

Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft

75. Jahrg. Nr. 6. — Abteilung A (Vereinsnachrichten), S. 79 — 118. — 3. Juni

WALTHER NERNST*)

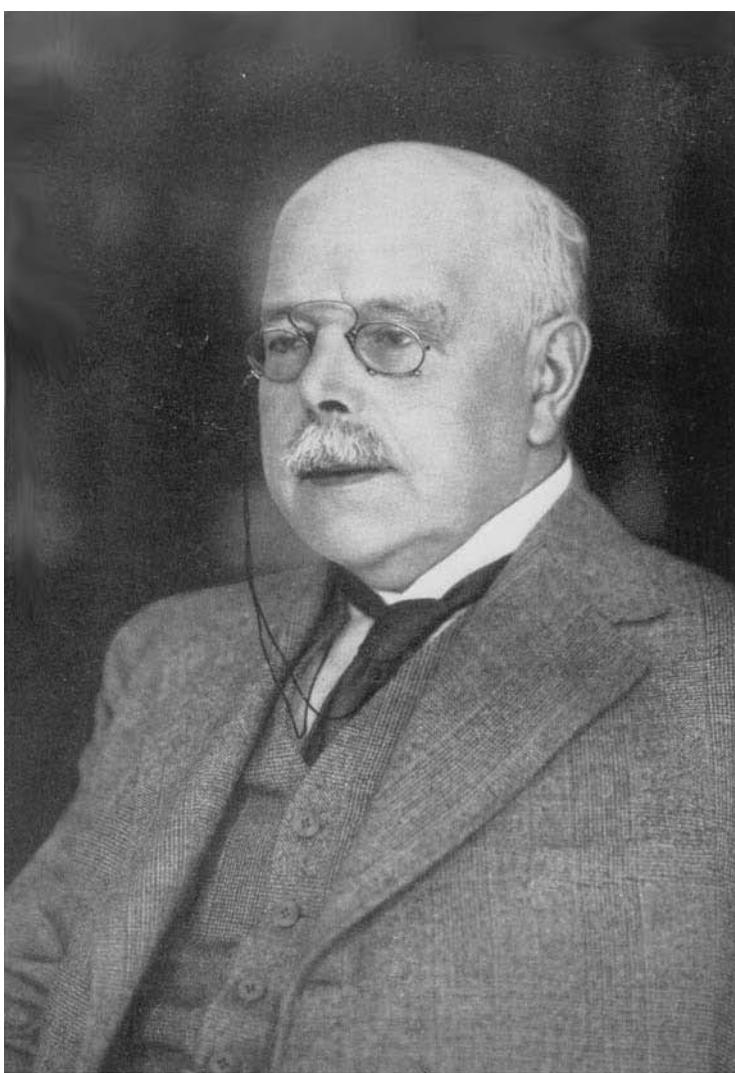
25. 6. 1864 — 18. 11. 1941

Walther Nernst ist am 25. Juni 1864 in Briesen in Westpreußen geboren. Sein Vater, der dort Landrichter war, wurde ganz kurz danach nach Graudenz versetzt, und diese Stadt wurde damit seine eigentliche Heimat, daneben aber auch die unmittelbar benachbarte Domäne Engelsburg, der Sitz seiner Großeltern. Hier fand der heranwachsende Knabe die Berührung mit dem Landleben und mit dem edlen Waidwerk, die beide ihm durch sein ganzes Leben Entspannung und Erholung gegeben haben. In Graudenz besuchte er das Gymnasium, in den letzten Jahren in einem Arbeitsraum im Keller des elterlichen Hauses vielfach mit chemischen und physikalischen Versuchen beschäftigt. Er absolvierte es 1883 als primus omnium, wobei er namens seiner Kommilitonen mit einer lateinischen Rede von der Schule Abschied nahm. Er hat damit offenbar auf seine Hörer erheblichen Eindruck gemacht, wie mir kürzlich einer von diesen, Herr Meißner, berichtete, auch ein Mitglied unserer Akademie, die diesem Gymnasium auch Röthe und Keibel verdankte.

Für das Studium lockte den Sohn des Nordostens der Süden des deutschen Sprachgebiets. Zürich, Würzburg und Graz waren in mehrfachem Wechsel die Hochschulen, an denen er sich dem Studium der Physik widmete, für ein Wintersemester durch Berlin, die Wirkungsstätte von Helmholtz, ersetzt. In Graz — wohin ihn der Ruhm Boltzmanns geführt hatte — fand er in v. Ettinghausen einen besonderen Lehrer und Freund, in Würzburg promovierte er Anfang 1887 bei Friedrich Kohlrausch summa cum laude mit einer bei v. Ettinghausen ausgeführten Dissertation „Über elektromotorische Kräfte, welche durch den Magnetismus in von einem Wärmestrom durchflossenen Metallplatten geweckt werden“.

1887 war für die Entwicklung unserer Wissenschaft ein gewichtiges Jahr: van 't Hoff's Theorie der verdünnten Lösungen und Arrhenius' Theorie der elektrolytischen Dissoziation erschienen, zum Teil allerdings schon anderweit bekanntgegeben, im ersten Band der von Ostwald und van 't Hoff neu begründeten Zeitschrift für physikalische Chemie, und im Herbst des Jahres übernahm Ostwald die Professur in Leipzig, von der

*) Nach einer in einer gemeinschaftlichen Veranstaltung der Preußischen Akademie der Wissenschaften, der Deutschen Bunsengesellschaft, der Deutschen Chemischen Gesellschaft, der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und der Deutschen Gesellschaft für Technische Physik am 24. April 1942 an Nernsts letzter Wirkungsstätte, in dem Physikalischen Institut der Universität Berlin, gehaltenen Gedächtnisrede von Max Bodenstein.



W. Nemst

die außerordentliche Entwicklung unseres Wissenszweiges ihren Ausgang nahm. Für diese Entwicklung war ein wesentliches Ereignis, daß Walther Nernst das Sommersemester 1887 wieder in Graz zubrachte, und daß dort Ostwald ihn kennenlernte, der, noch von Riga aus, auf einer Rundreise eine sehr große Zahl deutscher Hochschulen besuchte. Sie verabredeten, daß Nernst im Herbst eine Assistentenstelle bei Ostwald in Riga übernehmen sollte — sie wurde dann eine in Leipzig.

So trat Nernst in die Reihen der „Ionier“ ein, deren Lehre von der elektrolytischen Dissoziation damals bei vielen Fachgenossen geringes Verständnis und starken Widerspruch fand, und die er klären und festigen half durch Arbeiten, die in ihrer theoretischen Anlage wie in der experimentellen Durchführung gleich ausgezeichnet waren und dabei in einer Fülle und in einem Tempo erschienen, wie sie nur ein besonders begnadeter — und besonders fleißiger — Forscher zustande bringen kann. Dementsprechend war aber auch das Tempo, in dem die üblichen Stadien der akademischen Laufbahn durchschritten wurden: 1889, zwei Jahre nach der Promotion, die Habilitation, deren grundlegende Arbeit später zu würdigen sein wird, unmittelbar danach ein kurzes Sommersemester in Heidelberg als Assistent von Brühl, der als ältester Extraordinarius im Interregnum zwischen Bunsen und Viktor Meyer die große Chemievorlesung hielt, 1890 die Annahme einer Aufforderung von Riecke, bei ihm unter besonders günstigen Arbeitsbedingungen eine Assistentenstelle am physikalischen Institut in Göttingen zu übernehmen, mit der Zusicherung, dort bald Extraordinarius zu werden, 1891 ein abgelehnter Ruf nach Gießen und die Ernennung zum Extraordinarius in Göttingen, 1894 ein Ruf nach München (als Nachfolger von Boltzmann), der ebenfalls abgelehnt wurde, und die Ernennung zum Ordinarius mit der Zusicherung eines eigenen Instituts und der weiteren, von Althoff sogar schriftlich gegebenen Zusicherung einer Berufung in das Ordinariat für Physik nach Berlin für den Fall, daß das Finanzministerium den Bau des Instituts nicht genehmigen sollte. Dieser Fall trat nicht ein: eine geräumige Villa in der Bürgerstraße in Göttingen wurde zu einem schönen mit Dienstwohnung verbundenen Institut eingerichtet.

Dieses Institut entwickelte sich schnell zu einer Zentrale der physikalischen Chemie, in ähnlicher, wenn auch in manchem abweichender Weise wie das von Ostwald, darin aber gleich oder vielleicht noch stärker hervortretend, daß sein Wirkungsbereich bald durch die von allen Seiten zuströmenden Schüler den ganzen Erdkreis umfaßte. Göttingen vertauschte Nernst 1905 mit Berlin, wo er das durch Landolts Rücktritt frei gewordene „zweite chemische Institut“ zu einem dem Göttinger mindestens ebenbürtigen „Physikalisch-Chemischen Institut“ ausbaute, das er erst 1922 verließ, um das Präsidium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu übernehmen, der Universität jetzt nur noch als Honorarprofessor verbunden. Zu dieser aber kehrte er bald, 1924, zurück, diesmal als Leiter des Instituts für Experimentalphysik, das er bis zu seiner Emeritierung im Herbst 1933 innehatte.

In die Berliner Zeit fiel 1906 eine Aufforderung der Leipziger Fakultät, die Nachfolgerschaft von Ostwald zu übernehmen, die abgelehnt wurde, es fiel hinein Nernsts Beteiligung am Weltkrieg, in dem er als Mitglied des freiwilligen Automobilkorps bei der Armee Kluck die erwünschte Gelegenheit fand, sich an der Front zu betätigen, wobei er die Marneschlacht mitmachte und im Juni 1915 wegen Tapferkeit vor dem Feinde das

E. K. I. Kl. erwarb, weiter ein Jahr, 1921/22, in dem er das Amt des Rektors ausübte, und schließlich unzählige Ehrungen, Vortragsreisen und manches andere, von dem nachher zu berichten sein wird.

Schon 1907 hatte Nernst ein kleines Landgut in der Nähe von Berlin erworben, das ihm und der Familie in den Ferien als Ruhesitz diente, und in dem er insbesondere der Jagd oblag, sofern er nicht in manchmal weit geführten Reisen die nötige Erholung von der immer höchst intensiven Semesterarbeit fand. Es wurde später vertauscht mit dem Rittergut Ober-Zibelle bei Muskau in der Oberlausitz. Hierhin siedelte er nach der Emeritierung über. Hier widmete er sich in den letzten Lebensjahren neben den Karpfenteichen und der Jagd noch in erheblichem Umfang astrophysikalischen Betrachtungen, und hier schloß er am 18. November 1941 für immer seine Augen.

Das ist in kurzen Zügen der äußere Lebenslauf des Mannes, zu dessen Gedenken wir zusammengekommen sind. Seine Schilderung würde unvollkommen sein, würden wir nicht auch von der Familie sprechen, die ihn in seinen Mannesjahren begleitete. In Göttingen fand er 1892 in Emma Lohmeyer, der Tochter eines Kollegen aus der medizinischen Fakultät, die Lebensgefährtin, die ihm verständnisvoll und treu zur Seite stand, sowohl in den Zeiten des Glanzes, aber ebenso auch in den Tagen tiefen Leids, die ihm nicht erspart geblieben sind. Fünf Kinder entstammten der Ehe, zwei Söhne, die im hoffnungsvollsten Alter Opfer des Weltkrieges wurden, und drei Töchter, von denen zwei mit ihren Familien in der Ferne leben, durch die Nöte der heutigen Zeit so gut wie unerreichbar, so daß nur eines der Kinder den Eltern in den letzten Jahren des Entschlafenen nahe sein konnte, ein schweres Schicksal, das auch er als solches empfand — wenn er auch niemals darüber geklagt hat.

Gehen wir nun zur Besprechung der wissenschaftlichen Arbeiten von Nernst über, so treffen wir ihn in der Literatur zunächst gemeinsam mit seinem Lehrer und Freund v. Ettinghausen mit der Doktorarbeit „Über das Auftreten elektromotorischer Kräfte in Metallplatten, welche von einem Wärmetstrom durchflossen werden und sich im magnetischen Felde befinden“ und mit einer Fortsetzung dieser Untersuchung „Über das thermische und galvanische Verhalten einiger Wismut-Zinn-Legierungen im galvanischen Felde“. Gleichzeitig mit der letzteren erschien eine auf Ostwalds Anregung ausgeführte kleine Untersuchung über die „Bildungswärme der Quecksilberverbindungen“. Von diesen ist die letztergenannte bemerkenswert, nicht nur durch die Bedeutung ihres Inhalts, der in der Aufweisung eines Fehlers bestand, den der große Thermochemiker J. Thomsen in Kopenhagen bei der Bestimmung dieser Wärmetönungen gemacht hatte, sondern mehr noch durch die ideal glatte Erledigung dieser Kontroverse: im gleichen Heft der Zeitschrift für physikalische Chemie erschien von Thomsen eine Notiz, in der er auf Grund eigener, einer Anregung von Ostwald folgenden Messungen zu praktisch genau den gleichen Ergebnissen gelangte.

Der Anlaß zu dieser Nachprüfung war die Tatsache, daß mit den alten Wärmetönungen sich keine Übereinstimmung der an galvanischen Elementen mit Quecksilbersalzen gemessenen elektromotorischen Kräfte und den mit der Helmholtzschen Gleichung thermodynamisch berechneten ergeben hatte. So ist die Arbeit trotz des anders klingenden Titels die erste, in der

Nernst dem Problem des galvanischen Elements gegenübertrat, das er ganz kurz darauf in seiner Habilitationsschrift so grundlegend fördern sollte durch eine anschauliche kinetische Deutung der bis dahin nur thermodynamisch behandelten Vorgänge. Dieser Habilitationsschrift ging aber, man kann fast sagen als notwendige Vorbereitung, eine kinetische Behandlung von Diffusion und Leitfähigkeit der Ionen voraus; in zwei Abhandlungen „Zur Kinetik der in Lösung befindlichen Körper“ wird zunächst eine Darstellung der Diffusion gelöster Moleküle gegeben, in der als treibende Kraft der osmotische Druck und als Widerstand die Stöße gegen die Moleküle des Lösungsmittels erscheinen, wodurch die formale Gleichung des Fickschen Diffusionsgesetzes einen anschaulichen physikalischen Inhalt erhält, und es wird sodann gezeigt, daß sich die Ionen gerade so wie ungeladene Moleküle behandeln lassen, was sich dadurch erweist, daß ihre Diffusion vom Ort höheren osmotischen Drucks zu solchem von niedrigerem den gleichen Widerstand an den Molekülen des Wassers findet wie ihre Bewegung unter dem Einfluß eines elektrischen Spannungsgefälles, die in Leitfähigkeit und Überführungszahl ihren Ausdruck findet.

Diese Beweglichkeit der Ionen verwendet Nernst nun in seiner osmotischen Theorie der Erzeugung des galvanischen Stromes. Das Metall faßt er als ein Reservoir von Ionen auf — entsprechend dem, was wir heute mit Sicherheit wissen —, die von hier aus in eine angrenzende Lösung übertragen können. Die Tendenz hierzu, die „elektrolytische Lösungstension“, ist typisch für jedes Metall, groß für unedle, klein für edle. Bei diesem Übergang vermehren sie den osmotischen Druck der Ionen in der Lösung; es arbeitet also der Lösungsdruck gegen den letzteren, genau wie ein hoher Gasdruck gegen einen kleineren, und so wie hier ist es ohne Schwierigkeit möglich, die maximale Arbeit anzugeben, welche im Idealfall gewonnen werden kann, wenn ein Mol Ion von dem elektrolytischen Lösungsdruck expandiert auf den in der Lösung vorhandenen osmotischen. Diese zunächst in Liter-Atmosphären gemessene Arbeit erhalten wir als elektrische, können sie leicht in solche umrechnen, und so resultiert eine sehr einfache Gleichung, welche diese bzw. die elektromotorische Kraft in Abhängigkeit vom osmotischen Druck der Ionen und von der, allerdings nur durch diese Betrachtung und Rechnung definierten, elektrolytischen Lösungstension, dem Grade der Unedelheit des Metalls, zu bestimmen erlaubt.

Das ist eine Ausgestaltung der thermodynamischen Behandlung des Problems, die das Auftreten der Ladungen anschaulich verstehen läßt. Wenn positive Ionen aus dem Metall in die Lösung übertragen, so bleibt das Metall negativ geladen zurück, und ein Ausgleich der Ladungen durch den Schließungsdraht schafft den Stromfluß.

Aber ein galvanisches Element hat nicht nur die zwei Unstetigkeitsstellen, die zwischen den beiden Metallelektroden und den Flüssigkeiten liegen; es hat auch in den meisten Fällen eine dritte, die Grenze der beiden die Elektroden bespülenden Lösungen. Auch hier tritt eine Potentialdifferenz auf, sofern die Konzentrationen der beiden nicht gleich sind und sofern die Beweglichkeit von Anion und Kation verschieden ist. Auch diese wird, im Sinne der Betrachtungen der vorhergehenden Arbeit, verständlich und berechenbar, und es werden auch ein paar Kombinationen angegeben, in denen ausschließlich sie die elektromotorische Kraft bestimmt, die in bester Übereinstimmung mit der Berechnung gefunden wird.

Wir wissen heute, daß es nur für äußerst verdünnte Lösungen statthaft ist, die geladenen Ionen in ihren Bewegungen wie ungeladene Molekülen zu behandeln. Tatsächlich beeinflussen sich, sobald die Konzentrationen recht bescheidene Werte überschreiten, die Ladungen der Ionen gegenseitig, und nur ausgiebige Rechnungen, die wir insbesondere Debye und Hückel verdanken, erlauben, diesen Beeinflussungen Rechnung zu tragen. Als Nernst diese mit den frei beweglichen Ionen operierenden Betrachtungen anstellte, glaubte man, in den experimentell stets vorhandenen Abweichungen vom Verhalten ganz verdünnter Lösungen ein Zusammentreffen der Ionen zum undissoziierten Salz sehen zu sollen, und in diesem Sinne hat auch Nernst die Abweichungen gedeutet. Daß das heute nicht mehr als richtig gelten kann, ändert nicht das mindeste an der fundamentalen Bedeutung dieser Arbeiten. Denn für den idealen Grenzfall sind sie vollkommen korrekt, und schon in den experimentell zugänglichen Gebieten sind die Störungen bescheiden genug, um eine sehr befriedigende Übereinstimmung von Versuch und Rechnung zuzulassen.

Mit diesen drei grundlegenden Arbeiten hat sich Nernst dem Dreigestirn der an Jahren etwas älteren Forscher an die Seite gestellt, die damals die Grundlagen unserer physikalischen Chemie geschaffen haben: van't Hoff, der neben vielen anderen wichtigen Dingen die Theorie der Lösungen fand, Arrhenius, der die bei ihr beobachteten Abweichungen auf die elektrolytische Dissoziation zurückführte, und Ostwald, der neben ausgezeichneten eigenen Arbeiten die Sammlung und Organisation der Forschung vollzog. In der Folge hat sich Nernst zum weitaus aktivsten Mitglied dieser Vereinigung entwickelt.

Denn nun setzten sehr bald die Arbeiten des neu geschaffenen Göttinger Instituts ein. Hier gab es zunächst eine weitere Ausgestaltung der Erkenntnisse auf dem Gebiet der Elektrochemie wie die Ermittlung der Gesetze der Löslichkeitsbeeinflussung schwer löslicher Salze durch gleichionige Zusätze, oder die genaue Analyse der Vorgänge, die bei der Messung der Zersetzungsspannungen auftreten, wobei die „Restströme“ entdeckt wurden und ihre Zurückführung auf Diffusionsvorgänge, von wo aus wieder die Tatsache einer auch bei starker Rührung der Oberfläche des Metalls fest anhaftenden Flüssigkeitsschicht festgestellt und deren Dicke genau ermittelt werden konnte. Auch die bei kathodischer Abscheidung von Wasserstoff an den meisten Metallen auftretende „Überspannung“ wurde hierbei untersucht.

Die besonders starke Fähigkeit des Wassers, als Lösungsmittel elektrolytische Dissoziation hervorzurufen, wurde auf einen Zusammenhang dieser Fähigkeit mit der hohen Dielektrizitätskonstante zurückgeführt. Eine einfache Apparatur zur Messung dieser Größe in der Wheatstoneschen Brückenanordnung wurde dabei entwickelt, deren Prinzip, gleichzeitige Kompensation der dielektrischen Leitfähigkeit durch einen variablen Kondensator und der elektrolytischen durch einen variablen Widerstand, sich auch für Messungen der Leitfähigkeit sehr verdünnter Lösungen als nützlich erwies.

An diesen wurden die damals als Störung empfundenen Abweichungen der starken Elektrolyte vom Massenwirkungsgesetz verfolgt durch parallel laufende Messungen von Leitfähigkeit und Gefrierpunktserniedrigung, wobei für die erstere die eben erwähnte Methode in Anwendung kam, während für die letztere eine sorgfältige Analyse des Vorgangs durch Schaffung des

Begriffs der „Konvergenz-Temperatur“ und daneben eine der üblichen gegenüber verfeinerte Apparatur entwickelt wurde. Das praktisch wichtigste galvanische Element, der Bleiakkumulator, wurde ausgiebig untersucht; dabei wurde eine gründliche Anwendung der thermodynamischen Beziehungen zu einem Musterbeispiel der wissenschaftlichen Behandlung einer solchen Aufgabe ausgestaltet. Auch die Konstruktion besonderer Meßgeräte ist hier zu nennen, neben den beiden eben schon erwähnten die eines Quadrantenelektrometers, das von einer leichten, zweckmäßig verbesserten und zweckmäßig angeordneten Zambonischen Säule ständig geladen gehalten wird, oder die des eleganten Demonstrationsapparats zur direkten Messung der Ionenbeweglichkeit, der heute wohl in keiner Elektrochemie-Vorlesung fehlt. Auch eine erste versuchsmäßige Anwendung der Verstärkermethode in der Wheatstoneschen Brücke ist schließlich hier zu erwähnen.

In das Gebiet der Elektrochemie gehört auch noch eine kleine Untersuchung, in der die kathodische Polarisation einer dünnen, ein Gefäß abschließenden Platinalektrode sich alsbald auf ihrer Rückseite bemerkbar machte — durch Diffusion des Wasserstoffs durch das Metall, eine Erscheinung, die in der Folge wissenschaftlich und praktisch erhebliche Bedeutung erlangt hat. Vor allem aber ist unter den elektrochemischen Arbeiten noch eine zu nennen, die für ein scheinbar fernliegendes Gebiet erhebliche Auswirkungen gehabt hat: Es wurden die elektrolytischen Erscheinungen an der Grenzfläche zweier nicht mischbarer Lösungsmittel untersucht. Ihre Auswirkung war eine Theorie der elektrischen Nervenreizung, die sich folgendermaßen skizzieren lässt: Eine plausible Annahme ist, daß ein Reiz auftritt, sobald die Konzentration der Zellflüssigkeit an Salzen um einen bestimmten Betrag von der normalen abweicht. Schickt man einen Strom durch eine Lösung, so ändert sich im Innern derselben dadurch nichts, es wandern gleich viel Ionen ab wie zu. Wird aber die Lösung durch eine Membran begrenzt, so werden die Verhältnisse anders: In ihr ist die Beweglichkeit der Ionen eine andere als in der Lösung, an der Grenze werden sich also durch den Strom Konzentrationsveränderungen ausbilden. Werden diese durch Diffusion aus dem Innern der Lösung klein gehalten, so erfolgt nichts, überschreiten sie eine gewisse Größe, so tritt der Reiz auf. Verwendet man Wechselstrom, so kann man durch hohe Frequenz und kleine Intensität erreichen, daß die Diffusion die durch ihn bewirkten Änderungen ausgleicht. Senkt man die Frequenz oder steigert man die Stromstärke, so werden sie groß genug, um den Reiz hervorzurufen. Der Zusammenhang läßt sich berechnen, und in mehrfacher Wiederholung ausgebaute Versuchsreihen mit verschiedenen und verschieden vorbehandelten Präparaten von Froschmuskeln haben eine für solche Versuche überraschend exakte Übereinstimmung von Versuch und Rechnung ergeben.

Parallel mit diesen elektrochemischen Arbeiten gehen solche im Gebiet der allgemeinen physikalischen Chemie. Hier ist von allgemeinster Bedeutung die Ausgestaltung des Verteilungssatzes von Berthelot, der die Verteilung eines gelösten Stoffes zwischen zwei nicht mischbaren Lösungsmitteln oder einer Lösung und dem Dampfraum regelt, und zwar eine Ausgestaltung auch für den Fall, daß der Stoff nicht in beiden Phasen die gleiche Molekelgröße besitzt.

Ähnlich allgemein bedeutsam, wenn auch viel weniger angewandt, ist eine der Messung der Dampfdruckerniedrigung des Lösungsmittels analoge

Methode zur Bestimmung des osmotischen Druckes durch Ermittlung der Herabsetzung seiner Löslichkeit in einer zweiten nicht mischbaren Flüssigkeit; auch Betrachtungen und Versuche über die Wirksamkeit der halbdurchlässigen Membran sind hier zu nennen.

Einige Arbeiten haben Messungen der Reaktionsgeschwindigkeit zum Gegenstand; in homogenen Systemen insbesondere eine über die Geschwindigkeit des Zusammentritts von Essigsäure bzw. substituierten Essigsäuren mit Amylen zu Essigsäureamylestern und der entgegengesetzten Zerfallsreaktion, die im Zusammenhang mit den dabei sich einstellenden Gleichgewichten studiert werden, oder eine über Umsetzungen in heterogenen Systemen, in der für Reaktionen zwischen festem Körper und Lösung eine klare Zerlegung des Gesamtvorgangs vorgenommen wird in den physikalischen Akt der Diffusion des Gelösten zur Grenzfläche und den chemischen, die Umsetzung mit dem Festen, und in der gezeigt wird, daß in vielen Fällen der letztere so schnell ist, daß der erstere die Gesamtgeschwindigkeit bestimmt.

Ein gelegentlicher Ausflug in das Gebiet der Photochemie führt einige Lichtreaktionen zwischen Ionen in einer heute allerdings nicht mehr möglichen Einfachheit auf Übertragung der Ladungen zwischen ihnen zurück, einige Betrachtungen und Beobachtungen über die Theorie des Auerlichts und über elektrolytische Leitfähigkeit erhitzter fester Oxydgemische stehen im Zusammenhang mit der später zu besprechenden Konstruktion einer neuen Glühlampe.

Manche Einzelarbeiten wären hier noch zu nennen, doch treten diese alle zurück gegen die über ein sehr viel bearbeitetes Thema, das der Gasgleichgewichte bei hohen Temperaturen.

Diese sind charakterisiert durch das erfolgreiche Bestreben, auch solche Gleichgewichte zu messen, deren Bearbeitung schwierig ist, sei es durch ihre ungünstige Lage, d. h. die geringe Konzentration der auf der einen Seite der Reaktionsgleichung stehenden Stoffe, sei es — was häufig damit zusammenhängt — durch die hohe Temperatur, bei der gearbeitet werden muß. Der letztere Umstand hat zu erfolgreichen Bemühungen geführt, das Gebiet der für die Laboratoriumsarbeit zur Verfügung stehenden Temperaturen auszudehnen und dabei natürlich auch die zu ihrer Messung verwendbaren Methoden auszugestalten.

Die aus dem eben von Heraeus, Hanau, in verwendbare Form gebrachten Iridium hergestellte Birne für die Dampfdichte-Bestimmung nach Viktor Meyer, geheizt im Kurzschlußofen aus Iridium, verbunden mit der Temperatur-Bestimmung durch ein einfaches Pyrometer — in dem das Unsichtbarwerden eines durch einen Strom zu gleicher Helligkeit erhitzten „Nernst-Stifts“ durch die dazu nötige Stromstärke das Maß für die Temperatur abgibt — und verbunden mit der genial einfachen Mikrowaage und dem Ersatz der Messung des verdrängten Gasvolumens durch die Verschiebung eines Quecksilbertropfens in einer Capillare —, diese Kombination ist ein Musterbeispiel für die Eleganz, mit der — mit im Grunde sehr einfachen Mitteln — in winzigen Geräten unlösbar scheinende experimentelle Schwierigkeiten überwunden wurden.

Ein dem Iridium-Ofen analoger Kurzschlußofen aus Kohle diente zur Erhitzung von Kohlebüchschen, in denen die Bildungsbedingungen von Calciumcarbid studiert wurden. Es ist in der Folge ein unentbehrliches Hilfsmittel der Metallographie geworden. Devilles heiß-kaltes Rohr wurde zu einem quantitativ verwendbaren Gerät für Messung der Dissoziation

etwa von Kohlendioxyd und Wasserdampf ausgestaltet; eine kleine Platinbirne mit capillarem Stiel, in einem erhitzten Reaktionsgefäß angeordnet, erlaubte den Druck des allein durch sie hindurchdiffundierenden Wasserstoffs und damit den Partialdruck desselben im erhitzten Gleichgewichtsgemisch direkt manometrisch zu messen, und manches derartige Hilfsmittel und manche so erhaltenen Ergebnisse wären hier noch zu nennen.

Einer hierher gehörenden Untersuchung muß ich aber noch etwas ausführlicher gedenken, teils wegen des interessanten Problems und seiner eleganten Lösung, teils wegen allerlei in der Publikation erwähnter Nebenumstände. Um jene Zeit war die wirtschaftlich wertvolle Aufgabe der Fixierung des atmosphärischen Stickstoffs durch die Erhitzung der Luft im geeignet angeordneten Hochspannungsbogen technisch gelöst worden, und ihre wissenschaftliche Aufklärung beschäftigte verschiedene Fachgenossen. Dabei wurde allgemein angenommen, daß sich in der hohen Temperatur ein Gleichgewicht einstellt zwischen Sauerstoff, Stickstoff und ihrem Umsetzungsprodukt Stickoxyd, und es war daher die Ermittlung der Konstanten dieses Gleichgewichts in Abhängigkeit von der Temperatur eine wichtige Aufgabe — und eine schwierige Aufgabe. Denn das Gleichgewicht liegt bei einigermaßen leicht zugänglichen Temperaturen bei winzigen Stickoxyd-Konzentrationen, und wenn Temperatur und Stickoxyd-Konzentration höher werden, so wird die Reaktionsgeschwindigkeit so groß, daß der bei hoher Temperatur herrschende Zustand nicht leicht durch Abschrecken auf niedrige Temperatur gerettet werden kann.

Hier hat nun Nernst für die niedrigsten Temperaturen, wo die Erreichung des Gleichgewichts zu lange Zeiten erfordern würde, die Geschwindigkeit der Bildung und der Zersetzung des Stickoxyds gemessen und aus dem Verhältnis der beiden Geschwindigkeitskonstanten in an sich bekannter, aber hier zum ersten Male praktisch angewandter Weise die Gleichgewichtskonstante ermittelt. Bei hohen Temperaturen (d. i. etwa 2500°) konnten aus alten Bunsenschen Messungen die nötigen Unterlagen gewonnen werden. Bunsen hatte für die Ausarbeitung seiner eudiometrischen Gasanalyse Explosionsversuche mit Wasserstoff und Sauerstoff gemacht und darunter solche bei Gegenwart von Stickstoff. Diese lieferten stets ein Verschwinden kleiner Gasanteile. Das ließ sich auf die Bildung von Stickoxyd zurückführen, das, mit Sauerstoff und Wasser zu Salpetersäure umgesetzt, kondensiert wurde, und so erlaubten diese Messungen Nernst die Stickoxyd-Konzentration zu ermitteln, die bei der aus der Verbrennungswärme des Wasserstoffs berechenbaren Temperatur geherrscht hatte.

Für dazwischenliegende Temperaturen konnte ein meßbares Gleichgewicht eingestellt werden in einem Gefäß und Ofen von Iridium, die, wie schon erwähnt, kurz vorher von Heraeus in Form von gasdichten Stücken erhalten worden waren.

Was diese Arbeit nun über das eigentliche Thema interessant macht, sind die allgemeinen Bemerkungen über die Möglichkeit solcher Gleichgewichtsmessungen in strömenden Gasen, die Einzelheiten der verwendeten Anordnungen und Hinweise auf Möglichkeiten, ganz anders zu operieren. Hier findet sich auch die Anordnung eines in einem kühl gehaltenen Glasgefäß angeordneten, elektrisch erhitzten Platindrahtes, an dem sich das Gleichgewicht des sich zersetzen Wasserdampfes einstellt, so daß „der glühende Platindraht tatsächlich nach einiger Zeit ein beliebiges Wasserdampfvolumen

gleichsam mit der seiner Temperatur und dem Druck des Dampfes entsprechenden Dissoziation erfüllt“.

Hierunter steht die Fußnote: „Die Fortsetzung dieser Versuche überließen wir Herrn Langmuir, der demnächst darüber berichten wird.“ Dieser hat dann, wie bekannt, daraus in Kombination mit dem von Nernst kurz vorher in einer Boltzmann-Festschrift niedergelegten Zusammenhang zwischen „Chemischem Gleichgewicht und Temperaturgefälle“ seine Bestimmung der Dissoziationswärme des Wasserstoffs entwickelt, die den üblichen chemischen Methoden gänzlich unzugänglich war, und deren Wert dann später durch die spektroskopische Ermittlung ausgezeichnet bestätigt wurde.

Für all diese Reaktionen ist die Lage des Gleichgewichts durchaus individueller Art, es war unmöglich, und es war bis dahin den Bemühungen der besten Forscher nicht gelungen, ein allgemeines Prinzip zu finden, nach dem die Gleichgewichtslage aus anderweitigen Daten hätte vorausberechnet werden können. Nernst hätte kein ernster Forscher sein dürfen, wenn ihn dies Problem nicht bewegt hätte — diese Eigenschaft teilte er mit manchen Fachgenossen. Aber er hatte dabei Erfolg. In der letzten Zeit seiner Göttinger Tätigkeit entwickelte er die Ansätze zu seiner größten Leistung, der Aufstellung eines dritten Hauptsatzes der Thermodynamik.

Wie dieser abgeleitet wurde, davon will ich später sprechen im Rahmen einer allgemeinen Betrachtung über Nernsts Arbeitsweise. So sei hier nur sein Inhalt kurz geschildert. Die klassische Thermodynamik erlaubt uns, in den aus der Kombination der beiden Hauptsätze von Gibbs, Helmholtz, Horstmann, van't Hoff, Le Chatelier und anderen abgeleiteten Gleichungen aus der Wärmetönung einer chemischen Reaktion die Veränderlichkeit ihres Gleichgewichtes mit der Temperatur abzuleiten, aber nicht die absolute Lage des Gleichgewichtes, die Größe der Gleichgewichtskonstanten. Die für diese sich ergebende Gleichung

$$\ln K = \frac{U}{RT} - I$$

(K Gleichgewichtskonstante, U Wärmetönung, R Gaskonstante, T absolute Temperatur)

enthält vielmehr die Integrationskonstante I, über die auf Grundlage der beiden Hauptsätze nicht die leiseste Aussage gemacht werden kann.

Diese Konstante anzugeben, hat nun das „Nernstsche Theorem“ gelehrt. Sie erscheint in ihm als algebraische Summe von Konstanten, die den an der Reaktion beteiligten Stoffen eigen sind, und die für sie gerade so — d. h. in Wirklichkeit in viel höherem Maße — charakteristisch sind, wie die üblicherweise zur Definierung verwendeten Schmelzpunkte, Siedepunkte, Brechungsindices u. dergl. Diese „chemischen Konstanten“ lehrte Nernst damals ableiten aus den Kurven, welche die Dampfdrücke der Stoffe mit der Temperatur verbinden, und nachdem einige bekannt waren, war es möglich, solche für weitere Stoffe aus Gleichgewichten zu ermitteln, deren Lage bekannt war, und an denen einzelne Stoffe mit bekannten Konstanten beteiligt waren, so daß auf diese Weise ziemlich schnell eine recht erhebliche Sammlung „chemischer Konstanten“ zusammenkam.

Die grundlegende Voraussetzung für diese Erkenntnis aber war eine Vermutung über die Temperaturabhängigkeit sowohl der freien Energie als

auch der Gesamtenergie in der Nähe des absoluten Nullpunktes. Beide Größen, so war die Vermutung, werden mit der Annäherung an den absoluten Nullpunkt temperaturunabhängig, eine Annahme, aus der sich, wenn die Gesamtenergie (Wärmetönung) und ihre Temperaturabhängigkeit in höheren Gebieten gegeben ist, die freie Energie und deren Temperaturabhängigkeit berechnen lassen, zunächst für die in der Nähe des absoluten Nullpunktes ausschließlich existenzfähigen festen Stoffe und ihre Umsetzungen und von da aus dann mit den Dampfdruckkurven für die Gasreaktionen.

So stellte sich die Lage dar, als Nernst der Fachwelt seinen dritten Wärmesatz schenkte. Bald danach hat sich gezeigt, daß er eine notwendige Konsequenz der Quantentheorie ist, und daß andererseits die chemischen Konstanten theoretisch mit viel größerer Sicherheit aus spektroskopischen Daten berechnet werden können, als man sie seinerzeit ermitteln konnte, und wenn naturgemäß diese Berechnungen auch heute noch keineswegs für alle Stoffe möglich sind, weil längst nicht für alle die nötigen Unterlagen vorliegen, so verfügen wir doch jetzt über eine recht erhebliche Fülle von theoretisch wohl fundierten Berechnungen chemischer Gleichgewichte, die sich, wo das möglich war, durch den Versuch mit der Genauigkeit haben verifizieren lassen, die dieser letztere mitbringt.

Diese spätere Entwicklung setzt natürlich in keiner Weise Nernsts große Tat herab, die in der ersten Konzeption des Wärmesatzes bestand; sie hat seine Bedeutung vermehrt durch die größere Exaktheit der Ergebnisse, aber daß wir überhaupt mit ihm rechnen können, das verdanken wir Nernst, der sich mit dieser Leistung den großen Klassikern der Thermodynamik ebenso an die Seite gestellt hat, wie mit seinen ersten Ionen-Arbeiten den Begründern unserer heutigen physikalischen Chemie.

Und die Bedeutung des Wärmesatzes kann gar nicht überschätzt werden. Nicht nur für die wissenschaftliche Forschung, wo er uns über die Zusammensetzung von irgendwelchen Gasgemischen bei extrem hohen Temperaturen ebenso unterrichtet wie über die dabei auftretende Ionisation, wo er uns aus dem, was wir spektroskopisch in Sternatmosphären für deren Zusammensetzung ermitteln können, die dort herrschenden Temperaturen abzuleiten erlaubt, oder wo er uns bei bescheidenen Temperaturen etwa die Gleichgewichtskonzentrationen von Wasserstoff- oder Halogen-Atomen zu ermitteln gestattet in Gasgemischen, deren Reaktionswege uns interessieren, oder in tausend anderen Fällen. Nein, seine Bedeutung für die technische Forschung ist genau ebenso groß. Wollte man vorher die Ausarbeitung einer wirtschaftlich wertvollen Reaktion in Angriff nehmen, so war die einzige Möglichkeit, in ausgiebigen Laboratoriumsversuchen zunächst zu probieren, ob ihr Gleichgewicht so liegt, daß mit einer wirtschaftlichen Realisierung bei späterer Ausbildung mit einiger Aussicht gerechnet werden kann. So mußten der Ammoniaksynthese aus Stickstoff und Wasserstoff sehr mühsame Messungen des Gleichgewichts vorausgehen. Nach der Nernstschen Erkenntnis kann man diese durch eine Rechnung ersetzen, und wenn die genauen Unterlagen für diese nicht vorhanden sind, so genügen Näherungsgleichungen und Näherungswerte der Konstanten, um zu erkennen, ob es Sinn hat, dem Problem Mühe und Arbeit zu widmen. So war es wenige Jahre nach jenen Versuchen über das Ammoniakgleichgewicht Nernsts Schüler Pier möglich, für die Synthese des Methylalkohols aus Wassergas die Möglichkeit zu berechnen, deren technische Durchführung dann — wenn auch selbstverständlich nicht

ganz mühelos — vollendet werden konnte, und analog wird heute vernünftigerweise in allen Fällen verfahren.

Für die weitere, nun in Berlin erfolgende Forschertätigkeit von Nernst hat das Wärmethoerem eine unübersehbare, kaum zu bewältigende Fülle von Anregungen gebracht. Denn es galt natürlich, die Richtigkeit seiner Aussagen, die sich bei der ersten Darlegung nur auf ganz bescheidenes Material stützen konnten, durch genaue und diesen Zweck besonders angepaßte Messungen zu erhärten.

Der Wärmesatz hatte eine Beziehung geschaffen zwischen der Änderung der Gesamtenergie einer Reaktion und der freien Energie, zwischen der im Calorimeter meßbaren Wärmetönung und der maximalen Arbeit, welche die Reaktion im günstigsten Fall liefern kann. Für die Ermittlung der letzteren ist bei Umsetzungen, deren Partner variable Konzentrationen haben, in erster Linie bei Gasreaktionen, eine Kenntnis der Gleichgewichtskonstanten nötig. Für Reaktionen, die sich ausschließlich zwischen festen Stoffen abspielen, kann die freie Energie am einfachsten in Form der in einem entsprechend zusammengestellten galvanischen Element gemessenen elektromotorischen Kraft ermittelt werden. Für die Änderung der Gesamtenergie andererseits lagen die ausgiebigen Tabellen vor, in denen die zahlreichen und im ganzen hinreichend exakten Messungen der Thermochemiker gesammelt waren.

Aber diese Messungen sind alle bei Zimmertemperatur ausgeführt worden, und in die Gleichung des Nernstschen Wärmesatzes geht die Wärmetönung beim absoluten Nullpunkt ein und ihre Veränderung mit der Temperatur, die durch den Unterschied der spezifischen Wärme der Stoffe vor und nach der Umsetzung bedingt ist. Dabei waren unsere Kenntnisse über die spezifischen Wärmen damals sehr bescheiden, und es war daher in erster Linie nötig, diese an vielen Substanzen zu messen.

Daneben waren dann elektromotorische Kräfte an geeigneten Elementen zu bestimmen und Gleichgewichtskonstanten an Systemen, die teils nur Gase, teils Gase in Kombination mit festen Stoffen enthielten, ein gewaltiges Arbeitsprogramm, insbesondere deswegen, weil für die Bestimmung der spezifischen Wärmen, aber auch vielfach für die Untersuchung der Gasgleichgewichte, neue Verfahren ausgebildet werden mußten.

Für die erstere wurden zwei Methoden entwickelt, eine für tiefe, eine für extrem hohe Temperaturen, das Vakuum-Calorimeter und die Explosionsmethode. Beim ersten wurde von der Tatsache Gebrauch gemacht, daß das Vakuum die denkbar beste Wärmeisolierung ist, und daß bei den niedrigen Temperaturen auch die Strahlung kaum noch wirkt. So waren hier ideale Calorimeter-Bedingungen zu erreichen. Dafür war von wesentlicher Bedeutung, daß die zur Kühlung nötigen verflüssigten Gase damals ziemlich allgemein zugänglich geworden waren; doch war das noch längst nicht in dem Maße der Fall, wie wir das heute gewohnt sind. Die flüssige Luft mußte zunächst von einem einige Bahnstunden entfernten Werk geholt werden — was intensivsten Arbeitseinsatz von Meister und Mitarbeitern nach ihrem Eintreffen bedingte —, für die Verflüssigung des Wasserstoffs wurde ein verhältnismäßig einfacher Apparat konstruiert und mehrfach vervollkommen, und flüssiges Helium kam überhaupt erst in den spätesten Stadien dieser Arbeiten in Betracht, als nicht ohne erhebliche Verhandlungen nach dem Weltkriege eine Hergabe desselben von den nordamerikanischen Behörden

genehmigt worden war. Das Calorimeter bestand, sofern es sich um die Messung an einem Metall handelte, aus einem zylindrischen Blöckchen aus diesem Metall, das an einem schlecht wärmeleitenden Halter in einem Glasgefäß hing, das seinerseits von außen mit einem Kühlbad auf die gewünschte Temperatur gebracht wurde. Füllung des Gefäßes mit Luft oder Wasserstoff ließ das Blöckchen die Badtemperatur annehmen, die es behielt, nachdem das Gas weggepumpt war. Jetzt wurde ihm durch eine isoliert aufgewickelte Drahtspirale eine gemessene Menge elektrischer Energie zugeführt und die dadurch bedingte kleine Temperaturzunahme durch die Änderung des Widerstandes dieses Drahtes gemessen, eine bei der guten Wärmeisolierung ideale Meßtechnik, die sich zu großer Feinheit hat ausbilden lassen.

Waren andere Substanzen als Metalle zu untersuchen, so wurden sie in ein nicht allzu dickwandiges Metallgefäß eingefüllt, das mit Luft oder Wasserstoff zum Ausgleich der Temperatur zwischen Substanz und Hülle gefüllt war, im übrigen wurde ebenso verfahren.

Diese Art der Bestimmung hat den großen Vorzug, daß sie die in einem ganz engen Temperaturgebiet, für einen oder ein paar Grade, gültigen Werte liefert, die „wahren spezifischen Wärmen“ im Gegensatz zur „mittleren“, die man bei dem üblichen Verfahren, dem Einwerfen eines erheblich erhitzten Körpers in das Calorimeterwasser erhält. Der Vorzug war für die Ermittlung der starken Veränderlichkeit der spezifischen Wärmen im Gebiet der niederen Temperaturen von größter Bedeutung.

Ein wertvolles Nebenprodukt dieser Messungen war die Erkenntnis, daß sie sich auch für Gase ausführen lassen, wo sie direkt die c_v -Werte liefern: Bei hinreichend tiefen Temperaturen wird der Wärmeinhalt des Metallgefäßes so klein, daß er neben dem einer Gasfüllung zurücktritt, so daß deren Änderung bei der Erwärmung den Hauptteil ausmacht.

In dieser Weise sind sehr zahlreiche spezifische Wärmen gemessen worden, auch noch nach Nernsts Fortgang aus dem Berliner Institut von seinen alten Mitarbeiter:1.

Für hohe Temperaturen ließen sich nur mittlere spezifische Wärmen ermitteln, und zwar nach einem Verfahren, das zwar an Vorhandenes anschloß, dieses aber so gründlich verfeinerte, daß man auch hier von einem neuen Verfahren sprechen kann. Es ist die Messung des Explosionsdruckes, die seit Mallard und Le Chatelier und seit Bunsen viel gebraucht worden ist, aber erst in den Händen von Nernst und seinen Mitarbeitern zu genügender Präzision entwickelt wurde.

Das Prinzip der Methode ist, daß in einem mehrere Liter fassenden kugelförmigen Stahlgefäß eine explosive Gasmischung durch einen schwachen im Mittelpunkt überspringenden Funken gezündet und nun der bei der Explosion auftretende Druck gemessen wird. Dieser Druck liefert nach den Gasgesetzen die bei der Explosion erreichte Temperatur und, vereinigt mit der bekannten Wärmetönung des Vorgangs, die spezifische Wärme der Reaktionsprodukte, vorausgesetzt, daß die Umsetzung sich vollständig vollzogen hat. Ist das nicht der Fall, so erlaubt eine Kombination mehrerer Messungen mit varierten Konzentrationen der Partner, auch mit Zusatz von Argon, dessen spezifische Wärme bei allen Temperaturen konstant und bekannt ist, den Grad der Unvollkommenheit der Umsetzung zu ermitteln und damit neben der spezifischen Wärme der Reaktionsprodukte das Gleichgewicht zwischen Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten.

Es ist klar, daß dies Verfahren prinzipiell gut ist, aber ebenso, daß in die Ermittlung der beiden Größen so zahlreiche Daten eingehen, daß nur eine große Genauigkeit von diesen zu brauchbaren Werten für jene führen kann. So hat es sehr vieler Arbeiten bedurft, ehe das Ganze zur nötigen Exaktheit ausgestaltet war, wobei der grundlegend wichtige, schnell und richtig arbeitende Druckmesser die Gestalt einer kleinen Stahlmembran erhielt, deren bescheidene Durchbiegung durch einen reflektierten Lichtzeiger auf einem rotierenden Film abgebildet wurde.

Vakuum-Calorimeter und Explosionsdruck-Messungen waren die beiden hauptsächlichen Neuerungen der Meßtechnik, die entwickelt wurden. Daneben wurden insbesondere für die Ermittlung der Gasgleichgewichte mancherlei neue Gedanken verwirklicht, ähnlich wie oben bei den Messungen am Stickoxyd geschildert. Hierauf an dieser Stelle einzugehen, ist unmöglich.

Ebenso ist es unmöglich, die ausgeführten Messungen im einzelnen zu referieren. Es muß genügen, zu sagen, daß eine größere Anzahl Reaktionen ausschließlich zwischen festen Stoffen bearbeitet wurde, bei denen elektromotorische Kräfte das Maß für die freie Energie lieferten, und daß eine ganz außerordentliche Fülle von Gleichgewichten ermittelt wurde, bei denen nur Gase oder Gase und feste Stoffe beteiligt waren. Von diesen mag erwähnt werden, daß unter ihnen nicht nur solche waren, die nur bei sehr hohen Temperaturen eben meßbar werden, wie die Dissoziation von Wasserdampf oder Kohlendioxyd — deren Bearbeitung übrigens schon in Göttingen begonnen war —, sondern auch solche, an denen Atome beteiligt sind, wie der Zerfall der Chlormolekel in die Atome, der erst bei den höchsten in den Explosionen erreichten Temperaturen eine Rolle spielt.

Nur eine Reaktion mag besonders genannt sein, und zwar wegen ihrer wirtschaftlichen Bedeutung und der großen Annäherung an die technische Verwirklichung, zu der Nernst gelangt ist: die Synthese des Ammoniaks. Messungen von Haber und van Oordt aus dem Jahre 1905 stimmten nicht recht mit den Ergebnissen der Berechnung nach dem Wärmesatz überein. So wurden eigene Versuche angestellt, und da bei Atmosphärendruck der Prozentsatz des Ammoniaks im Gleichgewichtsgemenge sehr klein ist, so wurde in einem, wenn auch ziemlich primitiven, so immerhin durchaus brauchbaren Druckofen gearbeitet. Das Ergebnis entsprach der Erwartung, das Gleichgewicht lag etwas ungünstiger als bei jenen Messungen. Aber nicht das ist das Interessante an dieser Arbeit, sondern die Tatsache, daß hier schon mit Drucken bis 70 Atmosphären gearbeitet wurde, durchaus in der gleichen Größenordnung wie in dem späteren Verfahren von Haber und Bosch. Daß Nernst sich nicht um die technische Ausgestaltung bemüht hat, soll, wie man damals hörte, auf die Mitteilung eines bekannten Technikers zurückzuführen sein, daß mit derartigen Drucken und Temperaturen im Betrieb nicht gearbeitet werden könne.

In allen Fällen ergab sich hier wie an unzähligen Reaktionen, deren anderweit gemessene Gleichgewichte nach dem Wärmesatz berechnet wurden, eine Übereinstimmung zwischen den experimentell gefundenen Daten und den nach dem Wärmesatz berechneten innerhalb der Genauigkeitsgrenzen, die beiden zugeschrieben werden müssen. Diese sind allerdings keine sehr engen, längst nicht so eng, wie sie heute bei Berechnung nach dem Wärmesatz aus spektroskopischen Daten mit den Sätzen der Quantenmechanik erhalten werden. Doch sind diese dann auch wieder so viel genauer als die besten

chemischen Messungen, daß für die Prüfung der Übereinstimmung mit ihrer großen Genauigkeit nicht viel gewonnen wird, so wertvoll die auf diesem Wege gewonnenen Zahlen an sich für die Erkenntnis und für Verwendung zu den verschiedensten Berechnungen sind.

Gewissermaßen als Nebenprodukt ergab sich bei dieser Durcharbeitung des Gebiets die Tatsache, daß manche altbekannten empirischen Regeln eine Konsequenz des Nernstschen Wärmesatzes sind, so die Regel von Trouton über den Zusammenhang von Siedepunkt und Verdampfungswärme, einschließlich einer Korrektur für bei tiefen Temperaturen siedende Stoffe, die Nernst früher einmal halbempirisch, ich möchte fast sagen gefühlsmäßig an ihr angebracht hatte, oder ein gewisser Zusammenhang zwischen den Dampfdruckkurven und den kritischen Temperaturen, oder die Tatsache, daß feste Nitrate viel leichter zerfallen als die entsprechenden Carbonate und dergl. mehr.

Alle diese Ergebnisse können als Mehrung unseres chemischen Wissens zusammengefaßt werden. Daneben steht nicht minder bedeutsam die des physikalischen: Die ungemein gründliche Erforschung der spezifischen Wärmen, richtiger der Molar- oder Atomwärmen, in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur führte für die festen Stoffe zunächst zu einer empirischen Beziehung zwischen dieser Abhängigkeit und der Schwingungszahl ν der Atome, wobei diese Schwingungszahl aus einer anschaulichen Auffassung des Schmelzvorganges abgeleitet werden konnte, aber in der Folge auch aus optischen Daten, aus den elastischen Eigenschaften, aus der elektrischen Leitfähigkeit (bei Metallen) und aus der thermischen Ausdehnung. Diese empirische Formel erwies sich dann als in den Resultaten praktisch ganz, in der Form sehr nahe übereinstimmend mit einer, die Debye aus einer spezifizierten Anwendung der Quantentheorie auf die Schwingungen der Atome der festen Körper entwickelt hatte, wobei auch das aus dieser Debyeschen Theorie für die tiefsten Temperaturen gefolgte Gesetz, daß die Atomwärme proportional der dritten Potenz der Temperatur ansteigt, sich als den Tatsachen entsprechend ergab.

Damit wurden die Grundlagen für eine Theorie des festen Körpers gewonnen, die den „idealen festen Körper“ nahezu ebenso klar beschreibt, wie die kinetische Gastheorie das „ideale Gas“, ein Ergebnis von sehr allgemeiner Bedeutung.

Auch für die Molarwärmen der Gase haben sich mancherlei neue Erkenntnisse ergeben, doch sind diese, vielleicht abgesehen von dem Rückgang der Molarwärme des Wasserstoffs bei niedrigen Temperaturen, nicht so grundlegend neuer Natur, wie das bei den Festkörpern der Fall ist. Aber es verdient betont zu werden, daß alles, was hier über die verschiedenen Möglichkeiten zur Energieaufnahme bei Gasmolekülen ermittelt wurde, sich später bei der Deutung der Molekelspektren als zutreffend erwies, einschließlich einer Nullpunktsenergie, die Nernst postuliert hatte, und die dann in der Gleichung für die Quantenzahl der Rotationsquanten ihre Deutung erhielt.

Von noch allgemeinerem Wert aber war die sich bei diesen Forschungen entwickelnde Erkenntnis von der tieferen Bedeutung des Nernstschen Wärmesatzes. Ursprünglich sollte er die Frage beantworten: Wie können wir aus der Kenntnis der Wärmetönung einer chemischen Reaktion ableiten, ob unter gegebenen Bedingungen diese Reaktion eintreten kann oder nicht? Aber so wenig die Aussagen des ersten und zweiten Hauptsatzes der Thermio-

dynamik beschränkt werden können durch die Zuordnung irgendeines Vorgangs zur Chemie, zur Physik oder zu sonst einem der Gebiete, in die wir aus Zweckmäßigkeitssgründen unsere Kenntnisse und ihre Lehre einteilen, so wenig kann das mit dem Nernstschen Wärmesatz der Fall sein, sofern er eben ein dritter Hauptsatz der Thermodynamik sein soll.

Das kam zunächst darin zum Ausdruck, daß Nernst ihm eine Form geben könnte, die den axiomatischen oder richtiger empirischen Grundformen der ersten beiden Hauptsätze völlig analog ist, daß kein *perpetuum mobile* der ersten oder der zweiten Art möglich ist: „Es ist nicht möglich, eine calorische Maschine zu bauen, die einen Körper bis zum absoluten Nullpunkt abzukühlen erlaubt.“ Und aus dieser negativen Aussage folgt dann, daß alle Eigenschaften des festen Körpers einen derartigen Temperaturverlauf haben müssen, daß sie bei Annäherung an den absoluten Nullpunkt keine Änderung mehr erfahren. Das gilt für die thermische Ausdehnung, für die Oberflächenspannung, für die magnetische Polarisation — wenn auch hier bei einigen Stoffen erst bei außerordentlich tiefen Temperaturen, so daß die Verwendung dieser Eigenschaft die weitaus tiefste Abkühlung ermöglicht —, für dielektrische Polarisation und anderes mehr.

Diese Erkenntnis ist von Nernst nur allgemein ausgesprochen worden, ihre Übereinstimmung mit dem Versuch wurde im wesentlichen von anderen Forschern festgestellt.

Die Forschungen des Berliner Instituts waren im wesentlichen ausgefüllt mit den geschilderten aus der Aufstellung des Wärmesatzes sich ergebenden Arbeiten. Ein 1918 herausgegebenes Büchlein „Die theoretischen und experimentellen Grundlagen des neuen Wärmesatzes“ nennt in seinem Literaturverzeichnus für 1906—1916 nicht weniger als 108 hierher gehörige Publikationen. Aber ganz ausgefüllt waren damit weder Nernsts reger Geist noch die Arbeitskraft seiner großen Schülerzahl. So ist noch eine ganze Anzahl anderer Aufgaben bearbeitet worden, von denen ich indessen nur noch wenige hervorheben möchte.

Hier ist besonders auf einige photochemische Untersuchungen hinzuweisen, darunter auf eine, in der in einem möglichst einfachen Fall die Quantenausbeute bestimmt und mit dem Einsteinschen Äquivalentgesetz übereinstimmend gefunden wurde, in deren, wenn auch nicht unmittelbaren Verfolgung in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt die wichtige analoge Bestimmung an der photographischen Schicht von Nernsts Schülern Eggert und Noddack ausgeführt wurde; und auf eine zweite, nicht experimentelle, über die in der photochemischen Chlorwasserstoffbildung anzunehmenden Zwischenreaktionen, in der, wenn auch mit einer thermodynamischen Begründung, die wir heute nicht mehr gelten lassen können, die Atome von Chlor und Wasserstoff als die maßgebenden aktiven Zwischenstoffe postuliert werden — die heute mit aller Sicherheit als solche erwiesen sind.

Noch eine ganz isolierte Untersuchung ist von hohem Interesse, die sozusagen die Stellung des Wasserstoffs im Periodischen System der Elemente betrifft, und in der nachgewiesen wurde, daß er u. U. regelrecht als Halogen wirken kann: Das in seinem Salzcharakter dem Chlornatrium völlig analoge Lithiumhydrid wurde in geschmolzenem Zustand elektrolysiert, der Wasserstoff wurde an der Anode abgeschieden.

Nach der Übersiedlung in das physikalische Institut ist Nernst revenu à ses premières amours, indem er noch eine Reihe elektrochemischer Unter-

suchungen ausgeführt hat. Debye und Hückel waren in ihrer Theorie der starken Elektrolyte von der Vorstellung ausgegangen, daß die Salze hier tatsächlich vollkommen dissoziiert seien, und daß das, was im Sinne der klassischen Vorstellung von Arrhenius als teilweiser Zusammentritt zur undissozierten Molekel aufgefaßt wurde, in Wirklichkeit nur die gegenseitige Hemmung der Ionen durch ihre elektrostatischen Ladungen sei. Nernst hat in diesen Untersuchungen gezeigt, daß sich aus Präzisionsmessungen der Verdünnungswärmen auf eine, wenn auch ganz schwache, wirkliche Molekelbildung schließen läßt, die bei ihrem bescheidenen Umfang die Rechnungen von Debye und Hückel nicht stört, aber immerhin nicht null ist — eine gewiß höchst plausible Vorstellung, die das schroffe Nebeneinander der teilweise dissozierten schwachen Elektrolyte und des vollkommenen Zerfalls der Molekeln bei den starken verschwinden läßt.

Zum Schluß noch einige Worte über ein ferner liegendes Arbeitsgebiet von Nernst. Schon neben den Arbeiten über den Wärmesatz hat er sich, beginnend im Jahre 1912, ausgesprochen in einer kleinen 1921 erschienenen Schrift „Das Weltgebäude im Licht der neueren Forschung“, in seiner Rektoratsrede 1921 und in mehreren Abhandlungen aus den letzten Jahren mit astrophysikalischen und kosmologischen Problemen beschäftigt. Ihm, wie wohl uns allen, war der Gedanke unsympathisch, daß das Weltall eine vorübergehende Erscheinung sein soll, die allmählich dem Wärmestrom entgegengeht. Ihm war es ein stationäres Gebilde, in dem die Ausgleichserscheinungen kompensiert werden durch neues Auftreten großer Energiekonzentrationen. Dafür sprach ihm das häufige Auftreten der Novae, der neuen Sterne, und die Verteilung der vorhandenen Sterne auf die verschiedenen Altersklassen stimmte nach seiner Berechnung der Sternkataloge überein mit dem, was aus einer solchen Neubildung im Verein mit dem Altern als stationärer Zustand sich ergab.

Als Quelle der Energie, die die Neubildung hervorrief, postulierte er die Nullpunktsenergie des Lichtäthers, aus der, freilich ganz selten, aber bei den ungeheuren Räumen und ungeheuren Zeiten doch häufig genug, Materieatome entstehen sollten, um den Zerfallsverlust zu decken, — kühne Ideen, an sich physikalisch durchaus möglich, wenn auch dem Laboratoriumsversuch ihrer Natur nach unzugänglich, und vielleicht durch andere zu ersetzen, die wir wohl bald im Laboratorium werden nachprüfen können.

Dieser Überblick über die Arbeiten von Walther Nernst ist unvollständig und muß es aus verschiedenen Gründen sein. Der eine ist äußerlicher Art: Viele Untersuchungen sind nur unter dem Namen der Mitarbeiter erschienen und daher aus den vorhandenen Verzeichnissen nicht leicht dem Meister zuzuordnen. Manche sind Einzelgänger geblieben und sind daher schwer in einem solchen Überblick einzurichten, wie etwa eine ausgezeichnete Betrachtung über den Nutzeffekt des Brennstoffmotors und der Hinweis auf die Möglichkeit, wie er bis nahe zum Idealwert zu steigern wäre, der thermodynamisch äußerst einfach ist, aber praktisch jenseits jeder Möglichkeit zur Realisierung liegt, da er in folgenden Vorgängen besteht: Adiabatische Kompression der einzelnen Gase etwa von Wasserstoff und Sauerstoff bis zur Erreichung einer Temperatur von etwa 5000°, Mischung der Gase, wobei, da die Dissoziation des Wasserdampfes bei dieser Temperatur nahezu vollständig ist, praktisch kein Umsatz auftritt, arbeitsleistende Expansion, wobei die Vereinigung zu Wasser immer nahezu im Gleich-

gewicht erfolgt, — daher reversibel unter nahezu völliger Ausnutzung der Arbeitsfähigkeit des Systems. Die hierzu nötigen Gefäße sind natürlich nicht herstellbar. Doch hat sich Nernst auch mit der anderen Möglichkeit beschäftigt, den Vorgang zum Betrieb eines galvanischen Elements zu verwenden, des Brennstoff-Elements, das freilich bis heute auch nicht über die prinzipielle Verwendungsmöglichkeit hinausgelangt ist.

Noch mehr aber ist eine vollkommene Sammlung unmöglich bei den unzähligen Hinweisen auf theoretische und experimentelle Möglichkeiten, die meist mit den eigentlichen Themen der Abhandlungen nicht unmittelbar zusammenhängen, und die sich in diesen zum Teil in überreicher Fülle finden, stets Produkte einer lebhaften, freilich durch Kenntnisse und Kritik gezügelten Phantasie, dabei manchmal geistvolle Aperçus, manchmal etwas näher ausgeführt, manchmal in der Folge zu weiterer Ausgestaltung führend, manchmal als Meteore aufleuchtend, um bald der Vergessenheit anheimzufallen.

Und noch eine Bemerkung muß ich diesem Versuch, Nernsts wissenschaftliche Arbeiten zusammenzufassen, hinzufügen: Ich habe nirgends die Mitarbeiter genannt, die an ihnen beteiligt waren, um nicht das Ganze noch mehr als geschehen zu belasten und um zu vermeiden, daß der eine genannt wird, weil er gerade im Titel der Abhandlung steht, der andere nicht, obschon er nicht minder beteiligt war.

Nernsts Leistungen für die Wissenschaft sind aber mit diesen Originalarbeiten natürlich keineswegs erschöpft. Wieviel Anregungen er im Laboratoriumsverkehr den Schülern mitgegeben hat, aus denen sich später bei diesen wesentlichen Arbeiten entwickelten, das ist schwer im einzelnen anzugeben. Daß es in summa ein nicht geringes Maß an Förderung der Forschung bedeutet, ergibt sich klar aus den wenigen Fällen, wo man es aus persönlicher Kenntnis oder auch aus der Literatur verfolgen kann, insbesondere aus den Tagungsberichten, die Nernst immer und immer wieder als höchst aktiven Diskussionsredner erscheinen lassen, der stets und auf den verschiedensten Gebieten seines umfassenden Wissens mit größter Schnelligkeit, aber auch mit größter Sicherheit schwache oder der Ausgestaltung zugängliche Punkte in den gehörten Vorträgen erfaßte.

Dazu kommt der Einfluß seiner literarischen Tätigkeit, in den jüngeren Jahren seiner redaktionellen Arbeit an der Zeitschrift für Elektrochemie und seiner regelmäßigen Forschungsberichte im Jahrbuch für Elektrochemie, die gemeinsam mit Borchers herausgegeben wurden, dann aber vor allem der Einfluß seines Lehrbuchs: „Theoretische Chemie vom Standpunkt der Avogadroschen Regel und der Thermodynamik.“ Dieses erschien in erster Auflage 1893, nachdem es vorher schon, wenn auch in etwas kürzerer Form, als Einleitung in Dammers Handbuch der anorganischen Chemie herausgekommen war. Das Buch verbindet die Sicherheit thermodynamischer Betrachtungsweise in glücklicher und für die Folge vorbildlich gewordener Weise mit der anschaulichkeit der Darstellung vom Standpunkt der kinetischen Theorie. Wie es wirkte, kann ich aus eigener Erfahrung schildern: Ich war mit der Ausarbeitung meiner Dissertation über die Zersetzung des Jodwasserstoffs beschäftigt, und weder mein Lehrer Viktor Meyer noch der Schüler hatten, wie das damals für den normalen Chemiker selbstverständlich war, die leiseste Ahnung von Gleichgewichten und Reaktions-

geschwindigkeiten, für die unsere Versuche unverkennbare Beispiele gaben. Da brachte uns Nernsts Buch — neben den knapp gehaltenen „*Études de dynamique chimique*“ von van 't Hoff — im wahrsten Sinne die Erleuchtung, die dann natürlich mit Begeisterung auch für die übrigen Gebiete dem Buche entnommen wurde, in gleicher Weise vom Lehrer wie vom Schüler.

Und so hat dieses Buch unzählige junge und ältere Fachgenossen in unsere Wissenschaft eingeführt und ihnen dabei über die Vermittlung des vorhandenen und gesicherten Wissens hinaus Anregung gegeben. Denn gerade so wie in den Abhandlungen finden sich in diesem Buch, in der ältesten Auflage wie in den späteren, die bis 1926 in immer wiederholter Folge erschienen, immer Hinweise auf Entwicklungsmöglichkeiten, ausgesprochene und zwischen den Zeilen für den sorgfältigen Leser zu findende. Und daß das Buch auch im Ausland seine Wirksamkeit entfalten konnte, das wurde durch Übersetzung ins Englische, Französische und Russische nicht ermöglicht — das wäre nicht nötig gewesen —, aber immerhin kräftig erleichtert.

Ein zweites, gemeinsam mit Schoenflies herausgegebenes Buch „*Mathematische Behandlung der Naturwissenschaften*“, das von 1895—1931 in elf Auflagen erschien, war mehr eine rein lehrhafte, wenn auch sehr anregend geschriebene Einführung, und das 1918 und 1924 erschienene „*Die theoretischen und experimentellen Grundlagen des neuen Wärmesatzes*“ ist als zusammenfassende Darstellung der eigenen Arbeiten natürlich so anregend wie eine Abhandlung.

Den wissenschaftlichen Abhandlungen ist noch eine Reihe von Gedächtnisreden, von Glückwunschriften, von Jubiläumsartikeln anzuschließen, die immer in höchst persönlicher Weise ihrer Aufgabe gerecht werden und viel Interessantes enthalten.

Es ist ein gewaltiges Maß von wissenschaftlichen Leistungen, von denen ich im vorstehenden nur einen kurzen Überblick geben konnte. Nur ein ungewöhnlich klarer und beweglicher Verstand konnte eine so ungewöhnliche Fülle wertvollster Arbeit vollbringen. Und dabei war es gar nicht so sehr der nüchterne Verstand, oder mindestens nicht ausschließlich dieser, mit dem Nernst arbeitete. Er besaß in einem ganz ungewöhnlichen Maße ein Gefühl für das, was naturwissenschaftlich möglich ist, eine — er würde als Jäger mir diesen Ausdruck verzeihen — ungewöhnlich feine Nase für das Richtige und daneben eine glückliche Phantasie, die ihm erlaubte, auch schwierige Dinge sich — und uns — anschaulich darzustellen. So ist diese Anschaulichkeit, ja ein bewußtes Hervorkehren anschaulicher Darstellungsweise, ein wichtiges Charakteristikum seiner Arbeiten.

In seinem Lehrbuch hat er in allen Auflagen die thermodynamischen Hauptsätze dargelegt mit Hilfe des Begriffes der freien Energie: mit jedem freiwillig verlaufenden Vorgang ist eine Änderung der Gesamtenergie des reagierenden Systems verbunden, die wir in geeigneter Weise im Calorimeter als Wärme messen können. Nicht sie ist bestimmend dafür, ob der Vorgang tatsächlich eintreten kann, sondern die mit ihm verbundene Änderung der freien Energie, die wir nach Belieben ebenfalls in Form von Wärme, aber auch in Form von mechanischer Arbeit, elektrischer Arbeit oder dergl. gewinnen können. Das sind zwei höchst anschauliche Begriffe. Die mit ihnen operierenden Gleichungen sind vielleicht etwas komplizierter als die, welche sich aus der Anwendung eines anderen Begriffs, der Entropie, ergeben, und

wenn es wohl auch nahegelegen hätte, daß Nernst als Schüler und Verehrer Boltzmanns diesen bei der Darstellung der Thermodynamik benutzt hätte: Er hat das ausdrücklich abgelehnt, um jenen anschaulicher zu verwenden.

Seine osmotische Theorie der Erzeugung galvanischer Ströme ist geradezu ein Musterbeispiel für die anschauliche Herleitung eines Naturgesetzes. Die Metallelektrode, die ein Reservoir von Ionen vom elektrolytischen Lösungsdruck darstellt, die von diesem Druck nun expandieren auf den osmotischen Druck, den sie in der Elektrolytlösung besitzen, und die hierbei die gleiche Arbeit entwickeln wie ein Gas, das vom höheren Druck auf niederen expandiert, die dabei aber ihre Ladungen mitführen und so unmittelbar die Quelle des elektrischen Stromes im galvanischen Element darstellen — sie geben ein so unmittelbar anschauliches Bild für dessen Zustandekommen, daß das wertvoll wäre, auch wenn man nicht mit ihm in so vollkommener Weise die gewonnene elektrische Energie quantitativ hätte beschreiben können, wie es Nernst gelehrt hat.

Und sein dritter Wärmesatz! Wir haben nicht lange, nachdem Nernst ihn geschaffen hatte, gelernt, daß er eine notwendige Konsequenz der Quantentheorie ist und aus ihr in sehr einfacher Weise mit dem Entropiebegriff abgeleitet werden kann. So weit war aber damals, als Nernst ihn uns schenkte, die Quantentheorie noch nicht entwickelt, und der Weg, auf dem Nernst ihn fand, ist im höchsten Maße charakteristisch für seine Art zu arbeiten. Das Berthelotsche Prinzip: „nur solche Vorgänge sind möglich, die mit Wärmeentwicklung verbunden sind“, das identisch ist mit dem Satz: „freie Energie = Gesamtenergie“, muß streng gelten beim absoluten Nullpunkt. Bei höheren Temperaturen ist es an sich falsch. Und doch gilt es in den meisten Fällen sehr nahe auch noch bei unseren Temperaturen. Woran kann das liegen? Nur daran, daß, wie aus der Vereinigung der beiden klassischen Hauptsätze der Thermodynamik, aus der Helmholtzschen Gleichung, folgt, bei unseren Temperaturen die Temperaturabhängigkeit der freien Energie nahe gleich null ist, und daß dann auch die der Gesamtenergie verschwindend klein sein muß. Machen wir einmal die bisher nie erörterte Annahme, daß dieses Nullwerden vollkommen wird bei der Annäherung an den absoluten Nullpunkt, und sehen, was dabei herauskommt! Die Annahme erwies sich als richtig — und wurde nachher durch die Quantentheorie, ich möchte sagen überbestätigt —, und die Grundlage des dritten Wärmesatzes war gefunden. Natürlich war von der richtigen Grundannahme bis zur Ausgestaltung zur allgemeinen Anwendbarkeit des Wärmesatzes noch ein weiter Weg, und manche Rechnung war zu machen. Aber das waren keine grundsätzlichen Schwierigkeiten mehr. Die Gründannahme war mit feiner Intuition gefunden, das Weitere ergab sich dem gewandten Rechner von selbst.

Ein anderes Beispiel für seinen unfehlbaren Spürsinn möchte ich noch anführen, das mich nahe angeht, aber nicht deswegen, sondern weil es ungemein charakteristisch ist für Nernsts Arbeitsweise. Das schwierige Problem der Bildung des Chlorwasserstoffs beim Belichten der Wasserstoff-Chlor-Mischung, dessen Bearbeitung, von Draper 1843 begonnen, jetzt in ihr hundertstes Jahr tritt, war am Ende des Weltkrieges so weit gediehen, daß wir wußten, daß sie ausgeht von einem durch Lichtabsorption im Chlor sich bildenden aktiven Zwischenstoff, der mit Wasserstoff neben Chlorwasserstoff einen zweiten solchen erzeugt, der mit Chlor wieder neben Chlorwasserstoff den ersten regeneriert, so daß an den ersten Akt des Reaktions-

dramas eine lange Kette immer wechselweise wiederholter Umsetzungen sich anschließt. Was diese beiden hochreaktiven Zwischenstoffe waren, darüber herrschte keine Klarheit. Nernst schlug vor, es müßten die Atome von Chlor und Wasserstoff sein — was damals unmöglich erschien, weil die Energie des vom Chlor absorbierten Lichts nicht ausreichte, um die als richtig geltende hohe Bindungsfestigkeit der Chlormolekel zu überwinden. Aber Nernst störte sich nicht daran, obschon er diese damals zu 106 kcal angenommene Dissoziationswärme der Chlormolekel anführte — und er hatte recht. Es stellte sich heraus, daß sie in Wahrheit nur halb so groß ist, daß das Chlor vom Licht tatsächlich in Atome gespalten wird, und daß mit den Atomen von Chlor und Wasserstoff als Gliedern der Reaktionskette alle Beobachtungen sich zwanglos beschreiben lassen.

Tausende von Beispielen solch feinen Gefühls für das Richtige sind niemals in der Literatur festgelegt worden, sie blieben Äußerungen des Meisters im Laboratoriumsverkehr mit den Mitarbeitern und trugen hier ihre Früchte. Ja sie hatten gelegentlich die Gestalt der „richtigen“ Auswahl unter den in etwas weiten Grenzen schwankenden Messungsergebnissen, ein Verfahren, das mit Recht streng verpönt ist bei wissenschaftlicher Arbeit, und das doch in seinen Händen sich hie und da nützlich erwies — quod licet Jovi, non licet bovi, oder richtiger umgekehrt. Auch hierfür bietet seine erste Abhandlung über den dritten Wärmesatz einen Beleg: Die damals verfügbaren Daten über die Wärmetönung der Umwandlung des rhombischen Schwefels in die monokline Modifikation, über die spezifischen Wärmen der beiden Modifikationen und über den Umwandlungspunkt sind derart unsicher, daß ein seiner Sache minder sicherer Forscher allenfalls aus ihnen ableiten konnte, daß sie verträglich sind mit den Folgerungen des Wärmesatzes. Er sah in ihnen einen Beleg für dessen Richtigkeit und er hat auch hier recht behalten, trotz etlicher Kritik, die seine Beweisführung damals hervorrief.

Soviel von dem gedanklichen Rüstzeug seiner Forschertätigkeit, und nun noch ein paar Worte über das experimentelle, das in seinen Arbeiten eine kaum geringere Rolle gespielt hat. Seine völlige Vertrautheit mit den Methoden der Physik hat ihm hier natürlich ausgezeichnete Dienste geleistet, aber unter den unzähligen physikalischen Apparaten, die seine gewaltige Schülerzahl bei ihren Arbeiten gebraucht hat, fanden sich nur einige wenige Gruppen von solchen, die fertig von den Herstellerfirmen bezogen waren, wie die Meßinstrumente für Strom und Spannung und ähnliche. Fast alles übrige war nach den gerade auftretenden Bedürfnissen in der Werkstatt des Instituts angefertigt, und zwar nicht in schöner polierter Ausführung, sondern nur soweit korrekt, wie es dem Verwendungszweck entsprach. Ich habe als Nernsts Nachfolger im Berliner Institut einen Transformator vorgefunden zur Wandlung von Strom normaler Spannung in solchen von niedriger Spannung und großer Stärke. Der Eisenkern war ein Ring von vielen Blumendrähten, durch den dann die Wicklungen der Kupferdrähte mit großer Mühe hindurchgezogen worden sein müssen, das Ganze zwischen zwei Holzleisten montiert — ein ganz mißgestaltetes Gebilde, aber tadellos arbeitend.

Im ganzen hatte er das Bestreben, die Geräte so klein wie möglich zu machen, was, sobald man sich darauf eingestellt hat, die Arbeit zweifellos erleichtert und beschleunigt und sich auf den Materialverbrauch günstig

auswirkt. Bisweilen war geringer Materialverbrauch zwingende Bedingung wie bei der Iridium-Birne zur Dampfdichte-Bestimmung und dem Iridium-Kurzschluß-Ofen, für den jener Transformator wohl gewickelt worden ist. Und nicht immer waren die Geräte natürlich so wenig schön wie dieser. Die wunderbaren Calorimeter für das Arbeiten bei den tiefen Temperaturen, das Quadranten-Elektrometer aus der ersten Göttinger Zeit, die Manometermembran, die bei den Explosionsversuchen den Lichtzeiger auf ein rotierendes Filmband übertrug, und manche anderen Geräte waren sehr exakt gearbeitet, weil bei ihnen nur mit exakter Ausführung ihr Zweck erreicht werden konnte.

Die Arbeit des forschenden Experimentators ist eine dauernde Erfinder-tätigkeit: Stets sind für bestimmte Zwecke geeignete Geräte zu konstruieren oder Materialien auszuprobieren, genau so, wie wenn das Ziel nicht die Herstellung eines Hilfsmittels für einige wenige Messungen, sondern die eines Gebrauchsgeräts für das große Publikum wäre. Da würde es wundernehmen, wenn Nernst nicht über seine wissenschaftliche Arbeit hinaus sich auch gelegentlich als Erfinder betätigt hätte.

Das ist natürlich im Weltkrieg geschienen, wo seine Fähigkeiten in dieser Richtung von der Heeresleitung in Anspruch genommen wurden, ohne daß darüber viel veröffentlicht worden wäre. Aber er ist auch mit zwei Erfindungen an die Öffentlichkeit getreten, die beide an sich sehr erfolgreich waren — und doch beide keinen Bestand gehabt haben.

Die erste war die „Nernst-Lampe“, die um die Jahrhundertwende das Licht der Welt erblickte. Sie ging wohl ursprünglich von dem Gedanken aus, daß ein lumineszierender Körper, der bevorzugt sichtbares Licht ausstrahlt, wie der Auer-Strumpf, viel vorteilhafter als Lichtquelle sein muß als ein reiner Temperaturstrahler, und versuchte, einen solchen in Gestalt eines elektrisch geheizten Stifts aus einer ceroxydhaltigen Mischung hochfeuerfester Oxyde zu erzeugen. Aber auch nach der Erkenntnis, daß auch diese Mischungen nur gemäß ihrer Temperatur strahlen, blieben sie für die geplanten Zwecke geeignet. Man konnte ihre Temperatur wesentlich höher treiben, als das beim damals üblichen Kohlefaden möglich war, ohne ihn zu schnell zu zerstören. Die Mischung konnte an der Luft leicht auf etwa 2200° erhitzt werden, wenn sie vorher durch eine Hilfsheizung zu mäßiger Rotglut gebracht worden war. Denn bei Zimmertemperatur war sie ein Nichtleiter. Diese Vorheizung, die nach Einsetzen der Eigenleitfähigkeit des „Nernst-Stifts“ ausgeschaltet werden mußte, bedingte natürlich eine erhebliche Komplikation im Bau der Lampe, auch die Stromzuführungen an dem sehr heißen Ende des Stifts machten Schwierigkeiten, und schließlich mußte dem Stift ein die Spannungsschwankungen des Netzes ausgleichender Widerstand vorgeschaltet werden, ohne den die Temperatursteigerung nach Eintritt der Eigenleitfähigkeit dauernd zugenommen und somit zur Zerstörung der Lampe geführt haben würde.

Das alles bedingte gewaltige Konstruktionsarbeit und gewaltige Ver-suchstätigkeit, aber sie wurde geleistet, und es resultierte eine Lampe, die in die üblichen Sockel eingeschraubt von Laien bedient werden konnte, die den kleinen Schönheitsfehler hatte, daß sie etwa $\frac{1}{2}$ Minute nach dem Einschalten zum Anheizen brauchte, die dann aber eine Hefner-Kerze für $1\frac{1}{2}$ Watt lieferte, während die Kohlefadenlampe dafür $3\frac{1}{2}$ Watt brauchte.

Die Lampe war ein kleines Kunstwerk, und trotz allem war die Konstruktion so durchgebildet — in Zusammenarbeit mit der A. E. G. —, daß sie zu vernünftigem Preis geliefert werden konnte. So schien ihr eine weite Verbreitung gewiß, und trotzdem mußte sie sehr bald abtreten: Der in die alte Glühlampe eingesetzte Metallfaden, zunächst der Osmiumfaden von Auer von Welsbach, dann der Tantaldraht und der Wolframfaden bzw. -draht lieferten die gleiche Lichtausbeute bei wesentlich einfacherem Bau. Das ist aber unzweifelhaft ein gar nicht hoch genug einzuschätzendes Verdienst von Nernst, daß er durch seine Lampe mit Anstoß gegeben hat zum Bau der modernen Glühlampen — die ja inzwischen noch wesentlich verbessert worden sind — und damit auch in diesem wörtlichen Sinne der Menschheit Erleuchtung gebracht hat.

Ein Bestandteil der Lampe wird übrigens auch heute noch viel benutzt, der zum Ausgleich der Spannungsschwankungen dienende Widerstand, der aus einem Eisendraht in einer Wasserstoffatmosphäre besteht und der damit eine eigene Erfindung darstellt. Auch der „Nernst-Stift“ dient noch heute oft bei wissenschaftlichen Untersuchungen.

Es mögen an dieser Stelle einige Worte über Nernsts Stellung zur Frage des Patentnehmens gesagt werden. Daß diese Lampe nur als patentrechtlich geschützte Erfindung denkbar war, das ist selbstverständlich. Aber auch einen Patentschutz für technisch verwendbare, an sich rein wissenschaftliche Beobachtungen hielt er nicht für unangebracht. So hat er mir — wie wohl auch anderen — einmal mit aller Bestimmtheit erklärt, daß Röntgen dadurch, daß er seine Strahlen unmittelbar der Welt zugänglich machte, der technischen Entwicklung der Röntgenröhre und damit auch ihrer wissenschaftlichen Anwendung keinen Dienst erwiesen habe. Einen geschützten Erfindungsgedanken technisch auszustalten, dazu kann eine Firma große Mittel aufwenden, da mit ihrer späteren Wiedereinbringung gerechnet werden kann, an ungeschützten Ideen experimentieren viele herum, aber jeder mit bescheidenen Mitteln, die die Sache nicht flott fördern können.

Dem wird vielleicht nicht jeder Wissenschaftler zustimmen, obschon es grundsätzlich sicher richtig ist. Eine andere Äußerung über Patente aber, die sogar in der Literatur festgelegt ist, kann allgemeiner Zustimmung sicher sein: die Feststellung, wie schwer es ist, ein Patent richtig abzufassen. Jeder, der auch nur in bescheidenem Umfang als Gutachter in Patentprozessen zu tun gehabt hat, kennt die unendliche Arbeit, die sich aus Unklarheiten der Patentschriften immer und immer wieder ergibt.

Nernsts zweite Erfindung lag auf völlig anderen Gebiet als die Lampe, sie betraf den Bau eines Flügels, bei dem die Energie der tönenenden Schwingung von Saite und Resonanzboden nicht durch den Anschlag des Spielenden geliefert wurde, sondern von einer äußeren Quelle elektrischer Energie, die nur durch den Anschlag der Taste und die Bedienung der Pedale vom Spielenden gesteuert zu werden brauchte. Der energieliefernde Anschlag ist ein einmaliger Akt, dessen Wirkung sich rasch verbraucht, so daß der Ton schnell abklingt; die Zufuhr von außen kann fließen, bis sie abgestellt wird. Der Ton des „Neo-Bechstein“ war daher ein anhaltender, der in den mittleren Lagen im übrigen dem eines guten Flügels sehr nahestand, in den hohen und tiefen Lagen aber ganz außerordentlich viel wohlklingender war. M. E. verhält sich der Neo-Bechstein zum heutigen Flügel wie dieser zum Cembalo. Nernst hat diesen Flügel in der Physikalischen Gesellschaft und in kleinerem

Kreise mehrfach vorführen lassen, auch die herstellende Firma tat dasselbe in ihren Vorführungsräumen — er hat sich nicht eingeführt. Der Grund liegt zweifellos in der für solche Neuerungen wirtschaftlich denkbar ungünstigsten Zeit nach 1930; aber, ich glaube, nicht daran allein. Ich habe ein paarmal einer Vorführung beigewohnt und immer das Gefühl gehabt, als könnten oder wollten die Künstler das Instrument nicht meistern. Denn selbstverständlich müßte sich die Technik des Spielers den Besonderheiten des Instruments anpassen; das zu lernen, war wohl nicht leicht, und es zu lehren, war dem Erfinder versagt, da er selbst zwar ein großer Physiker, aber gar kein Musiker war.

Für ihn war übrigens diese Erfindung eine Feierabend-Beschäftigung, eine „physique amusante“, wie er sie bezeichnete.

Wie erschien nun Nernsts Persönlichkeit dem Schüler, dem Assistenten, dem Kollegen? Seine Vorlesung war durchaus persönlich; glänzend anregend, solange er Dinge vortrug, die ihn interessierten und an denen er selbst — oft genug während des Vortrags — arbeitete, nicht ganz so, wenn es sich um Berichte über altbekannte Dinge handelte, in allen Fällen höchst individuell und vielfach durchflochten mit persönlichen Erinnerungen an Kongresse, an Besuche der in der Vorlesung erwähnten Forscher bei ihm oder an seine Besuche bei ihnen, an Verhandlungen über Festlegung der Maßgrößen und ihrer Namen und ähnliche Dinge, an denen sein Leben so reich war.

Daß der Laboratoriumsunterricht äußerst anregend war, ist nach allem früher Gesagten selbstverständlich. Aber im Institut war Nernst nicht nur anregend, sondern auch durchaus anspruchsvoll. So wie er gewohnt war, schnell zu denken und intensiv zu arbeiten, so erwartete er dasselbe auch von seinen Mitarbeitern, und er konnte seinem Mißfallen kräftigen Ausdruck geben, wenn er nicht die nötigen Kenntnisse antraf oder — was allerdings kaum vorkam — nicht den nötigen Eifer. Ich habe einmal als blutiger Anfänger in der physikalischen Chemie ein aus äußeren Gründen stark verkürztes Semester im Göttinger Institut zugebracht an einer Arbeit (der Messung des Dampfdrucks von festem Chlorammonium durch Mitführung in übergleiteter Luft), die aus Gründen, die wir heute kennen, keine klaren Ergebnisse lieferte. Da machte er mir, als ich plötzlich abbrechen mußte, den Vorschlag: „Bauen wir doch ein galvanisches Element von der und der Art und messen die elektromotorische Kraft, dann haben wir ja gleich die Größe, die uns interessiert“ — , worauf ich ihn gänzlich verständnislos ansah und er mir erklärte: „Sagen Sie um Gottes willen niemals jemandem, daß Sie bei mir Elektrochemie gehört haben!“

Das war wohl nicht so tragisch gemeint und hat jedenfalls unser gegenseitiges Einvernehmen damals und in der Folgezeit nicht im mindesten geschädigt. Aber gelegentlich waren solche ablehnenden Äußerungen auch wohl ernsterer Art und sind von ernsteren Wirkungen gewesen.

In der Diskussion war er, wie ebenfalls zu erwarten, sehr lebhaft und energisch beim Verfechten seiner Meinung. Aus der Literatur möchte ich als ein Beispiel die Diskussion nennen, die er 1907 auf der Hamburger Tagung der Deutschen Bunsen-Gesellschaft über das Ammoniak-Gleichgewicht mit Haber geführt hat, die bei der im Grunde gar nicht großen Differenz beider Standpunkte eigentlich unnötig scharf war, oder als zweites eine Kritik, die er einer Arbeit von Arrhenius und Madsen zuteil werden ließ, die auf

die Beziehungen zwischen Toxin und Antitoxin das Massenwirkungsgesetz angewandt hatten. Er zeigte hier in klarer Weise, daß das nicht statthaft ist, und das wird zwar durchaus sachlich, aber doch in sehr kräftigen Worten dargelegt, die eine von einem früheren Angriff von Arrhenius' Seite her vorhandene Mißstimmung noch vertieften, so daß es längerer Jahre bedurfte, bis die alte Freundschaft der beiden großen Männer wiederhergestellt war. Solche, meist allerdings kurzen Erörterungen sind unter Nernsts Abhandlungen sehr zahlreich, gewöhnlich sind es Zurückweisungen von Angriffen, die andere gegen seine Arbeiten gerichtet hatten, auch diese bei aller Schärfe immer sachlich, aber doch vielfach das Bedauern über die Notwendigkeit einer Auseinandersetzung mit solchem Dummkopf durchschimmern lassend.

Genau so konnte er als scharfer Kritiker in der Diskussion auf den Tagungen oder im Kolloquium auftreten, meist mit Recht, gelegentlich zu weitgehend in der Verdammung von Anschauungen, die sich nachher zu allgemeiner Anerkennung durchgesetzt haben.

Das war der Wissenschaftler. Ein Institutsleiter hat aber noch zwei andere Seiten, die des Verwaltungsbeamten und die des Vaters seiner Mitarbeiter. Die erstere war bei Nernst nicht sonderlich entwickelt, mindestens nicht in dem Sinne, daß er auf eine gute Registratur oder ein gut geführtes Inventarbuch irgendwelchen Wert gelegt hätte. Alle diese Dinge mußten so weit in Ordnung sein, daß Vorlesung und wissenschaftliche Arbeit gut liefen, ein Mehr war gänzlich unnötig. Das hinderte freilich nicht, daß er, wenn auch in anderer Art, sich gelegentlich freiwillig auch in der Verwaltung betätigt hat, ein Jahr als Rektor der Universität, wobei die Inflation, die damals in starker Entwicklung war, seine Tätigkeit nicht gerade erleichtert haben dürfte, und ferner eine Zeitlang als Stadtverordneter, wovon mir außer dieser Tatsache nichts bekannt ist.

Daß er in der Deutschen Elektrochemischen Gesellschaft, der späteren Bunsen-Gesellschaft, dann in der Deutschen Chemischen Gesellschaft und in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft je eine Amtsperiode lang den Vorsitz geführt hat, das hat ihn nicht zu schwer mit Verwaltungsarbeit belastet. Wenn in diesen Gesellschaften der Vorsitzende nicht besondere organisatorische Neigungen hatte, konnte er die Verwaltung mit gutem Gewissen den ständigen Organen überlassen und den Vorsitz im wesentlichen repräsentativ führen.

Eine erhebliche und erfolgreiche organisatorische Tätigkeit hat Nernst einmal bei einer besonderen Gelegenheit entwickelt, indem er als geschäftsführendes Mitglied eines Ausschusses zur Vorbereitung einer chemisch-technischen Reichsanstalt für diese Propaganda machte und erhebliche Summen aus der Industrie, auch der englischen, zugesagt erhielt. Die Vorbereitungen waren, großenteils dank seiner Aktivität, ziemlich abgeschlossen, als die Sache durch das Eingreifen Kaiser Wilhelms ein anderes Gesicht erhielt: Es wurde die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft gegründet, deren erste Institute das für Chemie und das für Physikalische Chemie und Elektrochemie waren.

Und nun der Vater des Instituts! Alle alten Göttinger Mitarbeiter sind heute noch erfüllt von dem schönen gemeinsamen Leben, das dort herrschte. Davon war ganz gewiß ein wesentlicher Teil die gemeinsame Arbeit, gemeinsam in dem Sinne, daß zwar jeder seine Einzeluntersuchung

betrieb, daß aber doch jeder für die Arbeiten der anderen Interesse hatte, und daß dieses Interesse in ständigem persönlichen Gedankenaustausch und im Kolloquium seine Befriedigung fand. Aber darüber hinaus gab es auch mancherlei gemeinsame gesellige Veranstaltungen, winterliche „Nernst-Feste“ und sommerliche Ausflüge, die jede in ihrer Art einen ganz besonderen Reiz gehabt haben müssen, wo der Chef und seine Gattin sich froh und ungezwungen im Kreise der gar nicht so viel jüngeren Institutsmitglieder bewegten und wo allerlei zum Teil auf Ideen des Chefs — oder auch auf Stiftungen von ihm — zurückgehende Beigaben die Feste verschönern halfen.

Hier war es einmal eine besondere Seite von Nernsts Veranlagung, die ein besonderes Moment hineinbrachte. Er ist niemals im eigentlichen Sinne Sportsmann gewesen, weder Bergsteiger, noch Turner, noch Skiläufer, und auch eine gelegentliche Fahrt im Freiballon kann kaum als sportliche Betätigung angesehen werden. Aber er war ein eifriger Automobilist, und zu der Zeit, als das Auto sich eben bei uns einführte und Nernst einen Wagen nach dem anderen durchprobierte, war das bestimmt noch ein durchaus ernst zu nehmender Sport, hinter dem bei ihm freilich das Interesse des technisch interessierten Wissenschaftlers steckte.

Und durch zwei damals gleichzeitig in Betrieb befindliche Wagen wurde ein solches Sommerfest auf dem Lande mit strahlender elektrischer Beleuchtung verschönt, indem der Motor des elektrischen Wagens, vom Benzinkotor des anderen angetrieben, als Dynamo lief. Dies Fest soll übrigens in einem Zelt stattgefunden haben und heillos verregnet gewesen sein und lebt daher als „die Wasserpantomime“ in der Erinnerung der Teilnehmer.

In Berlin waren Institut und Stadt viel größer, allmählich auch der Altersunterschied und die anderweite Beanspruchung des Institutsleiters. Ausflüge und ähnliche Veranstaltungen wurden bis zum Schluß beibehalten, aber der fröhliche Geist der Göttinger Zeit hat doch wohl nur noch als Abglanz über ihnen gelegen.

Dafür entwickelte sich hier die repräsentativere Geselligkeit, die natürlich auch in Göttingen schon gepflegt worden war, in größerem Ausmaße. Ich erinnere mich eines Abends, an dem eine bauliche Erweiterung des Berliner Instituts im Kreise der Vertreter der Ministerien, einiger Kollegen und einiger Mitglieder der Industrie — zu der Nernst stets ausgezeichnete Beziehungen gehabt hat — in festlichem Rahmen gefeiert wurde, und Emil Fischer war dem nach Berlin übergesiedelten neuen Inhaber des „Zweiten Cheniischen Instituts“ — den er vor 18 Jahren in Würzburg beim rigorosum geprüft hatte — sehr dankbar, als sich herausstellte, daß er und seine Gattin geneigt waren, die gesellschaftliche Repräsentation der Berliner Chemie auf sich zu nehmen.

Ich würde gern noch einige Worte sagen von den Schülern, die durch Nernst zu ihren späteren Leistungen angeregt worden sind. Ihre Zahl ist ganz ungewöhnlich groß, und es sind manche unter ihnen, die würdige Nachfolger des Meisters geworden sind, Lehrer und Forscher an den Hochschulen, Führer in Industrie und Wirtschaft. Ich hoffe, daß es möglich sein wird, einem im Jahrbuch der Preußischen Akademie der Wissenschaften erscheinenden Nachruf ein Verzeichnis derselben beizufügen, hier muß ich mich auf den Hinweis auf sie beschränken.

Und ähnlich möchte ich auch mit den überaus zahlreichen Ehrungen verfahren, die dem großen Manne zuteil geworden sind. Die erste war eine ganz ungewöhnliche: Zur Einweihung des für den 31 jährigen eingerichteten Göttinger Instituts erschienen nicht nur die örtlichen Spitzen der Universität, sondern auch der große Althoff und sogar der Kultusminister Bosse selbst. Die letzte war der Ehrendoktor der Universität Oxford, und dazwischen lagen zahllose Ernennungen zum Mitglied von Akademien, zum Ehrenmitglied gelehrter Gesellschaften, andere Ehrendoktoren, Medaillen, eine Gastprofessur in Buenos Aires, viele Einladungen zu Vorträgen im Ausland, z. B. zu der Scilliman Lecture in Philadelphia, die ja ausgesprochene Ehrungen darstellen, Nobel-Preis für Chemie und neben den damals üblichen Orden das schon erwähnte E. K. I. Kl. und die Friedensklasse des Pour le mérite.

Und nun ist nach diesem reichen Leben Walther Nernst von uns gegangen. Eines seiner letzten Worte war, wie mir Frau Nernst mitteilte: „Ich habe stets nach der Wahrheit gestrebt.“ Und das wahrlich erkennen wir in all seinen Worten und Werken. Er war ein begeisterter Wahrheitsucher, aber er war auch ein begnadeter Wahrheitsfinder, und in beiden Eigenschaften wird er dauernd leben in unserer Erinnerung und weit über diese hinaus in der Geschichte unserer Wissenschaft.

Max Bodenstein.
