

# 100 Jahre Institut für Physikalische Chemie an der Universität Karlsruhe

Ulrich Schindewolf

## Prolog

*Karlsruhe ist die Hauptstadt eines zwar kleinen, aber gesegneten Landes, in welchem unter einem erhabenen Fürsten und einer liberalen Regierung Wissenschaft und Künste blühen und ihre Vertreter, geachtet und gestützt, mit Freudigkeit und Liebe ihrem Berufe folgen können<sup>1)</sup>.* So charakterisierte Carl Weltzien, der Begründer der wissenschaftlichen Chemie in Karlsruhe, in der Eröffnungsansprache der ersten internationalen Chemikerversammlung in Karlsruhe 1860 seine Heimatstadt.

## Vorgeschichte

Das 100-jährige Jubiläum unserer Lehr- und Forschungsstätte für Physikalische Chemie in Karlsruhe ist verknüpft mit drei vorausgegangenen Ereignissen in den Jahren 1825, 1850 und 1860, die auch Jubiläumscharakter haben.

Durch Erlass des Großherzogs Ludwig von Baden ist 1825 in Karlsruhe die polytechnische Schule durch Zusammenschluss mehrerer Gewerbe- und Fachschulen gegründet worden, in die auch eine chemisch-technische Schule integriert wurde. Das 175. Jubiläum der Gründung dieser polytechnischen Schule, der ersten Technischen Hochschule Deutschlands und Vorgängerin unserer Universität, feiern wir in diesem Jahr.

Ein Glücksfall für die Chemie war die Berufung von Carl Weltzien (1813–1870), Schüler von Friedrich Wöhler und Eilhard Mitscherlich, an die polytechnische Schule im Jahre 1841, an der er 1850 den neuen chemischen Lehrstuhl übernahm. Er reorganisierte nicht nur den chemischen Unterricht und begründete die chemische Forschung in Karlsruhe, sondern er initiierte 1850 auch den Bau des ersten selbständigen chemischen Laboratoriums in Karlsruhe, dessen Konzeption richtungweisend für weitere chemische Institute innerhalb und außerhalb Deutschlands war und dessen 150. Jubiläum wir hier erwähnen wollen.

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts hatte die Chemie eine außerordentlich rasche Entwicklung genommen, durch die eine Fülle von Einzelerkenntnissen angehäuft waren, die der systematischen Ordnung harhten; die theoretischen Ansichten der Forscher und ihre Ausdrucksweise in Wort und Symbol gingen weit auseinander. Mit Scharfsinn und Ausdauer wurde ein Kampf um die Avogadro'sche Hypothese und um die dualistische Theorie von Berzelius geführt. Es gab Kontroversen, in denen die Begriffe von Atom, Molekül und Äquivalent, von Atomzeichen und chemischer Formel durcheinander gebracht wurden, so dass sowohl die Verständigung der Chemiker untereinander wie auch die Weitergabe von Wissen im Unterricht bald unmöglich erschien. *Babylonische Verwirrung, Anarchie*, und als Folge davon *Resignation*, herrschten unter den Chemikern

in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Die nun von Weltzien – angeregt durch Friedrich August Kékulé – 1860 nach Karlsruhe einberufene erste internationale Chemikerversammlung (127 Teilnehmer aus 12 Ländern), an der viele der damals hervorragenden Chemiker teilgenommen haben, ist entscheidend gewesen für die Entwicklung der Chemie: insbesondere durch Stanislao Cannizzaro's Plädoyer wurde der Avogadro-Hypothese zum Durchbruch verholfen; und die Begriffe Atom, Molekül und Äquivalent und die relativen Atomgewichte wurden eindeutig definiert. Angeregt durch den Kongress wurden Lothar Meyer und Dimitri I. Mendelejeff unabhängig voneinander zur Aufstellung des periodischen Systems der Elemente geführt; und auch die Strukturlehre von Kékulé, der die Organische Chemie ihren Aufschwung verdankt, geht auf den Karlsruher Kongress zurück, dessen 140. Jubiläums hier gedacht sei.

Auf Weltzien, der auch als Autor systematischer Darstellungen über die Theoretische, die Anorganische, die Organische und die Silizium-Chemie weit bekannt wurde, folgten nach seinem Ausscheiden aus dem Amt 1868 Lothar Meyer, dann 1876 Karl Birnbaum und schließlich 1887, ein weiterer Glücksfall für die Chemie in Karlsruhe, Karl Engler (1842–1925).

Engler hatte bei Weltzien studiert, mit einer bei ihm durchgeführten Arbeit 1864 in Freiburg promoviert (das Polytechnikum hatte damals noch nicht die Promotionsbefugnis) und sich in Halle 1867 habilitiert. Er wurde 1876 auf den Lehrstuhl für chemische Technologie in Karlsruhe berufen, übernahm aber 1887 die Professur für Chemie. Seine Arbeitsthemen waren weit gespannt, besonders bekannt wurde seine Synthese des Indigoblaus. Als sein Hauptwerk dürfen wir sein fünfbändiges Handbuch über „Chemie, Physik, Geologie, Technologie und Wirtschaftsbetrieb des Erdöls“ bezeichnen.

Für uns aber besonders wichtig ist Englers erfolgreiches Bemühen um den Bau eines neuen chemischen Institutsgebäudes an der jetzigen Englerstraße, in das auch ein physikalisch-chemisches Institut eingegliedert werden sollte.

## Die Anfänge der Physikalische Chemie in Deutschland

Schon der russische Naturgelehrte Michail Wassiljewitsch Lomonosov (1711–1765), der in Marburg und Freiberg studiert hatte, soll die Definition gegeben haben: *Physikalische Chemie ist eine Wissenschaft, die auf der Basis physikalischer Begriffe und Experimente die Phänomene erklärt, die sich während chemischer Vorgänge ereignen.* Es hat jedoch mehr als ein Jahrhundert gedauert, bis diese Wissenschaft als eigene Disziplin weltweit Anerkennung gefunden hat durch Gründung der Zeitschrift für „Physikalische Chemie, Stöchiometrie und Verwandtschaftslehre“ im Jahre 1887 durch Wilhelm Ostwald (1853–1932) und Jacobus Henricus van't Hoff (1852–1911). Auf Ostwalds Einfluss und Betreiben gehen auch die 1894 erfolgten Gründungen der „Zeitschrift für Elektrotechnik und Elektrochemie“ und der „Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft“ zurück, deren Namen schließlich in „Berichte der

<sup>1)</sup> Die kursiv gesetzten Passagen dieses Aufsatzes sind den am Ende aufgeführten Schriften entnommen.

Deutschen Bunsengesellschaft für Physikalische Chemie“ und in „Deutsche Bunsengesellschaft für Physikalische Chemie“ umgewandelt wurden. Entsprechende Lehrstühle waren schon früher gegründet worden, z. B. als erster deutscher der in Leipzig, auf den 1871 der bis dahin in Karlsruhe lehrende Physiker Gustav Wiedemann berufen wurde; ihm folgte 1887 Ostwald, der davor in seiner Heimatstadt Riga am baltischen Polytechnikum gewirkt hatte.

Bis zu seinem Rücktritt 1905 hat Ostwald, *ein pausenlos sprudelnder Quell neuer Ideen*, in Leipzig eine einzigartige Schule aufgebaut, die international eine hohe Anziehungskraft besaß und deren Schüler jahrelang einen großen Teil der Stellen in den Hochschulen und in der Industrie besetzt haben. Die Physikalische Chemie hat mit Ostwald sehr schnell an Gewicht gewonnen, wie man auch daran erkennen kann, dass innerhalb weniger Jahre, nämlich 1901 van't Hoff, 1903 Svante Arrhenius, neben Walther Nernst einer der älteren Mitarbeiter Ostwalds, und schließlich 1909 Ostwald selbst den 1901 erstmalig verliehenen Nobelpreis erhalten haben. Nernst erhielt ihn 1920.

Dieser Aufstieg der Physikalischen Chemie ist von gemischten Gefühlen begleitet gewesen. Vor der Berliner Akademie der Wissenschaften schwärmte der Physiologe Emil du Bois-Reymond: *im Gegensatz zur modernen Chemie (d.h. der organischen Chemie) ist die Physikalische Chemie die Chemie der Zukunft* (1882). Andererseits lesen wir in den Briefen von Carl Duisberg (Leiter der Bayer-Werke): *Die Physikalische Chemie ist eine Spezialität, die nur Ostwalds und Nernsts Schüler forcieren und die als Modesache viel poussiert wird, die aber dem Chemiker in der Praxis gar nichts nützt* (1897). Und 20 Jahre später hat dieser Industrieführer noch immer die gleichen Vorurteile, die er in einem Brief an Fritz Haber bezüglich der physikalisch-chemischen Doktor-Dissertanten dokumentiert: ... *es dürfte Ihnen nicht unbekannt sein, dass die Technik alle solche Bewerber ablehnt und nach vielfachen Erfahrungen auch nicht gebrauchen kann ... diese jungen Chemiker tun mir leid ...*

### Anfänge des Instituts für Physikalische Chemie in Karlsruhe

Nach dem physikalisch-chemischen Institut in Leipzig ist als zweites in Deutschland 1896 ein solches in Göttingen gegründet worden, an das der Ostwald-Schüler Nernst berufen wurde. Zwei Jahre später erachtet auch Engler die Errichtung eines Lehrstuhls für Physikalische Chemie in Karlsruhe als unbedingtes Erfordernis, denn als Praktiker des Erdöls hatte er – im Gegensatz zu Duisberg – erkannt, dass die Chemische Technik und damit die chemische Industrie Physikochemiker benötigt. Er begründet dies im Schreiben an den Hochschulsenat mit der nicht ganz korrekten Feststellung: *Die meisten technischen Hochschulen sind uns in der Errichtung besonderer Laboratorien und ordentlicher Professuren für Physikalische Chemie vorangegangen .... und die Zeit ist gekommen, in der unsere Hochschule nicht mehr zögern darf. Für diesen Lehrstuhl wird ein Mann gesucht, dem bei tüchtiger wissenschaftlicher Durchbildung auch schon praktische Erfahrungen zur Seite stehen.*

Der gesuchte Mann war schon vorher gefunden: Max Le Blanc, ein Schüler von Ostwald und seit einigen Jahren Leiter der elektrochemischen Abteilung der Farbwerke Hoechst.

### Max Le Blanc, der Begründer

Als Sohn eines königlichen Baumeisters in Ostpreußen geboren, studierte Le Blanc (1865–1943) in Tübingen und München Chemie und promovierte 1888 in Berlin bei August Wilhelm v. Hofmann. Da Le Blanc die Organische Chemie nicht befriedigte, ging er 1890 zu



Max Le Blanc (1865–1943)

Ostwald nach Leipzig; er übernahm die Assistentenstelle von Nernst, der nach Göttingen gewechselt hatte. Le Blanc, der einen Teil der Verwaltungs- und Vorlesungspflichten von Ostwald erfüllen musste, habilitierte sich 1891 in Leipzig und wurde 1895 zum a.o. Professor ernannt. Ein Jahr später übernahm er die elektrochemische Abteilung der Farbwerke Hoechst.

Mit seiner Berufung auf den Lehrstuhl für Physikalische Chemie und Elektrochemie am 9. Oktober 1900 beginnt die 100-jährige Geschichte unseres Institutes. Le Blanc leitete sie ein mit der Planung des schon von Engler vorgesehenen Instituts im Südflügel des großen, für die allgemeine Chemie vorgesehenen Gebäudes. Mit Liebe und Stolz beschreibt er das Institut nach seiner Fertigstellung im Dezember 1903 (*Z. Elektrochemie* 10, 238, 1904), ähnlich wie Nernst es einige Jahre zuvor (*ibid.* 2, 629, 1896) für sein Göttinger Institut getan hatte. Im Detail lernen wir die Aufteilung der im Sockel- und im Erdgeschoss untergebrachten Arbeitsräume kennen, ihre Versorgung mit Dampf sowie mit Gleich-, Wechsel- und Drehstrom mit Spannungen bis 100 V oder Stromstärken bis 2400 A, die Beleuchtungseinrichtungen für die Labortische mit Gasglühlicht, Liliputbogenlampen oder Nernststiften, der Aborte mit einfachen elektrischen Glühlampen und des Direktorenzimmers mit Osmiumlampen usw. – Dieses schöne Institut hat über vier Jahrzehnte hinweg fünf Ordinarien der Physikalischen Chemie als Heimstätte für erfolgreiche Arbeit gedient, bis es am 27. September 1944 durch einen Luftangriff weitgehend zerstört worden ist.

Die elektromotorischen Kräfte der Polarisation standen schon seit 1891 im Mittelpunkt des Interesses von Le Blanc. Damit zusammenhängend wurde nunmehr eine Vielzahl von Einzelthemen in Karlsruhe bearbeitet, wie z. B. die elektrolytische Metall-Darstellung, insbesondere des Chroms, Elektrolyse mit Wechselstrom, Elektrolyse

von Salzsäure, Diaphragmen-Funktion, Zwitterelemente, aber auch die Stickstoff-Verbrennung in der Hochspannungsflamme.

Schon 1895 entstand in Leipzig sein „Lehrbuch der Elektrochemie“, das mehrere Auflagen und Übersetzungen erlebt hat. Die vierte Auflage erschien 1906 in Karlsruhe. Das Lehrbuch war eines der ersten seiner Art und lässt stets die Bedeutung für mögliche Anwendungen erkennen.

Es dürfte als Anerkennung für die Karlsruher Physikalische Chemie und für Le Blanc gewertet werden, dass die 12. Bunsen-tagung 1905 in Karlsruhe stattfand und sogar Erbherzog Friedrich von Baden einen Teil der Vorträge besuchte.

1906 hat Le Blanc die Nachfolge seines Lehrers Ostwald in Leipzig angetreten, wo sich sein Interessenkreis nochmals erweiterte,

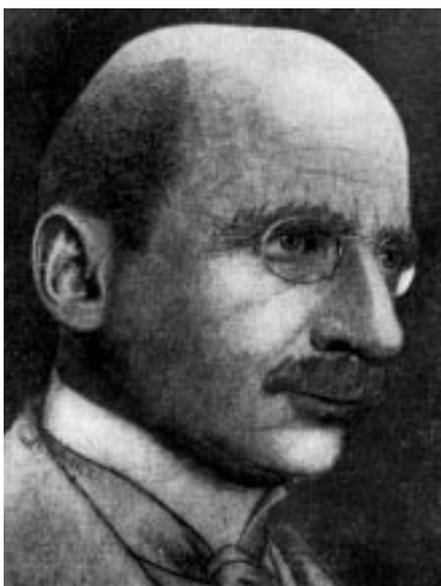


Das Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie um 1930

etwa auf die Systematik von Salzmischungen und auf die Physikalische Chemie des Kautschuks. – Die Technische Hochschule Karlsruhe ernannte Max Le Blanc 1926 zu ihrem Ehrendoktor.

### Fritz Haber und die Ammoniaksynthese

Als Nachfolger von Le Blanc wurde Haber, der schon seit zwölf Jahren im chemisch-technischen Institut in Karlsruhe bei Hans Bunte



Fritz Haber (1868–1934)

gearbeitet hatte, 1906 auf den Lehrstuhl für Physikalische Chemie und Elektrochemie berufen.

Haber war als Sohn eines Farbstofffabrikanten 1868 in Breslau geboren. Er studierte in Berlin und Heidelberg und promovierte 1891 bei Karl Liebermann in Berlin mit einer organisch-chemischen Arbeit. Nach einigen Wanderjahren, während derer er in verschiedenen chemischen Fabriken (Pottasche, Soda, Zellstoff, Farbstoffe) und Hochschulen (Zürich, Jena) gearbeitet hatte, erlahmte seine Neigung zur Organischen Chemie, wie er später an Willstätter berichtete: ... *nur ein unverdauliches und ideenarmes Gekoch* ... . Da sein Bestreben um einen Arbeitsplatz bei Ostwald, bei dem er sich in die Physikalische Chemie einarbeiten wollte, erfolglos geblieben war, wandte er sich 1894 nach Karlsruhe und erhielt durch Englers Vermittlung eine Assistentenstelle bei Bunte. Hier erwarb er sich als Autodidakt die fehlenden Kenntnisse in der Physikalischen Chemie und entwickelte in kurzer Zeit eine fruchtbare Tätigkeit auf ihren verschiedensten Gebieten. Mit Untersuchungen der Kinetik und Thermodynamik der Zersetzung und Verbrennung von Kohlenwasserstoffen habilitierte er sich schon zwei Jahre später. Er widmete sich elektrochemischen Problemen; die noch heute, nach einem Jahrhundert, in jedem Laboratorium eingesetzte Glaselektrode ist ein bleibendes Zeugnis seines elektrochemischen Wirkens. Nach wiederum nur zwei Jahren wurde er zum Extraordinarius für Elektrochemie ernannt. Durch den vorher veröffentlichten „Grundriss der technischen Elektrochemie“ hatte er sich für dieses Fach derart qualifiziert, dass er von der elektrochemischen Gesellschaft auf Anregung und mit finanzieller Unterstützung von van't Hoff ein Stipendium zum Studium der elektrochemischen Fabrikationsanlagen in den USA erhielt. Dabei bekam er die Anregung für seine mit Adolf Koenig eingeleiteten Versuche zur Stickstofffixierung, der Bildung von Stickoxid aus Luft im Hochspannungslichtbogen. Diese wurde z. B. an den Niagarafällen mit billiger hydroelektrischer Energie bereits technisch nutzbar gemacht. Er hat diese Arbeiten später jedoch wegen des sehr geringen energetischen Wirkungsgrades, der einer allgemeinen technischen Anwendung im Wege stand, aufgegeben.

Der drohende Mangel an Stickstoffverbindungen als Düngemittel für die Landwirtschaft war aber erkannt, und als Ausweg war nur die Luftstickstofffixierung vorhersehbar. So begann Haber schon um 1904, sich auch mit der katalytischen Bildung von Ammoniak aus den Elementen  $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$  zu beschäftigen. Vorausgegangen waren u. a. um 1900 Untersuchungen von Henry Louis Le Chatelier, der entsprechend dem von ihm formulierten Prinzip des kleinsten Zwanges bei erhöhtem Druck arbeitete, die Versuche aber wegen Explosion seiner Versuchsanlage aufgab; und von Ostwald, der tatsächlich beim Überleiten eines Stickstoff-Wasserstoffgemisches über Eisendraht als Katalysator geringe Ammoniakmengen gefunden hatte. Aber auch er hat die Versuche aufgegeben, den bereits eingereichten Patentantrag zurückgezogen und die Zusammenarbeit mit der chemischen Industrie aufgekündigt, nachdem sich herausgestellt hatte, dass die Ammoniakbildung auf Reaktion des Wasserstoffs mit Nitridverunreinigungen des Katalysators und nicht auf seine Reaktion mit dem elementaren Stickstoff zurückzuführen war.

Haber fand bei seinen Untersuchungen, dass die Ammoniaksynthese durch Osmium und Eisen (frisch durch Reduktion aus Eisenoxalat hergestellt) katalytisch beschleunigt wird; er konnte so erstmalig die Gleichgewichtskonzentration von Ammoniak im Wasserstoff-Stickstoffgemisch und damit die Gleichgewichtskonstante der Synthesereaktion bei hohen Temperaturen bestimmen und über die

van't Hoff-Gleichung zu niedrigeren Temperaturen extrapolieren. Die von ihm gemeinsam mit G. Oordt und später mit Robert Le Rossignol ermittelten Werte riefen aber den Widerspruch von Nernst hervor, da sie höher waren als die von ihm mit seinem Wärmetheorem berechneten und die gemeinsam mit F. Joost experimentell ermittelten Werte. Nernsts öffentliche Reaktion auf der Bunsen-Tagung 1907, *dass Professor Haber nun auch eine Methode anwenden sollte, die wirklich präzise Werte geben muss*, verletzte Haber zutiefst. Haber wie Nernst bestanden auf ihren jeweiligen Werten. Nernst hielt deshalb die Ammoniaksynthese für wirtschaftlich nicht durchführbar, während Haber seine Untersuchungen mit Hilfe der BASF erfolgreich weiterführte. *Es tröpfelt*, war sein Ausruf Mitte 1909, als erstmals flüssiges synthetisches Ammoniak aus der Karlsruher Versuchsanlage trat.

Die Untersuchungen gipfelten schließlich 1913 in der ersten Ammoniakfabrikationsanlage mit 25 t NH<sub>3</sub> pro Tag bei der BASF in Oppau bei Ludwigshafen, die ohne die Erfahrungen von Carl Bosch in Bezug auf die Hochdrucktechnologie und ohne die emsige Katalysatorforschung von Alwin Mittasch nicht möglich gewesen wäre.

In einer zwischenzeitlich angelaufenen Nichtigkeitsklage der Farbwerke Hoechst gegen das Ammoniakpatent der BASF haben beide Seiten Gutachter höchsten Kalibers aufgeföhren und durcheinander geschüttelt: Ostwald, der trotz seiner fehlgeschlagenen Untersuchungen die Ammoniaksynthese als *sein Kindlein* bezeichnete, und der Nernst-Schüler Joost bestritten wegen mangelnder Erfindungshöhe die Patentfähigkeit der Ammoniaksynthese, während der Ostwald-Schüler Nernst, der zwar in seinen Vorlesungen *Habers Erfindung eigentlich als seine eigene* bezeichnete, *mit Haber Arm in Arm zur Verhandlung erschien und in fulminanter Rede* der BASF und seinem Rivalen Haber erfinderische Leistung attestierte – nicht um Haber zu helfen, sondern um Ostwald zu ärgern, wie ein Zeitgenosse später berichtete. Die Nichtigkeitsklage wurde abgewiesen.

Die Entwicklung der Ammoniaksynthese war der Höhepunkt während Habers Glanzzeit in Karlsruhe. 1911 übernahm er die Leitung des von dem Bankier Leopold Koppel für ihn gestifteten Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physikalische Chemie und Elektrochemie in Berlin, in dem er wie in Karlsruhe einen großen Mitarbeiterstab aufbaute. Als deutscher Patriot fühlte er sich jedoch gleich ab Kriegsbeginn 1914 getreu seinem Motto *im Frieden für die Menschheit, im Kriege für das Vaterland* verpflichtet, seine eigene Arbeitskraft, aber auch sein Institut zur Lösung kriegswichtiger Aufgaben einzusetzen. Wegen seines unglücklichen Engagements für den Gas-krieg ist Haber nach Kriegsende von den Alliierten wegen Verbrechen gegen die Menschheit zum Kriegsverbrecher erklärt worden, während ihm gleichzeitig wegen Verdienstes für den Wohlstand der Menschheit der Nobelpreis zuerkannt wurde.

Nach dem Kriege hat sich das Berliner Institut zu einer Forschungsstätte für Physikalische Chemie entwickelt, aus dem eine ungewöhnlich hohe Zahl von bedeutenden Physikochemikern hervorging. Haber hat sich daneben aber auch anderen Problemen gewidmet. Erwähnt werden sollten seine – wegen Analysefehlern erfolglosen – Bemühungen um die Gewinnung von Gold aus dem Meerwasser.

Haber wurde später auch in der Wissenschaftspolitik tätig: er setzte – wie Albert Einstein – sein internationales wissenschaftliches Ansehen nach dem ersten Weltkrieg erfolgreich dafür ein, die deutschen Wissenschaftler aus der internationalen Isolation zu befreien. Und schließlich gehörte er zu den Haupttriebkraften bei der

Gründung der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft, die als Deutsche Forschungsgemeinschaft noch heute alle Wissenschaftsbereiche an deutschen Forschungsinstituten finanziell fördert, und die richtungweisend war für die Einrichtung ähnlicher Institutionen in vielen anderen Ländern.

Habers Wirken hat seinen Namen unsterblich gemacht; aber sein Vaterland hat es ihm in den Wirren der nationalsozialistischen Zeit nicht gedankt. Der latente Antisemitismus in Deutschland hatte Haber, der jüdischer Abstammung war, schon 1892 vorsorglich veranlasst, durch Taufe eine absehbare Hürde auf dem Wege zu seiner Hochschullaufbahn zu beseitigen. Aber weder sein Glaubenswechsel noch seine Tätigkeiten während des Weltkrieges hinderten die Machthaber nach 1933 daran, in die Angelegenheiten seines Institutes einzugreifen, dessen Gründung der Auftakt *zu einer Judenschwemmung in der physikalischen Wissenschaft* war. Haber versuchte, die Entlassung seiner jüdischen Mitarbeiter, unter denen viele weltbekannte Wissenschaftler waren, zu verhindern. Vergebens. Entmutigt, aber mit Stolz reichte Haber im April 1933 sein Gesuch um Versetzung in den Ruhestand ein. Kurze Zeit später besuchte ihn Nernst mit der Anfrage, ob er in Habers Institut eine Arbeitsmöglichkeit erhalten könne, da er wegen Machenschaften der nationalsozialistischen Machthaber und ihrer Eingriffe gegen jüdische Mitarbeiter seines Institutes nicht mehr in seinem Professorenamt bleiben wollte. Die beiden großen Männer, die sich wegen der Gas-konzentrationen im Ammoniaksynthesegas stark entfremdet hatten, wurden durch das Schicksal wieder zusammengeführt. Aber Haber konnte nicht mehr helfen, er emigrierte Ende Oktober 1933 zunächst nach Cambridge (England), und starb krank am Herzen Ende Januar 1934 auf der Durchreise in Basel.

### Georg Bredig und seine Zeit

Als Nachfolger von Haber wurde 1911 Georg Bredig auf den physikalisch-chemischen Lehrstuhl in Karlsruhe berufen.



Georg Bredig (1868–1944)

Haber und Bredig waren Freunde – Freunde und Patrioten höchst unterschiedlichen Charakters: der eine, Haber, stellte sich der Kriegswirtschaft und Kriegsführung im ersten Weltkrieg zur Verfügung,

der andere, Bredig, arbeitete als Helfer des Roten Kreuzes; der eine schloss sich dem Aufruf „An die Kulturwelt“ an (... *Ohne den deutschen Militarismus wäre die deutsche Kultur längst vom Erdboden getilgt* ... , unterschrieben von vielen Nobelpreisträgern), der andere unterzeichnete das „Bekenntnis“, das eine kleine Zahl deutscher Professoren zur Weimarer Verfassung ablegte; der eine zeigte sich gern in seiner Hauptmannsuniform, der andere war ausgesprochener Pazifist und Anhänger der europäischen Vereinigung; der eine setzte mit sprühendem Geist und voller Temperament seine Umgebung in Bewegung und brachte eine wissenschaftliche Idee nach der anderen hervor; der andere zeichnete sich durch bis zur Pedanterie gehende Gründlichkeit und Exaktheit bei der Durchführung von wissenschaftlichen Experimenten, bei Veröffentlichungen, in Vorlesungen und Vorträgen aus.

Bredig wurde 1868 als Sohn eines Kaufmannes in Glogau (Schlesien) geboren. Er studierte Chemie in Freiburg und Berlin, wo er schon in den ersten Semestern mit der Physikalischen Chemie in Kontakt kam. Er promovierte 1894 bei Ostwald in Leipzig mit einer Arbeit über Ionenbeweglichkeit, um anschließend bei Berthelot (Paris), van't Hoff (Amsterdam) sowie Arrhenius (Stockholm) seine physikalisch-chemischen Kenntnisse zu vertiefen. Von Ostwald nach Leipzig zurückgerufen, entdeckte er im Rahmen seiner elektrochemischen Studien (Zusammenhang zwischen Elektromotorischer Kraft und Gleichgewichtskonstante, Basenaffinitäten, Ionenwärmeleitfähigkeiten usw.) die Möglichkeit, kolloidale Metallösungen durch Zerstreuen von Metallen im Lichtbogen unter Wasser herzustellen. Mit diesen – er nannte sie anorganische Fermente – führte er umfangreiche katalytische Untersuchungen durch. Diese Arbeiten wurden auf der 6. Jahresversammlung der Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft mit dem Ehrenpreis dieser Gesellschaft gewürdigt. – So erfolgreich also seine Arbeiten in Leipzig verliefen, persönlich war er nicht so glücklich. Obgleich ihn Ostwald durchaus förderte, fühlte er sich durch viele der etwas älteren Kollegen, unter ihnen Le Blanc, unkollegial behandelt; *eisige Kälte* schlage ihm entgegen, *man behandle ihn als Luft*, er müsse *auf Schritt und Tritt Kränkungen erfahren*. Wahrscheinlich sind dies die ersten antisemitischen Erfahrungen, die er als Deutscher jüdischer Abstammung gemacht hat und an die sich später noch viele anschlossen.

Er ist glücklich, gleich nach der Habilitation über seine katalytischen Arbeiten 1901 einen Ruf auf die neu eingerichtete außerordentliche Professur für Physikalische Chemie in Heidelberg zu erhalten (*fünf Jahre Assistent bei Ostwald sind genug*, schreibt er seinem Freunde Arrhenius). In kurzer Zeit hat er einen großen Mitarbeiterkreis mit Doktoranden aus der ganzen Welt aufgebaut, mit denen er weite Felder der Physikalischen Chemie bearbeiten konnte, wobei die Elektrochemie und Katalyse im Vordergrund standen. Hier entstanden die Arbeiten über die elektrochemisch gesteuerte katalytische Zersetzung von Wasserstoffperoxid an Quecksilber, die periodisch abläuft (er nannte sie Pulsationen) und die die Grundlage später entwickelter einfacher elektrochemischer Nervenmodelle bildeten. Die bedeutendste Arbeit Bredigs aus der Heidelberger Zeit war die katalytische Synthese asymmetrischer Kohlenstoffverbindungen. Damit war es erstmalig gelungen, eine der beiden Formen von stereoisomeren Verbindungen synthetisch herzustellen, die die Natur so reichhaltig liefert und die van't Hoff durch die Theorie der Stereochemie erklären konnte.

Nach zehn Jahren erfolgreichen Arbeitens in Heidelberg ging Bredig zunächst nach Zürich und ein Jahr später als Haber-Nachfolger

nach Karlsruhe. Rückschauend war die Annahme des Rufes nach Karlsruhe eine verhängnisvolle Entscheidung für Bredig, die schweren Jahre in Karlsruhe wären ihm in der Schweiz erspart geblieben.

Zwar haben sich bei ihm noch eine Vielzahl von hervorragenden Fachvertretern habilitieren können, die später Professuren in aller Welt eingenommen haben. Auch konnte er die Herausgabe des groß angelegten Handbuches der Physikalischen Chemie in Einzeldarstellungen weiterführen, die er schon in Leipzig begonnen hatte und für die er namhafte Autoren gewonnen hatte. Aber die Forschungsaktivitäten nahmen doch ab. Einerseits ging infolge des Krieges die Anzahl der Mitarbeiter stark zurück, wie er in einem Brief an Arrhenius 1915 feststellte: *im Institut ist es ziemlich leer*; dann wurde er in der wissenschaftlichen Selbstverwaltung der Hochschule aufgerieben, wie wiederum aus einem Brief an Arrhenius 1920 hervorgeht: ... *zu wissenschaftlicher Arbeit komme ich kaum, da ich ganz mit Sitzungen, Kommissionen und Schreibereien überbürdet bin und jetzt alles von allen Kreisen reformiert, umgeändert und endlos diskutiert wird* ... . Und schließlich ließ seine Gesundheit nach, wohl infolge des anschwellenden Antisemitismus, der ihm entgegenschlug.

Großen Verdross bereiteten ihm als Dekan die antisemitischen Strömungen in der Studentenschaft, die sich in unzulässiger Weise in Berufsangelegenheiten einmischte und die Berufung eines jüdischen Wissenschaftlers als Nachfolger von Bunte bekämpfte und dem zu Berufenden sogar direkt schriftlich mitteilte, sie wolle auf die freie Professorenstelle keineswegs einen Semiten gestellt wissen. – Der Ärger ging weiter, nachdem Bredig 1922 zum Rektor gewählt war: Unter der Überschrift Bredig ist Jude begleitete die Süddeutsche Zeitung einen Verleumdungsprozess gegen den Rektor, den er erst in zweiter Instanz gewann. – Nachdem die Nationalsozialisten die Macht in der Hand hielten, ging die Hetze weiter; tief getroffen hatte ihn ein Plakat der Studentenschaft *wider den undeutschen Geist* mit dem Satz *ein Jude, der in deutscher Sprache schreibt, lügt*.

Bredig wurde im Oktober 1933 emeritiert, nachdem einer seiner engsten Mitarbeiter beim Kultusministerium seine Entfernung aus dem Staatsdienst gefordert hatte: er müsse dafür Sorge tragen, *den für die politische Entwicklung unseres Vaterlandes hemmenden politischen Einfluss von Herrn Prof. Bredig zu unterbinden ... da ich durchdrungen bin von dem Bewusstsein der Notwendigkeit, endlich mit der Verflachung, Internationalisierung und Verjüdelung an unseren deutschen Hochschulen restlos Schluss zu machen*.

Der Emeritierung folgte zwei Jahre später der Entzug der Lehrbefugnis. Kurz vor Kriegsausbruch, im Juni 1939, konnte er nach Holland und kurz vor dem Einmarsch der deutschen Truppen in Holland, im Mai 1940, in die USA entkommen und bei seinem Sohn Max Zuflucht finden. Aber er fühlte sich vereinsamt, seine geistigen und körperlichen Kräfte waren verschlissen; er starb im April 1944 in New York.

Solange aber Bredig im Amt war, erhielt er für seine wissenschaftlichen Arbeiten aus dem In- und Ausland Ehrungen der verschiedensten Art: Ehrendokorate in Rostock 1919 und in Zürich 1930; Preis des Solvay-Kongress 1914, Ritterkreuz des Großherzogtums Baden; Mitglied der wissenschaftlichen Akademien in Heidelberg 1924, der USSR 1929 und München 1930. Er war also als Wissenschaftler hoch geschätzt, und seine unmittelbaren Nachfolger hatten es schwer, neben ihm zu bestehen.

## Ludwig Ebert und Hermann Ulich – unruhige Zeiten

Nach dem Verlust, welcher der Technischen Hochschule durch die 1933 erzwungene Emeritierung Georg Bredigs entstand, begann eine Zeit, während der die Institutsleiter in kürzeren Perioden unter den schwierigen Verhältnissen des nationalsozialistischen Regimes und des Krieges arbeiten mussten.

1934 erging der Ruf zur Wiederbesetzung des Ordinariats an **Ludwig Ebert** (1894–1956), der außerordentlicher Professor an der Universität Würzburg war. Ebert hatte mehrere Jahre bei Niels Bjerrum in Kopenhagen, bei W. H. Keesom in Leiden und bei Haber am KWI in Berlin verbracht. Dort habilitierte er sich 1928 und erhielt einen Ruf nach Würzburg. Er gehörte zu jenen, die Brücken bauten zwischen den damals neuen Erkenntnissen der Quantentheorie und der Behandlung chemischer Probleme, vor allem der Elektrochemie. Die Elektrolyt-Theorie blieb stets ein Schwerpunkt seiner Forschung. Begriffe wie Elektronen-, Atom-, Ionen- und Radikal-Polarisation wurden von ihm neu eingeführt. Im Handbuch der Experimentalphysik erschien seine Monographie über Leitfähigkeit und Überführung in flüssigen Elektrolyten. Sein Forschungsinteresse ging jedoch weit darüber hinaus. Gegen Ende seines Lebens in Wien nahm er Phasenbeziehungen unter hohen Drücken unter seinen Themen auf.

Bei Eberts Amtsantritt entsprachen die Institutseinrichtungen nicht mehr dem Stand der Wissenschaft. Mit großem Organisationstalent setzte er in schwierigen Zeiten eine umfassende Modernisierung durch. Zu seinem Bedauern sah er sich durch diese Aufgaben in Forschung und Lehre beschränkt. So folgte er – nach einer mehrmonatigen Kommandierung nach Greifswald – 1940 einem Ruf an die Universität Wien, ohne die Früchte seiner Arbeit in Karlsruhe recht genießen zu können.

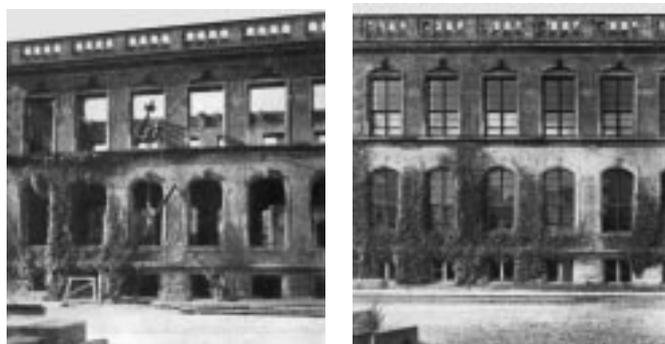
Auf die Dienstzeit von Ludwig Ebert folgte während des zweiten Weltkriegs die ebenfalls nur kurze Amtszeit von **Hermann Ulich** (1892–1945). Er war vorher an der Technischen Hochschule Aachen tätig gewesen. Seine Forschungsarbeiten waren auf thermodynamische Eigenschaften sowie auf Transport- und Strukturphänomene wässriger Elektrolyte gerichtet. Genannt seien nur Hydratations- und Erstarrungs-Entropie, Teilchenradien molekulardisperser Lösungen und Ionendurchmesser. Weithin bekannt wurde sein Name durch Einführung der Näherungsverfahren zur Berechnung chemischer Gleichgewichte sowie als Mitautor der bedeutenden Monographie „Thermodynamik“ von Schottky, Ulich und Wagner (1929). Im Jahr 1938 erschien Ulichs erfolgreiches „Kurzes Lehrbuch der Physikalischen Chemie“. Es erlebte viele Auflagen, zuletzt als „Ulich-Jost-Troe“.

Am 27. September 1944 wurde das Institut durch einen Luftangriff weitgehend zerstört. Ulich konnte den Verlust seines Institutes und den Untergang des Nationalsozialismus, dem er anhing, nicht verwinden; er schied am 14. April 1945 aus dem Leben.

In der ersten Nachkriegszeit hat Adolf Koenig, dem schon um 1933 und 1939, als der physikalisch-chemische Lehrstuhl vakant war, die kommissarische Leitung des Institutes übertragen worden war, die Bewahrung des Erhaltenen übernommen und damit den Grundstein für den Wiederaufbau gelegt.

## Paul Günther – der vielseitige Gelehrte

Für die Wiederbesetzung des Lehrstuhls wurde 1946 Paul Günther (1892–1969) gewonnen, der 1917 in Berlin bei Nernst promoviert hatte mit einer Arbeit über die spezifische Wärme von Festkörpern bei tiefen Temperaturen, und der seit 1938 Direktor des physikalisch-chemischen Instituts der Universität Berlin als Nachfolger von Max Bodenstein war.



*Das Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie nach der Zerstörung 1944 und nach dem Wiederaufbau 1950.*

Nach der Währungsreform 1948 hat Günther den Wiederaufbau des zerstörten Institutes zügig eingeleitet; mit seiner Fertigstellung 1950 war es wieder eine arbeitsfähige Forschungsstätte. Günther leitete das Karlsruher Institut bis zu seiner Emeritierung 1961. Die Themen seiner Forschungen waren vielfältig. Genannt sei nur: Gaskinetik, auch bei tiefen Temperaturen, Röntgenspektalanalyse und chemische Wirkung von Röntgenstrahlen, Sprengstoffuntersuchungen und, vor allem in der Karlsruher Zeit, Sonolumineszenz und chemische Wirkung des Ultraschalls.

Paul Günther war Rektor der Karlsruher Universität im Jahre 1948/49. Er war ein außerordentlich kenntnisreicher und vielseitiger Gelehrter, dessen Beiträge zur Philosophie, Literatur und Geschichte, insbesondere der der Naturwissenschaften, große Anerkennung fanden. Besonders bemerkenswert ist, dass er als Auswärtiger zum Sekretar und 1959–1961 zum Präsidenten der Heidelberger Akademie der Wissenschaften gewählt wurde.

Dank schuldet ihm auch die Deutsche Bunsengesellschaft für Physikalische Chemie. Im Jahre 1947 fand in Stuttgart die konstituierende Versammlung zur Neugründung der Gesellschaft statt. Zum Ersten Vorsitzenden für die schwierigen Jahre 1947 bis 1949 wurde Paul Günther gewählt, der zugleich von 1948 bis 1962 die Redaktion der Zeitschrift für Elektrochemie – Berichte der Deutschen Bunsengesellschaft – übernahm.

## Hellmuth Fischer – Elektrochemie

Die Elektrochemie hatte in Karlsruhe eine lange, durch Le Blanc, Haber und Bredig vertretene Tradition, die sich auch im damaligen Institutsnamen ausdrückte: „Physikalische Chemie und Elektrochemie“. Im Jahre 1954 wurde ein Extraordinariat für Elektrochemie eingerichtet, das durch Hellmuth Fischer (1902–1975) besetzt und 1964 in ein Ordinariat umgewandelt wurde. Fischer war zuvor lange Jahre in Berlin und in Karlsruhe für die Firma Siemens tätig gewesen und war bereits seit 1950 als Honorarprofessor der Technischen Hochschule verbunden. Fischers Forschungsthemen waren anwen-

dungsorientiert. Genannt seien nur anodische Schutzschichten auf Leichtmetallen, Inhibitoren, Elektrodenprozesse an Eisenmetallen und vor allem Elektrokristallisation. Sein 1954 erschienenes Werk über „Elektrolytische Abscheidung und Elektrokristallisation von Metallen“ fand weite Verbreitung. Fischers Rat zur praktischen Elektrochemie wurde von zahlreichen in- und ausländischen Gesellschaften – besonders auch von der DECHEMA – gesucht. Die Technische Universität Dresden würdigte seine Verdienste 1965 mit der Verleihung der Ehrendoktorwürde.

**Wolfgang Lorenz** (geb. 1933 in Dresden), der sich 1974 habilitiert hat, führte Fischers Arbeiten über Korrosion und Grenzflächen-Elektrochemie fort. Er hat dabei schon sehr frühzeitig die Rastertunnel- und Atomkraftmikroskopie eingesetzt und damit Erfahrungen über Nanostrukturierung und Nanomodifikationen von Oberflächen gewonnen. 1984 hat sich Klaus Jüttner aus dem Arbeitskreis von Lorenz habilitiert, er ist jetzt Leiter des Dechema-Institutes für Elektrochemie in Frankfurt.

### Das neue Institut mit vier Lehrstühlen

Zur Zeit der Emeritierung von Günther 1961 entsprachen Größe und Einrichtung des Institutes trotz vieler Verbesserungen in Hinsicht auf Bau und Inventar doch nur dem Stand vor dem ersten Weltkrieg. Mit der Berufung von Ernst Ulrich Franck als Nachfolger ergab sich – wie auch in anderen Teilen der Technischen Hochschule – die Notwendigkeit und die Möglichkeit eines Institutsneubaus, der den Anforderungen moderner Forschung und ansteigender Studentenzahlen gerecht werden konnte. Als Behelfslösung bis zu dessen Fertigstellung wurde neben dem alten Institutskomplex in der Englerstraße eine Baracke für die aufwendigen Hochdruckapparate von Franck erstellt, die sich als sehr zweckmäßig erwies und entgegen der ursprünglichen Absicht noch heute steht; sie beherbergt jetzt eine technische Abteilung der Hochschule.

Dem neuen Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie stehen in dem 1967 fertiggestellten zehnstöckigen Hochhaus sechs Stockwerke zur Verfügung, in denen auch die Institutsbibliothek, Werkstätten für Fein- und Feinstmechanik, Elektronik und Glasbläserei sowie ein Hörsaal untergebracht sind. Das Institut steht in räumlicher Verbindung mit der Fachbereichsbibliothek und den ebenfalls neu errichteten Instituten für Anorganische und Organische Chemie.

Nach dieser beträchtlichen räumlichen Erweiterung des Instituts für die wachsenden Studentenzahlen musste vor allem auch der zunehmenden Bedeutung der physikalischen Chemie für die allgemeinen Wissenschaften, für die Ingenieurwissenschaften und nicht zuletzt für die chemische Industrie Rechnung getragen werden. So wurde ein Plan zur stufenweisen Erweiterung des Instituts mit vier Lehrstühlen einschließlich eines für die Theoretische Chemie erstellt. Diese vier Arbeitsgruppen sollten thematisch unabhängig, aber doch mit gegenseitiger Anregung tätig werden und ein vielseitiges Lehrangebot für Diplomanden und Doktoranden ermöglichen.

**Ernst Ulrich Franck** (geb. 1920 in Hamburg), von 1961 bis 1988 Inhaber des Lehrstuhls I, promovierte nach mehrjährigem Kriegsdienst und nach dem Studium in Hamburg und Göttingen 1950 bei Arnold Eucken und habilitierte sich dort 1956 bei Wilhelm Jost. Die Dissertation behandelte Probleme der Gaskinetik. Für seine Habilitation begann er mit der Erforschung des Verhaltens fluider

überkritischer Materie unter extremen Bedingungen von Druck und Temperatur, die er später fortsetzte und wesentlich erweiterte. Den Ruf nach Karlsruhe erhielt er während seiner Tätigkeit am Oak Ridge National Laboratory. Weitere Rufe nach Aachen und Göttingen lehnte er ab. Er hatte 1969/70 und 1989/90 Gastprofessuren an der University of California in Berkeley und an der Cornell University in Ithaca (New York) inne.

Dem überkritischen Zustand war neben anderen Hochdruckproblemen der größte Teil der Forschung des Franck'schen Arbeitskreises in Karlsruhe gewidmet. Am Anfang standen Messungen der elektrischen Leitfähigkeit wässriger Elektrolytlösungen bis 500 °C und 5000 bar, die sowohl die Existenz hydratisierter Ionen wie die Möglichkeit der Elektrolyse im hochkomprimierten Wasserdampf zeigten. Solche Untersuchungen, die in bisher unerschlossene Zustandsbereiche führten, gewinnen heute zunehmende Bedeutung für die technische Chemie wie auch für die Kenntnis der sogenannten hydrothermalen Phänomene in der Erdkruste. Mit reinem Wasser konnten statische Leitfähigkeits-Messungen bis zu 1000 °C und 100 kbar betrieben werden, die erweisen, dass Wasser dort zu einem ionischen Fluid nach Art einer Salzschnmelze wird. Messungen bis zu 2000 °C und 2000 bar mit Quecksilber und den schweren Alkalimetallen ergaben deren bis dahin unbekannte kritische Temperaturen und zeigten an den Leitfähigkeiten den stetigen Übergang vom nichtmetallischen zum metallischen Zustand. Von praktischer Bedeutung waren die Bestimmungen der Viskosität und der Dielektrizitätskonstanten bis zu überkritischen Temperaturen und sehr hohen Drücken, die neben dem Wasser mit anderen polaren Fluiden durchgeführt wurden und die Grundlagen für eine einheitliche theoretische Darstellung fluider Dielektrika in weiten Dichtebereichen lieferten. Mit neuen Methoden der Raman- und IR-Spektroskopie ließen sich Strukturen und Polymerisationsraten in Fluiden bei hohen Temperaturen und sehr hohen Drücken ermitteln. Serien von fluiden binären und ternären, teils wässrigen Mischsystemen ermöglichten die Bestimmung und Berechnung kritischer Kurven und Flächen mehrdimensionaler Phasendiagramme bis zu sehr hohen Drücken, die für die steigende Anwendung überkritischer Fluide für Stofftrennungsverfahren wichtig sind.

In homogenen Mischungen aus überkritischem Wasser und Methan, Wasserstoff oder anderen Brennstoffen ließen sich mit kontrolliertem Sauerstoff-Zustrom erstmals hydrothermale Hochdruckflammen bis weit über tausend bar erzeugen und berechnen.

Franck erhielt auf nationaler und internationaler Ebene zahlreiche Ehrungen für seine Forschung. Er ist Ehrenmitglied der deutschen Bunsengesellschaft, die ihm auch die Bunsendenkmünze verlieh, und Mitglied mehrerer deutscher wissenschaftlicher Akademien. Die Universität Marburg promovierte ihn zu ihrem Ehrendoktor.

Mehrere Mitglieder des Franck'schen Arbeitskreises haben sich im Karlsruher Institut habilitiert und nahmen später auswärtige Professuren ein. Dazu gehören Gerhard Schneider (Bochum, Thermodynamik fluider Mischphasen), Friedrich Hensel (Marburg, Ionische und Metallische Fluide), Harro Lentz (Siegen, Thermodynamik und Transportphänomene fluider Systeme) und Michael Buback (Göttingen, Kinetik der Hochdruckpolymerisation).

**Klaus Tödheide** (geb. 1932 in Bochum, Habilitation 1981) hatte als apl. Professor bis zu seiner Pensionierung (1997) erheblichen Anteil an der erfolgreichen Arbeit des Instituts. Seine eigene Forschung behandelte Salzschnmelzen und ähnliche ionische Phasen bei hohen Drücken und Temperaturen. In Zusammenarbeit mit H.

Bertagnolli (Stuttgart) hat er Untersuchungen über die Neutronenstreuung an Salzschnmelzen und überkritischen Fluiden durchgeführt.

1965 wurde der neue Lehrstuhl II am Institut für Physikalische Chemie geschaffen, auf den **Hermann Gerhard Hertz** (geb. 1922 in Hamburg, gestorben 1999), bis dahin Extraordinarius in Münster, berufen wurde. Er kam damit an die frühere Wirkungsstätte seines Großonkels Heinrich Hertz. Gerhard Hertz erhielt 1970 einen weiteren Ruf nach München, den er ablehnte. Er promovierte 1952 in Hamburg bei Paul Harteck mit Arbeiten zur Gaskinetik. Bald darauf verbrachte er längere Zeit bei H. G. Gutowski in Urbana, USA, dem Pionier für kernmagnetische Resonanz, NMR. Hertz folgte Ewald Wicke nach Münster und habilitierte sich dort 1960 mit Arbeiten auf dem NMR-Gebiet. Beginnend in Hamburg und Münster und weiter entwickelt in Karlsruhe entstand eine der ersten NMR-Arbeitsgruppen in Deutschland, die einen vorzüglichen Ruf erlangte.

Einen bedeutenden Beitrag leistete Hertz zum Verständnis der NMR der Quadrupolkerne (z. B.  ${}^6\text{Li}^+$ ,  ${}^{23}\text{Na}^+$ ,  ${}^{35}\text{Cl}^-$ ,  ${}^{81}\text{Br}^-$ ) von Ionen in Elektrolytlösungen. Dieser gehört als „Hertz-Valiev-Theorie“ zum Fundament erfolgreicher NMR-Methoden. Ihre Anwendung gab der Hertz'schen Gruppe einen neuartigen Zugang zur experimentellen Untersuchung von Elektrolyt-Lösungen. Solvation, Ionenassoziation und Phänomene der positiven und negativen Hydratation wurden erforscht. Heute spielen die in Karlsruhe entwickelten NMR-Methoden in der Kernspin-Tomographie für die Medizin eine wichtige Rolle. Neben den Elektrolytlösungen wurden auch allgemeine Eigenschaften von reinen und gemischten Flüssigkeiten erforscht.

Hertz verknüpfte als einer der ersten NMR Relaxationszeiten mit molekularen Verteilungsfunktionen. Beginnend mit den 70er Jahren wurden auch Röntgen- und Neutronenstreuung eingesetzt. Sehr bedeutend wurden in Karlsruhe die „hydrophoben“ Effekte, die in der supramolekularen Chemie und Biochemie eine zentrale Rolle spielen.

In der Hertz'schen Gruppe hatte man das Potential der ortsauflösenden NMR nach dem Gradienten-Spin-Echo-Verfahren schon früh erkannt und wandte diese systematisch zum experimentellen Studium der translatorischen Flüssigkeitsdynamik an. Später folgte auch die theoretische Untersuchung von Geschwindigkeitskorrelationen. In diesem Zusammenhang war eine vieljährige Kooperation mit R. Mills in Canberra, Australien, sehr fruchtbar für beide Seiten.

Eine wichtige Anwendung der NMR gelang Hertz und Manfred Holz mit der „Elektrophoretischen NMR“, einer Kombination von Elektrophorese und ortsauflösender NMR, die den elektrischen Strom als neuen Parameter in die NMR einführt und damit den Zugang der NMR-Methoden in das weite Gebiet der Elektrochemie ermöglicht.

1980 erschien die Hertz'sche Monographie „Elektrochemistry“ mit dem Versuch einer „Reformulation of the Basic Principles“, d. h. einer Darstellung unter Vermeidung von nicht messbaren Größen. Dies war für Hertz stets ein Anliegen von hoher Bedeutung. Hertz leitete darin die bekannten Gesetze der Elektrochemie her ohne Verwendung des uns so wichtig erscheinenden Begriffs der „Elektrischen Ladung“. Eine begonnene weiterführende Behandlung konnte er leider nicht mehr abschließen. – Es sei hier auf eine „familiäre Analogie“ hingewiesen: Der Großonkel Heinrich Hertz arbeitete in seinen letzten Lebensjahren an einer Theorie der Mechanik, die er als „Prinzipien der Mechanik“ veröffentlichte und in der der wichtige Begriff „Kraft“ eliminiert war.

Mehrere Mitglieder des Hertz'schen Arbeitskreises haben sich im Karlsruher Institut habilitiert und nahmen später auswärtige Professuren ein. Dazu gehören Manfred Zeidler (Aachen, Struktur und Dynamik von Flüssigkeiten), Heinrich Vermold (Aachen, Kolloide Dispersionen und Raman/Rayleigh-Spektroskopie), Helmut Bertagnolli (Stuttgart, Untersuchung des amorphen Zustandes mit Beugungsmethoden), Alfons Geiger (Dortmund, Moleküldynamische Simulation fluider Systeme) und Hermann Weingärtner (Bochum, Diffusion und kritische Phänomene in Lösungen).

Nach der Emeritierung von H. Fischer wurde **Ulrich Schindewolf** (geb. 1927 in Berlin) 1972 auf den Lehrstuhl III des Instituts berufen. Schindewolf hat an den Universitäten in Berlin und Tübingen studiert, am Max Planck Institut in Göttingen bei Karl Friedrich Bonhoeffer mit einer elektrochemischen Arbeit promoviert, und ging nach mehrjährigen Auslandsaufenthalten, u. a. am Massachusetts Institute of Technology, schließlich an das Kernforschungszentrum Karlsruhe. Er habilitierte sich in Karlsruhe als Maschinenbauer. Entsprechend den häufigen Ortswechseln wechselten auch seine Arbeitsthemen häufig: Elektrochemie, Kern- und Radiochemie, Strahlen- und Photochemie und schließlich Kernverfahrenstechnik.

Am physikalisch-chemischen Institut setzte Schindewolf seine im Kernforschungszentrum mit S. Walter begonnenen Arbeiten über die Isotopentrennung, insbesondere über die Anreicherung von schwerem Wasserstoff, die auf dem katalysierten Isotopenaustausch zwischen technisch erzeugtem Wasserstoff und flüssigem Ammoniak beruht. Die Untersuchungen führten zum Bau einer großtechnischen Schwerwasser-Produktionsanlage durch die Friedrich Ude GmbH in Indien, die das schwere Wasserstoffisotop aus dem Wasserstoffstrom einer Ammoniaksynthesanlage nach Haber-Bosch extrahiert. Schindewolf hat so ungewollt an der Entwicklung der indischen Atombombe mitgewirkt.

Als 1974 auf deutschen Mülldeponien tonnenweise wild abgelagerte Cyanidabfälle gefunden wurden, konzipierte Schindewolf ein Umweltschutz-Preisgekröntes Verfahren zur deren Entgiftung; es beruht auf der schon von Liebig beschriebenen Hydrolysereaktion (Cyanid  $\Rightarrow$  Formiat und Ammoniak), die bei erhöhter Temperatur sehr schnell und vollständig abläuft. Er hat sich also schon um Umweltschutzmaßnahmen bemüht, handelte also schon grün, bevor „Die Grünen“ als politische Kraft dieses Feld für sich beanspruchten.

Die Zusammenarbeit mit **Peter Krebs** (geb. 1940 in Regensburg), der sich 1982 in Karlsruhe habilitiert hat, führte zu umfassenden Untersuchungen der thermodynamischen, elektrochemischen, spektroskopischen und kinetischen Eigenschaften solvatisierter Elektronen in polaren und unpolaren Lösungen in weiten Temperatur- und Druckbereichen, teils auch in überkritischen Lösungen.

Der schnellen Entwicklung der **Theoretischen Chemie** und ihrer wachsenden Bedeutung wurde zunächst mit der Berufung von **Werner Kutzelnigg** 1970 auf die Stelle eines wissenschaftlichen Rats und Professors Rechnung getragen. Nach Umwandlung in einen Lehrstuhl 1975 wurde dieser von **Reinhart Ahlrichs** besetzt. Ahlrichs (geb. 1940 in Göttingen) hatte nach dem Studium der Physik in Göttingen und München bei Bingel in Göttingen promoviert. Nach Postdoc-Aufenthalten in Göttingen (Bingel, Kutzelnigg), Chicago (Hinze, Roothaan) und Karlsruhe (Kutzelnigg) habilitierte er sich 1973 in Karlsruhe für Theoretische Chemie. Seine Arbeitsgebiete umfassen Fragen der mathematischen Physik, der *ab initio*-Berechnung

nung von Molekülen, der Modellierung intermolekularer Wechselwirkungen und deren Anwendung auf die Simulation kondensierter Moleküle.

Im Zentrum der Aktivitäten steht jedoch die Entwicklung und Anwendung von Methoden zur Berechnung der elektronischen Struktur von Molekülen. So werden die Karlsruher „Coupled Pair Functional“-Methoden seit ca. 1985 weltweit verwendet. Seit 1989 wurde mit dem Programmsystem TURBOMOLE erstmals ein *ab initio*-Programm entwickelt, das selbst die Behandlung großer Moleküle mit Workstations und sogar PC's erlaubt. TURBOMOLE wird wegen seiner Effizienz international vielfach eingesetzt – auch in der chemischen Industrie. Die erfolgreiche Entwicklung von TURBOMOLE wurde u. a. durch die Verleihung des „Landesforschungspreises des Landes Baden-Württemberg“ sowie der Bunsen-Denkünze der Deutschen Bunsengesellschaft an Ahlrichs anerkannt.

Diese neuentwickelten Methoden ermöglichten die Behandlung vielfältiger chemischer Fragestellungen von der strukturellen Analyse über molekulare Eigenschaften bis zur Vorhersage neuer Moleküle und führten zu übergreifender Zusammenarbeit mit anderen Karlsruher Arbeitsgruppen in der anorganischen und in der physikalischen Chemie. Die dabei angewandten routinemäßigen *ab initio*-Verfahren erlauben die Berechnung von Molekülen mit bis zu 300 Atomen und führen zu Wegen in die Nanochemie.

In der Karlsruher Theoretischen Chemie haben sich Hans-Joachim Böhm (1993), Jürgen Gauss (1993) und Marco Häser (1996) habilitiert. Die Entwicklung von TURBOMOL wurde wesentlich von Marco Häser vorangetrieben, dessen tragischer Tod (1997) einen schweren Verlust bedeutet.

## Das Institut heute

Mit der Wiederbesetzung der vorhandenen Lehrstühle durch W. Freyland, M. Kappes und H. Hippler sind Forschergruppen gewonnen worden, die gemeinsam mit R. Ahlrichs nochmals neue Aspekte in der Forschung des Institutes gesetzt haben.

**Werner Freyland** (geb. 1942 in Halle a.d. Saale) wurde 1988 als Nachfolger auf Francks Lehrstuhl, nunmehr **Lehrstuhl für die Physikalische Chemie kondensierter Materie**, berufen. Nach dem Studium der Physik und der Promotion im physikalisch-chemischen Institut bei Franck und Hensel 1972 in Karlsruhe sowie einem Postdoc-Aufenthalt in Tel Aviv habilitierte er sich 1980 in Marburg bei Friedrich Hensel mit einer Arbeit über „Metall-Nichtmetall-Übergänge in fluiden Alkalimetallen und Alkalimetalllegierungen“. Fragen zur elektronischen und mikroskopischen Struktur ungeordneter Systeme standen im Mittelpunkt des Interesses, wozu erstmalig Experimente zur magnetischen Suszeptibilität und Neutronenstreuung bei Temperaturen bis 2000 K und erhöhten Drücken an fluiden Metallen durchgeführt wurden. In den ersten Jahren in Karlsruhe wurde diese Thematik weiterverfolgt und auf die Untersuchung von Metall-Salzschmelzen in der Volumenphase ausgedehnt. Schwerpunkt der experimentellen Arbeiten waren methodische Neuentwicklungen zu den Experimenten bei hohen Temperaturen (SAXS-, ESR, Raman-, UV-VIS-, PVTx- sowie elektrochemische Messungen). Dabei konnte die Metalldotierung durch in-situ coulometrische Titration präzise über weite Bereiche variiert werden. Fragen zur Elektronenlokalisierung und Dynamik, zu elektronischen Defektgleichgewichten und zur Metallclusterbildung zusammen mit der Problematik des Metall-

Isolatorübergangs in ungeordneten Phasen spielen eine zentrale Rolle und werden in fluiden und glasartig aus der Schmelze erstarrten Systemen mit elektronisch-ionischer Teilleitfähigkeit studiert.

Ein besonderes Interesse gilt heute auch den ungewöhnlichen Grenzflächeneigenschaften dieser Fluide, die gemeinsam mit D. Nattland (Habilitation 1996) mit verschiedenen spektroskopischen Methoden aufgeklärt werden (SHG, Ellipsometrie). So gelang es erstmalig, einen Benetzungs- und Vorbenetzungsphasenübergang und das zugehörige Grenzflächenphasendiagramm für eine binäre flüssige Mischung nachzuweisen, die durch langreichweitige Coulomb-Wechselwirkung gekennzeichnet ist. Weitere Arbeiten zur Grenzflächenchemie und Elektrochemie befassen sich mit der Elektrokristallisation von Metallen und Halbleitern aus Salzschnmelzen mit dem Ziel, die Phasenbildung und das Wachstum auf der Nanometerskala aufzuklären und in-situ beeinflussen zu können (in-situ EC-STM-Experimente).

Freyland erhielt 1983 den Nernst-Haber-Bodensteinpreis der Deutschen Bunsengesellschaft.

**Manfred M. Kappes** (geboren 1957 in Bonn), Schulausbildung in London, Promotion 1981 am MIT in Cambridge (USA), Habilitation 1987 in Bern und erste Professur 1989 in Evanston, Ill., übernahm 1991 den Hertz'schen Lehrstuhl, jetzt **Lehrstuhl für die Physikalische Chemie mikroskopischer Systeme**. Hier werden die Eigenschaften von kleinen Teilchen, Kolloiden und Clustern untersucht.

Dabei geht es um die Größenabhängigkeit der meist durch Laserspektroskopie charakterisierten physikalischen Eigenschaften von monodispersen Clustern – sowohl isoliert in Molekularstrahlen oder Ionenfallen als auch deponiert auf Oberflächen. Auch deren chemische Eigenschaften, zum Beispiel die bei der Reaktion von Alkalimetallclustern mit Sauerstoff auftretende Exoelektronenemission, werden derzeit untersucht. Dabei liegt ein Hauptschwerpunkt auf Prozessen, die mit einem oder mehreren Elektronentransferschritten assoziiert sind. Teil dieser Arbeiten ist die Entwicklung von verschiedenen massenspektroskopischen und ionoptischen Verfahren. In jüngster Zeit haben die besonderen Eigenschaften von mehrfach negativ geladenen Teilchen wachsendes Interesse erhalten. Ein wichtiger Aspekt der Gasphasenuntersuchungen im allgemeinen ist die enge Zusammenarbeit zwischen Experiment und Quantenchemie.

Als besonders stabiles und in Menge zu gewinnendes „Clustersistem“ finden sog. Fullerene große Aufmerksamkeit. Diese lassen sich als homologe Reihe (hohe Fullerene) herstellen und werden als Reinsubstanz oder in Form von Derivaten mit verschiedenen spektroskopischen Verfahren untersucht. Als Beispiel sei die kürzlich beschriebene Systematik von niederfrequenten Raman-aktiven Schwingungen in Fullerenhohlkäfigen genannt, die ihre Entsprechung in den akustischen Schwingungen von klassischen Hohlkörpern findet. Neben Fullerenen werden auch Kohlenstoffnanoröhren größenselektiv untersucht – zwecks Ergründung des Speicherpotentials für verschiedene Gase als auch in Hinblick auf ihre Materialeigenschaften. Auf der Basis von einzelnen Clustern und Nanoröhren wird an der Entwicklung von nanoelektronischen Bauelementen gearbeitet.

Am gleichen Lehrstuhl werden spezielle NMR-Methoden zur Untersuchung komplexer fluider Systeme von M. Holz weiterentwickelt.

**Horst Hippler** (geboren 1946 in Göttingen) wurde 1993 als Nachfolger von Schindewolf an den **Lehrstuhl für Molekulare Physikalische Chemie** berufen. Als Göttinger Kind erlag er dem Ansehen und Ruf der dortigen Universität und begann 1966 mit dem Studium der Physik, das er 1970 mit einer Diplomarbeit in Physikalischer Chemie abschloss. Er promovierte 1974 an der ETH Lausanne bei J. Troe und war danach ein Jahr am IBM Research Laboratory in San José (Kalifornien) tätig. Die Zeit von 1977 bis zu seiner Berufung nach Karlsruhe verbrachte er wiederum in Göttingen, wo er sich 1988 mit einer Arbeit zur stoßinduzierten Energieübertragung habilitierte. Die Forschungsgebiete umfassen Probleme der Reaktionskinetik, der Molekulardynamik und der Photochemie, wobei die Experimente durch theoretische Analysen begleitet werden.

Besonderes Interesse gilt Reaktionsgeschwindigkeiten von Radikal-Radikal- und Radikal-Molekül-Reaktionen in der Gasphase unter Drücken bis 2000 bar. Dabei wird der Temperaturbereich zwischen 80 und 900 K abgedeckt. Die Erzeugung der Radikale erfolgt durch Laser-Photolyse geeigneter Vorläufermoleküle, und der Reaktionsablauf wird entweder durch zeitaufgelöste UV-Absorptions-Spektroskopie oder durch gesättigte laserinduzierte Fluoreszenz (z. B. OH- und CH-Radikale) beobachtet. Bei niedrigen Drücken wird die Reaktionsgeschwindigkeit durch den Prozess der stoßinduzierten intermolekularen Energieübertragung bestimmt, der in detaillierteren Experimenten separat untersucht wird. Hierzu wird die mittlere innere Energie vielatomiger Moleküle während der stoßinduzierten Aktivierung bzw. Desaktivierung mit spektroskopischen Methoden direkt verfolgt.

Die Frage der Entstehung großer Moleküle und ihr folgender Abbau bei der Pyrolyse von Kohlenwasserstoffen bildet einen weiteren Arbeitsschwerpunkt. Mit Hilfe der Stoßwellentechnik werden innerhalb weniger Mikrosekunden Temperaturen zwischen 600 und 4000 K erzeugt und die dabei ablaufenden chemischen Prozesse werden durch in-situ Absorptions-Spektroskopie analysiert.

Ultraschnelle Vorgänge werden mittels Femtosekunden(fs)-Spektroskopie studiert. Nach optischer Anregung, z. B. auch in biologisch relevanten Systemen, sind innere Konversionen wichtige Elementarschritte, die häufig auf einer fs-Zeitskala ablaufen. Erstmals konnte die innere Konversion in Cycloheptatrien direkt durch transiente Absorptionsspektroskopie auf der fs-Zeitskala verfolgt werden. – Dynamische Eigenschaften lokalisierter Exzesselektronen in polaren Flüssigkeiten werden ebenfalls im fs-Bereich untersucht. Zu einer modellfreien Interpretation der ultraschnellen Dynamik solvatisierter Elektronen werden die optischen Summenregeln herangezogen. In Falle der UV-Photonionisierung von flüssigem Wasser konnte erstmals die Relaxation des Absorptionsspektrums solvatisierter Elektronen von der Geminalrekombination abgetrennt werden.

Das Institut mit den vier Lehrstühlen von Ahlrichs, Freyland, Hippler und Kappes ist an den Sonderforschungsbereichen „Lokalisierung von Elektronen in makroskopischen und mikroskopischen Systemen“ und „Kohlenstoff aus der Gasphase: Elementare Reaktionen, Strukturen und Werkstoffe“ und an der Vorbereitung des neuen Sonderforschungsbereich „Instationäre Verbrennungen“ beteiligt.

## Epilog

Ostwald, dem unsere Hochschule 1918 den Ehrendokortitel verliehen hat (das war sein zehnter und letzter), berichtet in seinen Lebenslinien über seine erste Deutschlandreise 1883, die er zum

Besuch deutscher Chemiker und ihrer Laboratorien nutzte: ... *Von Heidelberg ging es nach Karlsruhe; bestimmte Erinnerungen haben sich hierüber nicht erhalten.* Hätte Ostwald uns in den letzten hundert Jahren einen Besuch abgestattet, dann hätte er einen positiveren Eindruck mitgenommen.

Denn die Anzahl von mehr als 250 Promotionen und 30 Habilitationen in der Karlsruher Physikalischen Chemie seit Ende des zweiten Weltkriegs (aus der Zeit davor haben wir keine Unterlagen mehr) belegt, dass Vorlesungen, Praktika, Seminare und Kolloquien, also die Lehre sowie die wissenschaftliche Arbeit in unserem Hause von den Studenten und von den Nachwuchswissenschaftlern sehr geschätzt wurden und geschätzt werden. Wir werten aber besonders als Anerkennung unserer Forschung und Lehre, dass 25 Mitglieder aus den Arbeitskreisen des Institutes seit Kriegsende Professuren an anderen Hochschulen erhalten haben; das sind:

Helmut Bertagnolli (Stuttgart), Hans-Karl Bodensee (Ulm), Karl Boeddecker (Hamburg-Harburg), Hans Albert Brune (Ulm), Michael Buback (Göttingen), Jürgen Gauss (Mainz), Alfons Geiger (Dortmund), Arnim Henglein (Berlin), Friedrich Hensel (Marburg), Wilfried Holzappel (Paderborn), Wolfgang Hüttner (Ulm), Walther Jaenicke (Erlangen), Friedrich Keil (Hamburg-Harburg), Thorsten Koslowski (Freiburg), Werner Kutzelnigg (Bochum), Harro Lentz (Siegen), Hans-Dietrich Lüdemann (Regensburg), Hans Rickert (Dortmund), Gerhard Schneider (Bochum), Heinrich Versmold (Aachen), Hermann Weingärtner (Bochum), Manfred Winnewisser (Giessen), Roland Winter (Dortmund), Manfred Zeidler (Aachen), Werner Zeil (Tübingen).

Und aus der Vorkriegszeit können wir aufführen: Günter Briegleb (Würzburg), Kasimir Fajans (Ann Arbor, Mich.), Adolf Knappwost (Hamburg), Gustav Kortüm (Tübingen), Werner Kuhn (Zürich), Hans Novotny (Wien) und Karl Lothar Wolf (Halle).

Unser Institut hat sich, wie aus diesen Angaben hervorgeht, in den hundert Jahren seines Bestehens dank der dort tätigen Wissenschaftler zu einer Forschungsstätte entwickelt, über die Ostwald – hätte er sie kennen gelernt – sicher geschrieben hätte: *Ich habe eine bleibende gute Erinnerung an das Karlsruher Institut für Physikalische Chemie und die dort tätigen Wissenschaftler.*

Ich danke den Kollegen des Institutes für die Darstellung ihrer jeweiligen Arbeitsgebiete; Herrn Professor Franck danke ich insbesondere für die Bearbeitung einiger Abschnitte des Manuskripts und viele kritische Bemerkungen.

Dem Bericht zugrunde liegende Schriften:

**Alfred Stock**, *Der internationale Chemiker-Kongress, Karlsruhe 1860*, Verlag Chemie, Berlin, 1933.

**Wilhelm Ostwald**, *Lebenslinien*, Klasing & Co., Berlin, 1933.

**Günther Bugge**, *Das Buch der großen Chemiker*, Verlag Chemie, 1984.

**Ernst Terres**, *Die Technische Hochschule Fridericiana Karlsruhe, Festschrift zur 125-Jahrfeier*, Karlsruhe, 1950.

**Kurt Mendelssohn**, *Walther Nernst und seine Zeit*, Physik Verlag, Weinheim, 1976.

**Klaus-Peter Hoepke** in *Juden in Karlsruhe*, Badenia Verlag, Karlsruhe, 1990.

**Dietrich Stolzenberg**, *Fritz Haber*, VCH, Weinheim, 1994.

**Gerit von Leitner**, *Der Fall Clara Immerwahr*, C. H. Beck, München, 1994.

**Walther Jaenicke**, *100 Jahre Bunsengesellschaft*, Steinkopf, Darmstadt, 1994, sowie persönliche Mitteilungen.

**Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft**, Großbothen, 1998: Sonderheft 2: *Max Le Blanc und Wilhelm Ostwald in ihren Briefen*, Sonderheft 4: *Georg Bredig und Wilhelm Ostwald in ihren Briefen*;

**Valentin Wehefritz**, *Pionier der physikalischen Chemie: Georg Bredig*, Universität Dortmund, 1998.