

ANGEWANDTE CHEMIE

HERAUSGEGEBEN VON DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

65. Jahrgang · Nr. 20 · Seite 497–524 · 21. Oktober 1953

FORTSETZUNG DER ZEITSCHRIFT »DIE CHEMIE«

Wilhelm Ostwalds Wirken in seiner Zeit

Gedenkrede zur Feier des 100. Geburtstages am 2. September 1953¹⁾

Von Prof. Dr. P. GÜNTHER, Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie der T. H. Karlsruhe

Der Aufforderung des Vorstandes der Bunsengesellschaft, über *Wilhelm Ostwald* an seinem heutigen Gedenktage zu sprechen, bin ich sehr gern gefolgt. Es ist eine Freude, sich das Werk und die Lebensgestalt dieses Mannes zu ver- gegenwärtigen.

Die wissenschaftlichen Entdeckungen im Bereich der physikalischen Chemie, die sich an den Namen dieses For- schers knüpfen, sind heute jedem Fachgenossen bekannt, wenn auch von denen, die heute auf der Höhe ihrer Schaf- fenskraft stehen, sich niemand mehr noch persönlich an das Wirken *Ostwalds* in unserer Wissenschaft erinnern kann. Schon im Jahre 1906 mit dem Rücktritt von seiner Leipziger Professur schied *Ostwald* aus der produktiven wissenschaftlichen Arbeit auf dem Gebiet der Chemie aus. Er hat aber auf vielen anderen Gebieten weiter rastlos ge- arbeitet bis zu seinem Tode am 4. April 1932, wenn auch nirgendwo wieder mit so nachhaltiger Wirkung wie in seinen Jugend- und Mannesjahren in unserem Fach. Aber was äußerlich wie ein Umbruch oder gar wie eine Zer- splitterung erscheinen kann, ist für eine tiefere Einsicht doch der Ausdruck einer ganz einheitlichen, eigenwilligen und ungewöhnlich starken Persönlichkeit. Wo er große Er- folge erreichte und auch dort, wo sie ihm versagt blieben, ist die schöpferische Leidenschaft seines Wirkens die glei- che und ist als Beispiel gültig über die Grenzen eines jeden Faches hinaus.

Mit den Entdeckungen, die sich an seinen Namen knüpfen, ist aber nur ein Teil seiner Verdienste um unser Fach bezeichnet. Was *van't Hoff* und *Arrhenius*, die man ja zusammen mit *Ostwald* als die Begründer der physikalischen Chemie zu nennen gewohnt ist, nicht im besonderen Maße pflegten, nämlich die Verbreitung des neuen Gedanken- gutes durch Lehre in einer Weise, daß dabei nicht nur Wissen übertragen wurde, sondern schöpferische Kräfte zur Fortentwicklung der neuen Gedanken in anderen an- geregt wurden, das hat *Ostwald* mit einem Erfolg getan, wie ihn nur selten ein akademischer Lehrer gehabt hat. *Ostwald* war ein Meister des lehrenden und des an-

sprechenden Wortes, und es ist kaum übertrieben zu sa- gen, daß die meisten der erfolgreichen wissenschaftlichen Arbeiter aus der nächsten Generation der physikalischen Chemiker einmal unter seinem persönlichen Einfluß ge- standen haben. So groß war die Bedeutung des Leipziger Institutes unter *Ostwalds* Leitung in den Jahren 1887–1906. Und jetzt – 100 Jahre nach *Ostwalds* Geburt – möchte ich auch dankbar eines eben Neunzigjährigen gedenken, der noch unter uns weilt und der *Ostwald* durch sein ganzes Leben hindurch schon aus den Jahren vor dessen Leip- ziger Zeit in enger persönlicher Freundschaft und Gemein- schaft der fachlichen Interessen verbunden war: des Herrn *Paul Walden*. Und als Mitarbeiter *Ostwalds* aus seinen letzten Leipziger Jahren, der heute noch erfüllt ist von den lebendigsten Erinnerungen an diese Zeit, und dem es ge- geben war, *Ostwalds* kinetische Arbeiten an einem ent- scheidenden Punkte fortzusetzen, nenne ich Herrn *Max Trautz*.

Es erscheint in der Rückschau lohnend, den äußeren Ursachen nachzugehen, durch die für *Ostwald* eine solche Breite des Wirkens möglich wurde. In den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts war in Deutschland der Vorsprung der organischen Chemie gegenüber anderen Disziplinen der Chemie so weit, daß die Führung der For- schung ganz bei den großen Organikern lag. *Ostwald* war seiner Begabung nach durchaus ein Chemiker mit dem ver- feinerten Gefühl für die sinnlich erfaßbaren Stoffqualitä- ten. Die reine Mathematik war ihm fremd; ein Versuch, zu ihr zu gelangen, führte ihn stattdessen in die positivi- stische Philosophie. *Ostwald* sagt von sich selbst, daß auch er unfehlbar Organiker geworden wäre, wenn er in Deutsch- land aufgewachsen wäre. Und weil er mit dem kritischen Blick, den er als Chemiker auch der eigenen Leistung ge- genüber hatte, nicht verkannte, wie sehr die Weite seines Wirkens auch auf seine organisatorischen Fähigkeiten zurückging, stellte er fest, daß auch diese dann unwirksam geblieben wären, denn für die reine Chemie war eine solche ja den Bedürfnissen der Zeit entsprechend schon vorhanden. Die räumliche Abseitigkeit, in der er seine Jugendjahre verbrachte, in Riga und in Dorpat, bewahrte ihn vor überragenden Einflüssen, und seine im- mer auf das Allgemeine gerichteten Interessen führten ihn dort auf eigene Problemstellungen, deren erfolgreiche Be- arbeitung ihm später als einem ausgereiften, selbst ein- flußstark gewordenen wissenschaftlichen Arbeiter von 33 Jahren die Berufung nach Leipzig einbrachten.

¹⁾ Diese Gedenkfeier, veranstaltet von der Deutschen Bunsen- Gesellschaft im Rahmen der Hauptversammlung der Ge- sellschaft Deutscher Chemiker, umfaßte noch eine Er- öffnungsrede des Vorsitzenden der Deutschen Bunsen- Gesellschaft, Dr. Dr.-Ing. e. h. E. Kuss, Duisburg, und drei Vorträge aus den physikalisch-chemischen Arbeitsgebieten *Wilhelm Ostwalds*, über welche auf S. 517 dieser Zeitschrift kurz berichtet ist. Alle diese Reden und Vorträge werden ausführlich erscheinen in der Zeitschrift für Elektrochemie. Unsere Leser weisen wir hin auf den Nachruf, den P. Günther auf *Wilhelm Ostwald* in unserer Zeitschrift 45, 489 [1932] ge- schrieben hat. Er ergänzt die vorliegende Jubiläumsrede aufs beste.

Dort nämlich, mitten in Deutschland, hatte es schon seit 1871 eine Professur für physikalische Chemie gegeben, die allerdings mit dem Physiker *Wiedemann* besetzt war. *Wiedemanns* Übertritt auf den physikalischen Lehrstuhl an der gleichen Universität nach dessen Freiwerden hatte die Berufung *Ostwalds* von einem kleinen Ordinariat am Polytechnikum in Riga ermöglicht. Es mußten noch einige Zufälle mitspielen, damit es dazu kam, daß *van't Hoff* die vorher an ihn ergangene Berufung ablehnte.

Was begründete nun damals *Ostwalds* Berufung? Der Würdigung seiner frühen Erfolge steht heute ein Umstand im Wege, der auf dem Gebiet der empirischen Naturwissenschaften wohl der gerechten Beurteilung einer jeden nicht eigentlich genialen Leistung durch die nachfolgenden Generationen im Wege steht, nämlich ihr Eingebettetsein in die völlig überholten Anschauungen der früheren Zeit, also in das, was *Ostwald* selbst in seiner anschaulichen Sprechweise einmal die „*Mutterlauge des Geistes*“ nennt. Nur das schlechthin Große einer neu-schöpferischen genialen Leistung kann auch heute noch von jedem nachempfunden werden. *Ostwalds* fröhlestes Arbeiten behandelten Gleichgewichtsprobleme, zunächst bei der Hydrolyse des Wismutchlorids — zu einer Zeit, als das chemische Gleichgewicht im Bewußtsein der Fachleute kaum mehr als eine Sonderbarkeit war. Zahlreiche Untersuchungen hatten die „*Avidität*“ der Säuren zum Gegenstand, das ist das Verteilungsverhältnis der Säuren zwischen zwei Basen, die in äquivalenten Mengen vorhanden sind, also wieder Hydrolyseprobleme, wobei bezeichnenderweise schon physikalische Methoden — Dichte- und Lichtbrechungsmessungen — angewandt wurden. Es ergab sich in der Folgezeit die wichtige Entdeckung, daß der „*Stärke*“ der Säuren ihre katalysierende Kraft auf die Hydrolyse von Methylacetat und von Rohrzucker proportional ist, und daß mit der „*Stärke*“ der Säuren auch ihre elektrische Leitfähigkeit wächst. Bezüglich der Salzlösungen kam *Ostwald* schon 10 Jahre vor *Arrhenius* und *van't Hoff* zu der Feststellung, daß der Einfluß gelöster Salze auf die Eigenschaften der Lösung wie Brechungsindex, Volumenänderung und noch andere Größen, wenn man ihn auf die Menge des gelösten Salzes bezieht, mit der Verdünnung wächst und nicht abnimmt. Dieser Befund, der auf die spätere Dissoziationstheorie hinweist, wurde von *Ostwald* damals in die Aussage gekleidet „*Das Wasser zersetzt alle Salze*“. Die Verdünnungsenthalpie erscheint in dieser Vorstellung als Reaktionswärme. Ein anderes Beispiel, was auf künftige Erkenntnisse von großer Tragweite hinweist, ist dieses: An von *Wüllner* gemessene Zahlen über die Erniedrigung des Dampfdruckes über Lösungen tritt er vor *Raoul* mit der Vorstellung heran, sie könnte bei Lösungen verschiedener Stoffe von gleicher Äquivalentkonzentration die gleiche sein, und er findet diese Annahme bestätigt.

Die 19 Arbeitsjahre *Ostwalds* in Leipzig — beginnend 1887 — sind in der Geschichte der physikalischen Chemie die beiden Jahrzehnte der großen Entfaltung und im Leben *Ostwalds* die Jahre der höchsten Intensivierung seiner Schaffenskraft. Sein großes zweibändiges Lehrbuch der allgemeinen Chemie, das den damaligen Wissensbestand zusammenfaßte, erschien gerade damals. Es erscheint uns selbstverständlich, daß das neue Gebiet jetzt eine eigene Zeitschrift brauchte, aber vor dem historischen Hintergrund gesehen ist die Gründung der „*Zeitschrift für physikalische Chemie*“ wieder eine Leistung gegen Widerstände, denn die zuständigsten Beurteiler der Aussichten einer solchen Zeitschrift in Deutschland, *Landolt* und *Lothar Meyer*, rieten ausdrücklich davon ab. Trotzdem erschien

1887 der erste Band. *Van't Hoff*, von *Ostwald* zur Mitarbeit aufgefordert, ließ seinen Namen als Mitherausgeber auf den Titel setzen. In einem mittleren Heft des ersten Jahrganges erschien *van't Hoff*s grundlegende Arbeit mit dem damals befremdlichen Titel „*Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie der Lösungen mit den Gasen*“ und noch im gleichen Jahre die Arbeit von *Arrhenius* über die elektrolytische Dissoziation. Nicht nur die letztere fand starke Gegnerschaft, was ja ohne weiteres verständlich ist, sondern auch *van't Hoff* wurde von *Lothar Meyer* und von *Erhard Wiedemann* angegriffen. Die Situation war reif zur Beantwortung der Frage nach einem Zusammenhang zwischen der Leitfähigkeit schwacher Säuren und ihrer Verdünnung. Mit Hilfe eines schon früher zusammengebrachten reichen Bestandes von Präparaten organischer Säuren entwickelte *Ostwald* nun gedanklich und experimentell das Verdünnungsgesetz, das bis heute seinen Namen trägt, in dem sich die Gedanken der elektrolytischen Dissoziation, der osmotischen Theorie und des Massenwirkungsgesetzes vereinigen. Schon im Januar 1888 ging diese Veröffentlichung *Ostwalds* hinaus. Auf der Urkunde des Nobel-Preises, die *Ostwald* sehr viel später (1909) aus der Hand des Königs von Schweden empfangen sollte, steht der formelmäßige Ausdruck des Verdünnungsgesetzes in kalligraphischer Schrift unter der schematisch gezeichneten Figur einer Apparatur zur Leitfähigkeitsmessung.

Die ersten Assistenten *Ostwalds* in Leipzig waren *Nernst*, *Beckmann* und *Wagner*. Vorübergehend arbeitete *Arrhenius* dort und 1894 kam *Robert Luther* hinzu. *Nernst*, ursprünglich von der reinen Physik her kommend, wurde von der Fruchtbarkeit der neuen Gedanken ergriffen und entwickelte schon im ersten Jahre die osmotische Ableitung des Diffusionsgesetzes. Im folgenden Jahre schloß sich die osmotische Theorie der galvanischen Ketten an. *Beckmann* entwickelte im *Ostwaldschen* Institut die bekannten Methoden der Molekulargewichtsbestimmung.

Die wichtigsten Arbeiten von *Ostwald* selbst aus der Folgezeit betrafen die Affinitätsgrößen organischer Säuren und deren Beziehung zur Zusammensetzung und zur Konstitution, die elektrischen Eigenschaften halbdurchlässiger Scheidewände, die Farbe der Ionen und auch die Dissoziation des Wassers. In einer Arbeit gemeinsam mit *Nernst* zeigte *Ostwald*, daß Elektrolytlösungen auch nicht die geringste metallische Leitfähigkeit besitzen. Die Existenz freier Ionen vor dem Stromdurchgang erschien damit gesichert. An der Tropfelektrode wurden schon Elektrodenvorgänge im einzelnen diskutiert, und eine Anregung von *Ostwald*, die heute reife Früchte trägt, lag den Feststellungen seines Mitarbeiters *Heathcote* über Passivierung, Passivität und Aktivierung des Eisens zu Grunde. *Ostwald* selbst war die Analogie zwischen der Erregung eines Nervens und der Aktivierung von passiven Eisen schon aufgefallen. Auch thermochemische Arbeiten fallen schon in die ersten Leipziger Jahre.

Als hervorragender Experimentator hat *Ostwald* das Instrumentarium zu allen diesen Arbeiten zum Teil selbst erfunden und eigenhändig hergestellt.

Aber nicht bloß die Elektrochemie und die Thermodynamik wurde im *Ostwaldschen* Laboratorium gepflegt, sondern auch die Kinetik, die die thermodynamische Orientierung zweier Dezennien unserer Wissenschaft später ablösen sollte, hat hier eine ihrer Wurzeln. *Max Bodenstein* selbst, der Klassiker der chemischen Kinetik in Deutschland, ist durch das *Ostwaldsche* Laboratorium hindurchgegangen. *Ostwald* selbst griff auch die Probleme der Kinetik der Phasenbildung auf, und es ist bezeichnend, daß Herr *Max Vollmer* der Ordnung und Klärung, die *Ostwald* in die

schwer übersehbare Mannigfaltigkeit und Verworrenheit der damals schon vorliegenden Beobachtungen gebracht hat, eine solche Bedeutung zuerkennt, daß er die von *Ostwald* gegebene Zusammenfassung in seinem 1939 erschienenen Buch über die Kinetik der Phasenbildung zwei Seiten lang wörtlich wiedergibt. *Ostwald* hat auch eigene Versuche über die Größe der kleinsten wirksamen Keime angestellt, die er zwischen 10^{-9} bis 10^{-12} g des festen Stoffes eingrenzt. Im Problemkreis der Phasenbildung gibt es eine interessante Entdeckung *Ostwalds*, die er selbst aber doch überschätzt hat, nämlich die noch heute nach ihm benannte Stufenregel, wonach für die zeitliche Folge bei der Entstehung verschiedener Phasen die Reihenfolge ihrer thermodynamisch definierten Stabilitäten maßgeblich sein soll. *Ostwald* glaubte, hier ein universelles Naturgesetz gefunden zu haben, während — wie wir heute wissen — doch nur eine häufig zutreffende Regel vorliegt, denn primär maßgeblich ist die Keimbildungsgeschwindigkeit. Nicht der Betrag der Abnahme der freien Energie, sondern die Kleinheit der erforderlichen Aktivierungsenergie bestimmt die Geschwindigkeit eines Vorganges und damit die Bevorzugung des entstehenden Produktes, und es geschieht oft, aber nicht mit Notwendigkeit, daß hierbei der nächststabilere und nicht gleich der stabilste Zustand erreicht wird. *Ostwalds* größte Leistung im Bereich der Kinetik ist aber nicht eine bestimmte experimentelle Entdeckung, sondern ein rein gedanklicher Fortschritt von entscheidender Tragweite. Er hat als erster die Erscheinung der Katalyse klar erfaßt, und hierin hat auch *Ostwald* selbst seine selbständige und folgenreichste chemische Leistung gesehen. Das Wort Katalyse war schon lange vorher (1836) von *Berzelius* geprägt worden, aber was es eigentlich bezeichnen sollte, war Gegenstand eines längeren Streites gewesen, an dem sich auch gerade die Großen — *Berzelius*, *Liebig*, *Wöhler* — beteiligt hatten. *Liebig* hatte z. B. den Kammerprozeß ausdrücklich für einen nicht-katalytischen Prozeß erklärt. Was als Ergebnis der Diskussion herausgekommen war, sah, wie es *Ostwald* 1894 in einer Arbeit des Chemikers *F. Stohmann* vorfand, so aus: „*Katalyse ist ein Bewegungsvorgang der Atome in den Molekülen labiler Körper, welche unter dem Hinzutritt einer von einem anderen Körper ausgesandten Kraft erfolgt und unter Verlust von Energie zur Bildung stabiler Körper führt*“. *Luther* erzählt, daß 1901 in *Ostwalds* Institutskolloquien Besprechungen katalytischer Vorgänge, wie sie z. B. in Arbeiten von *Bredig* und *Brode*, *Luther* und *Federlin* damals neu und präzis untersucht worden waren, im Vordergrunde standen und schließlich zur Klärung des Begriffes der Katalyse im heutigen Sinne führten. In der Urkunde des Nobel-Preises von 1909 ist auch auf *Ostwalds* Arbeiten zum Problem der chemischen Katalyse Bezug genommen.

In seiner späteren Leipziger Zeit hat *Ostwald* auch über die heterogene Katalyse von Gasreaktionen gearbeitet und deren umwälzende Bedeutung gerade für die Stickstoff-Industrie vorausgesehen. Die kriegstechnische Bedeutung einer Ammoniak-Synthese und -Verbrennung hat er schon 1903 richtig erkannt und unter dem Titel „*Eine Lebensfrage, Studium zur politischen Chemie*“ in einer Tageszeitung behandelt. Die Möglichkeit der Ammoniak-Verbrennung zu Salpetersäure an Kontakten war zwar als Laboratoriumsversuch schon seit 1839 bekannt, aber seit der Mitte der 70er Jahre war die Behandlung der Frage nicht mehr weitergekommen. *Ostwald* hat als erster zusammen mit seinem Schwiegersohn *Brauer* ein großtechnisch brauchbares Verfahren der Ammoniak-Oxydation ausgearbeitet, nach dem seit 1908 in der Zeche Lothringen in Geerte bei Bochum gearbeitet wurde. Die ursprüngliche

Ostwaldsche Ofenkonstruktion soll dort bis in die dreißiger Jahre hinein in Gebrauch geblieben sein. *Ostwald* und *Brauer* haben in eingehendem Studium die Ammoniak-Oxydation an verschiedenen Katalysatoren untersucht und insbes. für das Platin diejenigen Bedingungen ermittelt, die die besten Stickoxyd-Ausbeuten ergeben. *Ostwald* erkannte, daß im Gegensatz zu anderen Kontaktreaktionen hier eine kurze Berührungsduer der Gase mit dem Katalysator zweckmäßig ist, weil es sich nicht um die Einstellung eines endgültigen Gleichgewichtszustandes handelt.

Während im Laboratorium die experimentellen Arbeiten liefen, betätigte sich *Ostwald* auch noch in großem Umfang auf literarischem Gebiet. Neben seiner Tätigkeit als Redakteur der Zeitschrift verfaßte er das erste für den Studiengebrauch bestimmte spezielle Lehrbuch, das unter dem Titel „*Grundriß der allgemeinen Chemie*“ 1889 erschien und in immer neuen Auflagen im Laufe von zwei Jahrzehnten allein in Deutschland in etwa 12000 Exemplaren verbreitet wurde. Es wurde in fast alle Kultursprachen — auch ins Japanische — übersetzt. Die Elektrochemie erhielt ihre erste moderne Einzeldarstellung, und in einem anderen Buch behandelte er die analytische Chemie nach den neu gewonnenen elektrochemischen und thermodynamischen Gesichtspunkten. Im Jahre 1893 erschien das „*Hand- und Hilfsbuch zur Ausführung physikalisch-chemischer Messungen*“. Es gibt auch ein Lehrbuch der anorganischen Chemie von *Ostwald* und noch viele andere chemische Werke, darunter auch eines für Laien, die nicht im einzelnen genannt werden können. In seiner Leipziger Zeit war er die beherrschende Gestalt in der physikalischen Chemie.

Als Organisator des Forschungsbetriebes gelangte *Ostwald* auch zur Gründung unserer Bunsengesellschaft, die früher einen anderen Namen hatte. Zusammen mit dem Elektrotechniker *A. Wilke* lud er im Jahre 1894 eine Anzahl führender Fachleute aus dem Kreise der Wissenschaft und der Technik zu einer Versammlung nach Kassel, die sich dann als „*Deutsche elektrochemische Gesellschaft*“ konstituierte. *Ostwald* wurde ihr erster Vorsitzender. Als ihren Leitgedanken bezeichnete er, „*daß Wissenschaft und Praxis auf das engste zusammengehören und die eine von der anderen ebenso zu lernen hat wie umgekehrt*“. Nachdem er sie vier Jahre lang geleitet und ihren Fortbestand gesichert hatte, zog er sich von der Geschäftsführung der Gesellschaft zurück. Nur 1902 trat er noch einmal persönlich hervor, als es sich darum handelte, ihren Aufgabenkreis zu vergrößern und diesem Umstand durch eine Umbenennung Rechnung zu tragen. Seitdem hieß sie „*Deutsche Bunsengesellschaft für angewandte physikalische Chemie*“.

Der immer auf das Allgemeine gerichtete Geist *Ostwalds* machte an den Grenzen der Chemie nicht Halt. Er drängte ihn zu Aussagen im Bereich der Philosophie, und soweit er sich hierbei eng am Rande des Naturwissenschaftlichen hielt, gelangen ihm auch gültige und wertvolle Feststellungen. Wie viele Naturforscher seiner Zeit übernahm er das Gedankengut der positivistischen Philosophie, deren Grundthese in der Behauptung besteht, daß eine Aussage nur dann als sinnhaft gelten könne, wenn sie entweder logisch-analytischen Charakter hat oder verifizierbar ist. Wie *Ernst Mach* und auch *Robert Bunsen* war *Ostwald* der um die Jahrhundertwende wohl berechtigten Meinung, daß die Aussagen der Atomtheorie nicht verifiziert seien, und versuchte nun, die stöchiometrischen Gesetze der Chemie rein phänomenologisch abzuleiten. Er trug diesen Versuch 1904 in London vor, und in einem etwas später erschienenen Buch „*Prinzipien der Chemie*“ wird gedankenreich der Versuch gemacht, eine allgemeinste Chemie unter Absehung von den besonderen realisierten Stoff-

individualitäten zu entwickeln. Dabei muß dann der Begriff des chemisch-reinen Stoffes ohne die Atomvorstellung, also rein thermodynamisch-analytisch entwickelt werden. Das Problem hat insofern zu Heutigem eine Beziehung, als damals *praemissis praemittendis* die Definition des reinen Stoffes durch die Gleichheit aller Atome oder Moleküle sicher war, während heute eine solche Definition nicht mehr hinreicht, aber umgekehrt die allgemeinen Aussagen der Atomtheorie als verifiziert gelten. Die thermodynamische Definition des reinen Stoffes, zu der *Ostwald* gelangte, lautet etwa so: „*Ein chemisch reiner Stoff ist eine Gibbssche Phase, die im beweglichen Gleichgewicht mit anderen Phasen stehend auch dann ihre analytisch-chemische Zusammensetzung unverändert behält, wenn die analytisch-chemische Zusammensetzung dieser anderen Phasen sowie der Druck und die Temperatur innerhalb gewisser Grenzen um endliche Beträge geändert werden*“. Die Definition ist eindeutig und zulänglich.

Aus anderen Beweggründen als denen, die ihn zur physikalischen Chemie führten, nämlich aus einer besonderen Kraft für das Erlebnis des Farbigen in der Welt, kommt *Ostwald* zu der Entwicklung seiner Farbenlehre, die zeitlich allerdings nach seinen Fortgang von der Universität fällt. *Ostwald* hat zeitlebens als Maler dilettiert, und viele Gemälde von ihm sind erhalten. Durch den letzten Beweggrund also unterscheidet er sich von den wissenschaftlichen Physiologen und Physikern und damit von *Helmholtz*, zu dessen physiologischer Optik *Ostwalds* Farbenlehre kaum Beziehungen hat. Der Gegenstand seiner Farbenerlebnisse sind die Körperfarben, also die spektrale Veränderung des Lichtes bei der Streuung an Körperoberflächen. *Ostwald* fühlt sich mit seiner Farbenlehre viel näher an *Goethe* als *Helmholtz*, in dessen großem Werk die Körperfarben eine nebensächliche Rolle spielen, wobei er allerdings nicht beachtet, daß Goethes Farbenerlebnis — er empfing die Anregung zu seiner Farbenlehre von den Landschaften Italiens — das ist, was wir heute Flutlicht nennen. Der Unterschied der Ansatzpunkte ist psychologisch und auch für die Folgerungen nicht ganz bedeutungslos. Aber wie *Goethe* am Ende seine Farbenlehre für größer hielt als seine Dichtung, so hielt auch *Ostwald* seine Farbenlehre für bedeutender als seine Leistungen in der physikalischen Chemie. Schon die Grundzüge dieser Lehre lassen sich nicht in Kürze wiedergeben, aber sehr leicht ihr Ziel: Sie läuft auf eine koloristische Metrik hinaus, nach der jeder Farbton durch einen schwarz-weiß-bunt-Gehalt ebenso zu kennzeichnen sein soll wie ein musikalischer Ton durch die Angabe einer Note und des Instrumentes, auf dem er gespielt werden soll. Die Meßapparatur und die Meßvorschrift werden angegeben. In der Schwarz-Weiß-Reihe erfolgt die Einstufung in der Reihe unmittelbar durch die Messung des zurückgeworfenen Lichtes. Die Farbtöne sind durch einen Farbenkreis standardisiert. Ein zu bestimmender unbekannter Farbton wird dadurch auf den Farbenkreis bezogen, daß man ihm mit Hilfe eines geeigneten Apparates probeweise andere Farben zumischt, bis ihn eine davon zu reinem Grau ergänzt. Dann war der zu bestimmende Farbton die sogenannte Gegenfarbe der zugesetzten Farbe im Farbenkreis. Der Wert einer solchen koloristischen Metrik bestimmt sich durch die umkehrbare Eindeutigkeit der Zuordnung zwischen dem Farbton und seinen Kenngrößen und die praktisch genügend bequeme Durchführbarkeit des Meßverfahrens. Nun ist es kein Zweifel, daß *Ostwald* mit vielen der von ihm angeführten Begriffe und ganz allgemein durch die starke Werbung für Ordnung und Normierung, die von seiner Farbenlehre ausging, die Entwicklung der Farbenmetrik vorangetrieben

hat. In Deutschland hat sich seine Farbenlehre aber in der Praxis nicht durchgesetzt, obwohl in den Jahren nach 1920 ernsthafte Anstrengungen gemacht worden sind, danach entwickelte Farbatlanten z. B. zur Baumwollanfärbung herzustellen und einzuführen. Zum Teil spielt hierbei die Frage der Kosten des Verfahrens eine Rolle, zum anderen Teil war aber auch die Meßtechnik noch nicht so weit entwickelt, daß man mit visuellen Instrumenten eine hinreichende Genauigkeit hätte erzielen können. Vor kurzer Zeit hat der Fachnormenausschuß „Farbe“ im deutschen Normenausschuß in Zusammenarbeit mit dem Farbforschungslaboratorium des Materialprüfungsamtes Berlin-Dahlem die Grundlagen zu einer neuen Standardfarbenkarte ausgearbeitet, die auf dem Gedanken der psychologisch gleichen Abstände und der Gleichwertigkeit der ausgewählten Farben aufgebaut ist und in Zukunft die Bezugsbasis für die Farbnormung darstellen soll. In Amerika scheint aber in neuester Zeit die Entwicklung etwas stärker zu Gunsten der *Ostwaldschen* Farbenlehre gelaufen zu sein, denn 1944 hat die Optical Society in Amerika ein eigenes Symposium über das *Ostwaldsche* Farbensystem abgehalten. 1948 wurde in Chicago ein umfangreicher Farbenatlas, der ganz auf der *Ostwaldschen* Lehre basiert, neu herausgegeben und diese Lehre von *Edward Jakobsen* ausführlich interpretiert. Und vor zwei Jahren hat jedenfalls eine amerikanische Großfirma einen Farenkatalog ohne Bemusterung ausschließlich in der *Ostwaldschen* Kennzeichnung an ihren Kundenkreis verschickt.

Ostwald selbst hat seine Farbenlehre noch unter dem ästhetischen Gesichtspunkt der miteinander harmonierenden Farben weitergebildet, ist also von der rein deskriptiven noch bis zu einer normativen Lehre fortgeschritten, die nun unmittelbare Beziehungen zur Malerei knüpft. *Ostwalds* jüngster Sohn, *Otto Ostwald*, ist heute in Großbothen mit der Fortentwicklung der Farbenlehre beschäftigt.

Im Jahre 1906 war *Ostwald* — 53jährig — von seiner Leipziger Professur zurückgetreten, mit ungebrochener Aktivität und voller Zukunftspläne. Weil nun das, was ihn danach, immer weiter ins Allgemeine drängend, hauptsächlich beschäftigte, mit Fachfragen der Naturwissenschaften nicht mehr viel zu tun hat, wäre eine Betrachtung seines Wirkens in deren Bereich jetzt zu beenden. Aber wenn wir heute seiner Person gedenken wollen, müssen wir uns auch sein späteres Wirken vergegenwärtigen, denn es ist weiterhin getragen vom Einsatz der ganzen Kraft seines starken und mutigen Lebens.

Van't Hoff hat über *Ostwald* folgendermaßen geurteilt: „*Ostwald ist nicht befriedigt durch das Erringen einer eigenen Ansicht, vielleicht ist es ihm sogar Hauptbedürfnis, den eigenen Gedanken anderen zu übertragen*“. Es ist leicht verständlich, daß *Ostwald* bei seinem nach außen drängenden Temperament und bei seiner Ansprechbarkeit aus allen Lebensgebieten die Grenze zwischen der Aufgabe des Lehrers und der des Erziehers nicht wahrte, sondern gern überschritt. Als Institutedirektor sagte er den Studenten bei der Eröffnung des Institutsneubaus: „*Ohne ethischen Inhalt bliebe unser Werk ein tönendes Erz und eine klingende Schelle*“. Das Bildungsideal, das ihm vorschwebt, ist das seiner Generation und seiner persönlichen Tradition: das Bildungsideal des klassischen deutschen Idealismus. *Ostwald* zitiert oft *Goethe* und hat auch ein Buch über ihn geschrieben. Vor hundert Jahren war auch in *Ostwalds* Heimat, in Kurland, die Liberalisierung aller Lebensverhältnisse so weit fortgeschritten, daß der Aufstieg und Abstieg der Generationsfolgen freigegeben war, — *Ostwalds*

Großvater war als mittelloser Handwerker von Berlin nach Riga eingewandert — und der Maßstab des Aufstieges war eben die Bildung. Der Bildungsbegriff wird von Spranger heute so definiert: „Nimmt ein Mensch wertvolle Sinngehalte, die über seine mitgebrachte Subjektivität hinausgehen, in seine Seele auf, so ist das Bildung“. Als dieser aufzunehmende Sinn erscheint bei den deutschen Klassikern die Aufgabe für den Menschen, der durch den Besitz der Vernunft als solcher bestimmt ist, sich einem schlechthin gültigen, definierbaren Zeitbild anzunähern, und in dieser Meinung unterscheidet sich Ostwald, der tiefer in der Tradition verblieb, als ihm vielleicht selbst bewußt war, nicht von klassischen Vorbildern. Er unterscheidet sich aber ganz und gar in der Meinung über den Weg zu diesem Ziel. An der Schwelle zwischen der Zeit des deutschen Idealismus stehend und dem, was man heute voreiligend das technische Zeitalter nennt, sieht er den Weg vorgezeichnet in dem Fortschreiten der naturwissenschaftlich-technischen Zivilisation. „Chemische Kulturgeschichte“ heißt eines seiner letzten, nicht mehr gedruckten Manuskripte, und etwas wie eine naturwissenschaftlich-technische Erziehung des Menschengeschlechtes hat ihm wohl sein Leben lang vorgeschwebt. Das Pathos der Neuerung reißt den Erzieher Ostwald fort und läßt ihn zum Prediger werden, — einen „Sonntagsprediger“ hat er sich in einer 1914 begonnenen Schriftenreihe selbst genannt. Die Naturwissenschaftler und Ingenieure erscheinen ihm als die „Schmiede der Zukunft“, und was für die Menschheit am Ende aus der Erfüllung aller Versprechungen von Wohlfahrt, Sicherheit und Harmonie entstehen soll, nennt er das „Paradies, — das nicht hinter, sondern vor uns liegt“. Hier wird nun ein eschatologischer Begriff eingeführt, und der Prediger ist zum Propheten geworden.

Vergegenwärtigt man sich diese Steigerung der Impulse und Ziele, so kann man dem gerecht werden, was Ostwald selbst seine Philosophie genannt hat.

Ostwalds Glaube an das im technischen Fortschritt liegende Heil gibt ihm heute, wo der Wert der technischen Zivilisation im ganzen in Zweifel gestellt wird, wieder eine bestimmte Bedeutung. In seinen Büchern finden sich die genauen Gegenthesen zu dem heute aktuellen Buch von Friedrich Georg Jünger „Die Perfektion der Technik“, in dem die Fortentwicklung der Technik als die Bedrohung mit einer Katastrophe aufgefaßt wird.

Auch in seinen anderen Arbeitsgebieten bewährte sich Ostwald wieder als der große Organisator, er schrieb nicht nur selbst noch viele Bücher, sondern gründete auch eine Zeitschrift, die „Annalen der Naturphilosophie“, und übernahm auch den Vorsitz in einer weltanschaulich-philosophischen Vereinigung, dem Monistenbund.

Wie eine Brücke zwischen allen Bereichen seines Schaffens erscheint seine große Selbstbiographie, die im ersten Teil noch naturwissenschaftliche Stellungnahmen enthält und im zweiten Teil sein Philosophieren. Auch hier ist aus vielen eingeflochtenen Betrachtungen und aus der Widmung des Werkes: „Der deutschen Jugend“ die Herkunft des Verfassers aus der klassischen Tradition, in der die Wurzeln der Selbstbiographie und des Erziehungsromans nahe beieinander liegen können, unverkennbar, keinesfalls in dem Sinne, daß das eigene Leben als Vorbild erscheinen soll, aber doch so, daß die Linien des eigenen Lebens gleichsam als Koordinaten für die Beschreibung des rechten Lebens benutzt werden.

Ostwald schrieb nun auch die Biographien großer Naturforscher aus der Vergangenheit, und er schrieb auch ein Buch über das Leben und das Werk von August

Comte, den Begründer des Positivismus. Dabei sprach er der Geschichtswissenschaft grundsätzlich jeden eigentlichen Wert ab, und das könnte man sogar noch als eine zu billige Vereinfachung der Schwierigkeit verstehen, die für das positivistische Denken tatsächlich immer darin bestanden hat, den historischen Aspekt eines jeweils einzigartigen und unwiederholbaren Geschehens mit dem Verifizierungspostulat für die Sinnhaftigkeit einer Aussage zu verbinden. Ostwald begründet seine historischen Arbeiten auch mit einer Nützlichkeitsbetrachtung, und hier tritt schon die für ihn persönlich charakteristische Denkbewegung seines Philosophierens auf. Er will die „Naturgeschichte“ der Hochbegabten kennenlernen, damit man „die schädlichen Beeinflussungen, an denen so viele mögliche Genies zugrunde gehen, vermeiden kann“. Ob seine Arbeit die eigentliche Absicht, die Zahl der zur Wirkung gelangenden Genies zu vermehren, wirklich gefördert hat, kann man bezweifeln. Tatsächlich ist Ostwald aber aus seinem lebendigen Einfühlungsvermögen in schöpferische Menschennaturen hier eine Leistung von hohem Rang gelungen. Er überwindet die chronistisch-anekdotische Art und die Stilisierung ins Verbrämt-Meisterliche, das den akademischen Biographien der hochbürgerlichen Zeit meistens zu eigen war, und beschreibt wirkliche Lebensgestalten, die er selbst Psychographien nennt. Und sein Klarblick und seine ordnende Kraft befähigen ihn, jene weitbekannte Einteilung der Forscher nach zwei Typen vorzunehmen, die er Klassiker und Romantiker nennt. Ganz neuerdings hat Hellpach die Ostwaldsche Einteilung auf weitere Gruppen historischer Persönlichkeiten übertragen, — unter Abänderung der nicht zweckmäßigen Bezeichnungsweise.

Ostwalds Denken geht den folgenden Weg: Der begeisterte Naturforscher setzt das Substrat allen Naturgeschehens, die Energie, absolut. Es gibt schlechthin nichts anderes. Sein und Geschehen sind die Energie und ihre Wandlungen. Das ist die Fundamentalthese des ontologischen Materialismus, wenn auch Ostwald hier das Wort „Energetischer Monismus“ gebraucht. Keinesfalls ist es die Fundamentalthese des dialektischen Materialismus, zu Ostwalds Zeiten nicht und nicht heute. Ein materialistischer Ansatz ist mit der Denkhaltung des Positivismus eigentlich nicht vereinbar, und wo heute der dialektische Materialismus die Staatsphilosophie ist, gilt folgerichtig der Positivismus als Irrlehre. Dieser Widerspruch ist Ostwald aber entgangen, — wie jeder lebendige Geist einen Widerspruch in sich trägt, — und läßt erkennen, daß in ihm selber sein Glaube und seine Skepsis nicht zu dem rechten Kontakt miteinander gekommen sind. Aus dem Zusammenwirken seines sittlichen Strebens mit diesem materialistischen Ansatz entsteht nun das, was Ostwald selber als das Hauptstück seiner Philosophie betrachtet und den „energetischen Imperativ“ genannt hat, eine moralisch gemeinte Maxime, bei der eine gewisse Nützlichkeit die Stelle des Guten einnimmt. Will man Ostwald als Philosophen gelten lassen, dann muß man ihn zu den Ethikern zählen. In einer Schriftenreihe von Selbstdarstellungen der führenden Philosophen seiner Zeit — hier erscheint Ostwalds Name zusammen mit Natorp und Joel, mit Troeltsch und Vaihinger — führt er aus: „Diese Einsicht, daß im zweiten Hauptsatz die Quelle allen Wertens, somit allen Wollens und Wählens liegt, wirft ein sehr deutliches Licht auf die heutigen Bestrebungen, diese geistigen Gebiete als wesensverschieden von den materiellen darzustellen, und er fährt fort: wie sich das hier herausstellte, war mir doch eine große Überraschung“. Vielleicht lesen wir niemals ohne Überraschung solche Sätze bei ihm, dessen ganzes langes und tätiges Leben offensichtlich getragen wurde von einer

Kraft, deren Ort sich im Begriffsnetz der exakten Wissenschaften nicht bestimmen läßt.

Ostwald hat sich bei seinen philosophischen Bestrebungen dem um eine Generation älteren Zoologen *Ernst Haeckel* nahe gefühlt und das Wort Monismus von ihm übernommen. Beide standen unter einer Faszination, durch die sie zu Verkündern einer Weltanschauung wurden, die sie Philosophie nannten. Für *Haeckel* war der Gegenstand der Faszination die *Darwinsche* Evolutionstheorie, für *Ostwald* war sie die deterministische klassische Physik, deren ganze Weite über ein durchsichtiges Ordnungsgefüge hinweg sich auf wenige Sätze der Mechanik und der Elektrodynamik zusammenziehen läßt — ein Sachverhalt, dessen faszinierender Kraft sich wohl niemand ganz entziehen kann, obgleich oder auch gerade weil er allem Menschlich-Persönlichen mit seiner Anfälligkeit fernbleibt.

Wie schwach bei *Ostwald* auch der Inhalt der ethischen Sätze gegenüber dem Andrang seiner Beweggründe wirkt, so richten sie doch in der Anwendung einmal ein Bild von Größe auf, nämlich da, wo er sie folgerichtig auf sein eigenes Leben anwandte. Wie nämlich *Ostwald* mit streng rationeller Klugheit und nüchternster Selbstbeherrschung die Kraft seines eigenen Lebens zur Wirkung gebracht hat, ist unübertrefflich. Sicher ist *Ostwald* einer der stärksten Arbeiter seines Jahrhunderts gewesen. In diesem Zusammenhang werden anekdotische Züge bedeutsam. *Walden* rechnet aus, daß nur bis zum Jahre 1904, der Umfang der von ihm allein mit der Hand geschriebenen Buchmanuskripte etwa 16000 Druckseiten umfaßt, wozu noch 1630 Seiten Originalpublikationen kommen, und für die Zeitschrift für physikalische Chemie hat er bis dahin 3380 Referate und 920 Bücherbespre-

chungen verfaßt. Dabei fehlte ihm gewiß nicht der innere Reichtum zur Muße, und nicht selten nahm er sie sich auch. Seine Arbeitsweise war bis ins kleinste rationalisiert, er bedachte bei den verschiedenen Schreibfederarten die Häufigkeit des Eintauchens und verschaffte sich zum Schreiben seiner Bücher die Umgebung eines anderen Zimmers als dessen, in dem er seine Post erledigte. Es war die höchste Anspannung der Lebenskraft und deren klügste Verwendung, die seinem Leben die große Wirkungsbreite gegeben hat, — und das mit dem Erfolg für ihn selbst, daß er es am Ende als glücklich bezeichnet hat.

Seine Manuskripte — darunter noch mehrere, die nicht veröffentlicht sind — und die sehr umfangreichen Korrespondenzen hat seine älteste Tochter, Fräulein *Grete Ostwald*, auf das genaueste geordnet und verwaltet sie in Großbothen als die verstehende und getreue Hüterin seines bis heute noch unverletzten Erbes. Auch der schöne Landbesitz, ein eindrucksvolles Bild des Erfolges bürgerlicher Lebenstüchtigkeit, besteht noch unverändert wie bei *Ostwalds* Tod in einer dort sonst veränderten Umgebung. *Ostwalds* Asche ist auf seinem eigenen Grund und Boden beigesetzt, zusammen mit der seiner Lebensgefährtin, *Helene Ostwald*. Die Urnen sind in die Felswand eines Steinbruches eingemauert, es gibt schwerlich ein eindrucksvollereres Grab.

Er selbst hat als alter Mann geschrieben: „Was war, hat seine Zeit gehabt, was werden will, verdient unsere ganze Hingabe“. Der Blick auf sein Leben und Wirken kann in der Überzeugung bestärken, daß, wenn auch der Mensch als Träger der Vernunft noch nicht zulänglich bestimmt ist, doch die Bemühung um alle erreichbare vernunftgemäße Klarheit ein Anliegen seines Herzens sein soll.

Einig. am 5. Oktober 1953 [A 527]

Der gegenwärtige Stand der wissenschaftlichen Erforschung der technischen Katalyse

Von Prof. Dr. GEORG-MARIA SCHWAB, München*)

Physikalisch-chemisches Institut der Universität München

Die wissenschaftliche Erforschung ist die Vorbedingung für die technische Anwendung der Katalyse. Die zu erforschenden Probleme können die Reaktionsführung und die Reaktion selbst betreffen. Bei der Reaktionsführung sind Fragen der Temperaturverteilung und des Wärmetransports von ausschlaggebender Wichtigkeit für die Dimensionierung der Anlagen. Auch die Diffusion innerhalb der Katalysatorporen ist zu berücksichtigen. Eine besondere Lösung stellt das Wirbelschichtverfahren dar. Die Probleme der chemischen Reaktion betreffen ihr thermodynamisches Verhalten sowie besonders ihre Kinetik. Fälle von aufgeklärter Kinetik technischer Katalysen werden angeführt. Die Frage der Katalysatorauswahl beginnt jetzt durch die Erkenntnis von dem elektronischen Mechanismus der heterogenen Katalyse in ein rationales Stadium zu treten. Ähnliches läßt sich auch über die Mischkatalysatoren sagen.

Niemand wird in Abrede stellen, daß der technische Fortschritt unseres Zeitalters nur durch eine Anwendung der Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung auf die materiellen Bedürfnisse der Menschheit möglich geworden ist. Lediglich auf dem Gebiet der technischen Katalyse ist die Behauptung gebräuchlich, daß die Technik der Wissenschaft weit voraus und die wissenschaftliche Forschung für die Technik recht bedeutungslos sei. Nun wäre es natürlich sehr überraschend, wenn gerade auf diesem einen Spezialgebiet so abweichende Verhältnisse herrschen würden, und tatsächlich zeigt eine kurze historische Betrachtung sofort das Gegenteil. So war das ganze 19. Jahrhundert

angefüllt mit vergeblichen Versuchen einer Ammoniak-Synthese. Diese gelang erst im 20. Jahrhundert, nachdem *Haber* die wissenschaftlichen Grundlagen dafür gelegt hatte. Ebenso war die Verbrennung des Ammoniaks zu Stickoxyd oder Salpetersäure schon seit langem bekannt (*Kuhlmann* 1838), aber erst ihre wissenschaftliche Durcharbeitung durch *Ostwald* im Jahre 1901, also zur Zeit der aufkommenden physikalischen Chemie, machte ihre technische Verwirklichung möglich. Die Kontaktsschwefelsäure-Synthese, die von *Philips* schon 1831 erfunden worden war, mußte erst durch *L. Wöhler* 1852 wissenschaftlich untersucht und durch *Deacon* 1871 thermodynamisch und kinetisch erklärt werden. Erst daraufhin war *Winkler* 1875 in der Lage, die wissenschaftlichen Grundlagen für

*) Nach einem Vortrag auf dem Kongreß für Angewandte Chemie in Paris am 24. Juni 1953.