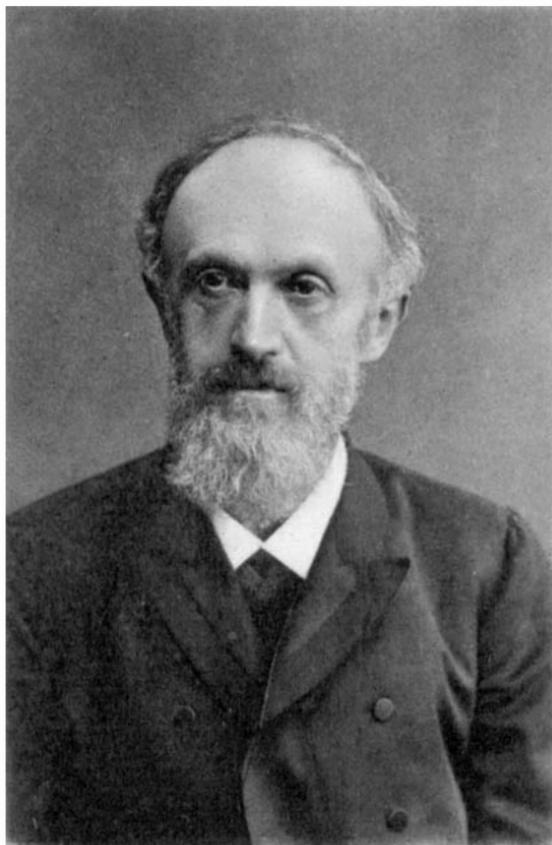


MORITZ TRAUBE.

Dicht gesät sind in deutschen Landen die Stätten, welche der wissenschaftlichen Arbeit gewidmet sind. Der Fülle seiner Akademien, Universitäten und Hochschulen verdankt Deutschland zweifellos sein hohes wissenschaftliches Ansehen und in unserer Disciplin auch die technische Ueberlegenheit. Aber es ist vielleicht nur die Folge eines allgemeinen Gesetzes, dass die öffentliche Fürsorge für die Förderung der Wissenschaften vielfach hemmend auf die private Theilnahme an denselben gewirkt hat. Wissenschaftliche Arbeit wird zuweilen als eine amtliche Obliegenheit derer angesehen, die dafür angestellt sind. Die wenigen nicht zum Lehramt gehörigen Freunde und Förderer der Wissenschaften, finden nicht immer die Anerkennung und Unterstützung, die selbstlosem Streben gebührt, sondern werden häufig als unberufene Eindringlinge in fremdes Gebiet angesehen, deren Meinungen nicht beachtenswerth, deren thatsächliche Angaben nicht glaubwürdig sind und deren Arbeiten unter dem Verdacht des Dilettantismus stehen. Solche Hemmungen, neben vielen anderen Gründen, mögen es verschuldet haben, dass, während in anderen Ländern, namentlich in England, Männer aller Berufe thätigen Antheil an den wissenschaftlichen Arbeiten nehmen, in Deutschland nur wenige Privatleute zu finden sind, die nicht nur mit Interesse aufnehmend, sondern auch schöpferisch eingreifend an dem Aufbau der Wissenschaft theiligt sind oder der Forschung neue Wege bahnen. Zu den wenigen, nicht durch ein Amt, sondern nur durch Fähigkeiten und Leistungen berufenen Förderern der Wissenschaften gehörte Moritz Traube.

Moritz Traube wurde am 12. Februar 1826 zu Ratibor in Schlesien als Sohn eines Weinkaufmanns geboren. Das Vorbild des arbeitsamen Vaters und des älteren, später zu so grosser Berühmtheit gelangten Bruders Ludwig und die liebevolle Fürsorge der Eltern für die geistige Entwicklung der Söhne bewirkten, dass die ungewöhnliche Begabung von Moritz Traube schon frühzeitig sich bethätigte. Schon mit 16 Jahren konnte er das Gymnasium mit dem Zeugniß der Reife verlassen. Trotz der Rathschläge seiner Lehrer, die



Gravure Meisenbach Riffarth & Co. Berlin.

M. Traube

humanistischen Studien, für die er auf der Schule so grosse Begabung gezeigt hatte, auf der Universität fortzusetzen, wandte sich Traube den naturwissenschaftlichen Studien zu, zu denen sich schon früh in ihm eine grosse Neigung entwickelt hatte. Er bezog zunächst die Universität Berlin, folgte aber bald der Anziehung, die der glänzende Name Liebig's auf alle Jünger der Naturwissenschaften ausübte, und ging nach Giessen. Im Laboratorium von Liebig arbeitete er unter der Leitung von A. W. Hofmann und von Will zusammen mit Poleck, Schwarz, Trautschold, Pettenkofer und Anderen. Die Freundschaften, die er hier mit diesen Männern geschlossen, hat Traube sich sein ganzes Leben lang erhalten. Von Giessen kehrte er nach Berlin zurück und wurde dort im Alter von 21 Jahren auf eine Arbeit über Chromverbindungen promovirt. Auch in Berlin sammelte sich bald um ihn ein Kreis von Freunden, die ihm durch gleiches wissenschaftliches Streben verknüpft waren. Besonders beglückt war er durch den innigen Verkehr mit dem hochverehrten älteren Bruder Ludwig, dem berühmten Kliniker und Pathologen, dessen Arbeiten für die Entwicklung der Medicin bahnbrechend geworden waren. Mit ihm zusammen gründete Traube einen physikalischen Verein, dem viele bedeutende Männer als Mitglieder angehört haben.

Als Opponenten bei der Promotion fungirten Rühle, der vor einigen Jahren verstorbene Bonner Kliniker, ein Schüler Ludwig Traube's, der mit beiden Brüdern in inniger Freundschaft verbunden war und N. Pringsheim, der gleichfalls kürzlich verstorbene Berliner Botaniker, dessen letzte wissenschaftliche Arbeit eine Fortführung von M. Traube's Untersuchungen über die künstlichen Zellen war. In diesem Kreise mag wohl die Richtung von M. Traube auf biologische Probleme ihren Ursprung genommen haben. Zunächst freilich wandte sich Traube einem Zweige der chemischen Technologie zu und arbeitete einige Zeit in einer Berliner Färberei; bald aber wurde das Streben, sich chemisch-physiologischen Studien zu widmen, so mächtig, dass er den praktischen Beruf aufgab und Medicin zu studiren begann.

Dieses Studium musste er jäh abbrechen, da sein Leben durch Familienverhältnisse beeinflusst eine ganz andere Richtung erhielt. Der zweite Bruder Traube's, der in dem väterlichen Weingeschäft in Ratibor thätig und zu dessen Erben bestimmt war, starb plötzlich. Der Vater, dem, wie jedem echten Kaufmann, das durch Fleiss und Ehrenhaftigkeit emporgebrachte Geschäft nicht bloß eine Erwerbsquelle, sondern ein Gegenstand des Stolzes war, verlangte, dass Moritz nach Ratibor zurückkehre und an die Stelle des Bruders trete. Der Entschluss war für Traube, der mit voller Hingabe den Studien nachging, furchtbar schwer. Wochenlang hat er mit sich gerungen. Endlich aber brachte er der Kindesliebe seine tiefsten Neigungen zum Opfer und willigte in den Wunsch des Vaters.

Im November 1849 kehrte Traube in seine Vaterstadt zurück und widmete sich den kaufmännischen Arbeiten. Der Zwiespalt zwischen der halb aufgezwungenen, oft mechanischen Beschäftigung einerseits und den wissenschaftlichen Bestrebungen andererseits hätte für gewöhnliche Naturen die Gefahr gebracht, die Schaffensfreudigkeit in beiden Gebieten völlig zu lähmen. Traube's Energie und Arbeitsfähigkeit ermöglichte ihm diese Gefahr zu vermeiden. Nicht lange dauerte es, so war der Ausgleich zwischen Pflicht und Wunsch gefunden.

Traube verstand es, ein geistiges Doppelleben zu führen, doch nicht so, dass fruchtloses Sehnen ihm die praktische Thätigkeit verleidet, materielles Sorgen sein ideales Streben ergebnisslos gemacht hätte, sondern so, dass er dem praktischen Beruf so viel geistiger und körperlicher Kraft widmete, als derselbe erforderte, und nur in den Stunden, in denen ihn die kaufmännische Thätigkeit nicht in Anspruch nahm, seine geistige Kraft völlig in den Dienst des inneren Berufes stellte. So gelang es ihm, in zwei Thätigkeitsgebieten Bedeutendes zu leisten. Das Weingeschäft fortzuführen und auf seiner Höhe zu erhalten hätte schon eines kräftigen Mannes ganze Arbeit in Anspruch genommen; Traube hat nicht nur das geleistet, sondern das Geschäft bedeutend gehoben. Trotzdem aber grade in den ersten Jahren wegen der Neuheit der Beschäftigung die Arbeit besonders anstrengend gewesen sein muss, sehen wir ihn schon nach kaum drei Jahren mit zwei experimentellen wissenschaftlichen Arbeiten vor die Oeffentlichkeit treten, in denen sich die ganze wissenschaftliche Bedeutung des Mannes zeigte. Diesen Arbeiten folgten in ununterbrochener Reihe zahlreiche andere Untersuchungen, die nicht nur durch die neuen Auffassungen und geistvollen theoretischen Beweise von Bedeutung sind, sondern auch eine Fülle experimenteller Beobachtungen enthalten, von denen keine sich als unrichtig erwiesen hat. Das muss um so mehr Bewunderung erwecken, als ja grade chemische Untersuchungen viel mechanische Arbeit erfordern und Traube in der kleinen Provinzialstadt von den materiellen Hilfsmitteln entblösst war, mit denen jetzt die wissenschaftlichen Institute so überreich ausgestattet sind. Eine kleine Bodenkammer diente Traube als Laboratorium, in dem er die wenigen freien Stunden des Tages und viele Stunden der Nacht verbrachte.

Im Jahre 1866 verlegte Traube Geschäft und Wohnsitz nach Breslau. Das Bedürfniss nach dem Verkehr mit wissenschaftlich ihm Gleichstehenden mag seinen Entschluss gereift haben. Freudig wurde er von den wissenschaftlichen Kreisen der Universitätsstadt aufgenommen. An den Verhandlungen der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Kultur, in deren Vorstand er später gewählt wurde, nahm er regen Antheil und auch dem communalen Leben der Stadt

widmete er als Stadtverordneter seine Kräfte. Vor Allem lag es ihm am Herzen, bessere Gelegenheit zu experimenteller Arbeit zu finden. Er arbeitete zunächst im Laboratorium seines Freundes Poleck und auch im physiologischen Institut von Heidenhain. Später richtete er sich ein eigenes Laboratorium ein, auf das er reiche Mittel verwendete und in welchem er sich einen, zeitweilig auch zwei Assistenten hielt. Die wissenschaftlichen Früchte der vermehrten Arbeitsmöglichkeit blieben nicht aus und in ununterbrochener Folge erschienen die schönen Arbeiten über die Autoxydation. Seine wissenschaftlichen Leistungen fanden auch äussere Anerkennung. Die Universität Halle ernannte 1867 Traube aus Anlass ihres 50jährigen Jubiläums zum Ehrendoctor der medicinischen Fakultät, und im Jahre 1886 wurde er zum correspondirenden Mitglied der preussischen Akademie der Wissenschaften erwählt. In demselben Jahre trat Traube von der Leitung seines Geschäftes zurück, um ganz der Wissenschaft leben zu können.

Leider konnte er die Jahre der Musse nicht ganz in dem Maasse der Wissenschaft widmen, als er es in seinen jüngeren Jahren gehofft hatte. Die übergrossen Anstrengungen hatten seine Gesundheit dauernd geschädigt. War der Tag von den Sorgen um den Betrieb eines grossen Geschäftes erfüllt, so mussten die Nächte benutzt werden, um die wissenschaftlichen Ideen zur Reife zu bringen. Aber der Schlaf, der verscheucht worden war, als er die Gedankenarbeit unterbrechen wollte, kehrte nicht wieder, als er herbeigesehnt wurde, und so litt Traube schwer unter den Folgen der Schlaflosigkeit. In späteren Jahren trat noch ein Herzleiden hinzu, das ihn einige Male längere Zeit an das Krankenlager fesselte. Immer aber wieder trieb ihn sein Schaffensbedürfniss zu neuer Arbeit an, und auch in Berlin, wohin er im Jahre 1891 übersiedelte, vermochte ihn sein mehr noch als vorher schwankender Gesundheitszustand nicht von einer, wenn auch mehrfach unterbrochenen wissenschaftlichen Thätigkeit zurückzuhalten. Im Jahre 1893 gesellte sich ein weiteres schweres Leiden den früheren hinzu, eine hochgradige Diabetes, jene tückische Krankheit, zu deren Erforschung seine Erstlingsarbeiten so werthvolle Beiträge geliefert hatten. Selbst die schweren Leiden und die sichere Voraussicht des nahen Todes, vermochten nicht den Trieb zu wissenschaftlicher Arbeit in ihm zu unterdrücken. Ende 1893 veröffentlichte er seine letzte Arbeit »Einfaches Verfahren, Wasser in grossen Mengen keimfrei zu machen«, die in den Kreisen der Hygieniker gerechte Würdigung erfuhr. Am 28. Juni 1894 erlöste ihn der Tod.

Moritz Traube führte ein überaus glückliches Familienleben. Im Jahre 1855 hat er die Ehe geschlossen und seine Gattin hat ihm in 39jähriger reich gesegneter Ehe in reger Antheilnahme an seinen

Bestrebungen und hingebender Pflege in den Leiden das Leben verschönt. Es war ihm vergönnt, sich an den glücklichen Ehen seiner drei Töchter zu erfreuen und die wissenschaftlichen Bestrebungen seiner beiden Söhne mit Genugthuung zu verfolgen. Der allgemeine Eindruck seines ruhigen abgeklärten Wesens verrieth nur den geistvollen, etwas weltfremden Gelehrten und liess nicht den gewandten Kaufmann in ihm vermuthen. Wie schon die erfolgreiche Arbeit in zwei Berufen und noch mehr die hervorragenden Leistungen in drei Wissenschaften, der Chemie, Physiologie und der Botanik beweisen, waren seine Begabung und seine Interessen nicht auf ein specielles Fach gerichtet, sondern universeller Natur. Nichts Edles in Wissenschaft, Kunst und öffentlichem Leben war ihm fremd. Mit besonderer Neigung war er der Musik zugethan, die er durch eine schöne Baritonstimme selbst auszuüben vermochte. Seinedler Charakter, seine vielseitige Bildung, der Ruf seines Namens und die grosse Gastlichkeit seines Hauses vereinigten um Traube einen grossen Kreis der angesehensten Männer, von denen er einzelnen seit der Jugendzeit in nie getrübtter inniger Freundschaft verbunden war. Leider musste er sich seiner schwachen Gesundheit wegen in der Pflege edler Geselligkeit, der er sehr zugethan war, oft Enthaltbarkeit auferlegen. Ungemein unterhaltend und anregend im engeren Kreise, aber im Verkehr mit Unbekannten von einer fast an Schüchternheit grenzenden Zurückhaltung, war Traube kein Freund öffentlichen Auftretens und hat nur einmal auf der Breslauer Naturforscherversammlung im Jahre 1874 vor einem grösseren Kreise einen Vortrag gehalten.

Traube gehörte zu denjenigen Chemikern, die wichtige Streitfragen nicht durch umfangreiche quantitative Untersuchungen, sondern möglichst durch qualitative, elegant ersonnene Proben im Reagenzglas zu entscheiden liebte. Nichts destoweniger hat er, wo es darauf ankam, die quantitative Seite einer Frage nicht vernachlässigt und z. B. gerade durch den Nachweis der theoretischen Ausbeute an Wasserstoffsperoxyd bei der Entstehung desselben an der Kathode und bei der Autoxydation des Zinks die wichtige intermediäre Rolle des Wasserstoffsperoxyds bei fast allen Oxydationen auf das Ueberzeugendste dargethan. Immer waren die Art der Fragestellung bei seinen Versuchen, die Wege, die er auffand, um durch ein experimentum crucis eine Frage zu entscheiden, und die peinliche Exactheit bei der Anordnung der Versuche bewundernswerth. Ein Kennzeichen, ebenso sehr seines persönlichen Wesens wie seiner wissenschaftlichen Arbeit war unbedingte Wahrhaftigkeit, die sich durch einen den eigenen Ansichten günstig erscheinenden Versuch ebenso wenig bestechen liess, wie durch einen auscheinend ungünstigen entmuthigen, so lange noch die geringste Möglichkeit bestand, dass die durch den Versuch gegebene Entscheidung nicht durchaus unzweideutig war.

Durch das von ihm gegebene Vorbild, durch seine Erfindungsgabe in technischen Hilfsmitteln und durch die Tiefe und Vielseitigkeit seiner Kenntnisse machte er den jüngeren Fachgenossen das Arbeiten in seinem Laboratorium zu einer Quelle reicher Belehrung.

Grosse Vorsicht liess Traube in der Veröffentlichung seiner Theorien und Versuchsergebnisse walten. Es kostete ihn immer eine grosse Ueberwindung, ein Manuscript in den Druck zu geben. Immer und immer wieder wurde es umgearbeitet und blieb auch dann noch jahrelang im Pulte liegen, so dass ihm für manche schöne Entdeckung (z. B. des Pergamentpapiers) wegen verspäteter Veröffentlichung die Priorität entging. Literarische Fehden blieben ihm nicht erspart; er führte sie, wo es Noth that, mit schneidender, oft an den Stil von Lessing's Polemiken erinnernder Schärfe durch. Musste er sich doch gegen Missverständnisse seiner Ideen, gegen Bezweifelungen seiner experimentellen Befunde und namentlich oft gegen Missachtung seiner Priorität wehren. Innig erfreut und von Herzen dankbar war er, wo er das Verständniss und die Würdigung fand, die er verdiente. Möchte die nachfolgende, keineswegs erschöpfende Darstellung der wissenschaftlichen Leistungen Traube's die Aufmerksamkeit auf die zum Theil noch ungehobenen Schätze wissenschaftlicher Erkenntniss richten, die in Traube's Arbeiten enthalten sind, und dazu beitragen, dass den Leistungen Traube's das Maass wohlverdienter Anerkennung der Fachgenossen zu Theil werde, das seinen persönlichen Eigenschaften von allen gezollt wurde, die ihn kannten.

»Es ist vornehmlich der Sauerstoff, jener wunderbare Bestandtheil der Atmosphäre, der alles Leben unseres Planeten unterhält, dessen chemischen Eigenschaften und Wirkungen ich nachzuspüren suchte.« (Aus einem Briefe von M. Traube an A. W. Hofmann.)

Die Arbeiten von M. Traube waren nicht auf ein eng umgrenztes Gebiet unserer Wissenschaft beschränkt, sondern sie erstreckten sich weit über die Grenzen der eigentlichen Chemie hinaus und wirkten befruchtend auf die Physiologie der Pflanzen und Thiere und auf die Physik. Es ist aber nicht ein zielloses Haschen nach interessanten Aufgaben, nicht eine lose Aneinanderreihung einzelner Beobachtungen, was uns in den Arbeiten von M. Traube entgegentritt; vielmehr entwickeln sich die meisten Untersuchungen logisch aus einander. Sie sind hervorgegangen aus einer das Ganze der Natur umspannenden Anschauungsweise, der als ruhender Pol Vorstellungen über das Zustandekommen der Oxydationen bei gewöhnlicher Temperatur zu Grunde liegen. Aus ihnen ergaben sich die

Untersuchungen über die Wirkungsweise der anorganischen und organischen Fermente.

Am wenigsten stehen mit den späteren Arbeiten Traube's die Untersuchungen im Zusammenhang, die er in seiner Inauguraldissertation: »De nonnullis chromii connubiis« (1)¹⁾ niedergelegt hat. Es wurde die Zusammensetzung des unlöslichen Chromsulfats von Schrötter ermittelt, für dessen Darstellung mehrere Methoden angegeben wurden; es schloss sich daran die Untersuchung von Chromsulfiden, des Verhaltens von Chromsäure in der Wärme und der besten Darstellungsweise der Chromsäure. Das wohl durch die Arbeiten seines Lehrers Liebig erregte und durch den Einfluss seines Bruders Ludwig Traube verstärkte Interesse für physiologisch-chemische Untersuchungen prägt sich in einigen der Dissertation angefügten Thesen über den Unterschied zwischen anorganischen und organischen Individuen, zwischen organischen Zellen und anorganischen Krystallen aus.

Die ersten Resultate seiner der kaufmännischen Beschäftigung mühsam abgerungenen wissenschaftlichen Thätigkeit legte Traube in zwei Arbeiten »Ueber die Gesetze der Zuckerausscheidung im Diabetes mellitus« (2a) und »Ueber die Verdauung des Fettes im Diabetes mellitus« (2b) nieder. In gewissem Sinne können wir diese Untersuchungen vielleicht als Gelegenheitsarbeiten bezeichnen, da sie wohl ihre Entstehung dem Bestreben verdanken, zur Aethiologie und Heilung der Krankheit etwas beizutragen, der sein zweiter Bruder einige Jahre vorher zum Opfer gefallen war. Es wurde eine neue Methode angegeben, die Intensität der Zuckerausscheidung zu bestimmen. Nicht die Angabe nach Procenten giebt über den Grad der Zuckerausscheidung Aufschluss, sondern die Bestimmung des Quotienten der Zuckermenge durch die Zeit, während welcher er ausgeschieden wurde. Der Einfluss der Nahrungsaufnahme auf die Intensität der Zuckerausscheidung wird untersucht, und es wird gezeigt, dass sich zwei Stadien der Krankheit unterscheiden lassen; in dem ersten Stadium stammt aller Zucker aus der Nahrung, im zweiten werden ausserdem noch stündlich 2.9 g durch Einschmelzung der Organe aus der Leber abgeschieden. Als Ergebniss der zweiten Arbeit, in der der Verbleib des von Diabetikern aufgenommenen Fettes untersucht wurde, stellte sich heraus, dass auch Diabetiker Fett in grossen Mengen zu assimiliren vermögen. Diese von Traube zuerst erkannte Thatsache ist später, namentlich von Cantani bestätigt und von ihm zur Grundlage einer besonderen Diät für Zuckerkrankte gemacht worden²⁾.

¹⁾ Die in () angeführten Zahlen beziehen sich auf das unten angefügte Verzeichniss der Arbeiten Traube's.

²⁾ Wilhelm Ebstein: »Ueber die Lebensweise der Zuckerkranken« Wiesbaden 1892.

Die Untersuchungen über die Zuckerkrankheit gaben wahrscheinlich die Anregung zu den Untersuchungen über die Wirksamkeit der Fermente, denen sich Traube jetzt zuwandte und die für immer im Mittelpunkt seines Interesses blieben. Wie kommt es, dass ein Organismus, der Fett verdaut, Kohlehydrate nicht zu oxydiren vermag? Wie kommt überhaupt Oxydation im Organismus zu Stande? Welches ist die Wirksamkeit der die Oxydationen und anderen Umwandlungen herbeiführenden Fermente? Als Traube seine Theorie der Fermentwirkungen (3.4) veröffentlichte, war der Streit zwischen der Auffassung von Liebig und der von Schwann noch nicht entschieden. Liebig hatte angenommen, dass ein in Zersetzung befindlicher Körper den Zustand der Bewegung seiner Atome auf andere Körper übertragen könne, mit denen er in Berührung komme und hatte dadurch allein die Erscheinungen der Gährung und Fäulniß erklären wollen, ohne der Lebensthätigkeit von Mikroorganismen eine wesentliche Rolle dabei zuzuschreiben. Schwann vertrat die seitdem siegreich gebliebene Ansicht, dass alle Gährungen und Fäulnißerscheinungen auf die Lebensthätigkeit von Spaltpilzen und Infusorien zurückzuführen seien. Traube stellte sich beiden Anschauungen gegenüber auf einen höheren Standpunkt. Die Ansichten von Liebig waren nicht viel mehr, als eine die Unkenntniß der wirklichen Verhältnisse verhüllende Umschreibung. Die Beispiele von Zersetzungen nicht organischer Verbindungen durch angebliche Bewegungsübertragung, die Liebig anführt, werden als nicht stichhaltig von Traube zurückgewiesen. Die Entscheidung darüber, ob wirklich alle Gährungs- und Fäulnißerscheinungen durch Mikroorganismen herbeigeführt werden, musste Traube nach dem damaligen Stande der Wissenschaft offen lassen. Aber auch, wenn Schwann's Ansicht richtig sei, dürfe eine gesunde Naturforschung daraus nur schliessen, dass in den mikroskopischen Organismen Stoffe vorhanden sind, die die Erscheinung der Zersetzung hervorriefen. Diese Stoffe müssen isolirt werden, und wenn sie nicht isolirt werden können, so ist daraus nur zu schliessen, dass die zur Abscheidung angewandten Mittel jene Stoffe chemisch verändern. »Wenn wir einen Diabetiker alles Amylum seiner Nahrung in Zucker verwandeln sehen, so würde man eine Hypothese für lächerlich halten, die den Diabetiker schlechthin als das Ferment für diese Umsetzung hinstellte und hierdurch die ganze Frage für erledigt erachtete«.

Auch heute ist noch wenig zur Entscheidung der Frage nach der Art der Wirkung der Fermente gethan. Die grossen Erfolge der Bakteriologie bestehen doch wesentlich nur in der Erkennung der die verschiedenen Zersetzungen herbeiführenden Organismen, und die hoch ausgebildete chemische Verwandtschaftslehre hat gleichfalls weder etwas über die Umstände aussagen können, denen es zuzuschreiben ist, dass die Reaktionsgeschwindigkeit gewisser Stoffe eine so überaus geringe

ist, noch über die Rolle, welche die die Reactionen beschleunigenden fermentartigen Stoffe dabei spielen. Um so beachtenswerther sind auch jetzt noch die von Traube entwickelten Anschauungen und die zahlreichen sinnreichen Versuche, durch die dieselben gestützt werden. Ein typisches Beispiel einer fermentartigen Wirkung wurde in der Indigoschwefelsäure erkannt. Erhitzt man Traubenzucker oder Rohrzucker mit Indigoschwefelsäure, so wird sie durch Reduction entfärbt, um sich in Berührung mit der Luft wieder zu bläuen, dann unter Entfärbung Sauerstoff auf den Zucker zu übertragen, sich wieder an der Luft zu oxydiren u. s. f., bis schliesslich durch Vermittelung einer minimalen Menge Indigoschwefelsäure der Sauerstoff der Luft grosse Mengen Zucker oxydirt hat. Die Affinität des Zuckers zum Sauerstoff ist grösser, als die der Indigweisschwefelsäure, sonst könnte der Zucker die Säure nicht reduciren. Wenn trotzdem der gegen Zuckerlösung indifferente Luftsauerstoff Indigweisschwefelsäure sofort oxydirt, so ist das ein Beweis für den Satz, »dass die Leichtigkeit, mit der Körper freien Sauerstoff aufnehmen, durchaus nicht in Relation mit dem Grade ihrer Affinität zu demselben steht«. Die Verwesungsfermente, zu denen auch das Ferment der Essigbildung gehört, functioniren ähnlich, wie Indigweisschwefelsäure. Sie wirken bei Abwesenheit von freiem Sauerstoff stark reducirend, nehmen leicht gasförmigen Sauerstoff auf und geben ihn an solche Stoffe ab, die eine grössere Verwandtschaft zum Sauerstoff besitzen, aber trotzdem für sich mit freiem Sauerstoff sich nicht verbinden können. Den Verwesungsfermenten ähnlich sind gewisse, in den lebenden Organismen vorkommende Fermente, z. B. der in den Pflanzen verbreitete, Guajak bei Luftzutritt bläuende Körper und vielleicht auch der Blutfarbstoff. Ihre Wirkung ist nicht wesentlich von der des fein vertheilten Platins verschieden.

Andere Fermente vermögen nicht freien Sauerstoff zu übertragen, sondern denselben anderen Verbindungen, namentlich dem Wasser, zu entziehen, wenn gleichzeitig Stoffe zugegen sind, die den Wasserstoff des Wassers binden können. Diese Fermente geben den dem Wasser entzogenen Sauerstoff schnell an andere Stoffe ab, welche eine grössere Verwandtschaft für denselben besitzen. Auch für diese, die sogenannten Reductionsfermente ist Indigoschwefelsäure ein Analogon. Sie vermag in einer mit Ammoniumcarbonat versetzten Rohrzucker-Lösung den Sauerstoff des Kupferoxyds auf den Zucker zu übertragen. Ganz ähnlich verhält sich Hefe, welche unter gewissen Bedingungen, unter denen Indigoschwefelsäure durch Rohrzucker sonst nicht reducirt wird, den Sauerstoff vom Indigo auf den Zucker überträgt. Auch bei Abwesenheit von Rohrzucker reducirt die Hefe Indigolösung; sie vermag aber nur eine ganz bestimmte Menge Sauerstoff aufzunehmen und wenn sie damit gesättigt ist, reducirt sie weitere

Mengen Indigoschwefelsäure nicht mehr, wofern nicht Rohrzucker zugegen ist, der ihr den überschüssigen Sauerstoff immer wieder abnimmt. Aehnlich functioniren die in der Indigoküpe enthaltenen Fermente, die Indigo zu Indigweiss verwandeln und den hierbei entzogenen Sauerstoff für die Oxydation der Milchsäure und anderer organischen Stoffe zu Kohlensäure verwenden. Eine Uebertragung des Sauerstoffs des Wassers auf einen Bestandteil des Moleküls der Milchsäure und eine Uebertragung eines Theils des Wasserstoffs auf den Rest erklärt die Entstehung von Buttersäure, Kohlensäure und Wasserstoff bei der Milchsäuregährung. Bei der alkoholischen Gährung des Traubenzuckers wird gleichfalls Sauerstoff auf die eine, Wasserstoff auf die andere Gruppe des Moleküls übertragen. Auch Reductionsfermente scheinen in den lebenden Organismen eine wichtige Rolle zu spielen. Die Schwann'sche Hypothese muss umgekehrt werden: Fäulniss und Gährung hängen nicht von Lebensthätigkeiten ab, sondern die chemischen Vorgänge in den lebenden Organismen haben ihren Ursprung in der Wirksamkeit von Fermenten, die gleichzeitig oxydirend und reducirend wirken.

Alle Angaben der an neuen Ideen überreichen Arbeit sind durch scharfsinnig ausgedachte Versuche erwiesen. Viele Ansichten barren noch heute der allgemeinen Anerkennung. Andere Anschauungen sind erst vor ganz kurzer Zeit wissenschaftliches Gemeingut geworden. Dass die invertirende und hydrolysirende Wirkung der Säuren zu den fermentartigen Erscheinungen zu rechnen sei, hat Traube wohl zuerst deutlich ausgesprochen. Diese Wirkung ist aber nicht auf eine besondere Anziehung zum Sauerstoff zurückzuführen, sondern auf ihre Acidität. »Das Detail ihrer Wirkungsweise wird bei genauer Forschung gewiss noch leichter als bei den Proteinf fermenten ermittelt werden können«. Diese Voraussage ist mehr als zwanzig Jahre später durch die Untersuchungen Ostwald's und Anderer erfüllt worden. Wir wissen, dass in der That die invertirende Wirkung der Säuren von ihrer Acidität, d. h. von der Anzahl der in ihren Lösungen enthaltenen Wasserstoffionen abhängt.

Die aus dem Studium der Fermente gewonnenen Anschauungen regten zunächst zu weiteren Untersuchungen über die Respiration der Pflanzen und Thiere an. In seiner Abhandlung über die Respiration der Pflanzen (5) stellte Traube zuerst die durch Versuche gestützte Ansicht auf, dass die Pflanzen zu allen Tageszeiten Sauerstoff aufnehmen und Kohlensäure ausscheiden und dass das Wachsthum eine Function der Athmung sei und daher nur bei Anwesenheit freien Sauerstoffs vor sich gehe. Nicht die Samenlappen nehmen den Sauerstoff auf, sondern der sich entwickelnde Keim, und ganz allgemein sind alle Lebensprocesse an die Aufnahme von Sauerstoff gebunden.

Ebenso bedeutungsvoll sind die von Traube über die Respiration der Thiere aufgestellten Anschauungen (7, 8, 9, 15, 22). Die Frage, ob die oxydierende Einwirkung des Sauerstoffs auf die Nahrungsstoffe im Blute vor sich gehe oder in den anderen Organen, wird hier zum ersten Mal dahin entschieden, dass die Oxydationen hauptsächlich in der Muskelsubstanz erfolgen (Vgl. Bunge, Physiologische und Pathologische Chemie, Leipzig 1887; S. 237). Die Liebig'sche Anschauung, dass nur die Eiweisskörper Kraft erzeugen, während die stickstofffreien Nahrungsmittel nur zur Wärmeerzeugung dienen, wird widerlegt. Eine Vergleichung der Verbrennungswärmen der Nahrungsmittel und des Wärmeäquivalents der Muskelarbeit ergibt, dass keineswegs der für die Muskelthätigkeit verbrauchte Antheil an den Nahrungstoffen im Verhältniss zu dem Theil, der zur blossen Erhöhung der Körpertemperatur ohne Arbeitsleistung dient, so klein sei, wie bisher angenommen worden war. Nicht der Blutfarbstoff ist der eigentliche Sauerstoffüberträger, sondern die Muskelsubstanz, deren Fähigkeit, den aus dem Blut aufgenommenen Sauerstoff auf die in der Muskelflüssigkeit gelösten stickstofffreien Nährstoffe zu übertragen, durch die die Contraction herbeiführende Nervenerregung wesentlich gesteigert wird. Der mit Sauerstoff gesättigte Muskel ist am leistungsfähigsten, er verliert die Fähigkeit, sich zu contrahiren, wenn er von Sauerstoff entblösst ist. Diese Anschauungen fanden in der Beobachtung von Voit eine starke Stütze, der nachgewiesen hatte, dass die Muskelbewegung die Harnstoffbildung nicht vermehrt. Dies alle Welt überraschende Ergebniss war von Traube, seinem Bruder und Heidenhain gegenüber, schon vorhergesagt worden. Die Veröffentlichung der Arbeit erfolgte allerdings etwas später, als die Publication von Voit.

An die Untersuchung über die Respiration der Pflanzen schlossen sich die wichtigen Versuche zur Darstellung künstlicher Zellen (10, 11, 12, 13, 21). Traube hatte die Ansicht aufgestellt, dass die Zellmembran durch die Einwirkung des Sauerstoffs auf einen Bestandtheil der Zelle, nämlich auf die im Protoplasma vorhandenen Kohlehydrate entstehe. Die Bildung der natürlichen Zellhaut und ihr Wachstum konnte dadurch zu Stande kommen, dass sich an der Berührungsstelle zwischen dem Protoplasma und dem Luftsauerstoff ein Niederschlag bildet, der für das Protoplasma und für den Sauerstoff ebenso undurchdringlich ist, wie die von Graham untersuchten colloiden Membranen für amorphe Stoffe. Ein Wachstum dieser Haut konnte deshalb nur an der Peripherie stattfinden und musste verursacht sein durch den Wasserstrom, der aus der wasserreicheren Umgebung in die concentrirtere Zellflüssigkeit eindrang und deren Volumen vergrösserte. Hierdurch wurde die Zellwand gedehnt, und neue Mengen von Protoplasma wurden in deren Poren gestreut, wo sie mit Sauerstoff in Berührung kamen. Es konnten sich hier neue Mengen Membran

bilden, die zwischen die Theile der ursprünglichen Membran sich einschoben. Diese Anschauungen schliessen die Keime der Lehre vom osmotischen Druck in sich und sind dadurch für Physik und Chemie von grösster Wichtigkeit geworden. Es wird hier zuerst auf die wichtige Rolle des osmotischen Druckes, des Turgors, für die Gewebsspannung und das Wachsthum der Pflanzen hingewiesen, und es wird eine Erklärung des Wachsthums der Zellmembran durch Intussusception gegeben. Aber Traube begnügte sich niemals damit, bloss hypothetische Deutungen eines Vorganges zu geben, er suchte dieselben immer durch Versuche zu stützen. Die Bildung einer Membran durch das Aufeinanderwirken zweier Körper, die eine amorphe Verbindung geben, musste sich auch ausserhalb des Organismus realisiren lassen. Da Sauerstoff, dem bei der Bildung der Cellulose eine wichtige Rolle zugeschrieben wurde, indem er einen Theil des Kohlehydrats zu Kohlensäure oxydirt und dabei den Rest des Moleküls als Cellulose zurücklässt, kein colloïdaler Körper ist, so mussten sich auch andere Niederschlagsmembranen unter Anwendung amorpher und krystallisirter Substanzen darstellen lassen. So entstanden als logische Folgerung aus theoretischen Erwägungen, nicht aus zufälligen Beobachtungen, die Versuche über die künstlichen Zellen. Aus Lösungen von Leim und Gerbsäure, sowie von Kupfersalzen und Ferrocyankalium und von anderen Stoffen bildeten sich an der Grenze zwischen den Flüssigkeiten Membranen, die für jeden ihrer Componenten undurchlässig waren. Gerade diese Undurchlässigkeit nicht nur für Colloïde sondern auch für krystallinische Stoffe unterscheidet die Traube'schen Membranen und die von Traube und später von Pfeffer mit ihnen gemachten Beobachtungen so wesentlich von denen Graham's. Die von diesen Membranen begrenzten Zellen verhielten sich in vieler Hinsicht den Pflanzenzellen analog. Sie wuchsen, wie vorausgesehen worden war, durch das Eindringen des Wassers, welches eine Folge des osmotischen Druckes oder, wie es Traube nennt, der endosmotischen Kraft der im Zellinhalt gelösten Stoffe ist. Beim Wachsen des Volumens dehnt sich die Zellwand aus, und sie wächst, wenn ihre Elasticitätsgrenze überschritten ist, durch Aufreissen unsichtbarer Lücken, die sich sofort wieder infolge der Reaction der mit einander in Berührung kommenden, Membran bildenden Stoffe verschliessen.

Traube untersuchte weiterhin auch den Einfluss, den die Schwerkraft auf das Wachsthum dieser anorganischen Zellen ausübte und suchte die hierbei erhaltenen Resultate ebenfalls mit analogen Erscheinungen beim Wachsthum lebender Zellen in Parallele zu stellen, wie überhaupt in Traube's Arbeit die erste experimentell gestützte mechanische Theorie des Zellenwachsthums gegeben ist.

Nach weiteren Versuchen Traube's kann auch Wasser als Membranbildner dienen, wenn es mit einer Lösung von gerbsaurem Leim in concentrirter Leimlösung zusammenkommt. In membranlosen natürlichen Zellen spielt, wie Traube richtig erkannt hat, das Protoplasma die Rolle der halbdurchlässigen Scheidewand. Der Gegenwart einer solchen Scheidewand ist es zuzuschreiben, dass die Zusammensetzung des Zellsaftes der Pflanzen und Thiere des Meeres nicht wesentlich von der anderer Organismen abweicht.

Den Chemiker interessirt vornehmlich die Seite der Traube'schen Versuche, durch welche dieselben für die moderne Entwicklung der theoretischen Chemie so wichtig geworden sind. Traube untersuchte besonders die qualitative Seite des Verhaltens der halbdurchlässigen Membranen. Er stellte fest, dass die Membranen nicht nur für ihre Membranbildner, sondern auch für viele andere krystallinische Stoffe undurchdringlich sind und dass diese Eigenschaft durch Infiltration der Membranen mit anderen Stoffen noch gesteigert werden kann. Die Ursache der Undurchlässigkeit für viele gelöste Stoffe erblickt Traube in der Gegenwart grösserer oder geringerer Poren in den Membranen. Die von Graham angewandte Thierblase enthält Poren, die schon bei starker Vergrößerung zu erkennen sind und deshalb alle gelösten Stoffe ausser denen vom grössten Molekulargewicht, den Colloiden, hindurchlassen. Werden die Poren in den Membranen immer kleiner, so wird einer immer grösseren Anzahl von Stoffen der Durchgang versperrt. Man kann die Poren künstlich dadurch verkleinern, dass man andere Stoffe in ihnen ablagert. Gerbsaurer Leim ist undurchlässig für Gerbsäure, Leim und Blutlaugensalz, durchlässig u. a. für Chlorammonium und Ammonsulfat. Wird die Membran mit Bariumsulfat infiltrirt, so lässt sie Ammonsulfat nicht mehr, wohl aber Chlorammonium hindurch. Ferrocyanpuffer ist undurchlässig für Blutlaugensalz, Kupfersalze, Kaliumsulfat, Ammonsulfat, Chlорcalcium, Chlorbarium, durchlässig aber für Chlorammonium und Chlorkalium. Schlägt man in dieser Membran Chlorsilber nieder, so wird sie auch für Chlorkalium und Chlorammonium und vermuthlich für alle in Wasser löslichen Körper undurchdringlich. Wasser hat von allen Verbindungen mit Ausnahme des Ammoniaks das kleinste Molekulargewicht und durchdringt deshalb alle Membranen. Man kann die Niederschlagsmembranen als Atomsiebe (nach heutiger Ausdrucksweise Molekülsiebe) benützen und das wahre relative Volumen der Moleküle durch dieselben bestimmen. Das wahre Volumen der Moleküle, welches sie im gelösten Zustande erfüllen — nicht das sogenannte Molekularvolumen, der Quotient der Dichte in das Molekulargewicht — scheint dem Molekulargewicht in sehr vielen Fällen proportional zu sein, da die Verbindungen, welche eine Membran passieren, meist ein geringeres Molekulargewicht besitzen, als diejenigen,

für die die Membran undurchlässig ist. Eine (scheinbare) Ausnahme bilden Chlorkalium und Ammoniumsulfat, von denen nur letzteres Ferrocyankupfer nicht passiren kann, wiewohl sein Molekulargewicht (bei Zugrundelegung der alten Atomgewichte) geringer ist, als das des Chlorkaliums. Traube vermuthet, dass der Grund dieser Abweichung in der grösseren Anzahl der im Molekül des Ammoniumsulfats enthaltenen Atome zu suchen sei.

Die Entdeckung der halbdurchlässigen Membranen hat die Messungen von Pfeffer und deren Deutung durch van 't Hoff ermöglicht und ist dadurch für die Entwicklung der Theorie der Lösungen von grösster Bedeutung geworden. Auch die Wichtigkeit dieser Seite der Frage ist Traube nicht entgangen. Er erkannte, dass durch seine Entdeckung der von Graham aufgestellte Begriff des endosmotischen Aequivalents seine Bedeutung verloren hat. Die Endosmose ist unabhängig von jedem Austausch, und sie beruht ausschliesslich auf der Anziehung des gelösten Stoffes zum Lösungsmittel. Traube erkannte, dass die endosmotische Kraft der Colloïde sehr klein ist, dass es wichtig ist, die Grösse dieser Kraft zu messen. Er beobachtete, dass eine 6.6procentige Bleizuckerlösung einer 30procentigen Gerbsäurelösung noch Wasser entzog, dass eine Zelle von Kupferchlorid in Ferrocyankalium mächtig anschwellt, während eine solche von Kupferacetat in derselben Lösung nur ein geringes Wachstum zeigt. Es war hier offenbar eine Methode gegeben, die Concentration isohydrischer Lösungen zu ermitteln. Auch das hat Traube erkannt, dass durch Temperaturerhöhung die endosmotische Kraft erhöht wird.

Eine weitere Verfolgung der quantitativen Bestimmung der endosmotischen Kraft einzelner Stoffe, die Traube in Aussicht genommen hatte, ist unterblieben. Wir mögen dies bedauern, da dann vielleicht schon früher die Chemie den befruchtenden Hauch erfahren hätte, der 20 Jahre später von solchen Untersuchungen ausging. Für Traube hatte die weitere Verfolgung seiner Lebensaufgabe, der Rolle des Sauerstoffs und der Fermente in den Organismen nachzuspüren, einen grösseren Reiz. Durch die Entdeckungen von Pasteur war mit immer zwingenderen Beweisen die Richtigkeit der Schwann'schen Hypothese von der ursächlichen Rolle der Mikroorganismen bei allen Erscheinungen der Fäulniss und Gährung dargethan. Traube's Ansichten über die Wirksamkeit der Fermente konnten dadurch nur äusserlich modificirt werden, da seine Theorie auch diesen Fall schon in Betracht gezogen hatte und von ihm gerade auf die Vorgänge in den Organismen und somit auch in den Mikroorganismen angewandt worden war.

Jedenfalls regten die so wichtigen Ergebnisse von Pasteur's Forschungen Traube zu erneuten Untersuchungen über die Lebens-

und Fäulnisserscheinungen an. Die alte Frage »animal cur vivit et non putrescit« beschäftigte ihn lebhaft und veranlasste ihn, gemeinsam mit Gscheidlen (14, 46) Versuche darüber anzustellen, wie es kommt, dass der Organismus den beständig auf ihn einstürmenden Fäulnissbakterien zu widerstehen vermag. Es wurde in dieser Untersuchung zuerst der wichtige Antagonismus zwischen Fäulnissbakterien und pathogenen Bakterien erkannt, und es wurde vor allem festgestellt, dass das Blut die Fähigkeit besitzt, die eingedrungenen Fäulnissbakterien zu vernichten.

Erst 10 Jahre später ist die grosse Bedeutung dieser Thatsache namentlich durch die Untersuchungen von Metschnikoff allgemein erkannt worden; eine Verfolgung der eingeschlagenen Bahn wurde Traube dadurch verleidet, dass sein Mitarbeiter ihn bei der Verteidigung der gemeinsamen Errungenschaften im Stich liess und erst später die Richtigkeit und Wichtigkeit der gefundenen Ergebnisse nach Wiederholung der Versuche zugab.

Pasteur hatte gezeigt, dass die Hefe auch bei Ausschluss des Sauerstoffs in geeigneter Nährlösung zu wachsen vermöge. Das stand im Widerspruch mit Traube's Annahme, dass alle Lebensprocesse an die Aufnahme von Sauerstoff geknüpft seien. Genaue Versuche (16, 17, 18, 20) bestätigen in der That die Richtigkeit des Pasteur'schen Befundes, sie bestätigen aber andererseits Traube's Ansicht von der wichtigen Rolle des Sauerstoffs auch bei diesem Lebensprocess, da nach Zutritt von Sauerstoff die Vermehrung der Hefe eine ungleich grössere wurde. Auch fand ein Wachsthum der Hefe bei Abwesenheit von Sauerstoff nur in Medien statt, die Eiweiss enthielten, nicht aber in Traubenzuckerlösungen, die Nährsalze aber kein Eiweiss enthielten, so dass die Annahme von Pasteur entkräftet war, dass bei Abwesenheit von Sauerstoff die Hefe denselben aus dem Traubenzucker zu entnehmen im Stande sei. Gelegentlich dieser Versuche hat Traube zuerst ein Verfahren veröffentlicht (19), durch das es ihm möglich war, Hefe zu erhalten, die von Bakterien frei war; dieses Verfahren bestand in einer Züchtung der Hefe bei niedriger Temperatur in einer Lösung, die 5.6 — 8.2 Procent Alkohol enthält. Durch einen 8.2 pCt. nicht überschreitenden Alkoholgehalt wird das Wachsthum der Hefe geschwächt, aber nicht verhindert, durch einen Gehalt von über 5.6 pCt. Alkohol aber werden bei Wintertemperatur die Bakterien getödtet. Pasteur hatte schon früher angegeben, dass er reine Hefe dargestellt habe, sein Verfahren aber noch nicht veröffentlicht. Traube hebt hervor, wie grosse technische Bedeutung die Anwendung von reiner Hefe in den Gährungsindustriem haben werde; es ist bekannt, in wie grossem Umfange sich diese Voraussage seitdem bestätigt hat. — Zur Stütze seiner Theorie, dass die Wirkung der Hefe auf einer Uebertragung des

Sauerstoffs von der einen Gruppe des Moleküls auf die andere unter abwechselnder Oxydation und Reduction des Hefefermentes und Spaltung und Regenerierung von Wasser beruhe, führt Traube Versuche an (15), nach denen durch ein anorganisches, Sauerstoff übertragendes Ferment, das Platinmoiré, bei einer Temperatur von 150 — 160° in wässriger Lösung Traubenzucker in Kohlensäure und einen flüchtigen, in Chlorcalciumlösung unlöslichen Körper gespalten wird, der ähnlich wie Essigäther riecht und die Jodoformreaction giebt. Weitere Untersuchungen über diese, für die Theorie der Gährung sehr wichtige Reaction hat Traube nicht mehr veröffentlicht.

Seine Aufmerksamkeit wurde bald auf ein anderes Gebiet gelenkt. Hoppe-Seyler hatte¹⁾ eine Theorie der Gährung aufgestellt, die in wesentlichen Punkten mit der von Traube übereinstimmte, ohne dessen Arbeiten zu erwähnen. Auch Hoppe-Seyler führte die Wirkung der Gährungsfermente auf ihr Verhalten zum Sauerstoff zurück und nahm an, dass die Umwandlung des Traubenzuckers in Alkohol, der Milchsäure in Buttersäure, durch Wanderung von Sauerstoff nach dem einen Ende des Moleküls unter Reduction der anderen Seite zu Stande komme; er nahm, wie Traube, die Theilnahme des Wassers an den Gährungsprocessen an und versucht gleichfalls die Oxydationsvorgänge in den höheren Organismen durch die Wirkung von Fermenten zu erklären. Nur darin wich Hoppe-Seyler von Traube ab, dass er die Oxydationen im Thierkörper nicht auf Oxydationsfermente zurückführte, die freien Sauerstoff übertragen, sondern auf Reductionsfermente, die nascirenden Wasserstoff entwickeln, ähnlich wie die Fäulnisfermente. Der nascirende Wasserstoff soll ein Atom eines Sauerstoffmoleküls in Wasser verwandeln und dadurch das andere Atom frei machen, welches im nascirenden Zustande die stärksten Oxydationen hervorzubringen im Stande sein soll. Zur Wahrung der Priorität an dem, was in Hoppe-Seyler's Ideen richtig, aber von Traube lange vorher ausgesprochen war, und zur Bekämpfung der Ansichten über die angebliche Activirung des Sauerstoffs durch nascirenden Wasserstoff sah sich Traube zu einer langen erbitterten Polemik gezwungen, die aber nicht unfruchtbar blieb, sondern Traube Veranlassung gab, die Vorgänge bei der Verbrennung sowohl bei niedriger als bei hoher Temperatur zu studiren und die wichtige Rolle, die das Wasser und das Wasserstoffsuperoxyd hierbei spielen, aufzuklären (24—45, 46—49).

Gewichtige Thatsachen konnten von Hoppe-Seyler zu Gunsten seiner Anschauungen geltend gemacht werden. Es war durch die Versuche von Schönbein bekannt, dass Zink, Blei und andere Metalle beim Schütteln mit Wasser oder Säuren und Luft Wasserstoff-

¹⁾ Archiv für die gesammte Physiologie 12, 1.

superoxyd geben. Schönbein hatte angenommen, dass die Sauerstoffmoleküle aus zwei Sauerstoffatomen verschiedener Natur bestehen, deren eines Metall in Oxyd verwandelt, während das andere das Wasser zu Wasserstoffsuperoxyd oxydirt. Diese Theorie schien durch neue Versuche von Hoppe-Seyler und Baumann gestützt zu werden; Wasserstoffpalladium bewirkte beim Schütteln mit Wasser, Sauerstoff und Kohlenoxyd eine Oxydation des letzteren zu Kohlendioxyd, und es war somit anscheinend das Auftreten activer Sauerstoffatome auch durch die bei gewöhnlicher Temperatur erfolgende Oxydation des Kohlenoxyds erwiesen. Auch das Auftreten von Ozon bei der langsamen Verbrennung des Phosphors wurde von Hoppe-Seyler zu Gunsten seiner Theorie ausgeführt.

Traube bekämpfte zunächst die physiologische Grundlage der Ansichten seines Gegners. Wenn das Leben auf einer latenten Fäulniss unter Abspaltung nascirenden Wasserstoffs beruht, so musste sofort nach dem Tode, wenn die Zufuhr von Sauerstoff zum Organismus aufhört, in allen Theilen desselben freier Wasserstoff entwickelt werden, was bekanntlich nur bei Gegenwart von Fäulnissbakterien der Fall ist. Es musste der nascirende Wasserstoff noch leichter als freier Sauerstoff den in Nitraten lose gebundenen Sauerstoff binden; eine Reduction von Nitraten zu Nitriten erfolgt allerdings durch faulendes, also mit Fäulnissbakterien bedecktes Fleisch, nicht aber durch frisches Fleisch, auch wenn der Zutritt von freiem Sauerstoff abgehalten wird.

Ebenso wenig haltbar erwies sich die Theorie von Hoppe-Seyler vom chemischen Standpunkte aus. Es war kein Grund einzusehen, weshalb von den beiden Atomen des Sauerstoffmoleküls nur das eine zur Oxydation des Zinks, des Bleis, des an Palladium gebundenen Wasserstoffatoms dienen, während das andere das Wasser, einen doch zweifellos nicht reducirenden Körper, oxydiren sollte. Wäre das letztere wirklich der Fall, entzögen sich einzelne durch Bindung eines Sauerstoffatoms aus dem Molekül freigemachte Atome der reducirenden Einwirkung des Zinks, des Bleis, des Wasserstoffs, so müssten sie doch eher andere, leicht oxydirbare Stoffe z. B. Indigoschwefelsäure oder Kohlenoxyd oxydiren, als das Wasser. Das ist aber nicht der Fall. Zink mit Wasser und Luft geschüttelt bildet reichliche Mengen Wasserstoffsuperoxyd, aber es tritt keine auch nur spurenweise Zerstörung von Indigoschwefelsäure oder Oxydation von Kohlenoxyd ein. Allerdings ist das der Fall, wenn man statt mit Zink mit Palladiumwasserstoff schüttelt; der Grund der Abweichung blieb Traube nicht lange verborgen. Es wurde zunächst festgestellt, dass Palladiumwasserstoff mit Wasser und Luft Wasserstoffsuperoxyd bildet. Dieses selbst oxydirt Indigoschwefelsäure und Kohlenoxyd nicht. Das Wirksame bei der oxydirenden Wirkung des Palladium-

wasserstoffs ist nicht der nascirende Wasserstoff, auch nicht das Wasserstoffsperoxyd sondern das Metall als solches. Auch wasserstoffreies Palladium vermag mit Luft und Kohlenoxyd geschüttelt das letztere zu Kohlendioxyd zu oxydiren; setzt man Wasserstoffsperoxyd hinzu, so wird auch dessen lose gebundener Sauerstoff auf das Kohlenoxyd, die Indigoschwefelsäure oder den Wasserstoff des Jodwasserstoffs übertragen. Es ist eben nicht der Palladiumwasserstoff in seiner Wirkung den im Organismus enthaltenen, die langsame Verbrennung der Nahrungsmittel oder der Körpersubstanz vermittelnden Fermenten vergleichbar, sondern neben dem schon früher von Traube zum Vergleich angeführten Platin auch das Palladium.

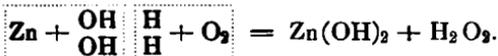
Wie war es aber zu erklären, dass, wenn andere Oxydationen bei Ausschluss von Sauerstoffüberträgern durch die langsame Verbrennung von Zink und ähnlichen autoxydablen Stoffen nicht bewirkt werden, grade das Wasser zu Wasserstoffsperoxyd oxydirt wird. Eine Erklärung hierfür giebt es nicht und kann es nicht geben, weil Wasserstoffsperoxyd gar kein Oxydationsproduct des Wassers ist. Wasserstoffsperoxyd entsteht nie, wenn die stärksten Oxydationsmittel wie Kaliumpermanganat oder Chlorkalk auf Wasser wirken. Es wird im Gegenteil durch diese Stoffe Wasserstoffsperoxyd sofort und vollständig zerstört. Nur ein Umstand schien dem zu widersprechen; bei der Elektrolyse verdünnter Lösungen bildet sich zuweilen Wasserstoffsperoxyd und nichts lag näher als die weit verbreitete Annahme, dass hier das Wasserstoffsperoxyd durch die Einwirkung des nascirenden elektrolytischen Sauerstoffs auf das Wasser gebildet wird. Traube wies zuerst unzweideutig nach (39), dass Wasserstoffsperoxyd sich nicht an der Anode bildet, sondern an der Kathode, wenn freier Sauerstoff zu derselben Zutritt hat. Ja es gelang ihm später sogar der Nachweis, dass unter geeigneten Bedingungen der gesammte elektrolytische Wasserstoff durch Einleiten von Luft in Wasserstoffsperoxyd verwandelt wird.

Wasserstoffsperoxyd ist also kein Oxydationsproduct des Wassers. Es entsteht immer nur unter der Einwirkung molekularen, niemals bei Gegenwart atomistischen Sauerstoffs. Der im Wasserstoffsperoxyd enthaltene Wasserstoff entstammt in allen Fällen dem Wasser und wird aus diesem entbunden, indem die autoxydablen Körper sich der Hydroxylgruppen des Wassers bemächtigen. Die frei gewordenen Wasserstoffatome verbinden sich mit dem Sauerstoffmolekül zu Wasserstoffsperoxyd, so dass dieses in Wahrheit nicht ein Oxydationsproduct, sondern ein Reductionsproduct ist. Damit stimmt es überein, dass es bei der Elektrolyse an der Kathode auftritt, dass es sich bei der Autoxydation von Zink, Blei oder Kupfer gleichzeitig mit anderen Reductionsproducten, z. B. von Nitrit oder Ammoniak, bildet, die auch

bei Luftzutritt hierbei aus Nitrat entstehen. Es stimmt ferner damit überein, dass Wasserstoffsuperoxyd reducirend wirkt auf Permanganat, Mangansuperoxyd, Chlorkalk, Ozon etc. Nicht wie man früher annahm, tritt hierbei je ein Atom Sauerstoff des Wasserstoffsuperoxyds mit einem Atom Sauerstoff des Oxydationsmittels zu einem Molekül zusammen. Wäre das der Fall, so müssten im Moment der gegenseitigen Zersetzung freie active Sauerstoffatome auftreten, die, ehe sie ein Molekül bilden, heftige Oxydationen bewirken. In Wirklichkeit aber hat, wie Traube gezeigt hat, der aus Mangansuperoxyd und Wasserstoffsuperoxyd entwickelte Sauerstoff im Entstehungsmomente nicht die geringste Activität, auch nicht gegen leicht oxydirbare Stoffe, wie Indigochwefelsäure. Bei der Einwirkung von Oxydationsmitteln auf Wasserstoffsuperoxyd wird dessen Wasserstoff in Wasser verwandelt und das Sauerstoffmolekül tritt als Ganzes wieder aus:

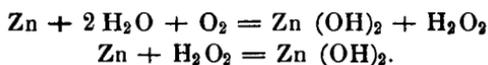


Wasserstoffsuperoxyd ist kein zufälliges Nebenproduct bei Verbrennungen, sondern ein nothwendiges Zwischenproduct derselben. Das hat Traube aufs Schärfste nachzuweisen vermocht. Bei allen Verbrennungen bildet sich Wasserstoffsuperoxyd, sowohl bei gewöhnlicher, als bei der hohen Temperatur der Flammen. Bei der langsamen Oxydation des Zinks erfolgt die Reaction:



Bei der durch Palladium oder Platin vermittelten langsamen Oxydation des Kohlenoxyds wird Wasser zersetzt und der aus diesem frei gewordene Wasserstoff vereinigt sich mit dem molekularen Sauerstoff zu Wasserstoffsuperoxyd. Richtet man eine Flamme von Wasserstoff oder von Kohlenoxyd auf die Oberfläche kalten Wassers, so entzieht dasselbe der Flamme so beträchtliche Mengen Wasserstoffsuperoxyd, dass sogar eine technische Gewinnung desselben auf diesem Wege nicht ausgeschlossen erscheint. Die intermediäre Bildung des Wasserstoffsuperoxyds unter Mitwirkung des Wassers erklärt die Nothwendigkeit der Gegenwart des letzteren bei den Oxydationsprocessen, bei welchen freier Sauerstoff ins Spiel tritt. Traube hat durch einen schönen Vorlesungsversuch gezeigt, dass die Flamme trockenen Kohlenoxyds in trockener Luft erlischt. Selbst der im Palladiumwasserstoff enthaltene Wasserstoff vermag sich nicht direct mit Sauerstoff zu verbinden und absorbirt aus trockener, durch concentrirte Schwefelsäure abgeschlossener Luft keinen Sauerstoff, während nach Verdünnung der Schwefelsäure sofort eine sehr lebhaft Absorption eintritt. Weder Oxydation, noch Bildung von Wasserstoffsuperoxyd tritt ein, wenn man Palladiumwasserstoff mit trockenem Aether und Luft, Zink mit absolutem oder wasserarmen Alkohol und Luft schüttelt.

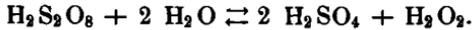
Wenn aber Wasserstoffsperoxyd sich bei allen Oxydationen durch freien Sauerstoff bildet, wie kommt es dann, dass trotz der empfindlichen, durch Traube vervollkommenen Nachweismethoden (30, 31) nur so minimale, kaum erkennbare Mengen von Wasserstoffsperoxyd hierbei zurückbleiben. Man könnte annehmen, dass bei der lebhaften Bewegung der mit einander reagirenden Atome nur vereinzelte zu Wasserstoffsperoxyd zusammentreten, während die Hauptmenge der Reaction nach dem einfachen gewöhnlichen Schema vor sich geht. Wäre das der Fall, so würde die Nothwendigkeit der Gegenwart von Wasser bei den langsamen und schnellen Oxydationen keine Erklärung finden, es würde nicht verständlich sein, weshalb auch bei der langsamen, durch Palladium oder Platin vermittelten Oxydation des Kohlenoxyds Wasserstoffsperoxyd entsteht. Traube begnügte sich nicht mit diesen mehr negativen Beweisen; er wies nach, dass dem ersten Process, der Bildung des Wasserstoffsperoxyds, ein zweiter Process folgt, in welchem dasselbe durch den autoxydablen Körper zerstört wird.



Gelingt es, den zweiten Process zu verhindern, kann man das Wasserstoffsperoxyd sofort nach seiner Bildung der zerstörenden Einwirkung des autoxydablen Stoffes entziehen, so gewinnt man fast genau die nach der ersten Gleichung theoretische Menge Wasserstoffsperoxyd. Dies war durch die elektrolytischen Versuche erwiesen. Es ergab sich ferner aus Versuchen über die langsame Oxydation des Zinkamalgams in alkalischer Lösung bei Gegenwart von Aetzkalk (48). Es wird das nach der ersten Gleichung entstandene Wasserstoffsperoxyd sofort in das wenig lösliche Calciumsperoxyd verwandelt und dadurch der reducirenden Wirkung des Zinks entzogen. Trotz der zerstörenden Wirkung der Alkalien werden bei Verbrennung von 4.721 Gramm Zink 1.8 Gramm Wasserstoffsperoxyd gebildet, also 72.8 pCt. der theoretischen Menge. So lange noch wenig Calciumsperoxyd zugegen ist, ist die Ausbeute noch beträchtlicher. Sie beträgt 98.8 pCt. Es ist somit ein entscheidender Beweis zu Gunsten der Traube'schen Theorie geliefert.

Die wichtigen experimentellen Ergebnisse nöthigten zu einer Revision der Anschauungen über die Constitution des Wasserstoffsperoxyds. Hat dasselbe die Constitution $\text{H} \cdot \text{O} \cdot \text{O} \cdot \text{H}$, so müsste es durch Vereinigung zweier Hydroxylgruppen entstehen und sich z. B. bei der Elektrolyse von Barytwasser, in welchem die Bedingungen für seine Erhaltung besonders günstig sind, an der Anode bilden. Das ist nicht der Fall. An der Anode tritt Wasserstoffsperoxyd nur bei der Elektrolyse von Schwefelsäure bestimmter Concentration auf und hier bildet es sich nicht primär, sondern durch Umsetzung von

Ueberschwefelsäure mit Wasser, wie auch umgekehrt bei geeigneter Concentration Wasserstoffsperoxyd mit Schwefelsäure Ueberschwefelsäure bildet: (40, 42, 43, 45, 47)



Die Bildung des Wasserstoffsperoxyds nur aus molekularem Sauerstoff, sein Zerfall beim Kochen oder bei Behandlung mit Oxydationsmitteln unter Entbindung von molekularem Sauerstoff, der auch im Entstehungsmomente keine Activität besitzt, legten Traube den Schluss nahe, dass Wasserstoffsperoxyd eine Molekülverbindung des Sauerstoffs sei (37, 38, 49). Eine Molekülverbindung des Sauerstoffs war schon bekannt, das Sauerstoffhämoglobin, welches schon durch Verminderung des Partialdruckes des Sauerstoffs in seine Componenten zerfällt, ohne dass der hierbei entbundene Sauerstoff eine grössere Activität besitzt als gewöhnlicher Sauerstoff. Neu war nur die Auffassung, dass ein geschlossenes Molekül ohne vorherigen Zerfall in seine Atome sich mit anderen Atomen verbindet. In analoger Weise sind auch die Superoxyde des Kaliums und Natriums constituirte. Das Ozon enthält nach Traube ein Sauerstoffmolekül, das ebenso, wie im Wasserstoffsperoxyd noch zwei Werthigkeiten besitzt, die hier ein Sauerstoffatom binden. So erklärt es sich, dass Ozon nur ein actives Sauerstoffatom bei der Einwirkung auf Jodwasserstoff, auf Wasserstoffsperoxyd, auf Schwefeldioxyd abspaltet, während, wenn man dem Ozon statt der Formel $(\text{O}_2)\text{O}$ die Formel $\text{O} - \text{O}$ giebt, alle



drei Sauerstoffatome activ abgespalten werden müssten. Nur bei der Einwirkung auf Terpentinöl, Aether etc. werden alle drei Sauerstoffatome des Ozons verbraucht; aber gerade diese Ausnahme bestätigt die Regel, weil hierbei nur ein Sauerstoffatom oxydirend wirkt, die beiden andern, wie gewöhnlicher molekularer Sauerstoff, Wasserstoffsperoxyd bilden. Vielleicht ist Sauerstoff im Molekül dreiwertig und benützt die dritte schwächere Affinität nur zur Bindung fremder Elemente an das Sauerstoffmolekül. Die Ansicht Traube's, dass im Wasserstoffsperoxyd ein ganzes Sauerstoffmolekül vorhanden sei, erfuhr kürzlich durch Untersuchungen von Spring¹⁾ und von Brühl²⁾ eine wichtige Unterstützung.

Mag man den Werth derartiger Betrachtungen über die Constitution anorganischer Verbindungen und über die Erweiterung des Valenzbegriffes hoch oder niedrig schätzen, unberührt bleibt davon die Wichtigkeit der experimentellen Untersuchungen, durch die Traube das Wesen der langsamen und der schnellen Verbrennung aufgeklärt hat.

¹⁾ Ueber Farbe, spezifisches Gewicht und Oberflächen-Spannung des Wasserstoffsperoxyds. Zeitschr. f. anorg. Chem. 8, 423. 1895.

²⁾ Ueber das Wasserstoffsperoxyd. Diese Berichte 28, 2847—66. 1895.

Bewundernswerth wie die Resultate war die Methode, durch die er zu denselben gelangte; es war das strenge Festhalten an dem, was er einmal für richtig erkannt hatte, das ihn immer wieder von Neuem dazu trieb, einfachere und zwingendere Beweise durch elegante Versuche zu erbringen. Der Eifer, mit dem sich Traube der Erforschung der Rolle des Wasserstoffsperoxyds bei den Oxydationen hingab, findet darin seine Erklärung, dass dieser Stoff ihm ja nicht ein beliebiger war unter tausend anderen, sondern dass ihm die Geschichte dieses Stoffes im Zusammenhang stand mit einem universellen Problem, dessen Studium Traube beständig beschäftigte. Das Problem des Lebens war es, dessen Lösung sich Traube zu nähern suchte, als er die Gährung und die Fäulniß studirte, als er das Wesen der Respiration der Pflanzen und Thiere erkannte, als er ein Mittel fand, gewisse Eigenschaften der einfachsten Elemente aller Organismen, der Zellen, durch rein physikalische und chemische Vorgänge zu deuten und zu demonstrieren, und als er die Wirkungsweise des Sauerstoffs in der belebten und leblosen Welt verfolgte. Keine wichtigere Aufgabe als die Lösung dieses Problems kann sich der Naturforscher stellen. *In magnis voluisse sat est.* Traube hat aber nicht nur den ernstesten Willen gehabt, an der Lösung des Problems mitzuarbeiten; seine Arbeit hatte auch Erfolg und er hat die Erkenntniß auf diesem Gebiete wesentlich erweitert. Das sichert ihm für immer einen ehrenvollen Platz in der Geschichte der inductiven Wissenschaften.

Clausthal, December 1895.

G. Bodländer.

Verzeichniß der Arbeiten Moritz Traube's.

1. De nonnullis Chromii Connubiis. (Inaugural-Dissertation, Berlin 1847.)
- 2a. Ueber die Gesetze der Zuckerausscheidung im Diabetes mellitus. (Virchow's Arch. f. path. Anat. 1852, Bd. 4, S. 109.)
- 2b. Ueber die Verdauung des Fettes im Diabetes mellitus. (Virchow's Arch. f. path. Anat. 1852, Bd. 4, 148.)
3. Zur Theorie der Gährungs- und Verwesungserscheinungen, wie der Fermentwirkungen überhaupt. (Pogg. Ann. d. Phys. u. Chem. 1858, Bd. 103, S. 331.)
4. Theorie der Fermentwirkungen. Berlin 1858, Verlag von Ferd. Dümmler.
5. Ueber die Respiration der Pflanzen. (Monatsber. der Kgl Akademie d. Wissensch. zu Berlin 1859, S. 83.)
6. Ueber die Beziehung der Respiration zur Muskelthätigkeit und die Bedeutung der Respiration überhaupt. (Virchow's Arch. f. path. Anat. 1861, Bd. 21, S. 386.)
7. Ueber die Verbrennungswärme der Nahrungsstoffe. (Virchow's Arch. f. path. Ant. 1861, Bd. 21, S. 414.)

8. Gegen die Herren Vogt und Voit. (Virchow's Archiv 1862, Bd. 23, S. 196.)

9. Nachtrag zur Abhandlung »Ueber die Beziehung der Respiration zur Muskelthätigkeit und über die Bedeutung der Respiration überhaupt.« (Virchow's Arch. 1862, Bd. 23, S. 202.)

10. Experimente zur Theorie der Zellenbildung. (Centrabl. f. d. med. Wissensch. 1864, No. 39.)

11. Ueber homogene Membranen und deren Einfluss auf die Endosmose. (Centrabl. f. d. med. Wissensch. 1866, No. 7 u. 8.)

12. Experimente zur Theorie der Zellenbildung und Endosmose. (Reichert's u. du Bois-Reymond's Arch. 1867, S. 87—165.)

13. Experimente zur physikalischen Erklärung der Bildung der Zellhaut, ihres Wachsthums durch Intussusception und des Aufwärtswachsens der Pflanzen. (Rede, gehalten i. d. Sitzung d. botanischen Section der 47. Versamml. deutscher Naturforscher u. Aerzte zu Breslau 1874.)

14. Ueber Fäulniß und den Widerstand der lebenden Organismen gegen dieselbe (Referat über in Gemeinschaft mit Dr. Gscheidlen angestellte Versuche, gehalten zu Breslau in der schles. Gesellsch. für vaterl. Cultur 1874.)

15. Zur Theorie der Fermentwirkungen. (Diese Berichte VII, S. 115.)

16. Ueber das Verhalten der Alkoholhefe in sauerstoffgasfreien Medien. (Diese Berichte VII, S. 872.)

17. Erwiderung auf die Bemerkungen des Herrn Oskar Brefeld. (Diese Berichte VII, S. 1756.)

18. Ueber das Verhalten der Alkoholhefe in sauerstoffgasfreien Medien. Nachtrag. (Diese Berichte VIII, S. 1384.)

19. Ueber reine Alkoholhefe. (Diese Berichte IX, S. 1239.)

20. Ueber das Verhalten der Alkoholhefe in sauerstoffgasfreien Medien. 2. Nachtrag. (Diese Berichte X, 510.)

21. Zur Geschichte der mechanischen Theorie des Wachsthums der organischen Zellen. (Botan. Ztg. 1878, No. 16, 42, 43 u. 44.)

22. Die chemische Theorie der Fermentwirkungen und der Chemismus der Respiration. (Diese Berichte XI, 1984.)

23. Ueber den Milchzucker als Medicament. (Deutsche med. Wochenschrift 1881, No. 9.)

24. Ueber die Activirung des Sauerstoffs durch die Cuprverbindungen. (Vortrag, gehalten i. d. schlesischen Gesellschaft f. vaterländische Cultur zu Breslau 1881.)

25. Ueber die Activirung des Sauerstoffs. 1. Mitth. (Diese Ber. XV, 659.)

26. » » » » » 2. » (Diese Ber. XX, 2421.)

27. » » » » » 3. » (Diese Ber. XX, 2434.)

28. » » » » » 4. » (Diese Ber. XVI, 123.)

29. Ueber das Verhalten des nascirenden Wasserstoffs gegen Sauerstoffgas. (Diese Berichte XVI, 1201.)

30. Ueber eine Reaction auf Wasserstoffhyperoxyd. (Diese Berichte XVII, 1062.)

31. Ueber Kupferjodid. (Diese Berichte XVII, 1064.)

32. Ueber die Mitwirkung des Wassers bei der langsamen Verbrennung des Zinks, Bleis, Eisens und Palladiumwasserstoffs. (Diese Berichte XVIII, 1877.)
33. Ueber die langsame Verbrennung des Kupfers bei Gegenwart verdünnter Schwefelsäure oder einer Lösung von kohlensaurem Ammon. (Diese Berichte XVIII, 1887.)
34. Ueber die Mitwirkung des Wassers bei der Verbrennung des Kohlenoxyds und das Auftreten von Wasserstoffhyperoxyd bei dieser Verbrennung. (Diese Berichte XVIII, 1890.)
35. Ueber die Entstehung von Wasserstoffhyperoxyd bei der Verbrennung des Wasserstoffs. (Diese Berichte XVIII, 1894.)
36. Ueber die Constitution des Wasserstoffhyperoxyds. (Diese Berichte XIX, 1111.)
37. Ueber Sauerstoffmolekülverbindungen. (Diese Berichte XIX, 1115.)
38. Ueber den Wechsel der Valenz und über Verbindungen von Molekülen mit Atomen. (Diese Berichte XIX, 1117.)
39. Ueber die elektrolytische Entstehung des Wasserstoffhyperoxyds an der Kathode. (Sitzungsber. der Königl. preuss. Akademie der Wissensch. zu Berlin 1887, 1041.)
40. Ueber die elektrolytische Entstehung des Wasserstoffhyperoxyds an der Anode. (Diese Berichte XX, 3345.)
41. Zur Lehre von der Autoxydation (langsamen Verbrennung reducirender Körper). (Diese Berichte XXII, 1496.)
42. Ueber die Entstehung von Wasserstoffhyperoxyd aus Ueberschwefelsäure. (Diese Berichte XXII, 1518.)
43. Ueber das Verhalten der Ueberschwefelsäure gegen Stickstoff und über die Verdampfung des Wasserstoffhyperoxyds. (Diese Berichte XXII, 1528.)
44. Zur Lehre von der Autoxydation (langsamen Verbrennung reducirender Körper). (Diese Berichte XXII, 3057.)
45. Ueber Sulfurylhyperoxyd. (Diese Berichte XXIII, 1764.)
46. Zur Geschichte der Lehre von den antiseptischen Eigenschaften der höheren Organismen. (Centralbl. f. klin. Med. 1891, No. 52.)
47. Ueber die sauerstoffreichste Verbindung des Schwefels. (Diese Berichte XXV, 95.)
48. Ueber die bei der freiwilligen Oxydation des Zinks entstehenden Wasserstoffhyperoxydmengen und über Verbrennung durch Sauerstoff überhaupt. (Diese Berichte XXVI, 1471.)
49. Ueber die Constitution des Wasserstoffhyperoxyds und Ozons. (Diese Berichte XXVI, 1476.)
50. Einfaches Verfahren, Wasser in grossen Mengen keimfrei zu machen. (Zeitschr. f. Hygiene u. Infectionskrankh. 1894, VI, 149.)
-