

Nachruf auf Svante Arrhenius.

Von Prof. Dr. R. LORENZ.

Vorgelesen am 5. Oktober 1927 im Physikalischen Verein zu Frankfurt a. M.

(Eingeg. 25. November 1927.)

Am 2. Oktober dieses Jahres starb Svante Arrhenius. Wir trauern um den Hingang eines Bahnbrechers auf den Gebieten der physikalischen Chemie; unserem Physikalischen Vereins ist eines seiner hervorragendsten Ehrenmitglieder entrissen worden.

Svante Arrhenius wurde am 19. Februar 1859 auf Schloß Wyk am Mälarsee in der Nähe von Upsala als zweiter Sohn des Ingenieurs Gustav Arrhenius und seiner Frau Caroline, geb. Thumberg, geboren. Sein Vater war Gutsverwalter. Die Familie war von alters her eine landwirtschaftliche. Sie war früher in Småland in Südschweden ansässig. Das Familiengut hieß Arena, was ein Flußufer bedeutet. Aus diesem Namen ist durch Latinisierung der Name Arrhenius entstanden. Bald nach der Geburt des Sohnes Svante siedelte der Vater nach Upsala über, wo ihm die Verwaltung des Universitätsvermögens übertragen worden war. Svante Arrhenius absolvierte die Schulen in Upsala rasch, studierte an der dortigen Universität und bestand bereits nach drei Semestern im Jahre 1878 das Kandidatenexamen.

Arrhenius' Lehrer in Chemie war der sehr bekannte Berzelius-Schüler Cleve. Die gleichzeitige intensive Beschäftigung mit Mathematik und Physik bewirkte es, daß der junge Forscher sich schließlich der Physik als Hauptfach zuwandte. Da ihm das physikalische Institut in Upsala nicht zusagte, ging er 1881 nach Stockholm, wo er von Edlund freundlichst aufgenommen wurde. Er führte dort eine Arbeit über das Abklingen der galvanischen Polarisierung durch und erwarb sich mit dieser den Grad eines Lizentiaten. Bald darauf schrieb er die später in der schwedischen Akademie veröffentlichte berühmte Arbeit: „Recherches sur la conductibilité des électrolytes“. Die experimentellen Teile dieser Untersuchung wurden in den Jahren 1882 und 1883 im physikalischen Institut der Akademie der Wissenschaften zu Stockholm durchgeführt, der theoretische Teil ist 1883 im Elternhause in Upsala geschrieben. Wir wollen den Inhalt dieser interessanten Arbeit etwas näher betrachten. Sie enthält die Grundlagen der Theorie der elektrolytischen Disso-

ziation. Diese ist aber darin noch nicht ganz in der Form ausgesprochen, wie wir sie heute vor uns haben und wie sie in der späteren Schrift von Arrhenius: „Über die Dissoziation der in Wasser gelösten Stoffe“ vom Jahre 1887 enthalten ist. Arrhenius stellt zunächst den Begriff des molaren Leitvermögens auf und beobachtet, daß dieses mit steigender Verdünnung wächst. Zur Erklärung führt er die These der Aktivität

ein, danach können die Molekeln in zwei verschiedenen Formen auftreten, einer aktiven und einer inaktiven. Mit steigender Verdünnung überwiegt die aktive Form. Nur diese leitet die Elektrizität, die inaktive nicht. Um das Wesen dieser Aktivität zu verstehen, nimmt Arrhenius Bezug auf die Ideen von Clausius und Williamson, wonach die Bestandteile der Molekeln in einem Körper in fortwährendem Austausch begriffen sein sollen. Er stellt sich vor, daß dieser Austausch nur an den aktiven Molekeln vor sich geht und darin begründet ist, daß die Aktivitäten auf den elektrischen Ladungen der abgespaltenen Teilchen beruhen. Arrhenius war sich damals schon völlig klar darüber, daß er mit dieser Behauptung eine Theorie der chemischen Affinität schuf, wenigstens für solche Stoffe, welche die Elektrizität leiten. Er versuchte auch sofort, diese Affinitätslehre mit den Arbeiten von

Guldberg und Waage über das Massenwirkungsgesetz in Einklang zu bringen. Solcherart hatte er, wie wir heute sagen würden, das Wesen der heteropolaren chemischen Verbindungen entdeckt. Zum Schlusse dieser Abhandlung zeigte er die Anwendbarkeit der Aktivitätslehre auf dem Gebiet der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit.

Arrhenius reichte diese Schrift als Doktordissertation der Universität Upsala ein und wollte sie auch, wie das in Schweden üblich ist, zugleich als Habilitationsarbeit verwenden. Er begegnete damit aber unerwarteten Schwierigkeiten. Die maßgebenden Physiker lehnten die Arbeit ab, und zwar mit der merkwürdigen Motivierung, daß sie nicht in das Gebiet der Physik gehöre. Daraufhin mußten die Chemiker sie



beurteilen. Restlos begeistert schienen sie zwar auch nicht gewesen zu sein, immerhin erhielt die Arbeit das Prädikat: „non sine laude approbatur“, sie wurde für die Promotion, die 1884 erfolgte, als hinreichend erachtet, nicht aber für die Habilitation. Nur Otto Pettersson, bekannt durch seine wundervollen Untersuchungen auf dem Gebiete der seltenen Erden und deren physikalische Eigenschaften, hatte den vollen Zukunftswert der Arrheniusschen Arbeit erkannt und seiner Meinung in einem Sondergutachten Ausdruck gegeben.

Wenn man den Stand der damaligen Wissenschaft betrachtet, so begreift man bis zu einem gewissen Grade, warum die Arbeit von Arrhenius Schwierigkeiten begegnete. Die schon von Clausius in Erwägung gezogene Möglichkeit einer elektrischen Spaltung der Moleküle, auf die sich Arrhenius beruft, hatte bereits den Widerstand der Physiker und Chemiker hervorgerufen und galt als erledigt. Die Arbeiten von Hittorf, in denen die Forderung eines völlig freien Ionenzustandes implicite enthalten ist, waren nicht anerkannt. Vom chemischen Standpunkt wendete man gegen die Existenz von freien Ionen ein, daß diese, wenn es sich z. B. um Natrium handelt, das Wasser zersetzen würden. Bereits Hittorf hatte versucht, diesen Einwand zu entkräften, aber seine Beweisführung erwies sich, wie Kohlrausch zeigte, als unzutreffend. So waren also damals wirklich Schwierigkeiten vorhanden, die sich der Annahme elektrolytischer Ionen entgegenstellten, und es darf nicht vergessen werden, daß der junge Arrhenius gerade diese Schwierigkeiten in seiner Arbeit mit keinem Worte erwähnt und beseitigt hatte. Er stellte sich vielmehr fast ganz auf den Clausiusschen Standpunkt, wenn er ihm auch das Leitvermögen und die Aktivität hinzufügte. Man hat den Eindruck, daß dem jungen Forscher, wenn er sich sofort auf den Standpunkt der eigenen Theorie der elektrolytischen Dissoziation gestellt hätte, mehr Aussicht auf sofortige Anerkennung beschieden gewesen wäre. Von historischem Interesse ist, daß Arrhenius dies selbst empfunden hat. Es liegt eine briefliche Äußerung von ihm an den Herausgeber seiner Abhandlung in Ostwalds Klassikern vor, worin er sagt: „Bei der Erörterung der Dissertation wurde es vom Opponenten der Fakultät als eine große Schwierigkeit hervorgehoben, daß ich einen Zerfall der leitenden Salzmolekeln in Ionen annahm. Im Vorgefühl, dieser Einwurf würde die meisten Chemiker gegen meine Ansichten einnehmen, bemühte ich mich, die Dissoziation so wenig wie möglich hervorzuheben.“ Dadurch wurde die vollständige Durchführung der Dissoziationstheorie um drei Jahre aufgehalten.

Die Habilitation von Arrhenius kam erst zustande durch eine Intervention von Wilhelm Ostwald, der damals gerade Professor am Polytechnikum in Riga geworden war. Er schildert uns diese denkwürdige Angelegenheit im ersten Bande seiner Lebenslinien etwa folgendermaßen:

„Ich werde in meinem ganzen Leben den Tag nicht vergessen, an welchem ich zum ersten Male den Namen Svante Arrhenius kennenlernte. Es war im Juni 1884, als mir die Abhandlung: „Sur la conductibilité des électrolytes“ in die Hände fiel. Das war zu viel, um auf einmal damit fertig zu werden, und ich hatte eine fieberhafte Nacht mit schlechten Träumen davon. — Was darin stand, war so abweichend vom Gewohnten und Bekannten, daß ich zunächst geneigt war, das ganze für Unsinn zu halten. Dann aber entdeckte ich einige Berechnungen des offenbar noch sehr jungen Verfassers, welche ihn be-

züglich der Affinitätsgrößen der Säuren zu Ergebnissen führten, die gut mit den Zahlen übereinstimmten, zu denen ich auf ganz anderem Wege gelangt war. — Und schließlich konnte ich mich überzeugen, daß durch diesen jungen Mann das große Problem der Verwandtschaft zwischen Säuren und Basen, dem ich ungefähr mein ganzes Leben zu widmen gedachte, aufgeklärt worden war.“

Ostwald schrieb sofort eine Abhandlung in das Journal für praktische Chemie, worin er auf die Theorie von Arrhenius aufmerksam machte. Er erklärte, daß sie das Bedeutendste sei, was in neuerer Zeit im Gebiete der Verwandtschaftslehre veröffentlicht wurde. Gleichzeitig setzte er sich brieflich mit Arrhenius in Verbindung, packte seinen Koffer und fuhr nach Upsala, um ihn persönlich kennenzulernen. Arrhenius war an der Bahn erschienen, und, um das Erkennen zu ermöglichen, hielt er den Sonderabdruck der Ostwaldschen Abhandlung hoch in der Hand und ging damit dem ankommenden Zug entgegen. Das Erscheinen Ostwalds, der damals schon einen berühmten Namen hatte, bewirkte, daß die Habilitation nunmehr glatt vonstatten ging, und Arrhenius konnte später an Ostwald schreiben: „Ohne Deinen damaligen Besuch wäre es nicht gegangen.“ — Durch die Vermittlung von Edlund erhielt Arrhenius alsbald ein Reisestipendium, das er dazu benutzte, um in Riga gemeinschaftlich mit Ostwald an der Lehre von der Leitfähigkeit der Elektrolyte experimentell zu arbeiten. 1886 traf Arrhenius in Riga ein. Er hatte sich bei seinen früheren Untersuchungen auf Rat von Edlund einer sehr veralteten und umständlichen Methode der Bestimmung des Leitvermögens bedient. Diese wurde in Riga durch die von Ostwald verbesserte Methode von Kohlrausch ersetzt. Es ist in der Geschichte der physikalischen Chemie eine der sonderbarsten Tatsachen, daß die damaligen Physiker nichts von der Kohlrauschschen Methode der Leitfähigkeitsbestimmung mit Wechselstrom und Telephon wissen wollten. Ich habe dies selbst noch am eigenen Leibe erfahren müssen, als ich als junger Assistent, ehe Nernst nach Göttingen kam, Leitfähigkeitsmessungen im dortigen chemischen Laboratorium ausführen wollte. Damals hatten nur die Physiker ebenfalls eine ganz veraltete Methode dafür angegeben, ohne mich auf diejenige von Kohlrausch-Ostwald aufmerksam zu machen. Die wissenschaftlichen Wanderjahre führten Arrhenius von Riga direkt zu Kohlrausch nach Würzburg, wo er bis 1887 verblieb, dann nach Graz zu Boltzmann, ferner nach Amsterdam zu van't Hoff, und von da wieder zu Ostwald nach Leipzig, wohin dieser Forscher inzwischen übersiedelt war. In dieser Zeit ist die Theorie der elektrolytischen Dissoziation vollendet worden und in der Form entstanden, wie wir sie noch heute im Gebrauch haben. Zuerst wurde sie der Öffentlichkeit in einem Briefe an Oliver Lodge mitgeteilt, der ihn abdrucken ließ. Gegen Ende desselben Jahres (1888) erfolgte die Veröffentlichung im ersten Bande der inzwischen gegründeten Zeitschrift für physikalische Chemie, zu einem günstigen Zeitpunkt, weil einerseits die Beziehung zu den Hittorfschen Überföhrungszahlen formuliert werden konnte und sich der Anschluß an die Theorie von van't Hoff ergab. Van't Hoff hatte in seiner berühmten und grundlegenden Arbeit „Über die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen“ für die in Lösung befindlichen Stoffe die Gültigkeit der Gasgesetze nachgewiesen. Das ursprüngliche van't Hoffsche System hatte aber eine empfindliche Lücke. Es zeigte sich, daß die osmotischen

Erscheinungen (z. B. die Gefrierpunktniedrigung), die von der Anzahl der gelösten Moleküle abhängen, hauptsächlich nur bei organischen Stoffen und in nicht-wässrigen Lösungsmitteln mit der Theorie übereinstimmen. Anorganische Säuren, Basen und Salze verhalten sich aber in wässrigen Lösungen so, als ob sie aus einer größeren Anzahl von Molekülen beständen, als die Theorie voraussetzt. Bei diesem Punkte konnte Arrhenius sofort einsetzen. Er machte darauf aufmerksam, daß alle Stoffe, die den van 't Hoff'schen Gesetzen nicht zu gehorchen scheinen, eben jene sind, welche elektrolytisch leiten und für die man elektrolytische Dissoziation annehmen muß. Berücksichtigt man diese Dissoziation, so stimmen die van 't Hoff'schen Gasgesetze sofort auch auf solche Lösungen, und Ausnahmen sind nicht mehr vorhanden. So begann die Theorie der elektrolytischen Dissoziation ihren Siegeslauf. Ihre Anwendungen auf die galvanischen Ketten, in der analytischen Chemie, auf die Gesetze der Löslichkeit der Gase, die isohydrischen Lösungen und noch vieles andere folgten schnell aufeinander. Und schließlich dürfen wir nicht vergessen, welche Rolle diese Ionentheorie in der Geschichte der Elektronik spielt, wo sie gleichsam als Vorkämpferin auftritt. Denn sie setzte die Anerkennung des schon von Helmholtz zuerst ausgesprochenen Gedankens der Möglichkeit einer atomistischen Struktur und Teilbarkeit der Elektrizität durch, indem das Faradaysche Gesetz, in ihrem Lichte betrachtet, direkt zur erstmaligen Berechnung des Elementarquantums führt. Die nähere Kenntnis der Ionisation der Gase und die Radioaktivität öffnen dann weiter die Bahn für die Entwicklung der Elektronenlehre.

Doch kehren wir zu Arrhenius zurück. 1891 erhielt er einen Ruf als Professor der Chemie an die Universität Gießen, zog es aber vor, in seinem Vaterlande zu bleiben, wo er die Professur für Physik an der Hochschule in Stockholm erhielt. Als das preußische Ministerium ihn 1905 aufforderte, an die Akademie der Wissenschaften nach Berlin zu kommen, bekam er von der Verwaltung der Nobelstiftung sein physikalisches Institut gebaut, in welcher Stellung er bis zu seinem Tode verblieb. Den Nobelpreis selbst hat er schon 1903 erhalten.

In den älteren Zeiten, nach Aufstellung der Dissoziationstheorie, mußte sich Arrhenius vielfach damit beschäftigen, sie gegen Angriffe zu verteidigen. Er entwickelte eine schier unermüdliche Tätigkeit in dieser Richtung, schrieb in die Zeitschriften aller Länder und in allen Sprachen. Man müßte es wirklich bedauern, wenn die kostbare Arbeitszeit eines so genialen Mannes damit verlorengegangen wäre, immer wieder die Theorie der elektrolytischen Dissoziation verteidigen zu müssen; denn das hätte auch von anderer Seite geschehen können. Die besondere Weise, mit der Arrhenius diese Tätigkeit ausübte, kam jedoch der Entwicklung der Dissoziationstheorie auch wissenschaftlich zugute. Arrhenius wird nicht müde, immer wieder neue Versuche, neue Anwendungen, neue Tatsachen mitzuteilen, und benutzt so jede Gelegenheit, die Theorie zu stützen, zu festigen und zu erweitern. Aus der Liste der Abhandlungen jener Zeit, etwa bis 1902, zähle ich 42 Arbeiten dieser Art, darunter die berühmten Mitteilungen über die additiven Eigenschaften der Salzlösungen, die Theorie der isohydrischen Lösungen, über Dissoziationswärme, über die Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit durch Säuren, über Dissoziation, Löslichkeit, Hydrolyse usw.

Arrhenius hat dann im Verlauf seines Lebens noch zwei Forschungsrichtungen eingeschlagen: Das Gebiet

der Immunitätsforschung vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus und ebenso die Geophysik und die Erscheinungen des Kosmos.

Wir wollen die biologischen Arbeiten zuerst besprechen. Dies Gebiet war es ja auch, welches Arrhenius zu uns nach Frankfurt führte, zu Ehrlich, um im Institut für experimentelle Therapie vorübergehend zu arbeiten. Es ist bekannt, daß Ehrlich und Arrhenius sich nicht über die Auffassung der hierhergehörigen Versuche einigen konnten. Ich habe erfahren, daß die Mehrzahl der Biologen bis heute die Ehrliche Auffassung der Arrheniusschen vorzieht. Natürlich ist es nicht unsere Aufgabe, uns für eine der beiden Auffassungen zu entscheiden, wir wollen uns lediglich vergegenwärtigen, um was es sich handelt. Es ist folgendes: Arrhenius griff eines Tages in Gemeinschaft mit Thorwald Madsen, einem dänischen Forscher, die experimentellen Untersuchungen über Toxine und Antitoxine auf und schrieb eine Arbeit „Über die Anwendung der physikalischen Chemie auf das Studium der Toxine und Antitoxine“. Hierin versuchte er, die Ionentheorie und die Lehre vom Massenwirkungsgesetz auf diese Erscheinungen anzuwenden. Es folgte dann eine Arbeit: „Zur physikalischen Chemie der Agglutinine“, der sich bald eine größere Anzahl von weiteren Untersuchungen anschloß. Arrhenius behauptet, daß die Unschädlichmachung eines Toxins, speziell des Tetanolybins, durch sein Antitoxin ein Vorgang sei, der analog der Neutralisation einer schwachen Base durch eine schwache Säure vor sich geht, z. B. Ammoniak mit Borsäure, und daß dieser Vorgang Gleichgewichtszustände zwischen Toxin und Antitoxin ausbildet. Ähnliche Gleichgewichtszustände sollen auch zwischen den Agglutininen und den Bazillen bestehen, welche zur Agglutination gebracht werden. Die Auffassung von Ehrlich besteht dagegen darin, daß im Gegenteil zwischen den Toxinen und Antitoxinen oder Agglutininen und den Bazillen chemische Bindungen bestehen, und zwar gerade solche von ganz besonders fester Beschaffenheit und Spezifität. Die verbundenen Stoffe können sich überdies umlagern, so daß der ganze Vorgang irreversibel wird, während die Auffassung von Arrhenius eine gewisse Reversibilität voraussetzt. Das denkwürdige Ereignis jener Zeit spielte sich auf der 11. Hauptversammlung der Bunsengesellschaft in Bonn ab, am 14. Mai 1904, und bestand in einer lebhaften Diskussion, an der sich die größten Autoritäten beteiligten. Ehrlich war aus Frankfurt eigens nach Bonn gekommen, und außer Arrhenius ergriffen das Wort: van 't Hoff, Ostwald, Nernst, Bredig, Zangger aus Zürich und andere. Am meisten auf der Seite von Ehrlich stand Nernst, dessen Urteil schließlich ausschlaggebend wurde, während andere mehr der Auffassung von Arrhenius zuneigten. Ich habe mir die Akten dieser denkwürdigen Sitzung sehr aufmerksam angesehen und möchte mich in diesem Falle einer Meinung anschließen, die damals van 't Hoff in seiner ruhigen Art zum Ausdruck brachte. In einer höheren physikalisch-chemischen und thermodynamischen Einheit lösen sich die beiden Auffassungen harmonisch ineinander auf, ein grundsätzlicher Widerspruch ist gar nicht vorhanden.

Also muß man sagen, es wäre im Interesse der Wissenschaft zu bedauern, wenn die Biologie infolge der damaligen Entscheidung die eine Seite der Frage vernachlässigen würde, dies wäre in diesem Falle die scheinbar unterlegene von Arrhenius.

Hiermit wollen wir dies Gebiet verlassen und uns dem dritten großen Arbeitsfeld zuwenden, das Arrhenius bearbeitete. Nach der chronologischen Tabelle finden

wir ihn bereits 1887, bei seinem Aufenthalte in Graz, mit einem Problem beschäftigt, das ihn vom Leitvermögen zur Geophysik führte. Er untersuchte den „Einfluß der Belichtung auf die Leitfähigkeit von Chlor-silber“. Dann arbeitete er über „Das Leitvermögen von phosphoreszierender und belichteter Luft“, und daraus schlossen sich die aufsehenerregenden Forschungen „Über das Leitvermögen der durch Salzdämpfe gefärbten Bunsenflamme“ an. Das Leitvermögen der Flamme wird stark vergrößert, wenn sie durch Salzdämpfe gefärbt ist, und es steigt mit der Konzentration der Salze in der Flamme. Die ganze Erscheinung weist also eine starke Ähnlichkeit mit den wäßrigen Lösungen auf. Es gelingt Arrhenius, sie im Lichte der Ionendissoziation zu deuten. Dies treibt ihn nun in das Gebiet der Geophysik. Er schreibt eine Abhandlung „Über den Einfluß der Sonnenstrahlen auf den elektrischen Zustand der Atmosphäre“, und weiter folgt die Untersuchung „Der Einfluß des atmosphärischen Kohlensäuregehaltes auf die Temperatur der Erdoberfläche“ (1896). Bekanntlich hat Arrhenius auf Grund dieser Arbeit eine Theorie der Eiszeiten aufgestellt. Wegen der geringen Wärmedurchlässigkeit übt die Kohlensäure in der Atmosphäre einen Wärmeschutz für die Erdoberfläche aus. Arrhenius berechnet, daß das Sinken des Kohlensäuregehaltes der Atmosphäre um die Hälfte des jetzigen Betrages eine Abkühlung der Erdoberfläche von im Mittel 4° zur Folge hätte; ein vollständiges Verschwinden der Kohlensäure aus der Luft würde die Temperatur der Erdoberfläche um 21° vermindern. Kohlensäureschwankungen der Atmosphäre reichen also hin, um Eiszeiten und Wärmeperioden auf der Erde hervorzurufen. Weiter untersucht Arrhenius den Einfluß des Mondes auf den elektrischen Zustand der Erde, auf die Polarlichter und auf die Gewitter, und er beschäftigte sich mit der Ursache einer nahezu 26tägigen Periode der Polarlichter. Ferner beschäftigten ihn die säkularen Schwankungen der Erdtemperatur und der Vulkanismus, und schließlich faßt er seine ganzen bis dahin ausgeführten Studien (1903) in dem Lehrbuch der kosmischen Physik zusammen. Eine Durchsicht dieses interessanten Buches ergibt zum mindesten, wie wenig selbst die größten Lehrbücher der Physik bis dahin dieses Gebiet berücksichtigt hatten, welches Arrhenius uns als eine geschlossene Einheit vor Augen stellt. Wenn sich auch nicht alles, was Arrhenius hier gibt, erhalten wird, immer erstaunlich wird aber die Fülle der Ideen dieses lebhaften Denkers bleiben.

In verschiedenen Abhandlungen über die elektrische Ladung der Sonne wendet sich Arrhenius den kosmischen Problemen zu, und bald faßt er seine Ansichten in dem berühmten Buche „Das Werden der Welten“ zusammen, das seinen Namen in die weitesten Kreise getragen hat und in der ganzen Welt, in alle erdenklichen Sprachen übersetzt, verbreitet ist. Als auffälligste Neuerung tritt uns hier in den kosmologischen Theorien von Arrhenius die Einführung des Lichtdruckes entgegen. Während dieser unter irdischen Verhältnissen einen so kleinen Betrag hat, daß man lange daran zweifelte, ihn überhaupt sichtbar und meßbar zu machen, erweist er sich, dem kosmischen Staub gegenüber, dessen Dimensionen sich den molekularen Größen nähern, als ein sehr wirksamer Faktor, denn sein Betrag für eine gegebene Masse nimmt proportional dem Zerteilungsgrade zu. Ursprünglich wurden diese Betrachtungen verwendet, um über die merkwürdigen Bildungen der Kometenschweife Auskunft zu geben. Dann aber gesellte sich eine Erscheinung nach der anderen hinzu, auf welche sich ein Einfluß ergab, und nun bildet der

Lichtdruck bei Arrhenius ein äußerst mannigfaltiges wirksames Agens in den kosmologischen Erscheinungen, dessen Wirkung so weit geht, daß es die Frage der Entstehung des Lebens auf den Planeten aufrollt und selbst die eherne Wand des zweiten Hauptsatzes ihm nicht standzuhalten scheint.

Gehen wir zunächst auf die Arrheniussche Art ein, die Frage nach dem Ursprunge des Lebens auf den Planeten zu behandeln.

Es ist eine weitverbreitete Meinung, daß das Leben auf unserer Erde durch Selbstzeugung aus anorganischer Materie entstanden sei. Aber Arrhenius sagt: „Gleichwie der Traum von der Selbstzeugung der Energie, nämlich das perpetuum mobile, vollständig dem negativen Erfahrungsergebnis in dieser Richtung hat weichen müssen, ebenso könnte es doch sein, daß die mannigfaltige Erfahrung in bezug auf die Nichtrealisierbarkeit der Urzeugung uns die Unmöglichkeit der Selbsterzeugung des Lebens vor Augen führt.“ Arrhenius stellt sich daher vor, daß das Leben, wie die Energie, immer vorhanden ist, und zwar in Gestalt kleinster Zellen, die im Kosmos durch den Lichtdruck den Planeten zugeführt werden, wo sie dann die ihnen innewohnende Entwicklung zu höheren Wesen beginnen.

Wir kommen nun zu dem zweiten kosmologischen Problem, das Arrhenius im „Werden der Welten“ aufrollt. Hierin liegt eigentlich der tiefere Sinn dieses Buches und sein eigentümlicher Reiz. Wir wollen uns doch ganz vorurteilslos darüber klar sein, daß unsere naturwissenschaftliche Weltanschauung, gerade soweit sie an exaktesten begründet ist, also insofern sie aus Physik, Mathematik und Chemie stammt, eine Folgerung besitzt, die der Einstellung des menschlichen Geistes offenbar zuwiderläuft. Der erste Hauptsatz der Thermodynamik, den uns Robert Mayer, Joule und Helmholtz gegeben haben, lehrt, daß die Energie unzerstörlich ist, ihre verschiedenen Arten können sich ineinander verwandeln. Der zweite Hauptsatz, von Sadi Carnot und Clausius begründet, sagt uns, daß bei diesen Verwandlungen der nicht mehr verwandelbare Teil, den wir Entropie nennen, immerfort zunimmt, bis schließlich keine Veränderung mehr stattfinden kann. Alles Sträuben gegen die Richtigkeit dieses Satzes von gedanklicher und experimenteller Seite hat nichts geholfen, immer wieder erhebt er sich vor uns wie ein riesenhafter, über das Werden ausgebreiteter Schatten. Auf den Kosmos angewendet, heißt dies aber: das Weltall ist schließlich dem sogenannten Wärmetode preisgegeben. Also müßte der Kosmos eine einmalige Erscheinung sein, während wir ihn doch als ewig empfinden. Diese einmalige Welt war zu Anfang von geringster Entropie und größter arbeitsamer Energie erfüllt. Ihre Spannkraft (oder man kann auch sagen, ihr thermodynamisches Potential) war außerordentlich groß. Am Ende aller Tätigkeit aber liegt der Tod auch für das Weltall, wenn wir nicht eine Erscheinung in der Natur finden können, die instande wäre, das Uhrwerk der Welt wieder aufzuziehen. Mit diesem Problem ringt ein Arrhenius in dem „Werden der Welten“. Er sagt: „Eben aus dieser Schwierigkeit habe ich einen Ausweg gesucht, der darauf hinausläuft, daß die Energie verschlechtert wird bei Körpern, die sich im Sonnenstadium befinden, daß sie dagegen verbessert wird bei solchen, die dem Nebelfleckenstadium angehören.“ Auch hier ist es wieder die Strahlung, die nach der Idee von Arrhenius instande sein soll, in den Gasnebeln die Energie zu verbessern und die Temperatur zu steigern, also das Weltall aufzuziehen. Die Nebel, welche alle Strahlung

aus den heißen Himmelskörpern auffangen, müssen die an ihren äußersten Teilen am raschesten dahineilenden Moleküle verlieren und werden dadurch in den Außenschichten abgekühlt, während die in ihnen befindlichen Himmelskörper die Gase ihrer Umgebung um sich herum kondensieren und dabei eine höhere Temperatur erhalten.

Wilhelm Ostwald bezeichnete in seiner 1909 geschriebenen Einleitung zum Arrhenius-Festbande der Zeitschrift für physikalische Chemie als die hervor-

tretendsten Züge in Arrhenius ganzer wissenschaftlicher Laufbahn die außerordentliche Unabhängigkeit und die erstaunliche Freiheit des Denkens, sowie die Fähigkeit, scheinbar weitest auseinanderliegende Tatsachen unter gemeinsamen Gesichtspunkten zu erschauen, verbunden mit der auszeichnenden Einfachheit und umfassenden Beschaffenheit der Ergebnisse.

Diesen Zug seines Geistes werden wir nicht so leicht übertreffen, er wird auf immer mit seinem Namen verknüpft bleiben. [A. 137.]

Probleme der Hormonchemie.

Von Dr. K. H. SLOTTA, Breslau.

Nach einem Vortrag in der Sitzung des Vereins deutscher Chemiker für Mittel- und Niederschlesien am 29. Juni 1927.

(Eingeg. 12. August 1927.)

Hundert Jahre sind seit der Synthese des Harnstoffs verflossen. War die Wöhler'sche Entdeckung schon ein Berühren des ersten Schleiers, so tastete vor nun fast vierzig Jahren Brown-Séquard den zweiten leise an. Der große Physiologe trat damals als 72jähriger vor die Pariser Akademie mit der Angabe, daß er sich durch Einspritzung von Hodenextrakten selbst verjüngt habe. Er hatte folgerichtige Versuche mit Stoffen durchgeführt, die aus einer der sogenannten endokrinen Drüsen stammten. Bernard hatte den Begriff der endokrinen Drüse vor ihm geschaffen, aber erst seit jener Mitteilung Brown-Séquards hat man systematisch ihre Produkte erforscht, die die Funktionen des lebenden Organismus so stark erregen, daß man sie für chemische Lebenskräfte höchst bedeutsamer Art halten muß. Als „Erreger, Erwecker, Boten“ nennt man sie vom griechischen ὁρμῶν abgeleitet die Hormone.

Wir stehen heute mitten im Forschen nach diesen Lebenskatalysatoren. Von einigen haben wir noch kaum wirksame Lösungen, andere werden fabrikatorisch mehr oder weniger rein gewonnen. Wenige sind uns jetzt schon fast oder ganz chemisch bekannt. Dreierlei Probleme liegen also vor. Das erste ist, wie man überhaupt wirksame und von Nebenwirkungen möglichst freie Extrakte der endokrinen Drüsen erhält, das zweite, wie man die chemischen Individuen faßt, auf denen die Wirkung beruht, das letzte, wie es in einigen Fällen gelungen ist, mit der Synthese des Hormons das Werk zu krönen. Noch tiefere Probleme schließen sich aber daran an, wenn man den Zusammenhang dieser Stoffe mit dem lebendigen Körper zu verstehen und zu ergründen versucht, nach welchen Verfahren der Organismus sie bereitet.

Den Begriff Hormon dürfen wir vorerst weder zu weit fassen, noch in ein zu enges Schema pressen. Manchmal werden Hormone als Stoffe bezeichnet, die auf chemischem Wege Beziehungen zwischen den Organen regeln. Sie vertreten den chemischen Weg der Befehlsübermittlung, während die Nerven auf physikalischem Wege Nachrichtendienste zu leisten haben. Um aber dann nicht auch die Fermente zu den Hormonen rechnen zu müssen, müßte ich noch feststellen, daß wir nur solche Stoffe Hormone nennen wollen, die hitzebeständig, Fermente solche, die wenig wärmebeständig sind. Das ist natürlich keine exakte Definition. Definieren wir aber die Hormone als die Stoffe der endokrinen Drüsen, so können wir folgerichtig nicht etwa von dem Hormon der Herzbewegung¹⁾ sprechen, denn die Kammerbasis des Froschherzens, aus dem man dieses „Hormon“ dargestellt haben will, kann man

schließlich nicht als eine endokrine Drüse bezeichnen. Auch das Sekretin²⁾, das im Dünndarm entstehen soll, kann man dann nicht Hormon nennen. Aber ebenso, wie man früher unter dem Begriff der Alkaloide vielerlei verstand und erst langsam das ganze Gebiet sichtete, darf man hier heute noch nicht allzu scharfe Grenzen ziehen. Trotzdem bleiben wir fürs erste aber am besten bei der Definition der Hormone als den wirksamen Stoffen der endokrinen Drüsen.

Drüsen sind Einstülpungen der Haut oder des Darmrohres, die durch Arterien Blut mit Sauerstoff beziehen und durch Venen ihre Abfallprodukte, wie Kohlensäure usw., wieder entfernen. Für gewöhnlich geben sie ihre spezifischen Drüsensekrete durch einen besonderen Ausführungsgang an den Körper ab, während in einigen Fällen die Drüsenprodukte einfach durch die Lymphe und das Blut an den Körper abgeführt werden. Man spricht dann von endokrinen Drüsen. Solche endokrinen Drüsen als Produktionsstätten der Hormone haben sich meist an Stellen des Körpers entwickelt, die sich bei den heutigen Landwirbeltieren in Umbildung befinden. Statt des großen Kiemenapparates der Fische besitzen sie nur noch den kleinen Stimmapparat. Dort ist viel Platz geworden, und Schilddrüse, Epithelkörper und Thymusdrüse konnten sich entwickeln. Wo einst die große, langgestreckte Urniere saß, die bei den höheren Tieren zur kleinen Säugetierniere wurde, da ist Raum geworden für Nebenniere und Geschlechtsdrüse.

Während Zirbeldrüse und Thymus als endokrine Drüsen mit ihren uns unbekannten Hormonen immerhin nur eine Nebenrolle spielen, haben die Hormone der Schilddrüse und Epithelkörper, der Nebenniere und Bauchspeicheldrüse, der Hypophyse und Geschlechtsdrüse eine ungeheure Bedeutung für unser ganzes Dasein. Daß die entwicklungsgeschichtlich aus zwei verschiedenen Teilen stammenden Drüsen, Hypophyse und Nebenniere, auch mehrere Hormone produzieren, ist wohl sicher, ob jede andere der wichtigen endokrinen Drüsen nur ein Hormon erzeugt, mindestens zweifelhaft.

Daß trotz vierzigjähriger Arbeit die Frage der Hormone noch nicht weiter geklärt ist, erscheint nicht so verwunderlich, wenn man berücksichtigt, in welcher fabelhaft geringer Dosis sie schon sehr erhebliche Wirkungen zeigen, so daß der Körper nur Spuren von ihnen zu erzeugen nötig hat. Ungefähr 1 mg Schilddrüsenhormon oder $\frac{1}{1000}$ mg des Pankreas-, Nebennieren- oder Hypophysenhormons genügt, um eine biologische Wirkung erkennen zu lassen.

Von der Zirbeldrüse wissen wir sehr wenig. Ihr Hormon wahrt anscheinend unsere Kindheit, indem

¹⁾ L. Haberlandt, „Das Hormon der Herzbewegung“, Urban u. Schwarzenberg, 1927.

²⁾ W. M. Bayliss u. E. H. Starling, Journ. Physiol. 26, 325 [1902].