

## Zu Georg Simon Ohms 150. Geburtstag

Von Prof. Dr. WALTHER GERLACH, München

Am 16. März jährt sich zum 150. Male der Geburtstag<sup>1)</sup> von Georg Simon Ohm, dessen Name weit außerhalb des Bereiches der engeren und weiteren Fachgenossen bekannt ist, sowohl durch das Gesetz des elektrischen Stromkreises, welches seinen Namen trägt, als auch durch die Einheit des elektrischen Widerstandes, welche die internationale Bezeichnung „Ohm“ erhalten hat. Man sollte meinen — wenigstens, wenn man von heutigen Zeiten auf frühere schließt — daß Ohm auch zu seinen Lebzeiten, in den Jahren, in welchen er sein Gesetz fand, ein berühmter Mann war. Das ist aber keineswegs der Fall. Es hat sehr viel Jahre gedauert, bis man die Bedeutung seines Gesetzes erkennen lernte, es hat Jahrzehnte gedauert, bis man die große Leistung, welche in der Auffindung dieses Gesetzes liegt, würdigte.

Man kann zweierlei Maßstäbe zur Beurteilung einer wissenschaftlichen Entdeckung anlegen: die mehr oder weniger große Überraschung, welche die Aufstellung eines Gesetzes bringt und den durch dasselbe ausgelösten unmittelbaren Fortschritt in einer wissenschaftlichen Entwicklung; oder die Auswirkung, welche dieses Gesetz in der Folgezeit, oft erst lange Jahre später auf einem oder auf vielen Gebieten, besonders auch hinsichtlich seiner Anwendung hervorbringt. Bei Ohms Gesetz ist die „Größe“ der Leistung, nach dem zweiten Gesichtspunkt gewertet, allgemein anerkannt; denn es ist die Grundlage für jede Art der Verwendung des elektrischen Stromes, für die Berechnung aller Stromkreise, für die Berechnung der elektrischen Energie und Leistung, möge es sich um wissenschaftliche oder technische Zwecke handeln. Wenn bei einem Stromleitungsvorgang das Gesetz nicht erfüllt ist, so zeigt diese Tatsache, daß molekulare Veränderungen des Leiters durch den Strom eintreten; die Nicht-Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes bei der Leitung in ionisierten Gasen, die Abweichung von ihm bei der Leitung in Elektrolyten bei sehr hohen Feldstärken — das waren alles Ausgangspunkte für neue Entdeckungen.

Der erste Gesichtspunkt, ob zu der Zeit, als Ohm seine experimentellen Grundlagen gewann und nach einer Beziehung zwischen „Quantität“, „Intensität“ und „Leitvermögen“ suchte — oder wie die unklaren Begriffe alle benannt wurden, — die Lösung gewissermaßen „in der Luft lag“, oder ob das Ergebnis seiner Untersuchungen etwas ganz Unerwartetes darstellte, kann im Falle der Ohmschen Entdeckung durch einen Zufall sehr genau geprüft werden: denn gerade ein Jahr vor dieser Arbeit erschien die erste deutsche Übersetzung des großen Lehrbuches der Physik des Franzosen Biot durch Gustav Theodor Fechner in Leipzig, mit Anmerkungen des letzteren versehen. So wissen wir genau den Stand der Kenntnisse nach den Urteilen dieser beiden berühmten Physiker.

Schon lange vor Ohm hatten sich einige Forscher mit dem „Leitvermögen der Metalle“ beschäftigt. Davy fand,

daß eine Voltasche Batterie beim Schließen durch Drähte einer Metallart schnell, einer anderen Metallart langsam entladen wurde. Man wußte auch, daß ein heißer Draht die Batterie langsamer entlädt als ein kalter, man hatte gefolgert, daß ein langer Draht ein „kleineres Leitvermögen“ hätte als ein kurzer. Diese Ergebnisse waren auf sehr verschiedene Weise gewonnen worden. Um die Entladung der Batterie beim Schließen durch einen Metalldraht zu verfolgen, hatte Davy der Batterie eine elektrolytische Zelle parallel geschaltet, als Maß für die fortschreitende Entladung nahm er das Nachlassen der Wasserzersetzung. Wir würden heute sagen, daß er ein Voltmeter (das bekanntlich Amperesekunden mißt) als Voltmeter benutzte. Nach Ohms Entdeckung war ein solcher Fehler nicht mehr möglich! Andere verbanden die Pole des Elements durch den zu untersuchenden Draht und durch ein Galvanometer; man benutzte die Oerstedsche Entdeckung, daß ein elektrischer Strom eine genäherte Magnetnadel ablenkt; man brachte die Magnetnadel zur Vergrößerung der Wirkung des Stromes in eine Spule, in eine Schweiggenschen Multiplikator. Jeder fand andere Ergebnisse, z. T. eine Abhängigkeit des Leitvermögens vom Bau des Galvanometers!

Ganz besonders merkwürdig war, daß das auf diese höchst zweifelhafte Weise gemessene „Leitvermögen“ von dem Querschnitt des Drahtes abhängig ist und nicht von seiner Oberfläche. Denn es war doch von der Elektrostatik her bekannt, daß die Elektrizität sich auf der Oberfläche eines metallischen Körpers ausbreitet.

Und noch mehr Kopfzerbrechen machte die Tatsache, daß ein Draht, welcher die Pole einer Batterie verband, dabei sich dauernd erhitze. Biot suchte sich dieses durch eine Kompression des Drahtes zu erklären durch die Anziehungskraft der „beiden elektrischen Principe“! Man war völlig befangen im elektrostatischen Denken.

Fechner beschreibt eine Wirkung, „die man, solange man sie nicht selbst gesehen hat, für ganz unmöglich halten sollte“: Ein Platindraht, welcher durch die hindurchgehende Elektrizität im Voltaschen Stromkreis in seiner ganzen Länge zur Rotglut kommt, wird auf einem Teil mit einer Spiritusflamme zum Weißglühen gebracht; sofort hört das Glühen des anderen Teiles des Drahtes auf. Kühlt man ein Stück des rotglühenden Drahtes mit Eis ab, so werden die anderen Teile heißer! Das war einfach nicht zu verstehen.

Unmittelbar nach dieser Beurteilung der vorliegenden „Leitfähigkeits“-Versuche fand Ohm das Gesetz, daß längs jedes Teiles eines Leiterkreises, oder wie man damals merkwürdigerweise sagte, einer galvanischen (statt Voltaschen) Kette, ein Spannungsabfall vorhanden ist, welcher gleich ist dem Produkte aus Stromstärke und Widerstand. Mit dem Begriff des Spannungsabfalles oder des Gefälles hat er den Begriff des elektrischen Stromes als ein Fließen geschaffen.

War also die „geistige Vorbereitung“ zu der Konzeption dieser Vorstellung schon nicht gegeben, so waren die experimentellen Hilfsmittel erst recht nicht geeignet, dieses Gesetz schnell zu finden, das heute in jedem Schulpraktikum „bewiesen“ wird,

<sup>1)</sup> Oft wird falsch das Geburtsjahr 1787 angegeben. Getauft wurde Ohm als Johann Simon, aber schon auf der Schule in Erlangen hieß er Georg Simon. Als Geburtszeit ist in der Taufmatrikel des protestantischen Pfarramts Erlangen-Neustadt (18. März 1789) angegeben: 16. abends 3 Uhr. Recht viel Unklarheiten für die Aufstellung eines Ahnenpasses!

Daß auch *Ohm* sich sehr langsam nur von den alten Anschauungen frei machen konnte, zeigt sich daran, daß er die noch ganz in ihnen begründeten Versuche ausführlich angibt. So prüfte er, um ein charakteristisches Beispiel zu geben, ob die Abnahme der „elektrischen Kraft“, welche nach dem Kurzschließen eines *Volta*-Elementes durch einen Metalldraht beobachtet wurde, auch wirklich bei allen metallischen Leitern vorhanden ist. *Berzelius* verstand dies gründlich falsch: Er las heraus, daß die „leitende Kraft (!) des Leiters“ zuerst am größten sei. Dieser war überhaupt ein scharfer Kritiker *Ohms*. Als *Ohm* eine Entgegnung an *Schweigger* zur Veröffentlichung in dessen Journal schickte, riet dieser ihm, davon abzusehen. Er solle doch nur die verschiedensten Äußerungen von *Berzelius* über physikalische Dinge nachlesen, z. B. „über die Entdeckung des Elektromagnetismus, die ihm nicht sonderlich bedeutsam vorkäme“, und dann sich fragen, ob dessen Urteil über physikalische Dinge so hoch zu nehmen sei: „Niemand wird besonders darauf achten; *Berzelius* ist Chemiker, nicht Physiker!“

Die größte Schwierigkeit war die Inkonstanz der Elemente; sie ist schuld daran, daß die erste Fassung des Gesetzes falsch war: es war statt des linearen ein logarithmisches Gesetz. Das *Volta*-sche Element verlor während des Versuches seine Spannung, aber nach Unterbrechung des Stromes stieg die Spannung wieder an; sie „fluktuierte“, wenn man abwechselnd gute und schlechte Leiter in den Stromkreis brachte. *Poggendorff*, in dessen Annalen die erste Arbeit *Ohms* erschien, machte eine Anmerkung dazu: „Es wäre zu wünschen, daß der Herr Verfasser Muße fände, diese Gesetzbestimmungen mit der sogenannten thermoelektrischen Kette vorzunehmen. Die Wirkungen sind bei dieser bei weitem beständiger als bei der sogenannten hydroelektrischen Kette.“ *Ohm* greift diesen Hinweis auf und findet nun sofort das richtige Gesetz, welches er in der Form schreibt:

$$X = \frac{a}{b + x}$$

wobei *X* die Stärke der magnetischen Wirkung des Stromes auf eine genäherte Magnetnadel ist, *x* die Länge des zu untersuchenden Leiters bei gleicher Temperatur und gleichem Querschnitt, *a* eine konstante, von der erregenden Kraft abhängige Größe und *b* eine ebenfalls konstant gehaltene, von dem Leitungs-Widerstand aller übrigen Teile der Kette, also auch vom Bau des Multiplikators (s. o.!), abhängige Größe ist. Hier tritt zum ersten Male der Begriff des Widerstandes eines Leiters auf. In heutiger Ausdrucksweise ist *X* die Stromstärke, *a* die Spannung oder elektromotorische Kraft und (*b* + *x*) der Gesamtwiderstand der Leitung, in welchen, wie *Ohm* sehr bald erkannte, auch der innere Widerstand der Stromquelle einzubeziehen ist. Dies war von grundlegender Bedeutung für die Versuchsreihen mit veränderter Spannung durch Hintereinanderschaltung mehrerer Elemente, wobei nicht nur die Spannung, sondern auch der Widerstand erhöht wurde! Es bedeutet eine ganz große geistige Leistung, daß *Ohm* die Gültigkeit dieses Gesetzes nicht nur für den ganzen Stromkreis, sondern auch für jeden einzelnen Teil desselben einschließlich des Elements erkannte, wobei aber die Stromstärke in allen hintereinandergeschalteten Teilen eines Leiterkreises dieselbe ist, während die Verteilung des Spannungsabfalls längs der Leitung von der Beschaffenheit der einzelnen Leiterstücke abhängt.

\* \* \*

Wie kommt es nun, daß diese Leistung nicht anerkannt, sondern teilweise verkannt, teilweise gar nicht beachtet wurde? Nur einige wenige verstanden, was das *Ohmsche* Gesetz für die Weiterentwicklung der elektrischen Wissenschaft bedeutet: von Anfang an *Schweigger* und *Poggendorff*

und einige Jahre später — nach anfänglichem Widerspruch — *Fechner*. Hier ist zunächst darauf hinzuweisen, daß auch andere große Entdeckungen der Zeit, so z. B. die *Davy*-sche Bogenlampe, keine Beachtung fanden. Man ließ sich damals offenbar nicht sehr gern durch neue Entdeckungen aus seiner Ruhe bringen, und an technische Anwendung dachte man erst recht nicht. Viel schuld hat aber auch die nicht glückliche Abfassung der Abhandlungen und besonders des im Jahre 1827 erschienenen Buchs „Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet“. In den Aufsätzen in den Annalen der Physik wird auf umständliche Weise dargelegt, welche besonderen Erscheinungen — „Dreckeffekte“ würden wir es heute nennen! — die inkonstanten Elemente bringen; es fehlt die klare Darstellung, warum *Ohm* zuerst zu dem falschen logarithmischen Gesetz kam. Das richtige Gesetz ist zwar in den Annalen mit viel Zahlenangaben belegt — aber in seinem Buch erfährt man kaum, daß *Ohm* überhaupt Messungen gemacht hat; er schien alles, wie man später auch noch lange annahm, aus „hypothetischen Praemissen“ abgeleitet zu haben. Es lag in der Art seiner mathematischen Ausbildung, auch in der Strenge seiner Denkweise begründet, daß er erst zufrieden war, als er zeigen konnte, daß sein Gesetz sich auch rein logisch-mathematisch ableiten ließ.

Der dritte Grund für die Schwierigkeiten, die sich *Ohm* auf der Suche nach einer seiner Leistung würdigen Stelle und nach Mitteln für weitere experimentelle Arbeiten entgegenstellten, war der in Berlin herrschende und das Unterrichtsministerium beherrschende Hegelianismus, dem ein rein experimenteller Naturforscher von der Art *Ohms* gewiß nicht willkommen sein konnte!

Bis in die 40er Jahre mußte *Ohm* gegen Einwände auftreten, obwohl er damals schon deutsche und internationale Ehrungen erhalten hatte.

Noch einige Worte zu seinem Lebenslauf. *Ohm* ist der Sohn eines mathematikbegeisterten Schlossermeisters in Erlangen, der in seinem Sohn früh die Liebe zu dieser Wissenschaft weckte. Er studierte nur 3 Semester, war dann mehrfach Privatlehrer und kehrte 1811 nach Erlangen zurück. Er promovierte am 25. Oktober und wurde gleich Privatdozent für Mathematik. Damals ging das offenbar schneller als heute. Schon nach drei Semestern zwangen ihn finanzielle Sorgen zum Suchen nach einer Lehrstelle, die er erst in Bamberg (als Latein-Lehrer!), schließlich in Köln fand, wo er sein Gesetz entdeckte. Ein Jahr darauf nimmt er Urlaub, um besser arbeiten zu können, geht nach Berlin, kommt nach Jahren schwerster äußerer Bedrängnis 1833 in seine bayerische Heimat zurück an die polytechnische Schule in Nürnberg und endlich 1850 nach München, wo er zuerst Conservator des physikalischen Kabinetts der Akademie der Wissenschaften, dann Professor für Experimentalphysik an der Universität war. Er starb am 6. Juli 1854.

*Ohm* hat nicht nur auf dem Gebiet der Elektrizitätslehre gearbeitet. Von größter Bedeutung ist das andere Gesetz, das seinen Namen trägt: das *Ohmsche* Gesetz der Akustik, welches die *Fourier*-Analyse schwingender Metallplatten und die Analyse von zusammengesetzten Tönen durch das Ohr behandelt, eine Entdeckung, die erst durch *Helmholtz* ihre volle Würdigung erfuhr. Weitere Arbeiten betreffen optische Erscheinungen, auch Vorlesungsversuche. Auch schrieb er ein Lehrbuch der Physik. Seit dem Beginn seiner Arbeit trug er sich mit dem Gedanken, ein 4bändiges Werk über „Molekularphysik“ zu schreiben. Leider ist von diesem offenbar nichts erhalten außer dem ersten Band, der nur mathematische Hilfsmittel enthält.

Wenn wir bedenken, daß das *Ohmsche* Gesetz die erste quantitative Aussage über den elektrischen Stromkreis überhaupt war, daß es die erste und wichtigste Grundlage

für die gesamte Erforschung der elektrischen Erscheinungen und für jede Anwendung von elektrischen Strömen in Physik, Chemie, Biologie, in der Elektrotechnik sowie für die Meßinstrumente ist, so haben wir allen Grund, seine Entdeckung als ein weltgeschichtliches Ereignis, das sich in Deutschland abspielte, zu bezeichnen. Man ist gewohnt, die Erinnerung an große Staatsmänner und Feldherren, Künstler und Erfinder durch Gedenkfeiern wach

zu halten. Es wird deren Ruhm nicht herabsetzen, wenn wir auch die großen wissenschaftlichen Forscher nicht vergessen und so zum Bewußtsein bringen, daß eine naturwissenschaftliche Erkenntnis, deren voller Sinn und Bedeutung der breiten Öffentlichkeit oft nicht verständlich sein kann, auch eine Geistesleistung ist, ohne welche allgemeine Fortschritte und völlige Veränderungen der menschlichen Lebensverhältnisse gar nicht erfolgen können.

[A. 24.]

## Über die Herstellung und Anwendung neuerer Austauschadsorbentien, insbesondere auf Harzbasis (Auszug)\*)

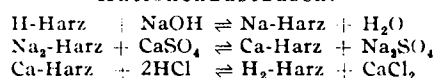
Von Dr. R. GRIESSBACH

I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Farbenfabrik Wolfen (Kreis Bitterfeld)

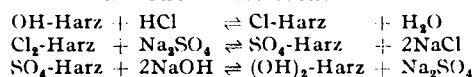
Eingeg. 1. März 1939

Während die bisher bekannten ionenaustauschenden Stoffe mehr oder weniger Naturstoffe sind oder sich bei ihrer Entwicklung zumindest an diese anlehnen, wurde in den letzten Jahren von englischen Forschern<sup>1)</sup> in Kunstharzen eine neue Klasse von Austauschkörpern entdeckt. Während jene aber als chemisch indifferenten Stoffe anzusprechen sind, weil durch die bekannten Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren saure oder basische Restvalenzen praktisch zum Verschwinden kommen, sind die Austauscherharze, begünstigt durch ihre Oberflächenentwicklung, chemisch sehr reaktionsfähige Körper; sie vermögen als polyvalente Festsäuren bzw. Festbasen mit Elektrolyten in umkehrbarer Weise zu reagieren, etwa gemäß nachstehenden Gleichungen:

### Kationenaustausch:



### Anionenaustausch:



Voraussetzung ist, daß die Harzkörper in dem flüssigen Medium, in welchem sich diese Umsetzungen abspielen sollen, praktisch unlöslich und ausreichend beständig sind, besonders in wäßrigen oder alkoholischen Lösungen von Salzen, Säuren und Basen. Weiterhin müssen die Umsetzungen mit mäßigen Reagensüberschüssen praktisch vollständig in eine Richtung gedrängt werden können.

Ausführliche Schrifttumsangaben über Anwendung und Herstellung von Kunstharzen als Adsorbentien finden sich im Original. Über die Theorie des Basenaustausches liegt eine große Anzahl in- und ausländischer Arbeiten vor. Auch bezüglich der theoretischen Behandlung von Austauschvorgängen sei auf das Original verwiesen.

In den letzten Jahren sind die Austauscher von der I. G., die die Grundpatente<sup>2)</sup> erworben hat, so weit entwickelt, daß heute Kunstharzaustauscher zur Verfügung stehen, die in ihren Eigenschaften und in der Vielseitigkeit ihrer Anwendung wesentlich über bisher bekannte Austauscher hinausgehen.

\*) Die ausführliche Arbeit erscheint als „Beiheft zu der Zeitschrift des Vereins Deutscher Chemiker Nr. 31“ und hat einen Umfang von etwa 16 Seiten, einschl. 17 Abbildungen. Bei Vorausbestellung bis zum 15. April 1939 Sonderpreis von RM. 1,95 statt RM. 2,60. Zu beziehen durch den Verlag Chemie, Berlin W 35, Corneliusstr. 3. — Bestellschein im Anzeigenteil.

<sup>1)</sup> Adams u. Holmes, J. Soc. chem. Ind., T 54, 1 [1935], sowie ferner: Lessing, ebenda Chem. & Ind. 57, 61 [1938]; Holmes, Bath u. Bath, Engin. 1938, 82; Adams, Chem. Age 38, 117 [1938].

<sup>2)</sup> Brit. Pat. 450308/309.

Als Grundkörper für die meisten Austauscherharze sauren Charakters können Harze ein- oder mehrwertiger Phenole mit Formaldehyd, also Harze vom Bakelit-<sup>3)</sup> Typ gelten, während die Austauscherharze basischen Charakters im Grundkörper sich an die Kondensationsprodukte von Anilinen mit Aldehyden anlehnen, also den Aminoplasten nahestehen. In die bezeichneten beiden Grundtypen von Harzen wurden nun in systematischer Arbeit stark austauschaktive, d. h. stark saure bzw. stark basische Gruppen tragende Komponenten, wie aromatisch oder aliphatisch gebundene Sulfosäuren<sup>4 5)</sup> bzw. aliphatische und aromatische Polyamine bzw. Ammoniumverbindungen u. dgl.<sup>6)</sup> einkondensiert und auf diese Weise Mischharze erhalten, deren Eigenschaften innerhalb weiter Grenzen beliebig abgewandelt werden können. Auch die Einführung aktiver Gruppen in Verknüpfung mit einem brückenbildenden Aldehyd (z. B. in Form von Aldehydsulfosäuren) erwies sich als technisch durchführbar, ebenso Kupplung von sauren und basischen Diazoverbindungen<sup>7)</sup>. Ebenso wie bei Farbindicatoren ist grundsätzlich eine ganze Stufenleiter von Austauscherharzsäuren mit beliebiger Säurestärke darstellbar; entsprechendes gilt für die basischen Harze. Bei den kationenaustauschenden Harzen besteht z. B. die Möglichkeit, die sauren Gruppen wahlweise in Form phenolischer Hydroxylgruppen, als Carboxylgruppen, als Sulfogruppen, sei es in den Kern oder sei es in die Seitenkette einzuführen. Auch der Einbau komplexbildender Gruppen (z. B. zur Anlagerung von Schwermetallverbindungen usw.) ist bisweilen wertvoll. Es ist ferner möglich, durch Einführung zusätzlicher Substituenten den sauren Charakter eines Harzes entweder zu verstärken oder abzuschwächen. Selbstverständlich muß der Einbau von austauschaktiven, hydrophilen, d. h. Quellung und Löslichkeit steigernden Gruppen in das hochpolymere Harzskelett innerhalb solcher Grenzen gehalten werden, daß die Forderung auf Wasserunlöslichkeit und chemische Stabilität des Harzes<sup>8)</sup> gewährleistet bleibt.

Unter Beachtung dieser Grundlinien gelang alsdann auch die Herstellung wertvoller Austauschharze auf breiterer Rohstoffbasis. Es wurden mit Erfolg Sulfosäuren höherer Kohlenwasserstoffe eingeführt bzw. als Grundkörper verwendet; an Stelle der Aldehyde wurden äquivalente Stoffe, bei Aminharzen z. B. Dihalogenide, eingeführt; es wurden

<sup>3)</sup> Geschütztes Warenzeichen.

<sup>4)</sup> Franz. Pat. 816448 u. 823808; vgl. auch Brit. Pat. 474361.

<sup>5)</sup> Die Einführung analoger saurer Gruppen des P, As und ähnlich reagierender Elemente hat bisher den obigen gegenüber keine Vorteile gebracht.

<sup>6)</sup> Franz. Pat. 820969 u. 830227.

<sup>7)</sup> Austauscher dieser Art sind ihrer Konstitution nach als hochmolekulare Farbstoffe anzusprechen.

<sup>8)</sup> Vgl. hierzu auch Holmes, bezüglich Harzen aus sulfitierten Gerbstoffen Bath usw., I. c.