BREDIG und M. SHIRADO, Dampfdrucke und spezifisches Gewicht wäßriger Blausäure, *Z. Elektrochem.* **33**, 209 [1927].
- 119a. M. SHIRADO, Das spezifische Gewicht wäßriger Blausäure, *Bull. chem. Soc. Japan* **2**, 122 [1927].
- 119b. M. SHIRADO, Über Dampfdruckmessungen wäßriger Blausäure bei 18°C, *Bull. chem. Soc. Japan* **2**, 85 [1927].
120. G. BREDIG und F. LOTZ, Über die Umsetzung zwischen wäßrigem Natriumformiat und Ammoniumsulfat, *Chemiker-Ztg.* **55**, 4 [1931].
121. G. BREDIG, Zur chemischen Kinetik der Ameisensäurebildung, Vortrag, *Chemiker-Ztg.* **1914**, 680.
122. G. BREDIG mit M. ENDERLI und L. STUCKERT, Zur chemischen Kinetik der Ameisensäurebildung, *Z. Elektrochem.* **20**, 489 [1914].
123. W. SCHWARTZ und H. LANG, Untersuchungen über die Citronensäuregärung bei *Aspergillus niger*, *Arch. Mikrobiologie* **5**, 387 [1934].

### *Elektrochemie*

124. G. BREDIG, I. Beiträge zur Stöchiometrie der Ionenbeweglichkeit, *Z. physik. Chem. (A)* **13**, 191 [1894], II. Über die Affinitätsgrößen der Basen, ebenda 289, Dissertat. Leipzig 1894.
125. B. B. BOLTWOOD, Bestimmung der molekularen Leitfähigkeit von Rubidium- und Cäsiumchlorid, *Z. physik. Chem.* **22**, 132 [1897].
126. G. BREDIG, Die Dissoziation des Wassers, *Z. physik. Chem.* **11**, 829 [1893].
127. G. BREDIG und A. USOFF, Ist Acetylen ein Elektrolyt? *Z. Elektrochem.* **3**, 116 [1896].
128. G. BREDIG, Bemerkung zu der Abhandlung des Herrn J. WALKER über Sauerstoffbasen, *Ber. dtsh. chem. Ges.* **35**, 271 [1902].
129. G. BREDIG, Über Wärmeleitung und Ionenbewegung, *Kongl. Vetenskaps-Akad. Förhandl.* S. 665, Stockholm 1895.
- 129a. G. BREDIG, Über Wärmeleitung und Ionenbewegung, *Z. physik. Chem.* **19**, 228 [1896].
130. G. BREDIG, Über Wärmeleitung und Ionenbewegung II, *Z. physik. Chem.* **23**, 545 [1897].
131. G. BREDIG und K. WINKELBLECH, Über amphotere Elektrolyte und innere Salze, *Z. Elektrochem.* **6**, 33 [1899].
132. K. WINKELBLECH, Über amphotere Elektrolyte und innere Salze, *Z. physik. Chem.* **36**, 546 [1901].
133. G. BREDIG, Die Theorie der amphoterer Elektrolyte, *Ber. dtsh. chem. Ges.* **37**, Heft 15, 4140 [1904].
134. Diskussion: zum Vortrage von DEBYE, München, Bunsengesellschaft 1928, *Z. Elektrochem.* **34**, 453 [1928].
135. G. BREDIG, De elektromotorische Schaal der photographische Ontwikkelingsvloei-stoffen, *Maandblad voor Natuurwetenschappen* **1894**, Nr. 4.
- 135a. G. BREDIG, De elektromotorische Schaal der photographische Ontwikkelingsvloei-stoffen, *Maandblad voor Natuurwetenschappen* **1894**, Nr. 4. Neudruck, „Helios“, Amsterdam.
- 135b. G. BREDIG, Die elektromotorische Skala der photographischen Entwickler, *EDERS Jahrbuch f. Photographie und Reproduktionstechnik*, 1895.
136. E. COHEN und G. BREDIG, Het Overgangselement en eene nieuwe Wijze van zijne Toepassing, *Maandblad voor Natuurwetenschappen* **1894**, Nr. 2/3.
137. E. COHEN und G. BREDIG, Das Umwandlungselement und eine neue Art seiner Anwendung, *Z. physik. Chem.* **14**, 535 [1894].
138. J. H. VAN'T HOFF, E. COHEN und G. BREDIG, Zur Theorie des Umwandlungselementes ohne metastabile Phase, *Z. physik. Chem.* **16**, 453 [1895].
139. C. KNÜPFER, Chemisches Gleichgewicht und elektromotorische Kraft, *Z. physik. Chem.* **26**, 255 [1898].

140. G. BREDIG und C. KNÜPFER, Über elektromotorische Kraft und chemisches Gleichgewicht, Z. Elektrochem. 4, 544 [1898].
141. R. PETERS, Über die Rolle der komplexen Salze bei Oxydations- und Reduktionsketten, Z. Elektrochem. 4, 534 [1898]. Siehe auch R. PETERS, Z. physik. Chem. (A) 26, 230 [1898].
142. P. P. LEBEDEV, Über die Schwefelbleielektrode und über die Passivität des Bleis, Z. Elektrochem. 18, 891 [1912].
143. G. BREDIG, Einige Anwendungen des elektrischen Lichtbogens, Z. Elektrochem. 4, 514 [1898].
- 143a. G. BREDIG, Vorträge auf der V. Hauptversammlung der Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft, Leipziger Tageblatt und Anzeiger 16. April 1898.
144. G. BREDIG, Darstellung kolloidaler Metallösungen durch elektrische Zerstäubung, Z. angew. Chem. 11, Heft 41, 951 [1898].
145. G. BREDIG, Gewinnung von Metallösungen durch den elektrischen Lichtbogen, Vortrag, Technische Rundschau 4, 444 [1898].
146. G. BREDIG, Über kolloidales Cadmium, Z. physik. Chem. 32, 127 [1900].
147. G. BREDIG und F. HABER, Über Zerstäubung von Metallkathoden bei der Elektrolyse mit Gleichstrom, Ber. deutsch. chem. Ges. 31, 2741 [1898].
148. G. BREDIG, Die Prinzipien der elektrischen Endosmose und damit zusammenhängende Erscheinungen des kolloidalen Zustandes, Ber. d. V. Intern. Kongresses f. angew. Chemie Berlin 1903, Sekt. X, Bd. IV, S. 643.
- 148a. G. BREDIG, Prinzipien der Anwendung der elektrischen Endosmose und damit zusammenhängende Erscheinungen des kolloidalen Zustandes, Z. Elektrochem. 9, 738 [1903].
149. G. BREDIG und G. v. SCHUKOWSKY, Prüfung der Natur der flüssigen Kristalle mittels elektrischer Kataphorese, Ber. deutsch. chem. Ges. 37, 3419 [1904].
150. G. BREDIG, Über Konstitutionsbestimmung durch qualitative Überführungsversuche (Antwort an Herrn R. KREMANN), Z. anorg. Chem. 34, 202 [1903].
151. G. BREDIG und O. HAHN, Das Amperemanometer, Z. Elektrochem. 7, 259 [1900].
- 151a. G. BREDIG und O. HAHN, Das Amperemanometer, Physik. Z. 1, 561 [1900].
152. G. BREDIG und A. KÖNIG, Elektrische Synthese des Hydrazins, Naturwissenschaften 16, 493 [1928].
153. G. BREDIG, A. KÖNIG und O. H. WAGNER, Über die Bildung von Hydrazin bei der Zersetzung von Ammoniak in elektrischen Entladungen, Z. physik. Chem. (A) 139 (HABER-Band), 211 [1928].
154. G. BREDIG, Elektrochemie und ihre Beziehungen zur Medizin. Vortrag Berlin 1906, Z. ärztliche Fortbildung 5 [1908]; 6 [1909].
155. G. BREDIG, Physikalische Chemie und Elektromedizin. Aus Bd. I von BORUTTAU-MANNS, Handbuch der gesamten medizinischen Anwendungen der Elektrizität, 2. Abschnitt, S. 107 (Klinkhardt, Leipzig 1909).

#### *Physikalische Chemie*

156. W. WILL und G. BREDIG, Einfache Molekulargewichtsbestimmung gelöster Substanzen, Ber. deutsch. chem. Ges. 22, 1084 [1889].
- 156a. G. BREDIG, Über moderne Molekulargewichtsbestimmungen. Referat, Pharmazeutische Ztg. 1889, Nr. 46.
157. G. BREDIG, Bemerkungen zu einem Einwande des Herrn PUPIN gegen die kinetische Natur des osmotischen Druckes, Z. physik. Chem. 4, 444 [1889].
158. G. BREDIG, Über das Molekulargewicht der Überschwefelsäure, Z. physik. Chem. 12, 230 [1893].
159. E. C. SULLIVAN, Studien über einige Jodverbindungen, Z. physik. Chem. (A) 28, 523 [1899].
160. G. BREDIG, Über die Chemie der extremen Temperaturen, Habilitationsvortrag, Physik. Z. 2, 418, 433 [1901].
161. G. BREDIG, Über den Einfluß der Zentrifugalkraft auf chemische Systeme, Z. physik. Chem. 17, 459 [1895].

162. G. BREDIG und F. HABER, Prinzipien der Gasscheidung durch Zentrifugalkraft, Z. angew. Chem. 17, 452 [1904].
163. F. FRAENCKEL, Über die Existenzgebiete der Ferrosulfathydrate, Z. anorg. Chem. 55, 223 [1907].
164. E. SCHLUMBERGER und W. PIOTROWSKI, Über die Explosibilität von Luft-Ammoniak-Gemischen, J. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1914, Nr. 43.
- 165 a. G. BREDIG und R. BAYER, Die Dampfdrucke des binären Systems Methylalkohol—Wasser und des ternären Systems: Methylalkohol, Methylacetat, Äthylacetat, Z. physik. Chem. 130 (COHEN-Festband), 1, 15 [1927].
- 165 b. G. BREDIG und R. BAYER, Dampfdrucke von Gemischen, Z. physik. Chem. (A) 142, 92 [1929].

#### *Photochemie*

166. G. BREDIG und A. v. GOLDBERGER, Ein Beispiel photochemischer Reaktionskoppelung ( $\text{COCl}_2 + \text{H}_2$ ) und die photochemische Zersetzung des Formaldehyds, Z. physik. Chem. 110, 521 [1924].
167. G. BREDIG und A. v. GOLDBERGER, Über die Bestimmung von Phosgen in Gasgemischen, Das Gas- und Wasserfach 67, 490 [1924].
168. G. BREDIG, Ein kleiner Beitrag zur Ammoniumfrage in wäßriger Lösung, Z. Elektrochem. 7, 767 [1901].
169. FR. BORTINI, Absorptionsspektren der Lösungen einiger Nitroverbindungen in Mischungen von Äthylalkohol und Wasser, Z. physik. Chem. 87, 104 [1914].
170. E. WOLF, Über die Quantenausbeute bei der photochemischen Zersetzung von Diazocessigester, Z. physik. Chem. (B) 17, 46 [1932].
171. G. BREDIG, Die Fortpflanzung des Bildes von einer belichteten Schicht auf eine unbelichtete im ABNEY-Versuch, Jb. Photographie und Reproduktionstechnik 1899, 114.
172. G. BREDIG und H. PEMSEL, Über die vermeintliche Aktivierung des Luftsauerstoffs durch Bestrahlung, Arch. wissenschaftl. Photographie 1899, 33.

#### *von Biographien, Reden, Nekrologen usw. seien ferner erwähnt:*

173. G. BREDIG: MARCELIN BERTHELOT, Nachruf, Z. angew. Chem. 20, 689 [1907].
174. G. BREDIG: J. H. VAN'T HOFF, Nachruf, Z. angew. Chem. 24, 1074 [1911].
175. G. BREDIG: HERMANN KOPP, Biographie, Allgemeine Deutsche Biographie, Leipzig 1910.
176. G. BREDIG: LOTHAR MEYER, Biographie, Allgemeine Deutsche Biographie, Leipzig 1910.
177. G. BREDIG: AUGUST HORSTMANN zum 70. Geburtstag, Z. Elektrochem. 18, 993 [1912].
178. G. BREDIG: CARL ENGLER zum 80. Geburtstag, Ber. dtsh. chem. Ges. (A) 55, 25 [1922].
179. G. BREDIG, Nachruf auf M. E. LEMBERT, Karlsruher Tagblatt 8. Aug. 1925.
180. G. BREDIG, Nachruf auf W. A. SCHMIDT, Z. angew. Chem. 40, 1071 [1927].
181. G. BREDIG, Erinnerungen an mein Amsterdamer Studienjahr (ERNST COHEN gewidmet), Chem. Weekbl. 24, 479 [1927].
182. G. BREDIG, Zum Jubiläum von W. N. IPATIEW, IPATIEW-Festschrift, Leningrad 1928.
183. G. BREDIG, Nachruf auf WILHELM OSTWALD, Akad. Mitteilungen der Techn. Hochschule Karlsruhe 1932.
184. G. BREDIG, Denkmethode der Chemie, Rektoratsrede, gehalten in Karlsruhe am 9. Dezember 1922 (Verl. Barth, Leipzig 1923).
185. G. BREDIG, Diskussionsrede wegen Umwandlung der Ziele und des Namens der „Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft“ in „Deutsche Bunsengesellschaft für angewandte physikal. Chemie“, Z. Elektrochem. 7, 668 [1901].

Schließlich sei erwähnt eine von BREDIG selbst verfaßte und im Privatdruck herausgegebene

#### *Autobiographie*

(Druckerei P. Dünnhaupt, Köthen, Anhalt).

Ein Original der Schrift, welche neben der Originalliteratur und Briefen, sowie neben Mitteilungen von K. FREUDENBERG und ST. GOLDSCHMIDT, für die vorstehende Würdigung benutzt wurde, befindet sich in der Bibliothek der Technischen Hochschule Karlsruhe, während ein Mikrofilm davon im Archiv der Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft für Physikalische Chemie in Frankfurt a. M. aufbewahrt ist.