

Professor Haber und die vollkommenste Lösung des Stickstoffproblems.

Von Professor Dr. E. Erdmann in Halle a. d. S.

In dunkler Zeit, da mit der Erniedrigung der äußeren Machtstellung Deutschlands ungerechterweise auch die Achtung der Errungenschaften seines Geisteslebens im Ausland tief gesunken ist, und die internationale Anerkennung der deutschen Leistungen auf den verschiedenen Kulturgebieten, zumal in Wissenschaft und Technik, zu den seltenen Ausnahmen gehört, ist es ein Lichtblick, daß die Schwedische Akademie der Wissenschaften drei deutsche Forscher, die Professoren Haber (Berlin), Planck (Berlin) und Stark (Greifswald) gleichzeitig durch Verleihung des Nobelpreises ausgezeichnet hat.

Während die beiden letztgenannten den Physikpreis für 1918 bzw. 1919 erhielten, wurde der für 1918 zu vergebende Nobelpreis für Chemie Herrn Geh. Reg.-Rat Professor Dr. Fritz Haber, Direktor des Kaiser Wilhelm-Institutes für physikalische Chemie und Elektrochemie in Berlin-Dahlem, für die Synthese des Ammoniaks aus seinen Elementen zuerkannt.

Die Nobelstiftung gründet sich auf das von dem Ingenieur Dr. Alfred Bernhard Nobel 1895 errichtete Testament, welches bestimmt: „Es ist mein ausdrücklicher Wille, daß bei der Preisverteilung keinerlei Rücksicht auf die Nationalität genommen werden darf, so daß also nur der Würdigste den Preis erhält, er sei ein Skandinavier oder nicht.“ Die Schwedische Akademie der Wissenschaften ließ diese von großzügigem Sinne eingegebene Bestimmung der Satzungen nicht nur auf dem Papier stehen, sondern lieferte einen schönen Beweis ihrer Objektivität, indem sie, unbeirrt durch die derzeitige Mißachtung deutscher Geistesarbeit durch andere Nationen, deutschen Forschern den Preis zuerkannte.

Je höher demnach die Ehrung des Preisträgers einzuschätzen ist, der unter erschwerenden Umständen gegen eine internationale Konkurrenz gesiegt hat, um so mehr haben wir Anlaß, uns selbst über die Wichtigkeit seiner Leistung Klarheit zu verschaffen. In den folgenden Ausführungen soll versucht werden, der Bedeutung des neuesten Nobelpreisträgers für Chemie einigermaßen gerecht zu werden und die wissenschaftlich und volkswirtschaftlich bedeutungsvolle, beste Lösung des Stickstoffproblems in kurzen Zügen darzustellen.

Fritz Haber ist ein Schlesier. Geboren am 9. Dezember 1868, empfing er seine Gymnasialbildung hauptsächlich auf dem Johanneum seiner Vaterstadt und studierte dann an den Universitäten Berlin, Heidelberg, Breslau und auf der Technischen Hochschule Charlottenburg. Seine Lehrer waren Bunsen, Helmholtz, A. W. Hofmann, Königsberger, Kopp, Kundt, Quincke, Witt, Zeller. 1891 promovierte er auf Grund einer bei Liebermann ausgearbeiteten Dissertation: „Über einige Derivate des Piperonals“, arbeitete später bei Knorr in Jena noch einige Zeit weiter auf dem Gebiete der organischen Chemie und siedelte dann im Frühjahr 1894 an die Technische Hochschule Karlsruhe über, wo er Studienfreunde aus Heidelberg, z. B. Eitner, wiederfand. Er wurde Assistent des Chemisch-technischen Instituts bei Bunte. Unter dem Einfluß dieses als wissenschaftlicher Gasfachmann wie als Hochschullehrer weit hin bekannten und hochgeschätzten Mannes entstand bei Haber jene Vorliebe für die Beschäftigung mit Gasreaktionen, die, von physikalisch-chemischen Gesichtspunkten ausgehend, einem großen Teil seiner wissenschaftlichen und technischen Arbeiten die Richtung gegeben hat.

Dies zeigt sich zuerst in seiner Habilitationsschrift: „Über pyrogene Zersetzung von Hexan und Trimethylen und Gasverbrennung an gekühlten Flächen,

sowie Verbrennung des Leuchtgases in Gasmotoren.“ Seine mit mehreren Mitarbeitern durchgeführten experimentellen Studien führten ihn zu einer neuen Theorie der Reaktionen, welche die Kohlenwasserstoffe der Fettreihe beim Erhitzen erleiden, zu einer Theorie, die durch Annahme einer Verschiebung der Wasserstoffatome unter gleichzeitiger Spaltung des Kohlenwasserstoffmoleküls in einem gewissen Gegensatz zu den älteren Anschauungen Berthelots, aber mit den experimentellen Tatsachen in besserem Einklang steht. Diese und andere Arbeiten erschienen in dem von Bunte herausgegebenen Journal für Gasbeleuchtung.

Die Lehrtätigkeit Habers, der sich 1896 in Karlsruhe für technische Chemie habilitierte, war indessen eine sehr vielseitige. Gleich nach dem Weggang von Paul Friedländer hatte er in dem berechtigten Wunsche, sein mageres Jahresgehalt von 1200 Mk. etwas aufzubessern, am Bunteschens Institut den Unterricht in Technologie der Gespinnstfasern und Färberei übernommen. Mit Rücksicht hierauf lautete sein Habilitationsvortrag „Über die Theorie des Färbeprozesses“. Auch auf diesem Gebiete hat er sich durch eigene Forschungen produktiv betätigt. Andere Lehraufträge, die er erhielt, wie der für Gaschemie und technische Elektrochemie entsprachen besser noch der Neigung und speziellen Begabung des jungen Privatdozenten. 1898 wurde er zum außerordentlichen Professor ernannt, und im gleichen Jahre erschien sein „Grundriß der technischen Elektrochemie auf theoretischer Grundlage“. Er widmete dieses Buch seinem verehrten Lehrer Prof. Dr. H. Bunte, der einen so maßgebenden Einfluß auf seinen Entwicklungsgang gehabt und mit dem ihn zwölfjährige Zusammenarbeit und ein persönliches, freundschaftlich-kollegiales Verhältnis gegenseitiger Hochschätzung fürs Leben verbunden hat.

Übrigens hat auch das andere damals am chemischen Firmament der Karlsruher Hochschule leuchtende Gestirn, Professor Engler, einen merkbaren Einfluß auf Haber ausgeübt; denn die Veröffentlichungen von Engler und Weißberg über Autoxydation regten ihn zu eigenen Forschungen über diesen Gegenstand an.

Indessen das Hauptarbeitsfeld Habers wurde in Karlsruhe die physikalische Chemie, die ihn mehr und mehr in ihre Kreise zog. Man sagt, er sei auf diesem Gebiete Autodidakt gewesen. Das ist nur bedingt richtig, — insofern nämlich, als er erst in einem späteren Stadium seiner wissenschaftlichen Studien und als selbständiger Chemiker sich dieser Richtung zuwandte. Die ganze Umwelt aber, die geistige Sphäre, in der er in Karlsruhe arbeitete, führte ihn dazu. Bunte hatte, von der Wichtigkeit der physikalischen Chemie und Elektrochemie für Lehre und Forschung durchdrungen, um diese Fächer an seinem Institut heimisch zu machen, einen tüchtigen Schüler des bekannten schwedischen Forschers Arrhenius, den Österreicher Luggin, nach Karlsruhe gezogen und Haber empfohlen, sich mit ihm zu befreunden. Dies geschah. Durch Luggin ist Haber gründlich in die physikalische Chemie eingeführt worden, wie er im Vorwort zum Grundriß der technischen Elektrochemie dem leider früh verstorbenen Freunde und Kollegen bezeugt. Später, als ein eigenes Institut für Physikalische und Elektro-Chemie an der Karlsruher Hochschule begründet worden war, zog als Direktor dieses Institutes der ordentliche Professor Le Blanc dort ein, und nach dessen Berufung nach Leipzig wurde Haber 1906 sein Nachfolger. Er hatte sich inzwischen durch eine erhebliche Anzahl von Spezialarbeiten aus dem Gebiete der Elektrochemie, diesem wichtigen Teil der physikalischen Chemie, bekannt gemacht. Eine Abhandlung über die stufenweise Reduktion des Nitrobenzols hatte in Fachkreisen berechtigte Aufmerksamkeit erregt, ebenfalls günstig aufgenommen wurde sein Buch über die „Thermodynamik elektrochemischer Prozesse“. Eingehende Untersuchungen über die

Elektrodenpotentiale, über die Aluminiumdarstellung, über das Kohlenelement und die Knallgaskette, über das Verhalten fester Elektrolyte, über die Dichtigkeit vagabundierender Ströme und den Eisenangriff in der Erde durch letztere, liegen nebst vielen anderen Veröffentlichungen auf gleichem Arbeitsgebiet.

Im Jahre 1902 unternahm Haber im Auftrage der Deutschen Bunsengesellschaft für angewandte physikalische Chemie eine längere Reise nach den Vereinigten Staaten zum Studium des Hochschulunterrichtes und der elektrochemischen Technik. Die Ergebnisse seiner Reise legte er zu Anfang des Jahres 1903 in einem inhaltreichen Vortrag im Hofmannhause zu Berlin, dann auch in einer Reihe anderer Städte, dar.

Die bereits erwähnte Ernennung zum ordentlichen Professor für physikalische Chemie und zum Direktor des physikalisch-chemischen und elektrochemischen Institutes in Karlsruhe im Jahre 1906 gab ihm Gelegenheit, eine reiche Lehr- und Forschungstätigkeit zu entfalten. Hier setzte er mit einem Kreis von Schülern unter anderem die im Buntaschen Institut begonnenen Arbeiten über Synthese des Ammoniaks fort, auf die noch näher einzugehen sein wird.

Im Jahre 1911 trat Haber mit Herrn Koppel in Berlin in Verbindung, der große Mittel zum Neubau eines an die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft anzuschließenden Instituts für physikalische Chemie und Elektrochemie gestiftet hatte. Haber wurde als Direktor dieses Instituts, das er nach seinen eigenen Plänen in Dahlem bauen konnte, berufen. Im Kriege hat das Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie besondere Berühmtheit erlangt als Zentralstelle der von Haber geleiteten Arbeiten über die Verwendung der Gase als Kampfmittel und ihre Abwehr.

In allen Arbeiten Habers tritt das Streben hervor, den theoretischen Grundlagen der gewählten Aufgaben aufs genaueste nachzugehen und für die Untersuchungsergebnisse einen scharfen mathematischen Ausdruck zu finden. Andererseits ist er sehr geneigt, sich der angewandten Wissenschaft zu widmen, Ziele zu wählen, die praktische Bedeutung haben, und diese Probleme dann mit großer Energie und Zähigkeit bis zu ihrer endgültigen und befriedigenden Lösung zu verfolgen. Dabei wird er nicht nur durch seinen Scharfsinn und eine vollkommene Beherrschung der physikalisch-chemischen Theorien und Methoden, sondern auch durch einen gewissermaßen instinktiven Blick für das praktisch Mögliche und Erreichbare, sowie für die besten zum Ziele führenden Wege unterstützt. Die Vielseitigkeit der Haberschen Arbeitsleistung in Theorie und Praxis voll zu würdigen, ist im Rahmen eines kurzen Aufsatzes unmöglich. Zählt man doch bis zum Jahre 1915 mehr als 100, größtenteils in der Zeitschrift für Elektrochemie, ferner in den Fachzeitschriften für physikalische, anorganische, angewandte Chemie und anderwärts veröffentlichte Abhandlungen von ihm und seinen Mitarbeitern. Nur als Beispiele sollen aus der Fülle dieser Arbeiten einige besonders bedeutungsvolle herausgegriffen werden, und zwar solche, welche technische Probleme der angewandten Wissenschaft behandeln und das Interesse des Halleschen Verbandes in besonderem Maße beanspruchen dürfen.

Zuweilen sind Habers Methoden rein physikalische. So beruht das nach seinen Angaben von der Firma Carl Zeiß in Jena konstruierte „Interferometer“ auf dem verschiedenen Lichtbrechungsvermögen der Gase. Haber zeigte, daß man dies für wissenschaftliche Zwecke schon vorher von Lord Rayleigh benutzte Prinzip mit Vorteil in der technischen Gasanalyse benutzen kann, z. B. zur Leuchtgas- und Heizgasuntersuchung, zur Prüfung von Rauchgasen auf Kohlensäuregehalt, von Wasserstoff auf Sauerstoffbeimengung, von Stickstoff-Wasserstoffgemengen auf Ammoniakgehalt. Das Interferometer ist von Haber schließlich so verfeinert worden, daß man damit in Bergwerken den Methangehalt der Grubenluft durch bloßes Hineinsehen auf Zehntelprozente fest-

stellen kann. Es ist in der von Haber und Carl Zeiß ihm gegebenen Ausbildung ein in der Analyse von Gasen und auch von Flüssigkeiten viel verwendeter Hilfsapparat geworden und hat beim synthetischen Ammoniakprozeß ebenfalls wichtige Dienste geleistet.

Mit dem Interferometer war ein genaues Meßinstrument, aber noch kein eigentlicher Schlagwetteranzeiger geschaffen, der den vor Ort arbeitenden Bergmann warnt. Auch diese Aufgabe löste Haber, als sie an ihn herantrat, auf physikalischem Wege. Im Kaiser-Wilhelm-Institut führte er dem ehemaligen Kaiser Wilhelm II. im Herbst 1913 seine Schlagwetterpfeife vor. Sie besteht der Hauptsache nach aus zwei gedackten, auf denselben Ton gestimmten Lippenpfeifen, von denen die eine mit Grubenluft, die andere mit reiner Luft angeblasen wird. Bei 1% Methangehalt hört man zwei Schwebungen in der Sekunde; vermehrt sich der Methangehalt bis zur Grenze der Explosionsgefahr, so verstärken sich die Schwebungen zu einem charakteristischen Trillern.

Während die vorstehenden beiden Aufgaben auf rein physikalischem Wege erledigt werden konnten, war die Synthese des Ammoniaks ihrem eigentlichen Wesen nach chemischer Art. Auch hier lag ein Gasproblem vor, und man durfte am ersten noch hoffen, ihm mit den Mitteln der physikalischen Chemie beizukommen. Habers Vorliebe für die Beschäftigung mit Gasreaktionen einerseits, mit der physikalischen Chemie andererseits hat ihn in natürlicher Folgerichtigkeit schon frühzeitig zum Studium jenes wichtigen, seit Beginn des 20. Jahrhunderts aktuell gewordenen Stickstoffproblems geführt, dessen glücklichste Lösung ihm gelungen ist und als äußere Anerkennung den Nobelpreis eingetragen hat.

Die chemisch und volkswirtschaftlich hochwichtige Frage, um die es sich hierbei handelt, sei in ihren Umrissen gekennzeichnet.

Der Stickstoff ist in elementarem Zustande, so wie er zu 78 Volumprozent in der Luft vorhanden ist, bekanntlich ein sehr indifferentes Gas, ganz im Gegensatz zu den Stickstoffverbindungen, die infolge ihrer großen Reaktionsfähigkeit in dem Lebensprozeß der Pflanze und des Tieres eine so bedeutungsvolle Rolle spielen. Alle höher organisierten Pflanzen können ihre Stickstoffnahrung nicht im Gaszustande aus der Luft, sondern nur in gebundener Form aus dem Boden aufnehmen und verarbeiten. Sie führen den anorganisch gebundenen Nitratstickstoff in komplizierte organische Verbindungen, z. B. Eiweißkörper, über, die im tierischen Organismus wieder abgebaut werden. Die Stoffwechselprodukte können dann als Harnstoff oder Harnsäure in den Erdboden zurückkehren, um sich hier in die ursprünglichen, einfachen, anorganischen Stickstoffverbindungen, kohlen-saures Ammoniak und salpetersaure Salze, umzuwandeln. Ammoniak und Nitrate sind auch die Umwandlungsprodukte, in die der Prozeß der Fäulnis und der Verwesung den in organische Verbindungen eingetretenen Stickstoff zurückführt.

Bei diesen Kreislaufprozessen geht aber ein Teil des Stickstoffs als freies Stickgas in die Atmosphäre. Andererseits verschleppt der Mensch den gebundenen Stickstoff der Erntefrüchte, so daß er größtenteils dem Acker nicht wieder zugeführt wird, dem er entnommen war. Dort zwar, wo in kleinen landwirtschaftlichen Betrieben der Ertrag der Ernte von Mensch und Tier an Ort und Stelle verzehrt wird, da werden die dem Boden entzogenen Stoffe ihm nach alter Gewohnheit als Stalldünger zurückgegeben. Je umfangreicher aber der Verkauf an Ernteprodukten ist, je mehr Getreide, Obst, Milch, Fleisch von den Orten ihrer Gewinnung nach den Industriebezirken ausgeführt wird, desto schneller tritt eine Verarmung des Bodens an den für die Pflanze wichtigen Nährstoffen ein. Die natürlichen Bildungsvorgänge gebundenen Stickstoffs durch atmosphärische elektrische Entladungen, durch Bodenbakterien und Gesteinsverwitterung

rung reichen nicht aus, um einen schnellen und genügenden Ersatz des Fehlbetrages im Ackerboden zu ermöglichen. Ein intensiver Landwirtschaftsbetrieb kann auch von der aus Urväterzeit stammenden „Brache“ keinen Gebrauch mehr machen, muß vielmehr dafür sorgen, daß der dem Boden entzogene Stickstoff alljährlich unter Zuhilfenahme künstlichen Düngers vollauf ergänzt werde.

Hierfür standen bis vor kurzem wesentlich nur zwei ergiebige Quellen zu Gebote: die südamerikanischen natürlichen Salpeterlager (Chilesalpeter) und das durch Verkokung von Kohle gewonnene Ammoniakwasser. Die Lager an Chilesalpeter gehen in absehbarer Zeit ihrer Erschöpfung entgegen, seine Einfuhr erforderte außerdem eine jährliche hohe Abgabe an das Ausland, die 1913 für Deutschland 166 Millionen Mark betrug. Andererseits ist die Produktion an Ammoniakwasser zum Teil von den Leuchtgasfabriken, zum größeren Teil von dem Betriebe der Kokereien abhängig. Beide gewinnen das Ammoniak als Nebenprodukt. Die Kokereien, die 1913 in Deutschland etwa 85 % der deutschen Ammoniumsulfatproduktion erzeugten, stehen mit ihrem Hauptbetrieb, der Koksproduktion, ihrerseits wieder in vollständiger Abhängigkeit zur Eisenindustrie. Die Ammoniakgewinnung war also bisher nicht Selbstzweck und konnte den Bedarf der deutschen Landwirtschaft an gebundenem Stickstoff kaum zur Hälfte decken. Dabei wuchs dieser Bedarf alle Jahre um etwa 10 %.

Zum Verbrauch der Landwirtschaft tritt hinzu der Verbrauch an gebundenem Stickstoff für industrielle Zwecke, namentlich für Schieß- und Sprengstoffe.

Diese Sachlage und die drohende Erschöpfung der Salpeterlager von Chile und Peru, die man zu Anfang unseres Jahrhunderts noch näher bevorstehend annahm, als sich später herausstellte, mußte die künstliche Herstellung gebundenen Stickstoffs, nämlich von Salpetersäure und Ammoniak, zu einer brennenden volks- und weltwirtschaftlichen Frage machen, und die intelligentesten Köpfe der Wissenschaft und Technik haben sich seit zwei Jahrzehnten mit ihrer Lösung beschäftigt.

Die Möglichkeit, die Verbindungsträgheit des molekularen Stickstoffs zu überwinden und ihn sowohl zur Vereinigung mit Sauerstoff wie mit Wasserstoff zu bringen, zeigte sich in dem seit lange bekannten, natürlichen Vorgang der Bildung von Ammoniumnitrat und Ammoniumnitrit in der Atmosphäre. Die hohe Temperatur des Blitzes vermag den Stickstoff zu verbrennen, d. h. ihn mit Sauerstoff und Wasserdampf zu verbinden, andererseits macht ihn die stille elektrische Entladung reaktionsfähig zur direkten Vereinigung mit Wasserstoff.

Dieser natürliche Vorgang in der Atmosphäre ist vorbildlich geworden für die fabrikatorische Erzeugung der Salpetersäure durch Verbrennung des Stickstoffs im elektrischen Lichtbogen. Der erste größere Versuch, nach dieser Methode Salpetersäure in technischem Maßstab herzustellen, erwies sich zwar als ein Fehlschlag: die „Atmospheric Products Co.“ mußte ihren am Niagara errichteten Betrieb als unwirtschaftlich wieder einstellen. Von Professor Birkeland in Christiania im Verein mit Ingenieur Eyde ist dann aber der technische Erfolg auf diesem Gebiete erreicht worden, und nicht unerhebliche Mengen von „Norgesalpeter“ werden jetzt bekanntlich unter Benutzung der Wasserfälle des Rjukan in Norwegen erzeugt. Indessen verbraucht das Verfahren so viel elektrische Energie, daß nur Länder mit großen und billigen Wasserkraften mit wirtschaftlichem Nutzen danach arbeiten können. Für Deutschland kommt es nicht in Frage.

Der große Energieverbrauch rührt daher, daß zur Vereinigung von Stickstoff mit Sauerstoff eine sehr hohe Temperatur von etwa 3500° erforderlich ist, und daß außerdem bei der Verbrennung des Stickstoffs nicht wie bei der des Kohlenstoffs Wärme frei, vielmehr Wärme gebunden wird. Stickoxyd ist, fachmännisch gesprochen, eine endotherme Verbindung, deren Bildung 27600 g-Kalorien pro Gramm-Molekül verbraucht. Hingegen ist die Vereinigung von Stickstoff mit

Wasserstoff eine exotherme Reaktion, es wird dabei Wärme frei, und zwar bei gewöhnlicher Temperatur in einer Menge von rund 11000 g-Kalorien pro Gramm-Molekül.

Bevor die direkte Vereinigung von Stickstoff mit Wasserstoff gelang, hat man vielfach versucht, auf indirektem Wege Ammoniak zu erzeugen, dadurch, daß der Stickstoff zunächst an Calciumcarbid (Kalkstickstoffverfahren) oder an Aluminium (Verfahren von Serpek) gebunden wird. Namentlich das Düngemittel „Kalkstickstoff“, welches im Boden Ammoniak abspaltet, ist in großen Mengen hergestellt worden. Es erfordert zwar nur den vierten Teil des Energieaufwandes, wie die Verbrennung des Stickstoffs im elektrischen Lichtbogen, immerhin ist für die Wirtschaftlichkeit auch dieses Prozesses eine sehr billige Energiequelle entscheidend. Außerdem wird der Kalkstickstoff von der Landwirtschaft nicht gern verwendet und ist kein dem Ammoniak oder Salpeter gleichwertiges Düngemittel.

Die physikalischen Bedingungen der direkten Vereinigung von Stickstoff und Wasserstoff sind zuerst von Haber näher studiert worden. Schon 1904, ein Jahr vor dem Erscheinen seiner „Thermodynamik technischer Gasreaktionen“, trat er, zusammen mit van Oordt an das Problem der Bestimmung des Ammoniakgleichgewichts bei verschiedenen Temperaturen heran. Bekannt war bereits, daß bei einer Temperatur von 1000° Ammoniakgas fast vollständig in seine Bestandteile zerfällt, aber doch nicht ganz. Ein kleiner Bruchteil Ammoniak bleibt nach Herstellung des Dauerzustandes, dessen Eintritt durch die Gegenwart eines Kontaktstoffes, wie fein verteiltes Eisen, beschleunigt wird, unzersetzt. Dieser Ammoniakrest befindet sich im Gleichgewicht mit Stickstoff und Wasserstoff, der Zerfall wird begrenzt durch die Rückbildung aus den Elementen.

Der erste Erfolg Habers und van Oordts bestand in dem Nachweis, daß sich tatsächlich aus einem Gemisch von drei Raumteilen Wasserstoff und einem Raumteil Stickstoff eine geringe Menge Ammoniak bildet, wenn man das Gemisch unter Atmosphärendruck bei 1000° über einen wirksamen Katalysator, wie Eisen, leitet. Derselbe Katalysator verursacht Zerfall und Vereinigung der Gase.

Die Katalysatormenge, die Haber für diesen ersten Versuch verwendete, betrug nicht mehr als — ein Milligramm! Ein Milligramm Eisen, fein verteilt auf einer Asbestflocke, bewirkt den Zusammentritt des bei 1000° darüber geleiteten Stickstoff-Wasserstoffgemisches insoweit, daß das abziehende Gas 0,004 Volumprozent Ammoniak enthält. So unbedeutend dieser Erfolg für die Praxis erscheinen mag, so grundlegend war doch die hiermit festgelegte qualitative Beobachtung und quantitative Messung tatsächlich. Der kleine Ammoniakherstellungsapparat, den Haber daraufhin schuf, indem er in einer Glühlampe die Kohlefäden durch Eisenspiralen ersetzte, einen Gasstrom aus drei Teilen Wasserstoff und einem Teil Stickstoff hindurchschickte und nach Absorption des entstandenen Ammoniaks das Restgas durch eine Zirkulationspumpe wieder der Birne mit den glühenden Eisendrähten zuführte, war mehr als ein Spielzeug. Er war bereits ein — allerdings noch unvollkommenes — Modell jener großen Apparate der Leunawerke, die täglich Hunderte von Tonnen Ammoniak zu erzeugen vermögen.

Der Habersche Versuch hatte grundsätzliche Bedeutung, da er zum erstenmal die Möglichkeit der Synthese des Ammoniaks aus den Elementen mit Hilfe eines Katalysators experimentell bewies, gleichzeitig gaben aber auch die vorgenommenen quantitativen Messungen ein Mittel an die Hand, um ein Bild von der Möglichkeit der Erhöhung der Ammoniakausbeute durch Änderung der Versuchsbedingungen zu erhalten. Für den mit der Thermodynamik vertrauten

Forscher bedurfte es nur der Kenntnis des Gleichgewichtsgehaltes an Ammoniak bei einer bestimmten Versuchstemperatur, um die Lage des Gleichgewichtes für beliebige Temperaturen und Drucke zu berechnen. Soweit hierzu gewisse physikalische Konstanten, wie die spezifische Wärme des Ammoniaks und seine Bildungswärme, noch nicht genau bekannt waren, hat Haber diese Bestimmungen nach neuen Verfahren ausgeführt. Es ergab sich, daß für gewöhnlichen Druck die Gleichgewichtslage zwar mit sinkender Temperatur immer günstiger wird. Für gewöhnlichen Druck beträgt sie, der Rechnung nach, bei 300° 2,18%, bei 200° 15,3% Ammoniak. Die Aussichten aber, einen Katalysator zu finden, der bei so niedriger Temperatur die Vereinigung von Stickstoff und Wasserstoff mit genügender Reaktionsgeschwindigkeit bewerkstelligt, waren sehr gering.

Auch die teils von Nernst und Jost, teils von Haber und Rossignol bei höheren Drucken von 30 bis 75 Atm. ausgeführten Versuche boten zunächst kein günstigeres Bild. Trotzdem hatte Haber, namentlich im Hinblick auf die positive Bildungswärme des Ammoniaks, die innere Überzeugung, daß die Ammoniaksynthese sich technisch ermöglichen lassen müsse, und setzte sich zu diesem Zweck mit der Badischen Anilin- und Sodafabrik in Ludwigshafen in Verbindung. Sein Gedanke war, die Synthese unter einem beständigen Arbeitsdruck von 100 bis 200 Atm. auszuführen, da nach thermodynamischen Gesichtspunkten mit dem Drucke die Lage des Ammoniakgleichgewichtes günstiger werden, infolgedessen die Reaktionsgeschwindigkeit und die Ausbeute an Ammoniak wachsen mußte.

Von größter Bedeutung war es ferner, daß es Haber gelang, Kontaktstoffe aufzufinden, die nicht erst zwischen 600 und 700° wirksam sind, wie die zuerst angewendeten, das Eisen und Mangan, Nickel und Kobalt, Chrom und Cer, sondern schon zwischen 500 und 600° (Osmium), selbst unter 500° (Uran) eine schnelle Vereinigung des Stickstoffs mit dem Wasserstoff bewirken.

Ferner zeigte Haber, daß man mit strömenden Gasen, auch wenn sie eine erhebliche Geschwindigkeit besitzen, erfolgreich arbeiten kann. In die bei allen Technikern bestehenden Bedenken gegen die Verwendung eines so hohen Arbeitsdruckes, wie er bei der Ammoniaksynthese eine notwendige Vorbedingung ist, legte er die erste Bresche durch Konstruktion eines kleinen Hochdruckapparates, der im Karlsruher Institut für physikalische Chemie gebaut und unter Erzeugung von stündlich 90 g flüssigem Ammoniak kontinuierlich betrieben wurde. Ein mit elektrischer Innenheizung versehener, mit Kontaktmasse beschickter Reaktionsofen dient dabei als Bildungsgefäß für das Ammoniak. Er ist mit einem Ammoniakverflüssiger und einer Zirkulationspumpe zu einem Kreise zusammengeschlossen. Das ganze Umlaufsystem steht unter einem dauernden Druck von 185 Atm., das entstandene Ammoniak wird aus dem Gasgemisch durch Abkühlung ausgeschieden, das Restgas immer von neuem über die Kontaktmasse geleitet, unter Ersatz des verbrauchten Stickstoffs und Wasserstoffs. Dabei treten die heiß aus dem Ofen kommenden, ammoniakhaltigen Gase in Wärmeaustausch mit den aus dem Verflüssiger tretenden, von Ammoniak befreiten, kalten Gasen, so daß eine Regeneration der Wärme und Kälte stattfindet.

Durch die Vorführung dieses Apparates im Jahre 1908 und Habers gleichzeitigen Bericht über die erzielten Ergebnisse gewann die Badische Anilin- und Sodafabrik das lebendigste Interesse an der technischen Durchführung des Verfahrens und betraute hiermit Herrn Dr. Carl Bosch (jetzigen Direktor der Badischen Anilin- und Sodafabrik und Titularprofessor), der die noch vorhandenen, turmhohen Schwierigkeiten einer technischen Darstellung des synthetischen Ammoniaks im großen und größten Fabrikmaßstabe „mit ebenso großer Energie

wie Erfahrung auf dem Gebiete der Chemie und des Ingenieurwesens“¹⁾ überwunden hat.

Zur erfolgreichen Lösung einer chemisch-technischen Aufgabe wie die vorliegende gehört die verständnisvolle Zusammenarbeit des Gelehrten mit dem Techniker. Wie aus der Arbeitsgemeinschaft von Professor Birkeland mit dem Ingenieur Eyde der künstliche „Norgespeter“ hervorgegangen ist, so kam glücklicherweise auch Habers Gelehrtenwerk der Ammoniaksynthese in die richtigen technischen Hände. Carl Bosch wandelte den Laboratoriumserfolg zum großzügigsten der heutigen chemischen Fabrikationsverfahren um, und sein ausschlaggebendes Verdienst um das Zustandekommen eines Großbetriebes der synthetischen Ammoniakherzeugung hat seinen Namen für alle Zukunft mit dem von Fritz Haber verbunden.

Die technischen Schwierigkeiten, die es zu überwinden galt, können hier nur angedeutet werden. Es war erforderlich, Öfen zu bauen, die — geräumig genug, um leistungsfähig zu sein — gleichwohl ausreichende Festigkeit und Betriebssicherheit bei einem Druck von 200 Atm. und Temperaturen von 500° bis 600° besaßen. Dies wird nicht nur durch die allgemeine starke Abnahme der Festigkeit des Eisens oberhalb 400°, sondern noch besonders dadurch erschwert, daß bei so hoher Temperatur der Wasserstoff auf den Kohlenstoff des Stahles einwirkt, ihn gleichsam herauslösend, wodurch das Eisen seine Widerstandsfähigkeit verliert, außerdem porös und für Wasserstoff durchlässig wird.

Ferner mußten die zweckmäßigsten technischen Verfahren der Herstellung und Reinigung der elementaren Gase ausgearbeitet, vornehmlich auch die Giftwirkungen beseitigt werden, welche die Verunreinigungen des Wasserstoffs auf die Kontaksubstanz hervorbringen. Bei der systematischen Bearbeitung des katalytischen Prozesses durch die Badische Anilin- und Sodafabrik wurde in dem Molybdän ein ausgezeichnete, neuer Katalysator aufgefunden, ferner die wichtige Tatsache festgestellt, daß es einerseits spezielle Kontaktgifte der Ammoniaksynthese gibt, andererseits aber auch „Aktivatoren“, d. h. Substanzen (Oxyde, Salze oder Metalle), die, oft nur in sehr geringer Menge zugesetzt, die katalytische Wirkung der Kontaksubstanz außerordentlich erhöhen.

Nach Beendigung aller dieser Vorarbeiten wurde 1911 die erste Fabrik in Ludwigshafen in Betrieb gesetzt, die bereits den ganzen deutschen Bedarf an flüssigem Ammoniak zu decken vermochte. Im Winter von 1913/14 wurde dann die weit größere Fabrik Oppau bei Ludwigshafen mit einer Leistungsfähigkeit von 35000 t Ammonsulfat fertiggestellt. Mit Kriegseintritt wurde die Fabrikation rasch erweitert, und so konnte, nachdem auch eine fast quantitative Überführung des Ammoniaks in Salpetersäure gelungen war, der riesige Bedarf Deutschlands an gebundenem Stickstoff für die Kriegführung beschafft werden.

Die Leunawerke bei Merseburg, der größte chemische Betrieb Deutschlands, sind als Glanzleistung des Professors Dr. Carl Bosch im Kriege entstanden, aber nun auf Friedensarbeit umgestellt. Dort wird das synthetische Ammoniak von der Badischen Anilin- und Sodafabrik nach Habers Verfahren erzeugt. Die nämliche Firma verarbeitet das Ammoniak nach zum Teil ganz originellen Verfahren auf verschiedenartige Düngemittel, nämlich auf schwefelsaures Ammoniak, künstlichen Salpeter, Kaliammonsalpeter, Natronammonsalpeter, Chlorammonium, doppelkohlen-saures Ammoniak, künstlichen Harnstoff und die Doppelverbindung von Harnstoff mit Kalksalpeter.

1) So drückt die Badische Anilin- und Sodafabrik sich aus durch den Mund ihres Direktors Professor Dr. Bernthsen (Vortrag auf dem Internationalen Kongreß für angewandte Chemie in New York am 11. September 1912).

Eine eigene landwirtschaftliche Versuchsstation in der Nähe von Ludwigs-
hafen ist für Vegetationsversuche bestimmt, namentlich auch zu dem Zweck,
für die einzelnen Kulturpflanzen das jeweils beste Düngemittel herauszufinden.
Bereits hat sich an verschiedenen Pflanzen herausgestellt, daß ihre Höchst-
leistung von der Anwendung eines besonderen stickstoffhaltigen Düngemittels ab-
hängig ist. Beispielsweise sind beim Tabak chlorhaltige und nitrathaltige Salze
zu vermeiden, weil erstere die Brennbarkeit, letztere die Haltbarkeit des Blattes
und den Geschmack ungünstig beeinflussen. Dagegen bewährt sich hier vor-
züglich der Harnstoff, da bei diesem Düngemittel sowohl die Menge wie die
Glimmfähigkeit, der Geschmack und der ganze Charakter des Tabaks am besten
ausfallen. In entsprechender Weise scheint auch beim Obst das Aroma durch
die Art des Stickstoffdüngers wesentlich beinflusst zu werden.¹⁾

Wichtiger aber als diese Einzelheiten ist die Tatsache, daß die Badische
Anilin- und Sodafabrik durch ihre Einrichtungen imstande ist, den ganzen
Stickstoffbedarf Deutschlands für Industrie und Landwirtschaft vollauf zu be-
friedigen, völlig unabhängig vom Auslande. Denn die hauptsächlichsten Roh-
materialien für das katalytische Ammoniakverfahren sind Luft, Wasser und
Kohle; zur Herstellung der Düngesalze werden noch Gips und Salz gebraucht,
die als Bodenschätze des Landes reichlich vorhanden sind.

So sehr auch der Konkurrenzneid der Gegner Deutschlands bemüht ist,
unserer Industrie den Bezug von Rohstoffen zu erschweren, Luft und Wasser
haben sie uns lassen müssen. Unter Zuhilfenahme unserer Kohlschätze muß
es jetzt gelingen, so viel Luftstickstoff an Wasserstoff zu binden, um die deutsche
Erde zu höchster Ertragsfähigkeit zu bringen und darüber hinaus veredelten
Stickstoff auszuführen, um im Ausland notwendige Bedarfsartikel unserer Volks-
wirtschaft dafür einzutauschen.

Das ist, vom nationalen Standpunkt aus gesehen, die wirtschaftliche Be-
deutung von Habers Erfindung.

Vom internationalen Standpunkt aber, den das Nobelkomitee für Chemie
einzunehmen hatte, handelt es sich hier um einen glänzenden Sieg des geistigen
Denkens über die träge Materie. *Difficillima saepe facillima sunt!* Das schwierige
Problem der Bindung des Stickstoffs hat seine einfachste Lösung gefunden da-
durch, daß die Bedingungen festgestellt wurden, unter denen mit dem geringsten
Kraftaufwand jene überall uns umgebenden Stoffe, der Stickstoff der Luft und
der Wasserstoff des Wassers, sich glatt miteinander vereinigen. Der „Wider-
stand des Objektes“ ist gebrochen, und die glückliche Lösung dieses Problems
muß durch seinen Zusammenhang mit den Ernährungsfragen unberechenbar weit-
tragende Folgen für die Entwicklung des Menschengeschlechtes zeitigen, da sie
für zahllose Individuen die physische Existenzmöglichkeit neu geschaffen hat.

Kohle freilich ist hierzu noch erforderlich. Aber das Bewußtsein des Er-
folges birgt in sich auch eine starke moralische Kraft und für die Menschheit
den Antrieb zu weiterem Kampfe ums Dasein. Die drohende Gefahr der Er-
schöpfung der Salpeterlager ist verschwunden. Dadurch verliert auch die
zukünftige Gefahr der Erschöpfung der Kohlenlager viel von ihrem beängsti-
genden Charakter. Solange die Sonne ihre leuchtenden und wärmenden Strahlen
der Erde zusendet, wird der rastlos arbeitende Menscheng Geist sie als Quelle zu
nützen wissen, um die chemische Energie daraus zu ziehen, die er zur Ernährung
braucht, und die anderen Energiearten, die zur Erhaltung und Förderung jeder
höheren Kultur notwendig sind.

1) Carl Bosch, Dieses Jahrbuch, Heft 1, 1911, S. 136.