

ACHTER ABSCHNITT.

WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN
DER CHEMISCHEN FORSCHUNG UND DER
CHEMISCHEN TECHNIK.

VON OTTO N. WITT.

Von allen exakten Wissenschaften besitzt keine in so hohem Maße wie die Chemie die Eigenschaft einer unmittelbaren Anwendbarkeit der Ergebnisse ihrer theoretischen Arbeit auf die praktischen Bedürfnisse des Lebens. Einleitung.

So auffallend ist diese Tatsache, daß sie namentlich im Verlaufe des letzten Vierteljahrhunderts von den verschiedensten Autoren immer und immer wieder zum Gegenstand von Betrachtungen in Abhandlungen, öffentlichen Reden, Denk- und Festschriften gemacht wurde, ja sogar in den Verhandlungen der Parlamente aller Industrievölker nicht selten herangezogen und politisch verwertet worden ist. Als Bahnbrecher auf diesem Gebiete der Wechselwirkungen zwischen Wissenschaft und Technik hat in Deutschland der unsterbliche Liebig gewirkt, dem es zuerst gelang, die weitesten Kreise der Bevölkerung von der großen wirtschaftlichen Bedeutung des Studiums der wissenschaftlichen Chemie zu überzeugen, als er mit der ihm eigenen Energie und Beredsamkeit für die Begründung von Unterrichtslaboratorien an den Universitäten eintrat. Aber schon vor Liebig hatten namentlich in Frankreich und England die bedeutendsten Forscher sich bemüht, auf die große praktische Anwendbarkeit aller wissenschaftlichen chemischen Arbeit nachdrücklich hinzuweisen. Innige Beziehungen zwischen chemischer Wissenschaft und Technik.

Doch ist das Verhältnis zwischen der reinen chemischen Forschung und ihren Anwendungen in der Technik durchaus kein einseitiges. Die Wissenschaft ist nicht, wie man vielleicht glauben könnte, ausschließlich die Gebende, die Technik die Empfangende. Vielmehr erweist sich diese letztere sehr häufig als die Pfadfinderin, welche durch ihre auf Erwerb gerichtete, vor der Inangriffnahme neuer Gebiete nie zurückschreckende Tätigkeit die Probleme enthüllt, deren theoretische Bedeutung erst später erkannt und weiter verfolgt wird. Ebenso liefert die praktische Arbeit der chemischen Fabriken eine Fülle von Rohmaterial für wissenschaftliche Untersuchungen, welches unzugänglich geblieben wäre, wenn der Theoretiker für die Beschaffung desselben auf die bescheideneren Hilfsmittel seines Laboratoriums sich hätte beschränken müssen. Beidseitige Vorteile.

Dieser befruchtende Einfluß, den die Technik ihrerseits auf die reine Wissenschaft ausübt, ist in seiner Bedeutung vielleicht etwas später erkannt und

gewürdigt worden, als die Segnungen der Wissenschaft für die Technik, und bis auf den heutigen Tag wird von denen, welche sich mit der Diskussion der zwischen beiden Disziplinen bestehenden Beziehungen befassen, je nach ihrer eigenen Tätigkeit die eine oder die andere Seite der Frage stärker betont. Niemand aber wird bestreiten wollen, daß es sich bei dem Verhältnis zwischen der reinen theoretischen Chemie und der chemischen Industrie um eine Wechselwirkung handelt, welche beiden Disziplinen zum größten Vorteil und Segen gereicht. Diese jetzt allgemein verbreitete Erkenntnis ist die Ursache, weshalb theoretische Forschungen chemischen Inhaltes, selbst wenn sie zunächst keine Beziehungen zu den Problemen der Technik aufweisen, stets mit Leichtigkeit und oft in geradezu glänzender Weise die finanzielle Unterstützung der Regierungen sowohl wie privater Personen und namentlich auch industrieller Unternehmungen finden.

Aus der prakti-
schen chemischen
Arbeit alter Zeit
erwuchs die heu-
tige chemische
Wissenschaft.

Die chemische Technik unserer Zeit trägt so sehr in allen ihren Teilen den Stempel der wissenschaftlichen Prinzipien, die in ihr zur Anwendung kommen, daß sie sehr häufig direkt als ein Produkt der chemischen Wissenschaft betrachtet und bezeichnet wird. Dies ist eigentlich nicht richtig, denn es hat ganz unzweifelhaft eine gewerbliche Arbeit chemischer Art schon seit den ältesten Zeiten gegeben, und erst aus der Behandlung der Fragen, welche sie den denkenden Menschen, die sich mit ihr beschäftigten, zu lösen gab, ist die chemische Wissenschaft entstanden. Die chemische Technik früherer Tage trug einen rein empirischen Charakter, und die aus ihr sich entwickelnden wissenschaftlichen Aufgaben fanden Lösungen, die für unser heutiges Empfinden einigermaßen phantastisch erscheinen. Sie mußten es sein, weil das ihnen zur Verfügung stehende Tatsachenmaterial zu lückenhaft war. So entstanden die älteren theoretischen Anschauungen, wie sie in der Alchemie und Iatrochemie und später in der Phlogistontheorie zum Ausdruck kommen. Aber schon damals verloren die mit theoretischen Spekulationen beschäftigten Geister nicht ganz die Beziehungen aus dem Auge, welche zwischen ihren Schlußfolgerungen und der praktischen Durchführung chemischer Arbeit bestanden. Sie stellten praktische Probleme auf, welche ebenso phantastisch waren, wie die Hypothesen, aus denen sie hervorgingen, die aber jahrhundertlang den Gegenstand heißer Bemühungen zahlreicher Adepten bildeten, bei denen zwar nicht das gesuchte Allheilmittel oder der Stein der Weisen gefunden wurden, dafür aber eine Fülle scheinbar weniger wichtiger Tatsachen, die indessen in ihrer Gesamtheit die Grundlage strengerer theoretischer Anschauungen zu werden berufen waren. So bereitete sich die große Epoche der Begründung unserer jetzigen wissenschaftlichen Chemie vor, welche in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts sich vollzog und mit den Namen eines Cavendish, Priestley, Wenzel, Black, Scheele, Lavoisier und anderer origineller Geister untrennbar verbunden ist. Durch Davy, Faraday, Gay-Lussac und andere wurde dann die physikalische Seite der chemischen Forschung stärker hervorgehoben, durch Berzelius und seine Schule die analytische Grundlage für die Erforschung der Materie geschaffen.

Alle diese Männer, deren Namen die Geschichte der Chemie mit Recht als die der Begründer der reinen chemischen Wissenschaft feiert, sind auch maßgebend dafür gewesen, daß die chemische Technik der Empirie entsagte, auf welche sie sich früher allein hatte stützen können. Sie wurde wissenschaftlich in allen ihren Maßnahmen, und dies ist wohl der Grund, weshalb man so häufig die Ansicht hört, daß es eine chemische Industrie vor Beginn des 19. Jahrhunderts gar nicht gegeben habe, sondern daß dieselbe als praktische Konsequenz aus der am Ende des achtzehnten Jahrhunderts geschaffenen chemischen Wissenschaft hervorgewachsen sei.

In Wirklichkeit ist dies nicht der Fall, sondern es hat, wie ich schon bei früheren Gelegenheiten hervorgehoben habe, eine durchaus nicht unbedeutende chemische Technik schon im Mittelalter gegeben. Niemals aber ist eine menschliche Tätigkeit so sehr der Vergessenheit überliefert worden, wie diese chemische Industrie früherer Jahrhunderte. Die auf wissenschaftlicher Grundlage neu geschaffene chemische Technik schämte sich gewissermaßen ihrer früheren rein empirischen Periode und gedachte ihrer so selten wie möglich. Und da die chemische Technik fast nur Erzeugnisse vergänglichem Charakter hervorbringt, so haben wir mit Ausnahme einiger verstaubter Laboratoriumsapparate, welche hier oder dort in Winkeln vergessen schliefen und später den Museen überwiesen worden sind, keinerlei stumme Zeugen, die uns von der chemischen Arbeit älterer Zeiten in so beredter Weise zu berichten imstande wären, wie es für die Kunst und das Kunsthandwerk die Meisterwerke früherer Jahrhunderte tun, die in großer Fülle bis auf unsere Tage sich erhalten haben. Aber gerade diese Erzeugnisse beweisen uns durch die in ihnen sich offenbarende Art ihrer Herstellung sowie durch das in ihnen zur Anwendung gekommene Material an Metallen aller Art, an Gläsern, keramischen Produkten, Textilfasern, Farbstoffen, Lacken, Firnissen und Emaillen, daß die chemischen Hilfsmittel des Mittelalters keineswegs so armselig gewesen sind, wie man heute geneigt ist, anzunehmen.

Doch noch andere Quellen gibt es, aus denen wir imstande sind, Nachrichten über die vergessene chemische Technik früherer Jahrhunderte zu schöpfen. Es sind dies die Rezepte zur Anfertigung der verschiedensten Chemikalien und Präparate, die sich seit der ältesten Zeit erhalten haben. Einzelne derselben sind schon in den Papyrusrollen der Ägypter aufgefunden und entziffert worden, andere werden erwähnt in den Werken antiker Schriftsteller. Noch reichlicher sind die Nachrichten in der Literatur der Araber, Perser, Chinesen und Japaner, welche allmählich immer mehr und mehr unserer Kenntnis erschlossen wird. Mit der Erfindung der Buchdruckerkunst setzt dann auch in Mitteleuropa die Veröffentlichung der sogenannten Kunstbücher ein, welche in den verschiedensten Ländern erschienen und eine reiche Quelle der Belehrung, in ihrer Gesamtheit aber den Beweis dafür bilden, wie weit es vergangene Tage bereits auf rein empirischem Wege in der Handhabung und chemischen Umformung der Materie gebracht hatten.

Wenn somit an der Existenz einer chemischen Technik in längst vergangenen Zeiten nicht zu zweifeln ist, so beginnt doch die bewußte Anlehnung

Betrachtung der Technik durch die Wissenschaft.

Eine gut entwickelte, jetzt fast vergessene chemische Technik existierte schon im Mittelalter.

Spuren derselben.

Bewußte Wissenschaftlichkeit der modernen chemischen Technik.

derselben an die reine Wissenschaft erst mit dem Ende des achtzehnten Jahrhunderts. Die überraschenden Entdeckungen, welche damals den Forschern verschiedener Länder gelungen waren, riefen naturgemäß den Gedanken einer praktischen Verwertung wach. Von verschiedenen Seiten wurden Anstrengungen gemacht, um diesen Gedanken zu verallgemeinern und zur Tat zu machen. In England begründete der bekannte englische Philanthrop Graf Rumford die Royal Institution, deren ausgesprochener Zweck darin bestand, die Errungenschaften der Chemie und Physik den Gebildeten zugänglich zu machen. Ein ganz besonders glücklicher Zufall wollte es, daß diese Gesellschaft im Jahre 1801, kurze Zeit nach ihrer Gründung die Dienste des damals kaum 23jährigen Humphrey Davy sich sicherte, der in geradezu wunderbarer Weise alle Eigenschaften in sich vereinigte, welche für die ihm gestellte neue Aufgabe erforderlich waren. Immer neue Entdeckungen von der größten Tragweite gelangen ihm; dabei besaß er in allerhöchstem Maße die Kunst, das Erforschte in glänzender und verständlicher Weise einem Publikum vorzutragen, welches zwar aus den Gebildetsten einer Nation sich zusammensetzte, bei dem aber der Sinn und Geschmack für die exakten Wissenschaften erst wachgerufen werden mußte. Es unterliegt keinem Zweifel, daß Davys Tätigkeit an der Royal Institution in einer Zeit, als die englischen Universitäten sich mit der Pflege der exakten Wissenschaften noch so gut wie gar nicht befaßten, außerordentlich viel dazu beigetragen hat, um zu bewirken, daß gerade in England eine chemische Industrie zuerst emporblühte, welche in ihrer auf den Großbetrieb gerichteten Art jahrzehntelang das Vorbild der industriellen Bestrebungen der continentalen Länder blieb.

Entwicklung der Beziehungen zwischen Wissenschaft und Technik in England.

Chemische Technik in Frankreich.

Etwas anders vollzog sich die Einleitung der Beziehungen zwischen Wissenschaft und Technik in Frankreich. Hier war es die Regierung, zunächst diejenige der Republik, später die Napoleons des Ersten, welche die Wichtigkeit der durch Lavoisier und seine Schule verkündeten neuen wissenschaftlichen Lehren erkannte und namentlich durch Preisaufgaben ihre Anwendung auf die Technik zu fördern suchte. Am bekanntesten ist in dieser Hinsicht die Aufgabe geworden, welche die Auffindung eines Mittels zur Umwandlung von Kochsalz in Soda betraf und die Schwierigkeiten beseitigen sollte, welche entstanden waren, als der Krieg mit Spanien den Import der durch Veraschen von Strandpflanzen gewonnenen Alicantesoda oder Barilla zum Stillstand hatte kommen lassen. Die Aufgabe, welche etwas für die damalige wissenschaftliche Denkweise scheinbar Unmögliches, nämlich den Ersatz der im Kochsalz enthaltenen starken Salzsäure durch die äußerst schwache Kohlensäure verlangte, wurde fast genau um die Jahrhundertwende durch Nicolas Leblanc in einer Weise gelöst, deren Genialität wir nur dann voll erfassen können, wenn wir versuchen, uns in die Kenntnisse und die wissenschaftliche Methodik jener Zeit hinein zu versetzen. Es ist bekannt, daß Leblanc den Lohn seiner schönen Erfindung nicht erhielt, sondern im Jahre 1806 in größter Dürftigkeit starb, und daß sein Verfahren der Sodafabrikation erst bedeutend später und zwar nicht in Frankreich, sondern in England zu Ehren kam und zur Grundlage einer großartigen Entwicklung wurde.

Wieder anders als in England und Frankreich bahnten sich die Beziehungen zwischen Wissenschaft und Technik in Deutschland an. Hier bildeten namentlich die Apotheken das vermittelnde Glied; aus ihnen ist eine große Anzahl bedeutender Forscher hervorgegangen, aber aus ihnen hat sich auch die Mehrzahl der älteren chemischen Fabriken Deutschlands entwickelt. Die Apotheke, wie sie gegen Ende des achtzehnten Jahrhunderts in jeder größeren Stadt Deutschlands zu finden war, bildete das praktische Resultat der regellosen und verworrenen iatrochemischen und alchemistischen Arbeiten früherer Tage. In ihr wurden nicht nur Heilmittel und Drogen aller Art in den Handel gebracht, sondern vielfach auch dargestellt oder doch wenigstens in passender Weise gereinigt. Die Apotheke war oft das wissenschaftliche Zentrum einer Stadt, und ihr Laboratorium bildete damals stets ihren wichtigsten Teil. Zum Apotheker ging daher auch jeder, der eine wissenschaftliche Frage erörtern wollte oder aus Neigung oder Bedürfnis Veranlassung hatte, sich experimentell zu betätigen. Bekanntlich hat Karl Wilhelm Scheele, welcher nicht nur unabhängig von Priestley und Lavoisier die Bestandteile der Luft, sondern auch außerordentlich viele andere ungemein wichtige Substanzen, insbesondere auch eine große Zahl von organischen Säuren entdeckte, sein gewaltiges Lebenswerk in der freien Zeit vollbracht, die ihm der Betrieb seiner kleinen Apotheke in Köping in Schweden übrig ließ.

Frühere chemische Technik in Deutschland.

Wenn es sich darum handelt, den Einfluß der mit dem Ende des achtzehnten Jahrhunderts einsetzenden chemischen und physikalischen Forschung im heutigen Sinne des Wortes zu untersuchen, und im Anschluß daran auch die Rückwirkung technischer Arbeit auf die Entwicklung der Wissenschaft zu erkennen, so wird man zweckmäßig unterscheiden zwischen solchen Forschungsergebnissen, welche das gesamte Wesen der Industrie als Ganzes umgestaltet haben, und solchen, die einzelnen Industriezweigen zugute gekommen sind und deren Aufblühen bewirkt oder doch wenigstens gefördert haben. Es wird sich empfehlen, Beispiele für diesen letzteren Sachverhalt erst zu erörtern, nachdem die in der ersten Kategorie genannten Beziehungen zwischen Wissenschaft und Technik einigermaßen gekennzeichnet worden sind.

Die Wirkungen der Forschung auf die chemische Industrie als Ganzes und die Rückwirkungen der Industrie auf die Entwicklung der Forschung. Die chemische Industrie war schon in älterer Zeit ungemein vielseitig. In noch viel höherem Grade gilt dies für unsere heutige Industrie. Diese ist so außerordentlich mannigfaltig, sie beruht auf der Verwendung so verschiedenartigen Rohmaterials und verfolgt so ungleiche Zwecke, daß ihre einzelnen Zweige oft nur recht geringe Ähnlichkeit miteinander haben. Trotzdem gibt es gewisse, allen Teilen der chemischen Industrie gemeinsame Gesichtspunkte, und gerade durch den Hinweis darauf, daß dies so ist, durch die Geltendmachung dieser Gesichtspunkte und die nähere Erforschung derselben hat die Wissenschaft der Technik den größten Dienst geleistet.

Vielseitigkeit der chemischen Technik.

Gemeinsame Gesichtspunkte ihrer verschiedenen Zweige.

Bedeutung energetischer Gesichtspunkte.

Eine Errungenschaft, welche vielleicht mehr als irgend eine andere den Anspruch darauf erheben kann, modern und von der Denkweise früherer Zeiten unberührt zu sein, ist die Erkenntnis des Wesens der Kräfte und der Beseelung der Materie durch die mit ihr verbundene Energie. Selbst die Begründer der heutigen chemischen Wissenschaft waren sich über den Begriff der Kräfte noch nicht klar, sondern vielfach befangen in der Vorstellung eines stofflichen Charakters von Wärme, Licht, Elektrizität und Magnetismus, denen sie allerdings Gewichtslosigkeit zubilligten, und die sie daher in der unklaren Bezeichnung der „Imponderabilien“ zusammenfaßten. Vielleicht war es gerade dieser unglückliche Name, der zunächst die Technik davon abhielt, sich mit der schwerwiegenden wirtschaftlichen Bedeutung dieser Imponderabilien zu befassen.

Wirtschaftliche Bedeutung der Energetik.

Nach und nach freilich dämmerte den Industriellen die Erkenntnis auf, daß die Erzeugung der für sie so notwendigen Wärme, so imponderabel dieselbe auch sein mochte, doch außerordentlich große Gewichte an Brennmaterial verschlang und daß gerade die Ausgaben für dieses einen der wichtigsten Posten in der alljährlich aufgestellten Bilanz bildeten. Als dann durch Robert Mayer, Helmholtz, Joule und ihre Schule die große Lehre von der Erhaltung der Energie geschaffen und von ihnen, sowie anderen Forschern als mechanische Wärmetheorie und Kinetik der Gase ausgestaltet und namentlich auch in ihren technischen Anwendungen gewürdigt wurde, da zögerte auch die chemische Technik nicht, die naheliegenden Konsequenzen zu ziehen, was ihr um so leichter wurde, nachdem durch die Forschungen von Julius Thomsen, Berthelot und vielen anderen die Thermochemie begründet und damit die systematische Betrachtung der Energetik chemischer Vorgänge erschlossen worden war.

Wir wissen heute, daß jeder chemische Vorgang eine materielle Seite, nämlich die Umgruppierung der Atome der in Wechselwirkung tretenden Moleküle, und eine energetische Seite, eine Neuordnung in der Verteilung der Kräfte, mit welchen diese Atome beladen sind, besitzt. Beide miteinander untrennbar verbundene Erscheinungen müssen gewürdigt werden, wenn es sich um die erschöpfende Erkenntnis einer Reaktion, um die volle Beherrschung ihres Verlaufes, namentlich auch im wirtschaftlichen Sinne, handelt.

Bedeutung der Wärme in der chemischen Arbeit.

Daß sehr viele chemische Arbeiten sich nur unter Erwärmung, oft sogar bis auf sehr hohe Temperaturen, andere wieder nur unter Abkühlung durchführen lassen, das war schon den Alchemisten des Mittelalters bekannt, und auch die Mittel zur Herbeiführung der geeigneten Temperaturbedingungen standen ihnen, wenn auch in sehr viel beschränkterem Maße als uns, zur Verfügung. Selbst die Erkenntnis, daß es sich bei manchen chemischen Prozessen nicht nur um äußere Wärmezufuhr handelte, sondern daß in dem Prozeß selbst Wärme entbunden oder latent werden kann, mag ihnen in unklarer Form schon geläufig gewesen sein. Aber das Rechnen mit der Wärme, die Würdigung nicht bloß ihrer, in der erzielten Temperatur zum Ausdruck kommenden Intensität, sondern auch der in Calorien ausgedrückten aufzuwendenden Wärme-

mengen und ihrer Bedeutung für die Kosten der vorgenommenen Arbeit blieb erst unserer Zeit vorbehalten.

Cavendish, der wohl als erster den Begriff der spezifischen Wärme ausbildete, und Dulong und Petit, welche denselben zur Begründung der Lehre von der Atomwärme benutzten, können als Pfadfinder auf dem hier zur Betrachtung stehenden Gebiete gelten, und den letztgenannten Forschern verdanken wir auch den ersten, freilich noch sehr unvollkommenen Versuch einer Berechnung des Wärmehaltes technischer Brennmaterien. Von besonderer Bedeutung für die Technik wurde dann die Ausarbeitung genauer kalorimetrischer Methoden, wie sie durch Regnault und ganz besonders durch Bunsen erfolgte. Durch sie wurde die experimentelle Erforschung der Energetik chemischer Vorgänge vorbereitet, wie sie später durch die oben genannten Begründer einer systematischen Thermochemie in jahrelanger geduldiger Arbeit zustande kam. Bis auf den heutigen Tag ist die experimentelle kalorimetrische Messung ein zuverlässigeres Mittel für die Ermittlung des Wärmehaltes von Brennmaterien geblieben als die Berechnung desselben aus den Ergebnissen der Analyse.

Praktische Thermochemie.

Die Berthelotsche Bombe, jener handliche kleine Apparat zur Bestimmung von Verbrennungswärmen, den sein Erfinder zunächst im Hinblick auf wissenschaftliche Untersuchungen konstruierte, ist heute ein unentbehrliches Hilfsmittel der Technik, dessen Anwendung zur Ermittlung des Wirkungswertes der Heizmaterialien genau ebenso notwendig ist, wie die analytische Prüfung der für die Arbeit einer Fabrik benutzten Rohstoffe.

Calorimetrie.

In solcher, hier natürlich nur in einigen ihrer wichtigsten Gesichtspunkte angedeuteten Arbeit gelangte die Technik allmählich dazu, ihren Aufwand an Energiequellen und insbesondere an Brennmaterial zu kontrollieren und zu beherrschen. Wenn man in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts sich auf den Standpunkt gestellt hatte, daß unter einem Dampfkessel oder einem Schmelzapparat so viel Kohle verfeuert werden müsse, als erforderlich ist, um das Sieden des Wassers oder die Schmelzung des Reaktionsgemisches zu bewirken, so sah man in der zweiten Hälfte mehr und mehr ein, daß dieser Erfolg sich je nach der Konstruktion der Feuerungen und der benutzten Apparate und der mehr oder minder sorgfältigen Vermeidung von Wärmeverlusten mit ganz verschiedenem Aufwand an Brennmaterial erreichen läßt. So ergab sich als Resultat der wissenschaftlichen Forschungen über das Wesen der Wärme für die chemische Industrie das wichtige Prinzip ihrer bestmöglichen Ausnutzung.

Ausnutzung der Wärme.

Einmal im Besitz dieses Prinzips zögerte die Technik nicht, ihre eigenen Bahnen zu gehen und die gewonnene Erkenntnis in ihrem Sinne auszugestalten. Ein neues Prinzip, das Prinzip der Wärmeregeneration, der Wiedergewinnung schon benutzter Wärme, wurde geschaffen, und wir können heute ruhig sagen, daß der finanzielle Gewinn, der im Verlaufe kaum eines halben Jahrhunderts der Technik aus der immer wachsenden Anwendung dieses Prinzips erblühte, sich nicht nach Millionen, sondern nach Milliarden berechnet.

Wiedergewinnung benutzter Wärme.

In der außerordentlichen Erleichterung der Wärmeregeneration bei der Benutzung gasförmiger Brennstoffe liegt der Grund für die in der zweiten

Bedeutung der Gasfeuerungen.

Hälfte des 19. Jahrhunderts allmählich sich geltend machende und noch immer wachsende Vorliebe für die Verwendung von Gasfeuerungen. Für den wissenschaftlich gebildeten Laien, der da weiß, daß in einer mit Kohle oder Holz betriebenen Feuerung das Brennmaterial durch die Mitwirkung der zugeführten Luft sich doch zunächst in Gase verwandelt, ehe es der Flammenbildung und schließlich vollständigen Verbrennung anheimfällt, mag der Gedanke, das Brennmaterial zunächst im Generator zu vergasen und erst das erzeugte Gas an den eigentlichen Ort der Verbrennung zu leiten, wenig wichtig erscheinen, ja er wird vielleicht sogar die Zweckmäßigkeit dieser Maßnahme nicht recht einsehen können, wenn er sich erinnert, daß schon in dem Vorgang der Vergasung im Generator eine gewisse Menge von Wärme entbunden wird. Erst wenn er erfährt, daß das erzeugte Gas, im Gegensatz zu einem festen Brennstoff, im Regenerator mit der Wärme der Abgase aufs Neue beladen werden kann, wenn er ferner die verschiedenen Hilfsmittel kennen lernt, durch welche dem Verluste der im Generator freiwerdenden Wärme vorgebeugt werden kann, erkennt er allmählich die ungeheure Bedeutung regenerativer Gasfeuerungen, um deren Einführung in die Technik Friedrich Siemens sich so große Verdienste erworben hat.

Akzessorische
Vorteile der-
selben.

Wenn durch die Benutzung von Gasfeuerungen auch manche andere Übelstände der alten Heizungsmethoden, namentlich die für viele Zwecke so unangenehme Wirkung der Flugasche, vermieden und die Rauch- und Rußplage gemildert werden, so ist das eine Gabe, welche der Technik bei der Ausgestaltung ihrer Beheizungsmethoden gewissermaßen als Belohnung für ihren Fleiß und ihre Energie mit in den Schoß fiel.

Eine andere hochwichtige und der Anschauungsweise früherer Zeiten vollkommen fremde Neuerung, die ebenfalls erst auf Grund der wissenschaftlichen Forschungen des 19. Jahrhunderts zustande kommen konnte, liegt in der Fortleitung der Wärme und anderer Energieformen und der dadurch ermöglichten, für den rationellen Betrieb von Fabriken so ungemein wichtigen Zentralisation der Energieerzeugung.

Zentralisation
der Wärme-
erzeugung.

Die chemische Arbeit früherer Jahrhunderte, welche von den verschiedenen Formen der Energie nur die Wärme benutzte, um das Spiel der chemischen Affinitäten zu entfesseln und zu leiten, kannte kein anderes Mittel, ihren Reaktionsgemischen Wärme zuzuführen, als dasjenige einer fast unmittelbaren Berührung mit der die Wärme erzeugenden Flamme. Wer etwas kochen wollte, mußte dies in einem Gefäß tun, unter dem eine Feuerung von entsprechender Größe im Gange gehalten wurde. Für eine Fabrikanlage im heutigen Sinne des Wortes, in der gleichzeitig viele Operationen vorzunehmen sind, bedeutet dies eine Unzahl von Feuerungen, welche beaufsichtigt werden müssen und daher einen großen Aufwand an Arbeit erfordern, ganz abgesehen von den unvermeidlichen Wärmeverlusten, welche mit dem Betriebe vieler Feuerungen verknüpft sind. Mit der Einführung des Dampfes macht sich auf diesem Gebiete eine durchgreifende Umgestaltung geltend; die Erzeugung der gesamten zu Koch- und Heizzwecken erforderlichen Wärme kann in einer Dampfkessel-

anlage zentralisiert und der erzeugte Dampf auf weite Entfernungen fortgeleitet werden. Gleichzeitig wird auch in derselben Weise wie in der ganzen übrigen Industrie die Möglichkeit gegeben, durch weitgehende Verwendung von Dampfmaschinen an allen Orten der Fabrik, wo dies nötig erscheint, mechanische Arbeit zu erzeugen und so die menschliche Arbeitskraft zu unterstützen und auf das Vielfache zu steigern.

Annehmlichkeiten der Verwendung von Dampf.

In neuester Zeit hat dann, wie allgemein bekannt, das Zentralisationsprinzip eine ungeahnte Erweiterung durch die Einführung elektrischer Arbeitsmethoden erfahren. Und wie die chemische Industrie nicht gezögert hat, sich die neue Quelle motorischer Kraft zunutze zu machen, so hat sie sehr bald auch begonnen, den elektrischen Strom ganz ebenso wie den Dampf als höchst bequemes Mittel zur Übertragung und Erzeugung von Wärme auszunutzen. Vor dem Dampf hat die Elektrizität in dieser Verwendung den großen Vorzug voraus, daß sie auf noch viel größere Entfernungen fortgeleitet werden kann und bezüglich der zu erreichenden Temperaturen keinerlei Beschränkungen unterworfen ist. Ja, sie eignet sich sogar wie kein anderes Mittel für die Erzielung ganz besonders hoher Temperaturen, die sehr weit über das hinausgehen, was auf dem Wege der Verbrennung irgend welcher Heizmaterialien geleistet werden kann. Sie hat uns daher eine starke Erweiterung des Bereiches der uns zugänglichen Temperaturen gebracht. Da ferner der elektrische Strom sich besonders vorteilhaft im Anschluß an die Ausnutzung von Wasserkraften erzeugen läßt, so ist durch die wunderbare neuzeitliche Entwicklung der Elektrotechnik eigentlich erst die wichtige und für die chemische Technik besonders bedeutsame Errungenschaft der „weißen Kohle“ möglich geworden, die Ausnutzung der Energie fließenden Wassers für die Herbeiführung thermischer Wirkungen. Eine ganze Reihe neuer Fabrikationszweige, bei denen es auf die Erzielung sehr hoher Temperaturen ankommt, sind auf solche Weise entstanden und haben sich in den früher meist dünn bevölkerten gebirgigen Gegenden angesiedelt, in welchen große Wasserkraften zur Verfügung stehen.

Elektrische Zentralisation der Energieerzeugung.

Elektrische Heizung.

Weißer Kohle.

Aber nicht immer kommt es auf die Erzeugung von Wärme an. In immer wachsendem Maße werden wir uns auch der Bedeutung bewußt, die der umgekehrte Vorgang, die Wärmeabsorption, besitzt. Landläufig bezeichnet man das Problem der Hervorbringung von Temperaturen, welche nicht über, sondern unter derjenigen der Umgebung liegen, mit dem etwas unwissenschaftlichen Ausdruck der Kälteerzeugung. Während frühere Zeiten auf diesem Gebiete kaum etwas anderes kannten, als die Abkühlung durch Eis oder Schnee, gelegentlich wohl auch unterstützt durch die Anwendung von Salzzusätzen in den sogenannten Kältegemischen, beginnen in den siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts die Bestrebungen zur systematischen Ausnutzung des Latentwerdens von Wärme beim Versieden verdichteter Gase. Die auf solche Weise entstehenden Kältemaschinen konnten erst geschaffen und auf hohen Wirkungswert gebracht werden, nachdem einigermaßen das Wesen der Gase erkannt war. Hier findet die Lehre von der Kinetik der Gase ihre praktische Verwendung, speziell auch die Forschungen von Andrews über die kritischen Daten, durch

Wärmeabsorption.

Kältemaschinen.

Industrie der
verdichteten
Gase.

welche der früher als unantastbar betrachtete Begriff der Incoerzibilität gewisser Gase über den Haufen geworfen wurde. Durch eine richtige und geschickte Verwendung der so gewonnenen Erkenntnis entstand die Industrie der verflüssigten Gase, welche man als eine Gehilfin der gesamten chemischen Technik bezeichnen kann. Wie große Bedeutung dieselbe in dem inzwischen verflossenen Vierteljahrhundert gewonnen hat, wie heute sogar die flüssige Luft nicht mehr das interessante Resultat eines Vorlesungsversuches, sondern schon seit Jahren ein wichtiges und viel verwendetes technisches Hilfsmittel geworden ist, das ist zu allgemein bekannt, als daß es in dieser kurzen Darstellung in seinen Einzelheiten geschildert werden sollte.

Das Wasser ist sicher der älteste Bundesgenosse des Menschen bei seiner gewerblichen Arbeit. Wenn wir heute erkennen müssen, daß wir Jahrtausende gebraucht haben, ehe wir gelernt haben, die gewaltigen Kräfte uns voll zunutze zu machen, mit denen das Wasser auf seinem Kreislauf beladen wird, so verdanken wir die Möglichkeit des erzielten Fortschrittes auf diesem Gebiete lediglich einer zielbewußten Anwendung der Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung.

Chemie des
Wassers.

Aber auch die an sich so einfache Chemie des Wassers ist dem Menschen außerordentlich lange verhüllt geblieben. Ich meine nicht bloß die Zusammensetzung des Wassers aus den in ihm verbundenen Elementen Wasserstoff und Sauerstoff. Die Ergründung dieser Zusammensetzung fällt zusammen mit der Entstehung der modernen chemischen Wissenschaft überhaupt. Technisch war von nicht minder großer Bedeutung die von der Wissenschaft geschaffene und allmählich zum Gemeingut gewordene Kenntnis der Verunreinigungen, die das Wasser in seinem Kreislauf aufnimmt und in seinen verschiedenen Erscheinungsformen mit sich führt.

Daß verschiedene Arten des Wassers in ihrem Wesen sehr verschieden sein können, das hat schon das Mittelalter erkannt und von dieser Tatsache sogar manchen Gebrauch gemacht. Eine kritische Auswahl des für technische Zwecke erforderlichen Wassers aber ist doch erst auf Grund quantitativer analytischer Methoden möglich geworden. Wie wir heute wissen, daß selbst das früher für ganz rein gehaltene, in Form von Regen und Schnee aus der Atmosphäre herabfallende Wasser in einem gewissen Gehalt an Ammoniumnitrit eines der wichtigsten Nährmittel der Pflanzenwelt auf den festen Erdboden herabträgt, geradeso kennen wir auch die nützlichen und schädlichen Wirkungen, welche diejenigen Substanzen hervorbringen, die das Wasser bei seiner Wanderung durch die feste Erdrinde aufnimmt. Wir wissen, daß der Kesselstein, jenes unbequeme, Wärmeverluste verursachende und unter Umständen sogar höchst gefährliche Inkrustationsprodukt unserer Dampfkessel, den Kalk- und Magnesiumsalzen des Kesselspeisewassers seine Entstehung verdankt, wir wissen aber auch, durch welche Maßnahmen wir seine Bildung vermeiden können. Wir kennen auch die wohltätige Wirkung, die der Kalk- und Magnesiumgehalt des Wassers in vielen seiner Verwendungen ausübt, kurz, wir können unser für technische Zwecke bestimmtes Wasser zweckmäßig aus-

wählen und ungeeignetes Wasser nach Maßgabe der beabsichtigten Verwendung verbessern.

Alles dieses ist uns erst auf Grund der Erkenntnis möglich geworden, welche die Wissenschaft in geduldiger Forschungsarbeit uns allmählich geliefert hat. Da nun das Wasser ein ganz allgemeines, bei aller gewerblichen Arbeit, sie mag sein wie sie wolle, unentbehrliches Hilfsmittel ist, so müssen wir alle auf Erforschung des Wassers gerichtete wissenschaftliche Arbeit zu den großen Segnungen rechnen, die der Technik im allgemeinen und ganz besonders der gesamten chemischen Industrie durch die Auswertung wissenschaftlicher Forschungsarbeit zuteil geworden sind.

Die jüngste aller Wissenschaften, die Biologie, hat in der Tier- und Pflanzenwelt die weite Verbreitung des Phänomens der Symbiose entdeckt, der Lebensgemeinschaft von Geschöpfen verschiedenartiger Organisation, von denen jedes durch seine besonderen Eigenschaften dem anderen nützliche Dienste leistet. Eine solche Symbiose besteht auch zwischen der forschenden, nach idealen Werten ringenden Wissenschaft und der für den Markt arbeitenden, nach realen Werten suchenden Technik. Unternimmt man es, nach den zwischen beiden bestehenden Zusammenhängen zu suchen, so erkennt man sehr bald, daß dieselben überall zu Tage treten und daß beide, scheinbar so verschiedenartige Formen menschlicher Arbeit untrennbar miteinander verbunden sind. Die exakten Wissenschaften ergründen die Naturgesetze und enthüllen die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen, die Technik benutzt die gewonnene Erkenntnis zum Wohle der Menschheit. Sie schafft dabei Verhältnisse, unter denen sich das Walten der benutzten Gesetzmäßigkeiten oft schärfer und klarer verfolgen und beobachten läßt, als in der freien Natur. Damit gibt sie dem Forscher Gelegenheit zur Ausdehnung und Vertiefung der gesammelten Erkenntnis. So fördert sie in ihrem Suchen nach realen Werten auch die idealen Bestrebungen der reinen Wissenschaft, denen sie selbst ihre ersten Anregungen verdankte.

Das Vorstehende gilt nicht nur für die bis jetzt betrachteten, allen chemischen Gewerben gemeinsamen Gesichtspunkte, sondern ebensoschr auch für die einzelnen Zweige der chemischen Technik. Jeder derselben hat es verstanden, bestimmte Ergebnisse der reinen Wissenschaft sich zunutze zu machen und keiner hat es unterlassen, seinerseits der Wissenschaft mannigfache Anregung zu geben. Es lohnt sich wohl, die zwischen Wissenschaft und Technik bestehenden Beziehungen auch für einzelne Zweige der chemischen Industrie etwas genauer zu verfolgen, wie es im Nachfolgenden geschehen soll.

Die Industrie der starken Säuren, Schwefelsäure und Salpetersäure, ihr Ausbau und ihre Umgestaltung unter dem Einfluß der wissenschaftlichen Forschung. Wie die chemische Wissenschaft, so begann auch die chemische Technik ihren Siegeslauf mit der Bearbeitung anorganischer Verbindungen, welche in ihrer Beständigkeit leichter zu handhaben sind, als die viel zersetzlicheren organischen Substanzen. In der anorganischen

Chemische Wissenschaft und Technik stehen in einem symbiotischen Verhältnis zu einander.

Die Produkte der anorganischen Großindustrie als Handwerkszeug des Chemikers.

Ältere Methoden der Darstellung von Schwefel- und Salpetersäure.

Welt mußte zunächst das Handwerkszeug gesucht werden, mit dem die Erschließung auch der organischen Natur gelingen konnte. Dieses Handwerkszeug sind die starken Mineralsäuren, Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure, die kaustischen Alkalien und eine Reihe von vielfach verwendbaren Salzen. Je reger das Studium und die Anwendungen der Chemie wurden, desto mehr wuchs auch der Bedarf für dieses Handwerkszeug; so kam es, daß die Herstellung der genannten Körper der erste Zweig der chemischen Technik war, der den Charakter einer Großindustrie annehmen konnte.

Schwefelsäure und Salpetersäure waren schon zu Beginn der neueren Zeit in ausgedehntem Maße benutzt worden. Die erstere wurde im Zusammenhang mit der Tätigkeit der Alaunwerke durch die Destillation des „Vitriols“, der eingedampften Laugen aus verwitterten Schiefen gewonnen und daher zumeist auch als „Vitriolöl“ bezeichnet. Die Herstellung dieses Produktes blühte an vielen Orten, wo die erforderlichen Schiefer vorkamen: bekannt sind in dieser Hinsicht die Gegend von Nordhausen sowie gewisse Gebiete in Böhmen. Das in tönernen Flaschen den Gegenstand eines recht bedeutenden Handels bildende Vitriolöl diente für die verschiedensten Zwecke und namentlich auch zur Herstellung von Salpetersäure, welche unter dem Namen „Scheidewasser“ in der Industrie der Edelmetalle ausgedehnte Verwendung fand. Man erhielt sie durch Destillation eines Gemisches von Vitriolöl und Salpeter, welcher letztere von den „Salitern“ oder Salpeterkochern auf Grund besonderer Privilegien durch Auskochen der in der Nähe von Ställen und Düngerhaufen sich bildenden salpeterhaltigen Erde, später auch in den zu diesem Zweck angelegten „Plantagen“ dargestellt wurde.

Schon die Alchemisten hatten gefunden, daß man durch Verbrennen eines Gemisches von Schwefel und Salpeter eine Substanz gewinnen konnte, welche mit dem Vitriolöl identisch war. Diese Beobachtung wurde zur Grundlage des modernen Verfahrens der Fabrikation der sogenannten englischen Schwefelsäure, dessen Anfänge wohl auf Clément und Désormes zurückzuführen sind, zwei wissenschaftlich gebildete Inhaber eines Alaunwerkes in Vergerie in Frankreich. Dieses Verfahren, welches darauf beruht, das durch Verbrennung von Schwefel entstehende Schwefeldioxyd in mächtigen aus Blei gefertigten Kammern bei Gegenwart von Wasser, atmosphärischer Luft und Oxyden des Stickstoffs zu Schwefelsäure zu oxydieren, konnte sich zu seiner vollen Größe erst entwickeln, nachdem im Jahre 1827 der französische Physiker Gay-Lussac in dem nach ihm benannten Turm ein Mittel angegeben hatte, um die bei dem Verfahren früher preisgegebenen Reduktionsprodukte der Salpetersäure wiederzugewinnen und aufs neue zur Oxydation von schwefliger Säure zu verwerten. In dieser Erfindung haben wir eines der frappantesten älteren Beispiele der Befruchtung der chemischen Technik durch die Ergebnisse streng wissenschaftlicher Forschungsarbeit zu erblicken.

Etwa gleichzeitig mit der Einführung des Gay-Lussac-Turmes vollzog sich in der Schwefelsäure- und Salpetersäureindustrie der Ersatz des früher ausschließlich benutzten Kalisalpeters durch den im Jahre 1821 von Mariano de

Rivero in der Wüste Atacama an der Westküste Südamerikas entdeckten Natron- oder Chilisalpeter, welcher seit dem Jahre 1830 in fortwährend wachsenden Mengen auf den europäischen Markt gelangte. Die erfolgreichen Bestrebungen, dieses Salz auch zur Herstellung des für die Pulverfabrikation unentbehrlichen Kalisalpers zu benutzen, indem man dasselbe mit dem in Staßfurt entdeckten Chlorkalium umsetzte, führten zur Begründung einer neuen Industrie, der Fabrikation des „Konversionssalpeters“, deren Entwicklung nicht wenig dazu beigetragen hat, die wissenschaftliche Erforschung der in gemischten Salzlösungen stattfindenden Vorgänge vorzubereiten, ein Studium, welches in unserer Zeit unter der Führung von van't Hoff auf breitester Grundlage durchgeführt worden ist und ungeahnte Bedeutung erlangt hat.

Die Entwicklung der Fabrikation der Schwefelsäure zu dem großartigen Betriebe des Bleikammerprozesses, wie er heute besteht, war in erster Linie bedingt durch den großen Schwefelsäurebedarf der aufblühenden Sodaindustrie, von der sogleich die Rede sein wird. In der Mitte des 19. Jahrhunderts gesellte sich in der durch Liebigs Forschungen ins Leben gerufenen Superphosphatindustrie eine weitere gewaltige Absatzquelle für Schwefelsäure der ersten hinzu. Daneben lernte man die vielseitigen Eigenschaften der Schwefelsäure immer besser kennen, so daß sie nach und nach eines der unentbehrlichsten Hilfsmittel der gesamten Technik wurde. Während der ganzen Zeit ihrer Entwicklung bis in die jüngsten Tage hinein hat die Schwefelsäureindustrie nicht aufgehört, das Interesse der Vertreter der reinen Wissenschaft zu erregen. Seit Berzelius, oder vielleicht schon Clément und Désormes, eine Erklärung des Bleikammerprozesses zu geben versuchten, haben immer wieder andere Forscher mit den komplizierten Vorgängen, die während der Bildung der Schwefelsäure sich abspielen, sich beschäftigt. Wenn so der Bleikammerprozeß das bestdurchgearbeitete aller technischen Verfahren geworden ist, so hat er gleichzeitig der reinen Wissenschaft eine Fülle von wertvollen Anregungen gegeben. Er ist auch die direkte Ursache für bedeutsame Forschungen geworden, welche ohne seine Mitwirkung vermutlich noch sehr lange auf sich hätten warten lassen. Ein Abfallprodukt der Schwefelsäurefabrikation, der Bleikammerschlamm, lieferte uns zwei neue Elemente: In ihm entdeckte 1817 Berzelius das Selen und 1861 Crookes das Thallium. Für beide Elemente bilden noch heute die Nebenprodukte der Schwefelsäurefabrikation das zugänglichste Rohmaterial. Das Studium der Bildung der Schwefelsäure hat endlich nicht wenig dazu beigetragen, auf dem schwierigen Gebiete der katalytischen Erscheinungen die Klarheit herbeizuführen, deren wir uns heute erfreuen.

Man kam nach und nach dazu, die Tätigkeit der Oxyde des Stickstoffs im Bleikammerprozeß, welche die älteren Chemiker mit vieler Mühe und unvollständigem Erfolg in die für die Erklärung dieses Prozesses aufgestellten Gleichungen einzuflechten sich bestrebt hatten, als eine im Sinne katalytischer Vorgänge parallel der Schwefelsäurebildung verlaufende und mit ihr verknüpfte Erscheinung zu erkennen. Damit aber war die Möglichkeit gegeben, dieselben Wirkungen auch bei Verwendung anderer katalytisch wirkender Sauerstoff-

Bleikammer-
prozeß.

Bedeutung der
Katalyse für die
Schwefelsäure-
fabrikation.

Modernes Kontaktverfahren.

überträger, als gerade der Salpetersäure zu erreichen. Diese Erkenntnis führte zur Ausbildung des modernen oder Kontaktverfahrens der Schwefelsäurefabrikation, zuerst durch Clemens Winkler in der unvollkommen, noch mit dem Bleikammerprozeß verbundenen Form der Fabrikation der rauchenden Schwefelsäuren, endlich am Schlusse des 19. Jahrhunderts in seiner vollkommenen, durch den genialen Rudolf Knietsch ihm gegebenen heutigen Gestalt des „Verfahrens der Badischen Anilin- und Sodafabrik“, bei welchem fein verteiltes metallisches Platin als Katalysator tätig ist und, scheinbar unverändert, beliebige Mengen von Röstgasen auf hochkonzentrierte Schwefelsäuren zu verarbeiten gestattet.

Die für die Ausbildung dieser technischen Errungenschaften erforderlichen Voruntersuchungen gehören zu den schönsten, tiefstdurchdachten Forschungen, deren die wissenschaftliche Chemie sich rühmen darf. Sie waren nur durchführbar mit Mitteln, wie sie keinem Privatmanne zur Verfügung stehen und deren Aufwendung nur gerechtfertigt erscheint, wenn, wie es in dem Betriebe einer großen Fabrik der Fall ist, die auf die Vorbereitung einer Erfindung aufgewandten Kapitalien im Falle des Erfolges in Form eines erhöhten Fabrikationsgewinnes wieder eingebracht werden können.

Unterschiede des Bleikammer- und des Kontaktverfahrens.

Wenn bei beiden Methoden der Schwefelsäurebereitung, dem alten Bleikammerprozeß sowohl, wie dem modernen Kontaktverfahren, die Mitwirkung katalytisch wirkender Substanzen erforderlich ist, so unterscheiden beide sich doch dadurch, daß das alte Verfahren bei Gegenwart, das neue bei Ausschluß von Wasser verläuft. Das erstere eignet sich daher zur bequemen Darstellung schwächerer, das neue zur Massenerzeugung hochkonzentrierter Säure. In dieser verschiedenen Verwendbarkeit liegt die Möglichkeit für beide Verfahren, nebeneinander weiter zu bestehen, begründet. Die Zukunft wird sogar wahrscheinlich eine Vereinigung beider Verfahren bringen, indem die hochkonzentrierten Säuren des Kontaktprozesses zur „Aufkonzentration“ der schwächeren Produkte des Bleikammerverfahrens benutzt und damit Kosten und Arbeit für die jetzt noch vielfach durchgeführte Eindampfung der Kammersäure erspart werden.

Salpetersäurefabrikation.

Auch auf dem mit der Schwefelsäureindustrie anfangs so innig verwachsenen Gebiete der Salpetersäurefabrikation haben sich im Laufe der Zeit großartige Umwälzungen vollzogen, in denen die Errungenschaften der rein wissenschaftlichen Forschung Schritt für Schritt ihre ebenso unerwartete wie folgenschwere praktische Verwendung gefunden haben. Sie zeigen eine gewisse Analogie mit der Umgestaltung der Schwefelsäuregewinnung und gipfeln darin, daß, ebenso wie heute diese ohne die Zuhilfenahme der Salpetersäure durchführbar ist, jetzt auch Salpetersäure ohne Verwendung von Schwefelsäure sich darstellen läßt.

Die Salpetersäure wurde früher ausschließlich und wird heute noch ihrer Hauptmenge nach durch Destillation eines Gemisches aus Salpeter und Schwefelsäure hergestellt.

Der bereits erwähnte Ersatz des früher bei diesem Verfahren allein benutzten Kalisalpeters durch den in seinen Eigenschaften und seiner Verwendungsweise ähnlichen Natron- oder Chilisalpeter war eine Neuerung gewesen, die weniger auf wissenschaftlicher als auf wirtschaftlicher Basis beruhte. So waren es auch wirtschaftliche Erwägungen, welche sich später geltend machten, als man begann, die Frage zu prüfen, ob auf die Dauer die Salpetersäureindustrie auf Grund der Verwendung von Chilisalpeter weitergeführt werden könnte. Abgesehen von dem Umstande, daß damit die Kulturländer Europas einer weit entlegenen südamerikanischen Republik tributpflichtig bleiben, gewann auch in dem Maße, in welchem der chilenische Salpeterimport seine heutigen riesigen Dimensionen (schon fast $2\frac{1}{2}$ Millionen Tonnen jährlich) annahm, die Frage nach einer etwaigen Erschöpfung der Salpeterfelder immer größere Bedeutung. Wenn auch die Gewinnung einer wirklich zuverlässigen Antwort auf diese Frage bisher von interessierter Seite verhindert worden ist, so steht es doch zweifellos fest, daß wir mit einer schließlichen Erschöpfung zu rechnen haben, welche bei Zugrundelegung der verschiedenen darüber gemachten Angaben in etwa 30 bis 60 Jahren eintreten dürfte. Auf die Erschließung neuer großer Salpeterfelder ist wenig zu hoffen, seit die über die Bildung der chilenischen Ablagerungen angestellten Untersuchungen gezeigt haben, daß dieses merkwürdige Vorkommen seine Entstehung dem Zusammentreffen von Bedingungen verdankt, wie sie nur sehr selten gleichzeitig und am gleichen Orte eintreten können. Wenn wir also in einer absehbaren Zukunft nicht ganz auf den Gebrauch von Salpetersäure verzichten wollen, was vom heutigen Standpunkte der Technik aus unmöglich erscheint, so stehen uns für ihre Gewinnung nur synthetische Methoden zur Verfügung, bei welchen der unerschöpfliche Stickstoffvorrat der Atmosphäre das Rohmaterial für die uns unentbehrliche Säure liefern müßte.

Die Ausarbeitung solcher Methoden hat mit dem Beginne des 20. Jahrhunderts eingesetzt und außerordentlich rasche Fortschritte gemacht. Das sonst so regsame 19. Jahrhundert war an diesem Problem achtlos vorübergegangen, was um so bemerkenswerter ist, als die jetzt gefundenen Lösungen ausnahmslos auf alte Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung zurückgreifen. In erster Linie stehen hier die merkwürdigen, schon im 18. Jahrhundert (1786) unternommenen Untersuchungen von Cavendish über die Verbrennbarkeit des Luftstickstoffes unter dem Einfluß elektrischer Entladungen. Diese Versuche, welche ja auch die erste Andeutung für die ebenfalls neuerdings erst gelungene Entdeckung des Argons enthalten, waren durchaus nicht vergessen. Sie wurden stets herangezogen, wenn es sich um die Erklärung der Bildung von Stickstoffverbindungen in der Luft handelte, welche mit den atmosphärischen Niederschlägen dem Erdboden zugeführt werden und, wie erwiesen, die erste und wichtigste Quelle für den Stickstoffbedarf der Pflanzen sind. Aber man wußte auch, daß die Vereinigung der beiden atmosphärischen Gase nur langsam und unvollkommen und unter Aufwand so großer Mengen elektrischer Energie durchzuführen ist, daß man die Heranziehung dieses Vorganges als Grundlage eines industriellen Verfahrens für aussichtslos hielt.

Älteres Verfahren.

Das Problem der synthetischen Gewinnung von Salpetersäure.

Versuche von Cavendish als Grundlage des Salpetersäureproblems.

Technische Ver-
wirklichung der
Stickstoffver-
brennung.

Inzwischen aber machten einerseits die Methoden zur Umwandlung mechanischer Arbeit in elektrische Energie die bekannten gewaltigen Fortschritte, andererseits hatte man begonnen, sich mit dem Problem der „weißen Kohle“, d. h. der Ausnutzung der reichlich vorhandenen Wasserkräfte als Energiequelle zu beschäftigen. So mußte man schließlich zu der Überzeugung gelangen, daß in gewissen an Wasserkraften reichen, für die Industrie aber noch wenig erschlossenen Gegenden, in erster Linie in Norwegen, durch den Ausbau der Wasserkräfte Elektrizität billig genug gewonnen werden könnte, um sie in den Dienst der synthetischen Gewinnung von Salpetersäure nach der Methode von Cavendish zu stellen. Allerdings mußte diese letztere einer totalen apparativen Umgestaltung unterzogen werden, um sie in großem Maßstabe durchführbar zu machen.

Verschiedene
Arbeitsmethoden.

Die ersten Versuche in dieser Hinsicht wurden in Amerika unternommen, schlugen aber fehl, weil einerseits die benutzte Energiequelle des Niagarafalles noch nicht billig genug war, andererseits auch der für den Zweck ersonnene Apparat für den Großbetrieb sich noch nicht eignete. Zu vollem Erfolge gelangten aber kurze Zeit später die norwegischen Erfinder Birkeland und Eyde mit ihrem auf magnetischem Wege zu einer Scheibe zerblasenen Wechselstromflammenbogen. Fast gleichzeitig wurde auch das auf ganz anderen Prinzipien beruhende, von Schönherr erfundene Verfahren der Badischen Anilin- und Sodafabrik im großen Maßstabe betriebsfähig, bei welchem die erforderliche große Oberfläche des Flammenbogens auf mechanischem Wege durch Streckung desselben durch die in den Ofen eingeblasene Luft geschieht. Beide Verfahren stehen heute schon in dauerndem, gewinnbringendem Betriebe und dürften vom technischen Standpunkte aus gleichen Wert besitzen. In beiden ist eine außerordentliche Fülle hochbedeutender streng wissenschaftlicher Arbeit in den Dienst der Technik gestellt worden.

Indirekte Me-
thoden der Sal-
petersäurege-
winnung.

Die Verbrennung des Luftstickstoffes zu Stickoxyd wird heute als ein rein thermischer Vorgang aufgefaßt, bei dessen eben beschriebener Durchführung der Elektrizität lediglich die Aufgabe zufällt, die hohen Temperaturen zu erzeugen, welche für ein energisches Eintreten der Reaktion erforderlich sind. Seit wir dies wissen, hat es nicht an Versuchen gefehlt, auch ohne Zuhilfenahme der Elektrizität auf andere Weise geeignete Arbeitsbedingungen für die Durchführung der Stickstoffverbrennung zu schaffen; doch haben dieselben bis jetzt ein praktisches Resultat nicht gehabt. Dagegen scheint eine indirekte Methode rasch an Boden zu gewinnen, welche darin besteht, den Luftstickstoff zunächst auf irgend eine der später zu besprechenden Weisen in Ammoniak überzuführen und dieses dann unter Zuhilfenahme von Platin als Kontaksubstanz zu Stickoxyd und Wasserdampf zu verbrennen. Auch diese neue technische Errungenschaft beruht auf sehr alten wissenschaftlichen Beobachtungen; ihr Hauptvorteil besteht darin, daß bei Benutzung dieses Umweges Gase mit einem viel höheren Prozentgehalt an Stickoxyd gewonnen werden können, deren nachfolgende Aufarbeitung einfacher und namentlich in apparativer Hinsicht viel bequemer ist, als die Verwertung der durch direkte Verbrennung des Luftstick-

stoffs erzielten Gase, welche höchstens 2% Stickoxyd enthalten und zu deren Bewältigung daher Apparate von unbequem großen Dimensionen gebaut werden müssen.

Es gibt wenige technische Maßnahmen, bei denen so sehr aller Erfolg auf die Ergebnisse streng wissenschaftlicher Forschung gegründet, bei denen so wenig dem glücklichen Zufall überlassen worden ist, wie dieses neue Gebiet der synthetischen Salpetersäureindustrie. Dasselbe befindet sich zurzeit noch in seinen Anfängen, aber gerade weil es ausschließlich mit den Mitteln der methodischen Forschung arbeitet, darf für dasselbe eine stetige Entwicklung mit größerer Sicherheit vorausgesagt werden, als es mit manchen anderen neuen Errungenschaften der Fall ist.

Die Sodaindustrie und die mit ihr verbundenen Betriebe in ihrem Zusammenhang unter sich und mit der Entwicklung der Wissenschaft. Die bereits erwähnte, zunächst ungenügend gewürdigte Erfindung Leblancs ist, nachdem sie einmal Fuß gefaßt hatte, zum Ausgangspunkt einer großartigen Entwicklung geworden, in welcher technisches Geschick sowohl wie wissenschaftlicher Scharfsinn ein reiches Feld der Betätigung fanden. Der Leblancprozeß entwickelte sich zunächst zu einer Bedeutung, die ihm gestattete, die gesamte chemische Industrie aller Kulturländer und den Chemikalienhandel der ganzen Welt zu beherrschen. Dann kam für ihn, wie für alle menschlichen Errungenschaften, eine Periode des Niederganges und des allmählichen Absterbens, in der aber die aus ihm hervorgegangenen großen Konsequenzen lebenskräftig blieben und weiter wirkten.

Gleich bedeutsam für die Entwicklung unserer gesamten Technik und diejenige unserer theoretischen Anschauungen ist der Leblanc-Sodaprozeß in der großartigen Entfaltung geworden, welche ihm in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zunächst in England gegeben worden ist. Das schon erwähnte scheinbar paradoxe Problem der Austreibung einer starken Säure durch eine schwache hatte Leblanc glücklich in der Weise gelöst, daß er aus dem Kochsalz die Salzsäure zunächst durch eine noch stärkere Säure, die Schwefelsäure, verdrängte, das gebildete Sulfat dann aber zu Sulfid reduzierte, eine Verbindung, die er nach der Anschauungsweise der älteren Chemiker als ein Salz der „Schwefelwasserstoffsäure“ betrachtete, welche ihrerseits durch Kohlensäure ersetzt werden konnte. Allerdings hatten schon vor dem Aufblühen der englischen Sodaindustrie die englischen Chemiker Dyar und Hemming gezeigt, daß auf ganz andere Weise die Salzsäure des Kochsalzes auch direkt durch Kohlensäure sich ersetzen läßt, aber die Zeit war noch nicht reif für die Ausnutzung dieser Beobachtung, welche später in der Hand des genialen Technikers Ernest Solvay eine so großartige Bedeutung erlangen sollte. Zunächst hielt die Industrie fest an der endlich im Zeitraum eines Vierteljahrhunderts zur industriellen Tatsache gewordenen Einführung des Leblancprozesses, dessen erster Teil in der Umwandlung des Kochsalzes in Natriumsulfat besteht.

Das Aufblühen
der Leblanc-
Soda-Industrie.

Sulfat und Salzsäure.

Bei dieser Umwandlung wird das Chlor des Kochsalzes in seiner Gesamtmenge als Salzsäure abgespalten. Es handelt sich darum, dieses äußerst aggressive Gas in irgend einer Weise zweckmäßig unterzubringen. Durch seine Lösung in Wasser wird die wäßrige Salzsäure erhalten, ein Produkt, welches heute einen hochgeschätzten und manchmal kaum in genügender Menge vorhandenen Handelsartikel bildet, mit dessen Verwendbarkeit aber zur Zeit der Begründung der Sodaindustrie die Welt erst noch vertraut gemacht werden mußte. Im Gegensatz zu der seit langer Zeit benutzten Schwefelsäure und Salpetersäure hatten frühere Jahrhunderte der Salzsäure keine Beachtung geschenkt. Man hätte sie vielleicht als wertlosen Abfall beseitigt, wenn dies mit Rücksicht auf ihre Eigenschaften möglich gewesen wäre.

Nutzbarmachung der Nebenprodukte chemischer Prozesse.

Es mag an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Industrie der Säuren und Alkalien, ganz unabhängig von ihren sonstigen Erfolgen, das Verdienst für sich in Anspruch nehmen kann, mit zwingender Gewalt der Menschheit die wichtige Lehre von der Nutzbarmachung aller Nebenprodukte aufgedrängt zu haben. Vor der Entwicklung unserer heutigen chemischen Industrie schienen Abfälle bei jeder menschlichen Tätigkeit eine unvermeidliche Notwendigkeit; es war die Ausgestaltung der chemischen Industrie, welche uns zu der Erkenntnis führte, daß wir auch darin die Natur uns zum Vorbilde nehmen müssen, daß jeder Abfall einer Arbeit auch seinerseits eine sinngemäße Verwendung finden muß. Den ersten Unterricht auf diesem Gebiete empfangen wir durch die Industrie der Säuren und Alkalien, deren Abfälle solcher Art sind, daß sie eine Beseitigung, ein Fortwerfen auf den Düngerhaufen, ein Abstürzen auf die Halde, schlechterdings nicht gestatten, sondern durch ihren aggressiven Charakter eine geeignete Unterbringung gebieterisch verlangen. Die Lehre von der Wechselzersetzung, welche die Theoretiker von der alten Schule so lebhaft beschäftigte, zeigt sich in der Frage nach der Nutzbarmachung der Nebenprodukte von ihrer für die Volkswohlfahrt unberechenbar wichtigen wirtschaftlichen Seite.

Chlorbereitung.

Ein solches Abfallprodukt war zunächst die Salzsäure. 1774 hatte Scheele aus ihr das Chlor dargestellt und in den achtziger Jahren des 18. Jahrhunderts hatte Berthollet, der sich damals mit diesem neuen Körper lebhaft beschäftigte, seine bleichende Wirkung erkannt. In der Bleicherei baumwollener und leinener Gewebe sowie namentlich in derjenigen des Papiers fand somit die nun in so reichlicher Menge zur Verfügung stehende Salzsäure in der Form des aus ihr leicht herstellbaren Chlors ihre erste Verwendung, und diese entwickelte sich zu großartigen Dimensionen, nachdem Tennant durch die Entdeckung des Chlorkalks ein Mittel gefunden hatte, das Chlor in konzentrierter und leicht wieder frei zu machender Form festzulegen. Trotz dieser Erfolge, durch welche der Absatz der bei der Sodaindustrie sich ergebenden riesigen Mengen von Salzsäure sehr erleichtert wurde, ließ sich doch die Gesamtheit derselben nicht festhalten und verwerten. Damals entstanden, in der Absicht, die letzten Reste der Salzsäure in die höheren, den Menschen unzugänglichen Schichten der Atmosphäre abzuführen, die berühmten hohen Schornsteine der Sodafabriken,

die aber auf die Dauer die erhofften Dienste nicht zu leisten vermochten. Die hieraus sich ergebenden Unzuträglichkeiten veranlaßten im Jahre 1863 das englische Parlament zum Erlaß der sogenannten „Alkaliakte“, welche der erste und grundlegende Schritt der jetzt in allen Kulturländern vorhandenen und bis in die kleinsten Einzelheiten durchgeführten gewerbepolizeilichen Gesetzgebung war, ihrerseits aber, indem sie den oben erwähnten natürlichen Zwang zur Nutzbarmachung der Nebenprodukte verstärkte, höchst wohltätig auf die technische Entwicklung der chemischen Industrie zurückgewirkt hat.

Die hohen
Schornsteine
und die Alkali-
akte.

Mit der auf solche Weise zur Notwendigkeit gewordenen Gewinnung der gesamten bei der Sulfatdarstellung sich ergebenden Salzsäure wuchs die Verwertung derselben in der Form von Chlorkalk, und da für diesen der Bedarf eines gegebenen Gebietes weniger groß war als der Bedarf an Soda, da ferner die Produktion an Leblancsoda einerseits und der bei ihr sich als Nebenprodukt ergebenden Salzsäure andererseits in dem stöchiometrischen Verhältnis der Molekulargewichte beider Körper steht, so trat damit zum ersten Male der zwangläufige Charakter der auf chemischen Wechselersetzungen beruhenden anorganischen chemischen Großindustrie zutage und hatte zur Folge, daß die Industrie für den Absatz ihrer Chlorverbindungen eines größeren Gebietes bedurfte, als für den Absatz der Soda. Dieser Zustand konnte natürlich nur so lange dauern, als die Erzeugung derartiger Produkte auf einige wenige Industrieländer beschränkt blieb. Er verursachte aber andererseits den expansiven Charakter der chemischen Industrie, welche nicht aus bloßem Unternehmungsgeist, sondern weil sie nicht anders konnte, ausländische Märkte sich erschließen mußte. Gleichzeitig aber regte sie, weil sie nur einen Teil ihrer Erzeugnisse dem Auslande darbieten konnte, die Entstehung einer gleichgearteten Industrie in ihren Absatzgebieten an. So erklärt sich die merkwürdige Tatsache, daß die chemische Industrie, zunächst Englands, später auch Deutschlands und Frankreichs, das Ausland als Absatzgebiet suchen, gleichzeitig aber auch zur Herstellung derjenigen Produkte, die sie ihm verkaufen wollte, anregen mußte.

Zwangläufigkeit
und Expansions-
bedürfnis der
chemischen
Großindustrie.

Wie in einer späteren Zeit dieser zwangläufige Charakter der chemischen Großindustrie durchbrochen, wie durch die Ausbildung parallel laufender Darstellungsmethoden der Industrie wieder eine gewisse Freiheit verliehen worden ist, das wird weiter unten noch, wenigstens andeutungsweise, gezeigt werden können.

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts handelt es sich in erster Linie um die Erzeugung der großen Mengen von Soda, für die ein direkter Markt vorhanden war, weil schon seit dem frühen Altertum die Menschheit mit der Benutzung dieses wichtigen Salzes vertraut war. Nicht nur in großen Industrien, wie in der Glasbereitung und Seifenfabrikation, sondern auch in den Haushaltungen aller Länder fand die Soda ausgedehnte Verwendung, die noch zunahm, nachdem ihre künstliche Herstellung sie leichter zugänglich gemacht hatte. Nur nach und nach konnte die immer wachsende Sodaindustrie dem bestehenden Bedarf genügen. So kam es, daß die Verwendung der natürlichen ägyptischen Soda in den Mittelmeerländern noch lange Zeit, in Nordafrika

Bedeutung der
Sodaindustrie.

sogar bis auf den heutigen Tag, bestehen blieb und daß auch die Gewinnung von Soda durch Einäscherung von Strand- und Seepflanzen noch längere Zeit, nachdem die Leblancsoda ein allgemeiner Handelsartikel geworden war, weiter existieren konnte. In der durch Verbrennen von Seetang gewonnenen nor-mannischen Soda, dem sogenannten Varec, fand bekanntlich Courtois, ein Seifenfabrikant, der diese Art Soda in seinem Betrieb benutzte, 1811 das Jod, dessen Gewinnung aus dieser Quelle die Ursache geworden ist, daß die Herstellung des Varec bis auf den heutigen Tag noch nicht vollkommen verschwunden ist.

Der wachsende Umfang des Verbrauches an Soda wurde namentlich auch dadurch bedingt, daß dieses Salz mehr und mehr das aus der Holzasche gewonnene Kaliumcarbonat, die Pottasche, ersetzen mußte, deren Produktion in den europäischen Kulturländern in demselben Maße abnahm, in dem die früher reichlich vorhandenen Wälder sich lichteten.

Der Umstand, daß der Bedarf für Soda in demselben Maße wuchs, in dem auch die Produktion zunahm, hat eine allzurasche Preiserniedrigung des Produktes verhütet und damit die Möglichkeit zuwege gebracht, daß die chemische Industrie sehr lange Zeit eine ungemein lukrative menschliche Tätigkeit blieb und die finanzielle Basis sich schaffen konnte, deren sie bedurfte, um später an ihre größeren, schwierigeren und kostspieligeren Probleme heranzutreten.

Verwendung von
Sulfat in der
Glasindustrie.

Für manche Verwendungen war indessen die Soda jener Tage fast zu kostspielig. Man konnte es damals als einen Fortschritt begrüßen, als es Frémy, einem jener französischen Forscher, welche ihre Wissenschaft mit Begeisterung und Erfolg in den Dienst der Technik stellten, gelang, in der Glasindustrie die Soda durch Natriumsulfat zu ersetzen und damit dem Glase das erforderliche Natrium um so viel billiger zu liefern, als den Kosten der Umwandlung des Sulfates in Soda entsprach. Nach unseren heutigen Anschauungen können wir diese Neuerung, welcher sich im Laufe der Zeit fast die gesamte Glasindustrie zugewandt hat, nicht als einen Fortschritt auffassen, denn durch sie wird der Schwefel des Sulfats nutzlos und unwiederbringlich in der Form von Schwefeldioxyd in die Luft gejagt. Es würde dem heutigen Prinzip der Nutzbarmachung aller Produkte einer Wechselersetzung besser entsprechen, wenn der Schwefel des Natriumsulfates bei der Glasfabrikation in irgend einer Form festgehalten werden könnte, oder auch wenn die Glasindustrie heute wieder zur Soda zurückkehren wollte, in der auf Grund der heutigen Arbeitsweise das Natrium sich kaum mehr teurer einstellt, als im Sulfat. Diese Entwicklung bleibt einer wahrscheinlich nahen Zukunft vorbehalten.

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, ja sogar noch bis in das dritte Viertel desselben hinein verzichtete auch die Leblancsodaindustrie auf die Nutzbarmachung des Schwefels, der in dem von ihr verarbeiteten Sulfat enthalten war. Dieser Schwefel fand sich in dem unlöslichen Calciumsulfidrückstand, der bei der Auslaugung der Sodaschmelze erhalten und auf Halden abgestürzt wurde. Die Unterlassung der Auswertung dieses ihres zweiten großen Nebenproduktes ist als eine der Ursachen anzusehen, welche später den Sturz der

Leblancsodaindustrie beschleunigten. Hätte sie rechtzeitig die Wiedergewinnung des Schwefels aus diesen Rückständen unternommen, so wäre sie stärker in den sogleich zu beschreibenden Kampf mit der Ammoniaksodaindustrie eingetreten, der sich in aller Stille vorbereitete.

Daß die Wiedergewinnung des Schwefels aus den Sodarückständen durchaus nicht zu den Unmöglichkeiten gehörte, wurde durch die Arbeiten von Schaffner, von Mond und schließlich von Chance bewiesen, welche uns Methoden zur Wiedergewinnung des Schwefels kennen lehrten. Namentlich das Verfahren von Chance ist so vollkommen, daß es ein integrierender Bestandteil der Leblancsodaindustrie, so weit dieselbe heute noch besteht, was aber nur in England noch der Fall ist, geworden ist.

Aber diese Errungenschaften kamen zu spät, um den Siegeslauf der Ammoniaksodaindustrie aufzuhalten, in welcher das alte von Dyar und Hemming angegebene Verfahren der Umsetzung von Kochsalz mit Ammoniumbicarbonat seine technisch zweckmäßigste Ausführungsform durch Solvay erhalten hatte. Mit dem Beginn der siebziger Jahre erschien die Solvaysoda auf dem Markt, um denselben langsam, aber sicher für sich zu erobern, so daß heute etwa 85% desselben ihr unbestrittenes Eigentum sind.

Eine gewisse Verzögerung in dem Absterben der Leblancsodaindustrie konnte dadurch erreicht werden, daß die Kaustizierung der Soda, ihre Überführung in Ätznatron, welche früher diejenigen, welche dieses Produkt gebrauchten (z. B. die Seifensieder), selbst vorgenommen hatten, nunmehr von den Leblancfabriken aufgegriffen und zweckmäßig zu einem Großbetriebe ausgestaltet wurde. Aber auch das konnte den schließlichen Sturz des Überlebten nicht verhindern.

Auch der Ammoniaksodaprozeß gehört heute zu den auf das gründlichste wissenschaftlich durchforschten industriellen Maßnahmen. Aber auch diese von beispiellosem finanziellen Erfolg begleitete Errungenschaft hat ihre Mängel und muß im Sinne einer modernen Auffassung industrieller Arbeit als eine recht unvollkommene Lösung des Problems einer restlosen Ausnutzung des Kochsalzes für die Sodafabrikation betrachtet werden. Wie der Leblancsodaprozeß den Schwefel der benutzten Schwefelsäure schließlich in der Form eines wertlosen Abfallproduktes preisgab, so tut es die Ammoniaksodaindustrie mit dem im Kochsalz enthaltenen Chlor, welches zum allergrößten Teil in der Form von Chlorcalcium in den Ablaugen der Fabriken verloren geht, die aber wenigstens das vor den alten Halden der Leblancsodafabriken voraus haben, daß sie nicht, wie jene es taten, eine dauernde Belästigung der Nachbarschaft der Fabriken darstellen. Mit der Preisgabe des Chlors in der Ammoniaksodafabrikation ist die Salzsäure seltener geworden, sie ist heute nicht mehr, wie sie es früher war, ein Abfallprodukt, für das eine Verwertung gesucht werden muß, sondern sie muß dargestellt werden, um den bestehenden Bedarf an diesem Produkt zu decken. Ihre Herstellung geschieht heute noch zum größten Teil durch die Zersetzung von Kochsalz mit Schwefelsäure, wobei Natriumsulfat als Nebenprodukt gewonnen wird. Auf solche Weise hat sich der erste Teil des alten

Sodarückstände.

Wiedergewinnung des Schwefels aus den Rückständen.

Kaustische Soda.

Ammoniaksodaprozeß.

Leblancsodaprozesses auf die Dauer erhalten können, und das in ihm erzeugte Sulfat findet seinen Absatz in der Glasindustrie, welche dadurch verhindert wird, zur Verwendung von Soda überzugehen. Der vorhin angedeutete zu erwartende Fortschritt auf diesem Gebiete wird sich erst einstellen können, sobald uns ein neues von der Zersetzung des Kochsalzes durch Schwefelsäure unabhängiges Verfahren zur Gewinnung von Salzsäure zur Verfügung stehen wird.

Bis zu einem gewissen Grade ist dies bereits der Fall, aber das Verfahren, um welches es sich hier handelt, ist an einen ganz bestimmten Ort gebunden und besitzt daher keine allgemeine Verwendbarkeit.

Um dies zu verstehen, müssen wir für einen Augenblick zurückgehen auf die Grundlage aller Soda- und Pottascheprozesse, auf die Salzindustrie.

Kochsalzgewinnung.

Die Gewinnung von Kochsalz ist ein uraltes Gewerbe, zu dessen Aufnahme und Ausbildung der Mensch geradezu gezwungen ist, selbst wenn er auf sehr niedriger Kulturstufe sich befindet, denn das Leben des Menschen und aller warmblütigen Tiere ist an die Aufnahme einer, wenn auch nur geringen, Menge Salz gebunden. Genügt, wie es meistens der Fall ist, die in den Nahrungsmengen aufgenommene Salzmenge nicht, so muß das Fehlende (beim Menschen durchschnittlich 7 kg pro Kopf und Jahr) durch direkte Aufnahme von Salz ersetzt werden. Die ergiebigste, vollkommen unerschöpfliche und in allen Ländern, welche eine Seeküste haben, leicht zugängliche Salzquelle ist das Meereswasser. Da aber in diesem das Kochsalz mit den dem Menschen nicht zuträglichen Salzen des Magnesiums und Kaliums vergesellschaftet ist, so muß das schwerer lösliche Kochsalz durch Eindampfen von den übrigen Salzen getrennt werden, die leichter löslich sind und in der bitter schmeckenden Mutterlauge zurückbleiben. Es ist bekannt, daß die Gewinnung des Salzes in den warmen Ländern mit Hilfe der Sonnenwärme betrieben wird, in den kälteren Klimaten müssen Feuerungen zu Hilfe genommen werden, und hier erweist es sich als vorteilhaft, statt des Meereswassers die konzentrierteren und reineren Salzwässer der häufig vorkommenden Solquellen zu benutzen. Der Bergbau hat dann frühzeitig die gewaltigen Steinsalzlager zutage gefördert, aus denen der Salzgehalt dieser Quellen stammt; schon das Altertum kannte dieselben, betrieb ihre Ausbeutung und ersparte sich auf diese Weise an vielen Orten die Mühe des Salzsiedens.

Die Steinsalzlager sind in Europa verbreiteter als in irgend einem anderen Erdteil, und hier finden sie sich wiederum am reichlichsten im Deutschen Reiche, welches somit als das salzreichste Land der Erde gelten kann.

Daß das Steinsalz das Produkt der Eintrocknung alter Meere ist, ist eine derjenigen Tatsachen, welche die geologische Wissenschaft als eine ihrer ersten sicheren Feststellungen betrachten kann. Weniger leicht war die Auffindung der Gründe, welche maßgebend sind für die ungeheure Mächtigkeit der meisten Steinsalzlager. Da ferner fast alle diese Vorkommnisse nur das Kochsalz der Meere enthalten, aus denen sie entstanden sind, von den das Kochsalz begleitenden Kalium- und Magnesiumsalzen aber nur außerordentlich wenig, so ergibt sich mit Notwendigkeit der Schluß, daß fast alle Steinsalzlager die Erzeugnisse

einer nur partiellen Eindunstung von Meereswasser sein müssen. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts aber wurde festgestellt, daß das Steinsalzlager der norddeutschen Tiefebene, welches damals hauptsächlich in der Gegend von Staßfurt angeschnitten war, dessen Erstreckung aber seitdem bis an die holländische Grenze verfolgt worden ist, von der allgemeinen Regel insofern eine Ausnahme macht, als es in gewissen, zunächst als wertloser Abfall betrachteten Schichten, den sogenannten Abraumsalzen, auch die leichter löslichen Kalium- und Magnesiumsalze des Meereswassers enthält. Sie finden sich miteinander in wechselnden Mengen verbunden in Form verschiedenartiger Doppelsalze, deren Bildungsbedingungen durch die vor wenigen Jahren durchgeführten schönen Untersuchungen von van't Hoff über ozeanische Salzablagerungen festgestellt worden sind. Das wichtigste dieser Salze ist ein wasserhaltiges Kaliummagnesiumchlorid, der sogenannte Carnallit.

Es waren Liebig's grundlegende Forschungen auf dem Gebiete der Physiologie und Agrikulturchemie, durch welche die Tatsache erschlossen wurde, daß allen Landpflanzen die Kaliumsalze ebenso unentbehrlich sind, wie den Tieren das Kochsalz. Durch diese Erkenntnis wurde die Bedeutung der Staßfurter Abraumsalze als Pflanzennährmittel dargetan, auf die sich die ungeheure Wichtigkeit und Größe der deutschen Kaliindustrie aufbaut.

Um nun aus dem Carnallit das Chlorkalium zu gewinnen, muß die Lösung dieses Doppelsalzes einer fraktionierten Kristallisation unterworfen werden, bei der das Chlormagnesium in den Endlaugen sich ansammelt. Diese in ihrer ganzen ungeheuren Menge zweckmäßig zu verwenden, ist heute noch ein ungelöstes Problem der Kaliindustrie, aber schon die partiellen Verwendungen, die sich im Laufe der Jahre gefunden haben, sind freudig zu begrüßen.

Eine dieser Verwendungen besteht in der Gewinnung des in dem Chlormagnesium enthaltenen Chlors in der Form von Salzsäure. Dieselbe gründet sich darauf, daß Chlormagnesium bei einer über 100° liegenden Temperatur durch Wasserdampf in Salzsäure und Magnesiumoxyd zerfällt. Durch die Ausgestaltung dieser wissenschaftlichen Tatsache zu einem technischen Verfahren ist die Kaliindustrie heute imstande, einen erheblichen Teil des Bedarfs an Salzsäure, namentlich in Norddeutschland, zu liefern. Selbstverständlich hört aber diese Salzsäurequelle überall da auf zu fließen, wo es an dem erforderlichen billigen Chlormagnesium mangelt.

In der Betrachtung der chemischen Industrie der ganzen Erde wird man daher für die Salzsäuregewinnung mit dieser Quelle nicht zu rechnen haben. Es ist daher um so erfreulicher, daß uns eine andere allgemein zugängliche Methode zur Gewinnung dieses unentbehrlichen Hilfsmittels aller chemischen Arbeit zur Verfügung steht, welche zum Teil schon erschlossen ist, in der Zukunft aber noch erheblich vergrößert werden dürfte.

Für alle die Zwecke, bei denen es sich um die Benutzung von Chlor handelt, welches früher aus Salzsäure dargestellt werden mußte, ist nämlich die Anwendung von Salzsäure entbehrlich geworden dadurch, daß ein anderes heiß umworfenes Problem der Technik, nämlich die elektrolytische Spaltung

Abraumsalze.

Kaliindustrie.

Chlormagnesium als Abfall.

Gewinnung von Salzsäure aus Chlormagnesium.

der Alkalichloride nun schon seit längerer Zeit zur vollendeten Tatsache geworden ist.

Elektrolyse der
Alkalichloride.

Hier tritt uns wieder der mehrfach erwähnte Sachverhalt entgegen, daß die Technik bei der Verfolgung ihrer Ziele auf das zurückgreifen konnte, was die Wissenschaft viele Jahrzehnte früher festgestellt hatte, daß die vorhandenen wissenschaftlichen Beobachtungen aber auch eines weitgehenden Ausbaues und umfassender Durcharbeitung bedurften, ehe sie ihre industrielle Verwertung finden konnten.

Vorbereitende
Untersuchungen
von Davy und
von Bunsen.

Humphrey Davy, der im Jahre 1807 begann, sich mit den chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes zu beschäftigen, kann als der Begründer der heute so groß gewordenen Elektrochemie gelten, und ihm gelang es auch, die in den Alkalien enthaltenen Metalle Kalium und Natrium zuerst abzuscheiden, indem er Ätzkali und Ätznatron den Wirkungen des Stromes unterwarf. Doch hat Davy seine Entdeckung nicht besonders weit verfolgt, so daß es dem großen Bunsen vorbehalten blieb, die elektrolytische Metallabscheidung systematisch und weitgehend durchzuarbeiten, wie auch er es war, der zuerst Metallchloride auf elektrischem Wege in Chlor und das ihnen zugrundeliegende Metall spaltete.

Davy sowohl wie Bunsen verfügten nur über die aus Batterien gewonnene elektrische Energie, über Ströme, die nach unseren heutigen Begriffen recht geringfügig waren, obschon ihre Erzeugung große Kosten verursachte. Sie verfolgten mit ihren Arbeiten rein wissenschaftliche Zwecke; an eine technische Ausnutzung der Ergebnisse ihrer Versuche konnte in der Zeit ihrer Anstellung nicht gedacht werden.

Aber alles dieses änderte sich, nachdem durch die Einführung der Dynamomaschine in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts die elektrische Energie ein leichtzugängliches und verhältnismäßig billiges Hilfsmittel der Technik geworden war. Nun konnte man auch an eine nützliche Verwertung der von den Experimentatoren einer früheren Zeit gesammelten Erfahrungen auf dem Gebiete der Elektrolyse denken, und man kann wohl sagen, daß schon sehr frühzeitig der Gedanke auftauchte, mit den umständlichen alten Methoden der Salzverarbeitung zu brechen, indem man lediglich durch den elektrischen Strom Kochsalz in seine Elementarbestandteile spaltete.

Elektrolyse der
Metallchloride.

Aber von der Aufstellung dieses schönen Problems bis zu seiner tatsächlichen Durchführung war noch ein sehr weiter Schritt und es mußten noch viele Erfahrungen gesammelt werden, ehe es sich verwirklichen ließ. Zwar lernte man die Alkalimetalle, deren Herstellung nach dem alten Reduktionsverfahren so schwierig und umständlich war, auf elektrolytischem Wege gewinnen, aber man konnte und kann noch heute sich dabei nicht der billigen und in unbegrenzten Mengen vorhandenen Alkalichloride als Rohmaterial bedienen. Vielmehr mußte man auf das Verfahren von Davy zurückgreifen, indem man die geschmolzenen Alkalihydroxyde durch den elektrischen Strom zersetzte. In dieser Weise werden heute die großen Mengen von Natriummetall dargestellt, die in stetig wachsendem Umfange in der Industrie Verwendung

finden. Das Kalium ist dagegen nach wie vor ein schwer zugängliches und sehr kostspieliges Metall geblieben.

Die Chloridspaltung hat sich mit befriedigenden Erfolgen nur bei den Erdalkalimetallen durchführen lassen, von denen aber bis jetzt nur das Magnesium eine weitgehende praktische Verwendung gefunden hat. Bei den eigentlichen Alkalichloriden dagegen hat das Verfahren sich nicht bewährt, weil ihr allzu hoher Schmelzpunkt ihrer Verwendung unüberwindliche Schwierigkeiten in den Weg legt.

Dagegen ist es möglich, die wäßrigen Lösungen der Chloralkalien elektrolytisch zu zersetzen. Dabei wird das Chlor als solches entbunden, das Alkalimetall aber reagiert sofort auf das gleichzeitig vorhandene Wasser und geht unter Entwicklung von gasförmigem Wasserstoff in sein Hydroxyd über. Dieser Vorgang wurde im Beginn der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts die Grundlage der modernen elektrolytischen Verarbeitung des Kochsalzes und Chloralkaliums.

Die technischen Schwierigkeiten, die sich dem hier geschilderten Verfahren in den Weg stellen, sind nicht gering; sie sind nach drei verschiedenen Methoden schließlich überwunden worden, welche sich im Großbetrieb als ziemlich gleichwertig erwiesen haben und heute als Griesheimer oder Diaphragmenverfahren, Aussiger oder Glockenverfahren und Castner-Kellnersches oder Quecksilberverfahren unterschieden werden. Die zahlreichen großen Fabriken, die nach einer oder der anderen dieser Methoden arbeiten, produzieren — eine paradox scheinende Tatsache — bei der von ihnen ausgeübten Zerlegung eines aus zwei Elementen bestehenden Salzes stets drei Produkte, nämlich das Alkalihydroxyd, gasförmiges Chlor und gasförmigen Wasserstoff.

Für die Hydroxyde des Natriums sowohl wie des Kaliums besteht ein sehr großer und stets wachsender Bedarf; sie sind es, welche den Umfang dieser Betriebe bestimmen. Aber da der erzeugten Menge Alkalihydroxyd stets auch die äquivalente Menge Chlor und Wasserstoff entspricht, so entsteht die Aufgabe, die Gesamtheit dieser Produkte des Betriebes zweckmäßig unterzubringen. Wir haben hier ein Wiederaufleben der alten im Leblancprozeß einst so schwer empfundenen Zwangläufigkeit solcher chemischer Prozesse.

Den Wasserstoff kann man, wenn man ihn nicht sonst zu verwerten vermag, unter die Feuerung der Dampfkessel leiten, oder sogar frei entweichen lassen. Doch mehren sich von Tag zu Tag die Möglichkeiten für die Nutzbarmachung dieses durch sein geringes spezifisches Gewicht und seine enorme Verbrennungswärme gleich ausgezeichneten Gases. Die erstere Eigenschaft hat ihm seine Verwendung in der Luftschiffahrt gesichert, deren Aufblühen der elektrochemischen Industrie außerordentlich zu statten gekommen ist. Die große Verbrennungswärme des Wasserstoffs ermöglichte seine Anwendung für die Erzeugung der ungemein heißen Flamme des Knallgasgebläses, das heute die ausgedehnteste Anwendung zum Schmelzen und Schneiden von Metallen findet. Der Transport des Wasserstoffs ist durch die großen Fortschritte der

Elektrolyse
wäßriger Lö-
sungen von Al-
kalichloriden.

Verschiedene
Methoden der-
selben.

Technik in der Handhabung aller Gase sehr erleichtert worden; er geschieht in stählernen Flaschen, in denen das Gas bis auf 200 Atmosphären Druck zusammengepreßt ist.

Elektrolytisches
Chlor.

Beim Chlor ist, wie seinerzeit bei der Salzsäure, irgend eine Form der Beseitigung ausgeschlossen, da dieses Gas durch seine unangenehmen Eigenschaften sich bemerkbar macht, selbst wenn es in kleinsten Mengen der Atmosphäre beigemischt wird. Man hat es zunächst, wie früher, zur Herstellung von Chlorkalk benutzt und auf diese Weise transportfähig und aufbewahrbar gemacht. Später hat man dann auch das gasförmige Chlor ganz ebenso wie den Wasserstoff in stählerne Flaschen gepreßt, die von dem trockenen Gase nicht angegriffen werden. Diese Neuerung hat sich rasch in die Industrie eingeführt, weil sie dem Konsumenten gestattet, das Chlor ganz einfach aus der Flasche zu entnehmen, anstatt, wie früher, es erst aus dem Chlorkalk wieder abscheiden zu müssen. Namentlich die Papierbleicherei verwendet heutzutage vielfach das gasförmige Chlor.

Überfluß an
Chlor.

Aber in dem Maße, in dem die neu geschaffene Industrie wuchs, mußte sie sich nach weiteren Absatzgebieten des immer massenhafter in ihrem Betriebe erzeugten Chlors umsehen. Große Mengen desselben werden heute in der Fabrikation organischer Präparate benutzt, die namentlich in der Farbenindustrie Verwendung finden. Trotzdem bleibt die Tatsache bestehen, daß wir zurzeit an einem bedenklichen Überfluß an Chlor leiden und daß derselbe in Zukunft noch zunehmen wird. Die Verhältnisse haben sich allmählich geradezu umgekehrt: Während wir früher in der Herstellung des Chlors einen Weg zum Absatz des vorhandenen Überschusses an Salzsäure sahen, haben wir heute einen Überschuß an Chlor, während gleichzeitig durch die Ausbildung des Ammoniaksodaverfahrens die Salzsäure knapp geworden ist.

Herstellung von
Salzsäure aus
Chlor.

Die schließliche Entwicklung dieser Verhältnisse kann nicht anders verlaufen, als durch die Ausbildung von Methoden zur Überführung von Chlor in Salzsäure. Solche sind in ziemlicher Anzahl bekannt, und die Industrie steht nur noch vor der Frage, wie bald sie diesen Methoden und welcher von ihnen sie sich zuwenden wird. Einstweilen wird bei der jetzt in ausgedehntestem Maße stattfindenden Benutzung des Chlors zur Herstellung organischer Präparate Salzsäure regelmäßig als Nebenprodukt erhalten. So ist durch den Anschluß, den die anorganische Großindustrie an die organische Technik gesucht hat, das Problem der Überführung des elektrolytischen Chlors in Salzsäure zu einem gewissen Teil schon gelöst.

Das Vorstehende bildet eine, mit Rücksicht auf die Natur des vorliegenden Werkes freilich recht skizzenhafte Darstellung des heutigen Standes der anorganischen chemischen Großindustrie. Wie man sieht, ist dieselbe eine sinngemäße Anwendung des von der reinen Wissenschaft gesammelten Tatsachenmaterials, und sie hat in dem Maße, wie dieses Material wuchs, wiederholt von Grund auf umgestaltet werden müssen. Auch der heutige Zustand ist keineswegs als endgültig aufzufassen, sondern wir gehen weiteren Entwicklungen entgegen, die nicht aufhören werden, solange die exakten Wissenschaften

neue Tatsachen zutage fördern und die Industrie immer bereit bleibt, ihre technische Bedeutung zu studieren und sich zunutze zu machen.

Die Gas- und Ammoniakindustrie und ihre Beziehungen zu der übrigen chemischen Technik. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts, ungefähr gleichzeitig mit der Begründung der heutigen chemischen Wissenschaft, aber zunächst ziemlich unabhängig von ihr vollzog sich die Schöpfung der Leuchtgasindustrie, welche für alle Zweige chemischer Betätigung die größte Wichtigkeit erlangen sollte. Die frühe Geschichte dieser Errungenschaft ist ziemlich allgemein bekannt; es handelt sich bei ihr zunächst nur um die Verwirklichung des Gedankens einer Zentralisation der Erzeugung eines unentbehrlichen Hilfsmittels, nämlich des künstlich hergestellten Lichtes, welches nach Eintritt der Dunkelheit uns das Sonnenlicht ersetzen muß. Namentlich für die Straßenbeleuchtung verdrängte das Gas sehr bald die früher benutzten Lampen, deren Wartung in demselben Maße schwieriger und kostspieliger wurde, in dem die Städte sich vergrößerten. Aber was ist seitdem aus der so geschaffenen und freudig aufgenommenen Gasindustrie alles herausgewachsen! Es ist schwer, die Umgestaltungen zu schildern, die sie selbst im Laufe eines Jahrhunderts erlebt hat, und all den Beziehungen nachzugehen, die von ihr zu anderen Formen der menschlichen Arbeit geknüpft wurden.

Daß die Steinkohle genau so wie das Holz und alle anderen organischen Gebilde durch Erhitzen, also durch bloße Zufuhr von Wärmeenergie eine weitgehende chemische Umgestaltung erfährt und in feste, flüssige und gasförmige Produkte zerlegt wird, das war schon in früheren Jahrhunderten festgestellt worden, ja, es hatte sogar wiederholt den Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen gebildet, die, wenn man die Zeit ihrer Entstehung berücksichtigt, merkwürdig modern anmuten. So war der Begriff der trockenen Destillation entstanden, eines für alle organischen Gebilde gleichmäßig anwendbaren Verfahrens der Zersetzung durch bloße Wärmezufuhr. Diesen Begriff hat die chemische Wissenschaft mit den alten Beständen übernommen, welche sie ihrer Lehre einzuverleiben die Möglichkeit sah.

Auch das war schon bekannt, als die wissenschaftliche Chemie dem Leuchtgas Beachtung zu schenken anfang, daß dasselbe kein einheitlicher Stoff, sondern ein Gemisch verschiedener Substanzen ist. Später ist es sehr genau untersucht und in seine Bestandteile zerlegt worden, von denen Wasserstoff, Methan, Kohlenoxyd und die sogenannten Leuchtkohlenwasserstoffe die wichtigsten sind. Wir wissen heute, daß die drei erstgenannten Körper die Wärme der Leuchtgasflamme erzeugen, während die Leuchtkohlenwasserstoffe durch eine in der Flamme sich vollziehende sekundäre trockene Destillation den Kohlenstoff abscheiden, der fein verteilt in der Flamme schwebt und durch seine intensive Weißglut das ausgestrahlte Licht erzeugt.

Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts begnügte sich die Leuchtgasindustrie mit dem Erfolge der ihr von ihren Begründern gegebenen Ausführungsform. Den in ihren Retorten als Rückstand der Destillation zurückbleibenden Koke

Entstehung der
Leuchtgasin-
dustrie.

Begriff der
trockenen
Destillation.

Wesen des
Leuchtgases.

Gaswasser und
Teer.

konnte sie leicht als Brennmaterial unterbringen, die aus dem Gas beim Erkalten sich abscheidenden flüssigen Produkte, das Gaswasser und den Teer, betrachtete sie als Abfallstoffe und beseitigte sie, das erstere durch Weglaufenlassen, den letzteren durch Verbrennen unter den Retorten. Nach und nach kam aber auch für diese Industrie die Zeit, in der sie sich die Frage nach einer zweckmäßigeren Unterbringung ihrer Abfälle vorlegen mußte. Das Gaswasser wurde als eine reichliche und billige Quelle für die Herstellung von Ammoniak erkannt, für das der Bedarf sich außerordentlich steigerte, nachdem durch die mehrfach erwähnten Forschungen Liebig's die Bedeutung desselben als Stickstoffdünger für die Pflanzen dargetan worden war.

Industrie des
Steinkohlen-
teers.

Weniger einfach war die Verwertung des Teers, dessen Studium nahezu ein Jahrhundert lang zahllose Chemiker beschäftigt hat, ohne selbst bis zum heutigen Tage zum völligen Abschluß zu kommen; denn der Gasteer ist das komplexeste, aus der größten Zahl einzelner chemischer Substanzen sich zusammensetzende Gemenge, dessen Erforschung und Verwertung die wissenschaftliche und technische Chemie je unternommen haben.

Ganz allmählich gelang die Abscheidung einer immer größeren Zahl von interessanten und gut verwertbaren Verbindungen aus dem Teer. Aber nicht darin liegt die Bedeutung des Teers, daß derselbe nach und nach aus einem wertlosen Abfall zu einem sehr wertvollen Rohmaterial der Industrie wurde, sondern in dem Umstande, daß die aus dem Teer gewonnenen Substanzen mehr und mehr als zu einer bis dahin unbekanntem oder doch ungenügend gewürdigten Klasse von organischen Verbindungen gehörend erkannt wurden, welche man heute unter dem Sammelnamen der aromatischen Reihe zusammenfaßt. Diese Körper haben sich seit dem Beginn der sechziger Jahre als die Muttersubstanzen aller Farbstoffe, sowie vieler Riechstoffe und Heilmittel erwiesen. So wurde der Teer die Ursache und Grundlage für das Aufblühen jener großartigen synthetischen organischen Industrie, die in einem späteren Kapitel für sich besprochen werden soll.

Teerdestillation.

Hier, wo der Teer bloß in seiner Gesamtheit als ein Produkt gewürdigt werden soll, welches die Gasindustrie anderen Zweigen der Technik liefert, können wir drei Dezennien stetiger Entwicklung überspringen und feststellen, daß im Beginn der siebziger Jahre des 19. Jahrhunderts der Gasteer schon so wichtig geworden war, daß seine von den Gasanstalten gelieferten Mengen zur Befriedigung der Bedürfnisse der Industrie nicht mehr ausreichten. Man erinnerte sich der Tatsache, daß es noch eine andere Industrie gibt, welche, älter als die Gasindustrie, sich ebenfalls mit der trockenen Destillation der Steinkohle befaßt, aber nicht zur Gewinnung des dabei auftretenden Gases, sondern in der Absicht, den zurückbleibenden Koke für metallurgische Zwecke zu verwerten. Diese Industrie, die Kokerei, hatte bis dahin irgend welche Nebenprodukte überhaupt nicht erzielt; das Ammoniak war in den meilerartigen Kokesöfen zu Stickstoff und Wasserdampf verbrannt und auch die Teerbildung dadurch verhindert worden, daß das zunächst entstehende Gas durch die Berührung mit dem glühenden Koke die vorhin erwähnte sekundäre trockene Destillation

Kokerei und Ge-
winnung der
Nebenprodukte
derselben.

erfuhr und einen großen Teil seines Kohlenstoffes graphitisch auf dem gebildeten Koke absetzte. Der Wasserstoff, das Methan und der Kohlenoxydgehalt der entwickelten Gase verbrannten früher ganz nutzlos. Später begann man, sie aufzufangen und zur Beheizung von Dampfkesseln zu verwenden.

Es lag auf der Hand, daß die Kokerei so umgestaltet werden konnte, daß man bei ihr wie bei der Gasindustrie die Nebenprodukte gewann, und wenn auch dabei einige Schwierigkeiten zu überwinden waren, auf die hier nicht eingegangen werden soll, so erschien doch gegen Ende der achtziger Jahre die sogenannte Destillationskokerei als eine neue Industrie in dem gewerblichen Leben der führenden Nationen, eine Industrie, durch welche die Weltproduktion an Ammoniak und an Teer außerordentlich gesteigert und auf lange Zeit hinaus dem zu erwartenden Bedürfnis entsprechend gestaltet worden ist. Dies gilt namentlich für den Teer, während der Verbrauch an Ammoniak in der, immer mehr einem intensiven Betrieb sich zuwendenden Landwirtschaft so außerordentlich zugenommen hat, daß wir heute schon nach weiteren Quellen für dieses Produkt uns umsehen müssen.

So viel mag genügen, um ein Bild der allmählichen Umgestaltung unserer Begriffe und damit auch der gewerblichen Arbeit in bezug auf die ursprünglichen Nebenprodukte der Gasindustrie zu geben. Aber auch in der Erzeugung ihres Hauptproduktes, des eigentlichen Leuchtgases, haben sich in der Gasindustrie tiefgreifende Umwälzungen vollzogen. Sie begannen im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts und verliefen mit so elementarer Gewalt, daß die heutige Gasindustrie gar keine Ähnlichkeit mehr mit dem Zustande zeigt, den sie einige Zeit nach ihrer Begründung angenommen hatte.

Auch hier ging, früher noch als auf vielen anderen Gebieten unseres gewerblichen Lebens, der erste Anstoß zur Neugestaltung von der im Anfang der siebziger Jahre stattfindenden Einführung der Dynamomaschine aus. Eine der ersten Verwendungen, welche man für den durch diese Erfindung so leicht zugänglich gewordenen elektrischen Strom ins Auge faßte, war diejenige der Lichterzeugung, für welche man damals allerdings nur das Hilfsmittel des elektrischen Flammenbogens zwischen Kohlenspitzen kannte. Dieser war schon früher, allerdings durch Batteriestrom mit sehr großen Kosten, gelegentlich für die Zwecke der Intensivbeleuchtung erzeugt worden. Es sei hier z. B. an die berühmten Petersburger Versuche erinnert. Bei solchen Versuchen spielte das blendende Bogenlicht die Rolle eines staunenswerten wissenschaftlichen Phänomens, das auch einmal außerhalb des engen Kreises der Gelehrtenwelt gezeigt werden sollte. In den siebziger Jahren aber flammte es plötzlich an den verschiedensten Orten in täglicher praktischer Verwendung auf und bewies damit seine gewerbliche Lebensfähigkeit. Die Erfindung der Jabloschkoffschen Kerze machte es im Jahre 1878 zum ersten Male möglich, eine ganze Straße, die Avenue de l'Opéra in Paris, elektrisch zu beleuchten, und bewies gleichzeitig die Anwendbarkeit des Wechselstromes für derartige Zwecke. Nicht minder wichtig war die Erfindung der mit automatischer elektromagnetischer Regulierung ausgestatteten Bogenlampe von Hefner-Alteneck.

Moderne Leuchtgasindustrie.

Konkurrenz derselben mit der elektrischen Beleuchtung.

Als dann Anfang der achtziger Jahre die Herstellung der Kohlenfadenlampen ziemlich gleichzeitig durch Edison und Swan ins Leben gerufen und damit eine weitgehende Teilbarkeit des elektrischen Lichtes dargetan wurde, begann die Gasindustrie um den Fortbestand des Beleuchtungsmonopols, das sie sich erworben hatte, ernstlich besorgt zu werden. Es entstand ein Kampf zwischen der elektrischen und der Gasbeleuchtung, in welchem beide Gegner die verzweifeltsten Anstrengungen machten, den Sieg davonzutragen.

Es ist heute noch in jedermanns Gedächtnis, daß dieser Kampf, wie so mancher andere auf gewerblichem Gebiete ausgefochtene, das erfreuliche Resultat eines Sieges auf beiden Seiten gezeitigt und in jeder Hinsicht anregend und fördernd gewirkt hat. Soweit die uns hier hauptsächlich beschäftigende Gasindustrie in Betracht kommt, so bemühte sie sich zunächst mit der Elektrotechnik auf dem Gebiete der Intensivbeleuchtung zu wetteifern, indem sie ihre Methoden der Lichterzeugung verbesserte. Friedrich Siemens, Wenhams und andere übertrugen den in der Feuerungstechnik bereits zum Siege gelangten Gedanken der Wärmereneration auf die Gaslampen und konstruierten ihre Intensivbrenner von 1000 und mehr Kerzen Leuchtkraft, die sich ebenso rasch allgemein einführten, wie sie später, als ihre Zeit vorüber war, aus dem Gebrauch wieder verschwanden. Ferner bemühten sich die Gasfabriken, das Leuchtgas für Heizzwecke in allgemeinen Gebrauch zu bringen, und lieferten dasselbe für diese Art des Verbrauches zunächst zu wesentlich billigerem Preise als das zu Beleuchtungszwecken dienende Gas. Später wurde durch Einführung eines billigen Einheitspreises für sämtliches den Konsumenten gelieferte Gas diesen Bestrebungen noch weiterer Vorschub geleistet. Die Gasindustrie hatte eingesehen, daß die Zeit der außerordentlich hohen Gewinne, mit denen sie früher gearbeitet hatte, vorüber sei, daß sie mit bescheidenem Nutzen arbeiten, zugleich aber auch durch Erhöhung der Leistungsfähigkeit ihrer Fabrikeinrichtungen ihre Betriebskosten ermäßigen und dadurch den Gewinnausfall wieder einbringen müsse.

Leuchtgas für
Heizzwecke.

Für die so außerordentlich wichtige und jetzt vielfach die Hauptabsatzquelle des Leuchtgases bildende Verwendung desselben zu Heizzwecken hatten die chemischen und anderen wissenschaftlichen Laboratorien seit langer Zeit die nötigen Vorarbeiten geliefert. Während man überall da, wo es sich bei wissenschaftlichen und namentlich chemischen Arbeiten um Erhitzung von Apparaten handelte, bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts auf Holzkohlenöfen verschiedener Größe und Spirituslampen, vor allem den berühmten Berzeliusrundbrenner angewiesen war, machte sich seit dem Anfang der fünfziger Jahre das Bestreben geltend, Leuchtgas für derartige Zwecke zu verwenden, dessen bequeme Zuleitung so außerordentlich angenehm war. Doch erwies sich die stark rußende Flamme des Leuchtgases bei manchen solchen Verwendungen als hinderlich. Man half sich durch die Konstruktion von Brennern mit vielen kleinen und daher nur wenig rußenden Flämmchen. Nach diesem Prinzip sind z. B. die Apparate konstruiert gewesen, welche A. W. Hofmann als einer der ersten in seinem Laboratorium zur Anwendung brachte.

Es war dem großen Altmeister der Experimentierkunst, Robert Bunsen, vorbehalten, durch die Konstruktion von Heizbrennern, in denen durch beschränkte, aber regulierbare Luftzumischung zum Gase die Flamme entleuchtet wurde, ein neues Prinzip zu schaffen, welches zunächst in dem allgemein bekannten an Einfachheit und Handlichkeit immer noch unübertroffenen Bunsenbrenner zur Anwendung kam. Wie dieser Brenner in Millionen von Exemplaren sich in allen Laboratorien eingebürgert hat, wie er in immer wieder neuen, der jeweiligen Verwendung angepaßten Ausführungsformen die Durchführung vieler Forschungen überhaupt erst ermöglicht hat, das in allen seinen Einzelheiten zu schildern würde viel zu weit führen. Und doch wäre dies eine verdienstliche Arbeit, denn der Bunsenbrenner und die aus ihm hervorgegangenen Gasapparate sind jetzt schon so sehr ein integrierender Bestandteil unserer täglichen Arbeit geworden, daß die meisten der heute Lebenden sich die Epoche seiner Entwicklung gar nicht mehr vorzustellen vermögen.

Entleuchtung
des Gases.
Der Bunsen-
brenner und
seine Entwick-
lung.

Dagegen mag einer bestimmten Ausgestaltung des von Bunsen angegebenen Prinzips hier gedacht werden, weil sie ausdrücklich in der Absicht zustande kam, das Leuchtgas als Heizmittel in den täglichen und allgemeinen Gebrauch der Familie, des Handwerks und der Industrie einzuführen. Es war dies die von dem englischen Zahnarzt Fletcher durchgeführte Konstruktion des Horizontalheizbrenners, durch welchen eine bessere Ausnutzung des Gases und gleichzeitig eine weitgehende Teilbarkeit der entleuchteten Flamme erreicht wird.

Der auf solche Weise zur Zeit des zwischen Gaslicht und elektrischer Beleuchtung beginnenden Kampfes bereits vorhandenen höchst vollkommenen Gasheizapparate brauchte die Leuchtgastechnik sich nur anzunehmen, um sie in allgemeine Aufnahme zu bringen und damit das Gas zu einer Wärmequelle zu machen, deren viele Vorteile weite Kreise sehr bald kennen und in vollem Umfange schätzen lernten. Die Mahnung „Koche mit Gas“ wurde ein geflügeltes Wort und zum Schlachtruf der um ihre Existenz kämpfenden Gasindustrie.

In diesem Kampf ums Dasein erwuchs ihr in der Mitte der achtziger Jahre ein ebenso unerwarteter wie mächtiger Bundesgenosse in einer Erfindung, welche bei Gelegenheit von Forschungen zustande kam, deren Urheber sicherlich an alles andere eher, als an ihre praktische Anwendbarkeit gedacht hatte, als er sie unternahm.

Der österreichische Chemiker Auer von Welsbach beobachtete bei Arbeiten, die auf die Trennung und Atomgewichtbestimmung der Metalle der seltenen Erden hinielen, das intensive Licht, welches bei der Veraschung der von ihm benutzten Filter in der Gasflamme gelegentlich auftrat. Er hatte den glücklichen Gedanken, baumwollene Gewebe mit den von ihm hergestellten Erdnitrat zu tränken und die lockere Asche derselben im Bunsenbrenner zur Weißglut zu erhitzen und auf solche Weise Licht zu erzeugen. Die angestellten Versuche hatten so guten Erfolg, daß Auer Patente entnahm und eine

Gasglühlicht.

Gesellschaft zur Verwertung seiner Erfindung begründete, welche allerdings mancherlei Krisen durchmachen mußte, ehe sie zu ihrem schließlichen geradezu beispiellosen Erfolge gelangte.

In dem Gedanken, feste feuerbeständige Körper durch die Wärmetönung verbrennender Gase zur Weißglut und damit zur Lichtentwicklung zu bringen, lehnte Auer von Welsbach sich an an die Vorbilder des Drummondschen Kalk- und des Linnemannschen Zirkonerde-Intensivbrenners. Auch der Gedanke, dem Glühkörper durch seine Ausbildung als veraschtes Gewebe bei großer Oberfläche geringes Gewicht zu geben und damit die Wärmewirkung zu konzentrieren, war nicht mehr ganz neu, als Auer von Welsbach ihn aufgriff. In der Wahl der zur Imprägnierung der Gewebe benutzten seltenen Erden war Auer ebenfalls nicht glücklich, solange er sich an die Oxyde des Lanthans und der Didymmetalle hielt. Dies erklärt die anfänglichen Mißerfolge der neuen Erfindung und namentlich die patentrechtlichen Schwierigkeiten, in welche dieselbe geriet. Erst als das Thoriumoxyd von Auer als die allein brauchbare Grundlage seiner Glühkörper erkannt und in einem sehr geringen Zusatz von Ceriumoxyd ein Mittel gefunden wurde, auf katalytischem Wege die Heizkraft des Gases genau in der Fläche des Glühkörpers zu konzentrieren, verwandelte sich der scheinbar hoffnungslose Mißerfolg in einen Siegeszug, den das Gasglühlicht über die gesamte bewohnte Erde antrat.

Glühkörper aus
Thoriumoxyd
und katalytische
Wirkung des
Cers.

Die anfangs gehegte Befürchtung, daß es an dem für eine durchgreifende Einführung des Gasglühlichtes erforderlichen Thorium mangeln könnte, wurde durch einen glücklichen Zufall zerstreut, der gerade damals die fast unerschöpflichen Ablagerungen des thorhaltigen Monazitsandes an der Küste von Brasilien entdecken ließ.

Gesteigertes
Lichtbedürfnis.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Einführung des Incandescenzlichtes die ausschließliche Ursache dafür bildete, daß die Gasbeleuchtung neben dem elektrischen Lichte schließlich doch fortbestehen konnte. Durch den Kampf der beiden prinzipiell so verschiedenen Beleuchtungsmethoden, in welchem jede derselben durch starke Lichteffekte die Aufmerksamkeit der Konsumenten auf sich zu ziehen suchte, ist das allgemeine Lichtbedürfnis in ganz erstaunlicher Weise gesteigert worden, so daß trotz der Einführung und dem stetigen Wachsen der elektrischen Beleuchtung auch die Gasbeleuchtung fortwährend nur zugenommen hat. Heute wird sicherlich sehr viel mehr Gas zur Lichterzeugung ausgenutzt, als zur Zeit der Alleinherrschaft der Gasbeleuchtung, und diese Tatsache wiegt um so schwerer, wenn man bedenkt, daß durch die Einführung des Gasglühlichtes die Lichtausbeute aus einer gegebenen Menge Gas auf das Vielfache gegen früher gesteigert worden ist. In dieser Hinsicht hat sogar die Gasbeleuchtung einen ganz ausgesprochenen Sieg über die elektrische Beleuchtung errungen, indem es ihr gelang, den größten Teil der Straßenbeleuchtung trotz des Wettbewerbes der Elektrizität in ihrem Besitz zu behalten, wobei sie durch allgemeine Einführung des Glühlichtes dem berechtigten Verlangen des Publikums nach einer besseren Erhellung der Verkehrswege Rechnung trug.

Die allgemeine Einführung des Leuchtgases als Heizmittel, um welche die Gasindustrie in der Zeit des Kampfes sich bemüht hatte, weil sie befürchtete, das Gebiet der Lichterzeugung zum großen Teile zu verlieren, spielt auch heute noch eine wichtige Rolle als eine sehr willkommene Veranlassung zur Vergrößerung und Verbilligung des Betriebes der Gasanstalten.

Legt man sich nun die Frage vor, in welcher Weise die Gasindustrie ihrem Erweiterungsbedürfnis genügt hat, so muß man auf Forschungen zurückgreifen, welche im Laufe der siebziger Jahre in deutschen und englischen Gasanstalten über das Wesen der Gaserzeugung angestellt worden sind. Diese haben ergeben, daß die Menge des aus der Kohle gewonnenen Gases um so größer wird, bei je höherer Temperatur der Prozeß der trockenen Destillation sich abspielt. Die Leuchtkraft des bei hoher Temperatur erzeugten Gases nimmt etwas ab, aber die gesamte Lichtausbeute, bezogen auf das Gewicht der verarbeiteten Kohle, ist ebenfalls eine größere bei der Anwendung hoher Temperaturen. Aus den in diesen Sätzen kurz zusammengefaßten Ergebnissen ausgedehnter und umfassender Studien ergibt sich als Folge das genaue Gegenteil von dem, was früher angenommen worden war, als maßgebende Autoritäten ohne experimentelle Beweise die Ansicht vertraten, daß die vorteilhafteste Methode der Gaserzeugung in einer Durchführung des Destillationsprozesses bei möglichst niedriger Temperatur gegeben sei.

Gaserzeugung
bei hohen Tem-
peraturen.

Die Gasindustrie zögerte nicht, die aus der gewonnenen neuen wissenschaftlichen Erkenntnis sich ergebenden praktischen Konsequenzen zu ziehen. Sie ging dazu über, Retorten aus feuerfestem Ton statt der früher üblichen eisernen zu benutzen und dieselben auf die höchste Weißglut zu erhitzen. Indem sie gleichzeitig diese Retorten mit Hilfe rekuperativer Gasfeuerungen beheizte, gelang es ihr, die erforderlichen hohen Temperaturen nicht nur ohne Mehraufwand an Brennmaterial, sondern sogar mit erheblicher Ersparnis an solchem zu erreichen.

Fortschritte der
Gasbeleuchtung.

Die auf solche Weise eingeleitete Entwicklung ist noch nicht beendet, sondern setzt sich fort in einer weiteren Ausgestaltung der in den Gasfabriken benutzten Apparate, auf welche hier nicht eingegangen werden kann.

Ein wichtiges Problem der Gasindustrie aber muß hier noch wenigstens gestreift werden. Dasselbe gipfelt in der Frage, ob wir nicht jetzt, wo auch für die Zwecke der Beleuchtung durch Einführung der Auerschen Glühkörper die natürliche Leuchtkraft des Gases scheinbar überflüssig geworden ist und wir dieselbe in den zu Heiz- sowohl wie zu Beleuchtungszwecken benutzten Brennern durch Anwendung des Bunsenschen Luftzuführungprinzips aufheben, der Moment gekommen ist, wo wir auf Lieferung eines Leuchtgases gänzlich verzichten und uns mit derjenigen eines von Haus aus mit nichtleuchtender Flamme brennenden Heizgases begnügen können. Ein solches ließe sich auf verschiedene Weise gewinnen; in erster Linie kommt das durch Überleiten von Wasserdampf über glühenden Koke oder Anthracit herstellbare ungemein billige Wassergas in Betracht, welches lediglich aus einem Gemisch von Wasserstoff und Kohlenoxyd besteht.

Erzeugung
nichtleuchtenden
Gases.

Wassergas und
amerikanisches
Leuchtgas.

Die amerikanische Leuchtgasindustrie ist schon vor dem Eintreten der oben beschriebenen Umwälzungen der Leuchtgastechnik aus Gründen, die hier nicht erörtert werden sollen, zur Benutzung des Wassergases übergegangen. Aber die dortigen Leuchtgasfabriken „karburieren“ das Wassergas, ehe sie es dem Konsumenten liefern, d. h. sie leiten es gemischt mit den Dämpfen von Mineralölen durch glühende Regeneratoren, durch deren Hitze die Öldämpfe in gasförmige Leuchtkohlenwasserstoffe verwandelt werden.

Nachteile des
Wassergases.

Man hat versucht, diese sogenannte amerikanische Leuchtgasindustrie auch in Europa heimisch zu machen. Aber dies ist doch nur in dem Maße gelungen, daß größere Gasanstalten in den Zeiten starker Beanspruchung ihres Betriebes, etwa im tiefsten Winter, gewisse Mengen von Wassergas ihrem Produkt hinzufügen. Dabei pflegen sie dasselbe so weit zu karburieren, daß die Leuchtkraft des Gemisches annähernd dieselbe bleibt, wie die des normalen Gases. Die Lieferung eines nicht karburierten, schwach oder garnicht leuchtenden Gases an den Konsumenten ist, solange das Wassergas als Hilfsmittel in Betracht kommt, undurchführbar. Denn die Leuchtkraft des bisherigen Gases ist zwar bei der jetzigen Entwicklung der Beleuchtungstechnik irrelevant für die Lichtezeugung, aber es beruht auf der Gegenwart der in Volumprozenten geringfügigen, in Gewichtsprozenten aber recht bedeutenden Mengen von Leuchtkohlenwasserstoffen im Gase die hohe Heizkraft dieses letzteren. Normales, durch Destillation von Steinkohlen gewonnenes Gas hat eine um etwa die Hälfte höhere Heizkraft (rund 12 000 Calorien) als unvermisches Wassergas (etwa 8000 Cal.). Da nun auch bei der Incandescenz-Beleuchtung das erzielte Licht lediglich durch Umformung der Verbrennungswärme des Gases zustande kommt, so spielt die Heizkraft des Gases auch bei der heutigen Methode der Lichtezeugung eine wichtige Rolle. Mit Hilfe von Wassergas läßt sich auch bei der Verwendung fester Glühkörper ein brauchbares Licht nicht erzielen. Da ferner die viel beklagte Giftigkeit des Leuchtgases lediglich auf seinem Gehalt an Kohlenoxyd beruht, und dieser letztere im Wassergas etwa das Fünffache von dem beträgt, was im normalen Steinkohlengas gefunden wird, so würde von der allgemeinen Einführung des Wassergases zu Heiz- und Beleuchtungszwecken eine starke Vermehrung der jetzt schon viel zu zahlreichen Unfälle zu befürchten sein.

Ölgas-
beleuchtung

Von großer Wichtigkeit ist die in der amerikanischen Leuchtgasfabrikation zur Geltung kommende Zerspaltung der Dämpfe hochsiedender Mineralöle in stark leuchtende gasförmige Produkte in der Ölgasindustrie geworden, welche darauf beruht, solche Mineralöle in glühende Retorten einzuspritzen und dadurch ein Gas zu erzeugen, das eine ungewöhnlich hohe Leuchtkraft besitzt. Dieses Gas läßt sich stark komprimieren und auf solche Weise in Behältern von geringem Volumen transportabel machen. Auf diesem Verfahren beruht die namentlich von der Firma Julius Pintsch in Berlin ausgebildete und auf dem ganzen Umkreis der Erde zur Annahme gelangte Gasbeleuchtung der Eisenbahnen, Leuchtbojen und anderer beweglicher Einrichtungen, welche sich an ein festliegendes Rohrnetz nicht anschließen lassen.

Das in dieser Weise zur Anwendung gelangende Ölgas verdankt seinen hohen Kohlenstoffgehalt in erster Linie der Gegenwart von Gliedern der Olefinreihe, dem Äthylen und seinen höheren gasförmigen Homologen, welche durch die Zersetzung der überhitzten Mineralöldämpfe sich bilden. Einen derartigen Zerfall hochmolekularer Kohlenwasserstoffe in solche von niederem Molekulargewicht bezeichnet man mit einem aus Amerika¹ stammenden Ausdruck als „Cracking“. Er bildet das Grundprinzip aller Vorgänge bei der trockenen Destillation und ist in neuerer Zeit in mehr als einer Hinsicht wichtig geworden. Je länger man die zu bearbeitenden Dämpfe oder Gase mit den glühenden Oberflächen des zur Wärmezufuhr benutzten Apparates in Berührung läßt, je höher die Glut solcher Einrichtungen ist, desto weiter geht der angedeutete Vorgang, der sein Ende erst dann erreicht, wenn alle Kohlenwasserstoffe vollständig in graphitischen Kohlenstaub und reinen Wasserstoff zerfallen sind. Man hat daher auf das gleiche Verfahren, welches ursprünglich zur Gewinnung kohlenstoffreicher Gase erdacht worden ist, neuerdings Methoden zur Darstellung reinen Wasserstoffs gegründet, indem man Leuchtgas oder Ölgas in erschöpfender Weise dem Crackingprozeß unterwirft, so daß schließlich reines Wasserstoffgas übrig bleibt, dessen Gewinnung für die Zwecke der Luftschiffahrt und der Metallbearbeitung heute eine so wichtige Rolle spielt.

Cracking.

Das Prototyp und Ideal aller kohlenstoffreichen Gase ist das Acetylen, welches dadurch berühmt geworden ist, daß Berthelot aus ihm eine Reihe von Bestandteilen des Steinkohlenteers synthetisch darzustellen vermochte. Zur Zeit, wo dies geschah, war die Beschaffung von Acetylen außerordentlich schwierig, so daß Versuche mit diesem Gas sicherlich zunächst nur ein rein wissenschaftliches Interesse beanspruchen konnten. Im Beginn der neunziger Jahre aber stellten Moissan in Paris und Willson in Amerika fast gleichzeitig auf elektrothermischem Wege durch Erhitzen von Kalk mit Kohle im elektrischen Flammenbogen das Calciumcarbid dar, welches man als ein Acetylen auffassen kann, dessen Wasserstoffatome durch das Calciummetall ersetzt sind. Tatsächlich liefert das Calciumcarbid, wenn man es mit Wasser in Berührung bringt, Acetylen und Kalkmilch. Auf Grund dieser Reaktion ist nunmehr das Acetylen leicht und zu billigem Preise zugänglich geworden. Das Calciumcarbid wird an den Fundstätten der weißen Kohle, d. h. überall da, wo durch das Vorhandensein großer Wasserkräfte eine billige Erzeugung von elektrischem Strom möglich ist, in großen Mengen dargestellt. Es wird als ein Mittel zur transportablen Gasbeleuchtung in den Handel gebracht, und die Acetylenlampen sind gewöhnlich so eingerichtet, daß das Gas in demselben Maße durch Auftröpfeln von Wasser auf Carbid erzeugt wird, in welchem die Flamme dasselbe verbraucht. Von der Herstellung größerer Vorratsmengen von Acetylen oder gar von seiner Aufbewahrung und Versendung im komprimierten Zustande ist man abgekommen, seit man die Gefährlichkeit dieses Gases kennen gelernt hat. Als stark endothermischer Körper ist es nämlich explosiv, und der oben erwähnte Vorgang des *Cracking* tritt bei ihm in seiner ganzen Masse in Erscheinung,

Acetylen.

sobald an irgend einer Stelle durch eine plötzliche Energiezufuhr, z. B. einen elektrischen Funken, der Zerfall eingeleitet wird.

Kalkstickstoff.

Das Calciumcarbid ist indessen nicht bloß zur Acetylenentwicklung geeignet; erhitzt man es in einer Atmosphäre von reinem Stickstoff, so geht es über in Calciumcyanamid, den heute in großem Maßstabe hergestellten „Kalkstickstoff“. Dieses Produkt kann als Ausgangsmaterial für die Gewinnung vieler organischer Körper dienen, und seine Bearbeitung in dieser Richtung gehört heutzutage zu den viel umworbenen Fragen der Technik. Da das Calciumcyanamid ferner durch bloße Behandlung mit überhitztem Wasserdampf seinen ganzen Stickstoffgehalt in Form von Ammoniak abliefern, so haben wir hier ein Mittel, um den Stickstoff der Atmosphäre indirekt in Ammoniak zu verwandeln. Das Gleiche kann aber auch noch auf verschiedene andere Weise geschehen, z. B. durch das dem oben geschilderten nahe verwandte Serpeksche Verfahren der Herstellung von Aluminiumnitrid, welches in der elektrischen Erhitzung eines Gemisches aus Tonerde und Kohle in einer Atmosphäre von Stickstoff besteht und deshalb sehr wichtig ist, weil es gleichzeitig reine Tonerde als Rohmaterial für die Fabrikation des metallischen Aluminiums liefert. Auch durch direkte Vereinigung von Stickstoff mit Wasserstoff durch Erhitzung der hochkomprimierten Gase bei Gegenwart von katalytisch wirkenden Substanzen läßt Ammoniak sich synthetisch herstellen.

Aluminiumnitrid und synthetisches Ammoniak.

So sind wir auf dem Wege über das ursprünglich für die Herstellung eines Beleuchtungsgases dienende Calciumcarbid zu einer der neuesten Errungenschaften der chemischen Industrie, der synthetischen Ammoniakdarstellung gelangt, welche uns da zu Hilfe kommt, wo die Kräfte der uns früher fast ausschließlich als Quelle des Ammoniaks dienenden Leuchtgasindustrie versagen. Wie neue Räder fügen sich die neuesten Entdeckungen der forschenden Wissenschaft in das Getriebe der bestehenden Technik und erhöhen damit seine Vielseitigkeit und Leistungsfähigkeit.

Fraktionierung der Luft zur Gewinnung von reinem Stickstoff und Sauerstoff.

In der Herstellung des Calciumcyanamids oder des Kalkstickstoffs, und den anderen oben erwähnten damit zusammenhängenden Fabrikationen, haben auch die schönen Forschungen über die Verflüssigung der Luft ihre erste Verwendung im großen fabrikatorischen Maßstab gefunden. Der Bedarf dieser neuesten Industrien an reinem Stickstoff ist nur in der allerersten Zeit nach der alten Methode der Absorption des Sauerstoffs der Luft mit Hilfe irgend welcher oxydierbarer Körper gedeckt worden. Diese Methode, die einfach und billig genug ist für den Bedarf der Laboratorien, entspricht in ihrer Wirtschaftlichkeit noch nicht den Anforderungen der Industrie. Viel einfacher und zweckmäßiger ist es, die Luft zu verflüssigen und dann ihre Bestandteile durch fraktionierte Destillation zu trennen, welche leicht und vollständig gelingt, da die Siedepunkte des flüssigen Sauerstoffs und des flüssigen Stickstoffs eine weit größere Differenz zeigen, als die vieler anderer Körper, deren Trennung durch die genannte Methode im Großbetriebe nicht die geringste Schwierigkeit bietet. Die so getrennten Luftbestandteile können, jeder für sich, den Verwendungen zugeführt werden, für die sie sich eignen. So einfach das

Prinzip dieses Verfahrens ist, so hatte es doch für seine Durchführung die vorherige genaue Durchforschung des umfassenden und schwierigen Gebietes der Gasverflüssigung und die hohe Vollendung der apparativen Hilfsmittel zur Voraussetzung, wie sie erst in neuester Zeit zustande gekommen sind. Noch vor 20 Jahren hätte der Gedanke einer Trennung der Luftbestandteile durch fraktionierte Destillation, wenn überhaupt jemand denselben geäußert hätte, bei dem Fachmann noch mehr als bei dem Laien nur ein ungläubiges Lächeln hervorgerufen. Heute mehren sich die Fälle, in welchen diese neugeschaffene Methode der Zerlegung gemischter Gase eine nützliche Verwendung findet.

Daß die Möglichkeit der synthetischen Herstellung unbegrenzter Mengen von Ammoniak aus dem Stickstoff der Luft zugleich auch eine endgültige Lösung des Salpetersäureproblems bildet, für dessen Bewältigung wir nun nicht mehr ausschließlich auf die an sich sehr schöne, aber kraftvergeudende Methode der Stickstoffverbrennung angewiesen sind, ist weiter oben bei der Besprechung dieses Problems bereits erwähnt worden.

Die chemische Industrie der organischen Verbindungen. Nachdem durch die Schöpfung der neuen wissenschaftlichen Chemie, welche, im Gegensatz zu den älteren chemischen Lehren, von der Unzerstörbarkeit der Materie ausging und damit das Prinzip zur Geltung brachte, dem Verbleib aller Produkte chemischer Reaktionen mit Hilfe der Wage nachzuspüren, eine neue Grundlage auch für die Entwicklung der chemischen Technik geschaffen war, wagte diese letztere sich doch zunächst, wie in den Eingangskapiteln bereits geschildert worden ist, nur an die beständigeren und leichter greifbaren anorganischen Verbindungen. In der Bearbeitung der organischen Materie aber bewahrte sie noch jahrzehntelang eine gewisse Schüchternheit. Wohl hatte man nach und nach erkannt, daß auch die zahlreichen, in der Tier- und Pflanzenwelt uns allerorten entgegentretenden organischen Verbindungen aus bereits bekannten Elementen, aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff sich aufbauen, zu denen in einzelnen Fällen sich noch einige andere gesellen. Aber irgend welche Mittel, diese organogenen Elemente zu chemischen Verbindungen zusammenzufügen, die den von der belebten Welt erzeugten gleich gewesen wären, kannte man nicht. Man verzweifelte auch an der Möglichkeit, sie zu finden, denn man glaubte an die Existenz einer Lebenskraft, die nur lebende Geschöpfe befähigte, in ihren Organen eine derartige Arbeit zu vollbringen.

An eine Lebenskraft in diesem Sinne glauben wir heute nicht mehr, wenn wir auch bekennen müssen, daß das Geheimnis des Lebens auch heute noch ungelöst ist. Aber dieses Problem ist jetzt eine Frage biologischer Art geworden. Die Lebenskraft im Sinne der älteren Chemiker dagegen hat aus der Reihe der wissenschaftlichen Faktoren gestrichen werden können, seit es gelungen ist, zuerst nur einige wenige, später eine immer größere Zahl organischer Verbindungen aus ihren Elementen herzustellen oder, wie man sich heute ausdrückt, synthetisch aufzubauen. Die zahllosen Substanzen, mit deren Erforschung die

Die Hypothese
von der Lebens-
kraft.

organische Chemie sich beschäftigt, definieren wir heute nicht mehr als Produkte des Tier- und Pflanzenreiches, sondern als Verbindungen des Kohlenstoffs, eines Elementes, welches sich durch viele Eigentümlichkeiten von allen anderen Elementen unterscheidet und seine Eigenart auch allen seinen Abkömmlingen aufprägt.

Die Begründung
der Synthese or-
ganischer Ver-
bindungen.
Wöhler 1828.

Man pflegt in der Geschichte der Chemie die Periode, in welcher sich diese grundlegende Umgestaltung unserer Anschauungen über die Natur der organischen Verbindungen vollzog, von der schönen Beobachtung Friedrich Wöhlers zu datieren, welcher im Jahre 1828 bewies, daß Ammoniumcyanat durch bloßes Eindampfen seiner wäßrigen Lösung sich in Harnstoff verwandelt. Da es nun seit langer Zeit bekannt war, daß sich Cyanverbindungen aus anorganischen Materialien darstellen lassen, so daß man sie damals garnicht zu den organischen Körpern zu rechnen pflegte, da andererseits der Harnstoff als ein Ausscheidungsprodukt fast aller höheren Tiere so recht eigentlich der damals gültigen Definition der organischen Substanzen entsprach, so war mit der Entdeckung Wöhlers der erste Schritt zu der oben angedeuteten Umwandlung unserer Anschauungen über die Möglichkeit der Herstellung organischer Verbindungen getan, und es war nur noch eine Frage der Zeit, wie weit die rastlose Forschung und die ihr auf den Fersen folgende chemische Technik auf dem neu betretenen Pfade kommen würde. Heute, wo wir uns der Vollendung des ersten Jahrhunderts der Gültigkeit der neueren Anschauungen nähern, dürfen wir wohl mit Stolz sagen, daß die verflossene Zeit in ausgiebigster Weise ausgenutzt worden ist.

Der vorstehende geschichtliche Rückblick auf die Entwicklung dieses Kapitels der wissenschaftlichen chemischen Forschung war nicht zu umgehen, wenn wir uns ein korrektes Bild machen wollen von der Entwicklung der chemischen Technik auf organischer Grundlage, die vielleicht mehr noch als die anorganische chemische Industrie ein Spiegelbild des wissenschaftlichen Fortschrittes gewesen ist.

Ältere organisch-
chemische In-
dustrie.
Abscheidung
chemischer Pro-
dukte aus den
Erzeugnissen der
Tier- und Pflan-
zenwelt.

Solange die Wissenschaft daran verzweifelte, organische Verbindungen anders als durch Vermittlung der Pflanzen und Tiere zu gewinnen, lag auch für die Technik keine Anregung zu synthetischer Arbeit vor. So sehen wir denn, wie sie zunächst uralte, auf rein empirischem Wege entstandene Industrien fortführt und unter Benutzung der von der Wissenschaft empfangenen Anregungen ausgestaltet. Auch dabei hat sie Beachtenswertes erreicht. Als ein Beispiel eines solchen Sachverhaltes mag die Zuckerindustrie genannt sein. Daß der Saft vieler Pflanzen zuckerhaltig sei, wußte man seit langer Zeit, man kannte auch die Tatsache, daß die Süßigkeit verschiedener Pflanzen nicht immer auf der Gegenwart der gleichen Zuckerart beruht. Die besonderen Eigenschaften des im Saft des Zuckerrohrs enthaltenen Rohrzuckers hatten zur Entstehung einer Zuckerindustrie in den Tropenländern geführt zu einer Zeit, in der von wissenschaftlichen Forschungen auf diesem Gebiete noch nicht viel die Rede sein konnte. Später begannen diese sich geltend zu machen. Dem Berliner Chemiker Marggraf glückte der Nachweis des Zuckergehaltes der Rüben; dies

Zuckerindustrie.

führte zur Entstehung der heute noch blühenden Zuckerindustrie Deutschlands und der übrigen Länder von Mitteleuropa.

Auch sonst fehlt es nicht an Beispielen, daß schon in jenen Tagen, in denen auch die wissenschaftliche Erforschung der organischen Verbindungen noch in ihren Kinderschuhen steckte, ein reger Verkehr, eine wechselseitige Befruchtung zwischen Forschung und Industrie stattfand. Nichts kann dafür charakteristischer sein, als der Aufschwung, den in jenen Tagen, als das Gold schwerwiegender Entdeckungen gewissermaßen auf der Straße lag, die Industrie der Fette, Öle und Seifen nahm, eine Industrie, deren Anfänge bis ins Altertum zurückreichen und die nach empirischen, aber wohlprobierten Methoden in regelmäßigem Betriebe einer ganzen Anzahl von unabweisbaren Bedürfnissen der Menschheit genügte.

Schon die alten Römer und Griechen hatten aus den Oliven das in ihnen enthaltene Öl durch Pressen gewonnen, wie es bis auf den heutigen Tag geschieht, und schon sie hatten die Kunst verstanden, dieses Öl, soweit sie es nicht für Speise- und Beleuchtungszwecke verbrauchten, durch Kochen mit einer aus ägyptischer Soda bereiteten Lauge in Seife zu verwandeln. Diese Technik hatte sich dauerhafter erwiesen als die Völker, die sie ausübten. In allen Wirren der Völkerwanderung, durch alle politische Not und Drangsal hatte sie unverändert weiter bestanden. Sie war dann in dem Maße, wie die Kultur sich ausbreitete, in die Länder getragen worden, welche dieser erschlossen wurden. Wenn nördlich der Alpen die Olive nicht mehr gedeihen wollte, so waren Walnuß, Raps und andere Ölfrüchte an ihre Stelle getreten. Wo die mangelhaften Verkehrsmittel die Zufuhr der ägyptischen Soda unmöglich machten, da hatte man gelernt, aus der Holzasche ein Alkali zu gewinnen, welches an ihre Stelle treten konnte. Auch hatte man frühzeitig erkannt, daß die tierischen Fette in ihren Verwendungsmöglichkeiten den Pflanzenölen sehr nahe stehen.

Aber in diesen wenigen Sätzen ist doch der Fortschritt zweier Jahrtausende auf dem Gebiete der Fettindustrie ziemlich erschöpfend gekennzeichnet. Erst die von der neu begründeten Chemie geschaffenen Forschungsmethoden konnten es bewirken, daß in der kurzen Spanne von zwei Jahrzehnten eine vollständige Umwälzung in den Methoden einer solchen ehrwürdigen menschlichen Gewerbstätigkeit zustande kam. Es war der französische Chemiker Chevreul, der etwa im Jahre 1811 begann, sich mit dem Studium der Verseifung der Fette zu beschäftigen. Er erkannte die Natur derselben als Ester einer Reihe von Säuren, welche in nächster Beziehung zu den in ihren Eigenschaften so ganz verschiedenen Anfangsgliedern dieser Reihe, zur Ameisensäure und Essigsäure stehen. Er fand auch in den Unterlaugen der Seifenfabriken den in diesen Estern enthaltenen Alkohol, das Glycerin, dessen Entdeckung allerdings schon früher dem Scharfsinn eines Scheele geglückt war.

Die aus Chevreuls Untersuchung der Fette hervorgegangene Befruchtung der chemischen Wissenschaft ist nicht zu unterschätzen, von ihr soll aber hier nicht die Rede sein. Technisch war die Umgestaltung von der größten Wichtigkeit, welche die Arbeitsmethoden eines uralten Gewerbes unter dem

Industrie der
Fette und Öle.

Erkenntnis der
Natur der Fette
und Spaltung
derselben.

Stearinindustrie
und Glyceringe-
winning.

Einfluß dieser neuen Erkenntnis erfahren konnten. Die Darstellungsweise der Seifen wurde verbessert und vereinfacht, die außerordentliche technische Bedeutung des Glycerins erkannt und seine fabrikmäßige Gewinnung unter-
nommen, es wurden neue Methoden der Verseifung der Fette ausgearbeitet, bei welchen die Verwendung von alkalischen Laugen nicht mehr erforderlich war und die infolgedessen gestatteten, die in den Fetten enthaltenen Säuren im freien Zustande zu gewinnen. Diese Säuren ließen sich trennen in die flüssige Ölsäure und die feste Stearin- und Palmitinsäure, und das Gemisch dieser beiden letzteren erwies sich als ein Material zur Herstellung von Kerzen, welches dem für diesen Zweck früher benutzten Talg an Güte, dem Wachs und Walrat an Billigkeit weit überlegen war. Die Mitarbeiter und Assistenten Chevreuls zogen hinaus in alle Länder und wurden die Pioniere dieser neugeborenen, vielseitigen Fettindustrie, die mit der alten kaum noch irgend welche Ähnlichkeit besaß und die Grundlage alles weiteren Erfolges auf diesem Gebiete geworden ist.

Organische
Präparate.

Wie die reine Wissenschaft bei ihrem ersten Vorstoß ins Reich der organischen Chemie sich hauptsächlich damit befaßt hatte, eine große Zahl der in den Lebewesen enthaltenen Substanzen im reinen Zustande zu isolieren und ihre Eigenschaften genauer zu untersuchen, so warf sich auch die organisch-chemische Technik zunächst auf Bestrebungen ähnlicher Art. Sie hatte dazu um so mehr Veranlassung, als sie selbst größtenteils nach und nach aus dem Betriebe der Apotheken hervorgewachsen war. Diese hatten von jeher Kräuter der verschiedensten Art gesammelt und angebaut, welche getrocknet und in verschiedenartiger Zubereitung zu Heilzwecken benutzt wurden, wie das ja auch heute noch geschieht. Erst im Mittelalter waren, veranlaßt durch die Arbeiten der Iatrochemiker, manche Metallpräparate in den Bestand der damaligen Pharmakologie mit aufgenommen worden. Nachdem nun der große Chemiker Scheele, der ja selbst Apotheker war, im Verlaufe seiner Arbeiten in komplexen Drogen verschiedener Art die Milchsäure, Harnsäure, Blausäure, Zitronensäure, Oxalsäure, Apfelsäure und Gallussäure entdeckt und sie im reinen Zustande isoliert hatte, nachdem eine ganze Reihe namentlich deutscher und französischer Chemiker sich mit ähnlichen Untersuchungen beschäftigt und den Nachweis erbracht hatten, daß die spezifischen Wirkungen der Drogen auf bestimmte in ihnen enthaltene chemische Substanzen zurückzuführen sind, lag es nahe, die gewonnene Erkenntnis auszubeuten und auf solche Weise zu Heilmitteln zu gelangen, welche die Wirkung der Drogen verstärkt und dabei genau dosierbar erreichen ließen. Unter den auf solche Weise entstandenen neuen Industriezweigen mag vor allem die fabrikmäßige Herstellung der Pflanzenalkaloide hervorgehoben werden, welche insofern einen sehr großen Fortschritt bedeutete, als bei der Verabreichung dieser schon in kleinsten Mengen ungemein heftig wirkenden Substanzen in der nicht genau meßbaren Form von Drogen der Möglichkeit von Vergiftungen Tür und Tor geöffnet war. Bei der Durcharbeitung der Fabrikation solcher Alkaloide, namentlich derjenigen der Chinarinde und des Opiums, stellte es sich heraus, daß die Drogen sehr häufig nicht nur ein wirksames Prinzip, sondern ein Gemisch mehrerer derselben

Industrie der
Pflanzenalka-
loide und phar-
maceutischen
Produkte.

enthielten, für welche nach und nach zweckmäßige Trennungsmethoden aufgefunden wurden. In der Kleinarbeit des Laboratoriums hätte dies nie so vollständig geschehen können, wie im fabrikatorischen Betriebe; so läßt sich denn sagen, daß schon diese Industrie den Dank, den sie der Wissenschaft für die empfangene Anregung schuldet, durch reichliche Lieferung von neuem Forschungsmaterial gewissenhaft abgetragen hat.

Aber auch solche Industriezweige, bei denen es nicht so sehr auf die Herstellung gewisser Verbindungen in Substanz, als auf die Ausnutzung chemischer Vorgänge bei der Verarbeitung verschiedener Rohmaterialien ankommt, haben nicht geringen Nutzen von dem Lichte gezogen, mit welchem die aufstrebende chemische Forschung das geheimnisvolle Dunkel des Wesens der Materie durchdrang. Auch hier waren es in erster Linie alte, in der Empirie früherer Jahrhunderte erstarrte Gewerbszweige, welche durch die verständige und zielbewußte Anwendung der Ergebnisse der Forschung einer vollständigen Umgestaltung und Wiedergeburt entgegengeführt wurden.

Ganz besonders deutlich zeigt sich dies in der Textilindustrie, welche wie so manche andere, die sich mit der Herstellung der dringendsten Lebensbedürfnisse des Menschen befaßt, auf ein hohes Alter zurückblickt. Die verschiedenen Methoden des Bleichens, Färbens und Druckens, über welche schon das Mittelalter verfügte, waren an sich nicht schlecht und zum Teil so eigenartig, daß sie heute noch nicht aufgehört haben, wissenschaftliches Interesse zu besitzen. Alle diese Methoden waren das Endergebnis eines über Jahrhunderte ausgedehnten Probierens ganzer Generationen von Handwerkern, und die Mühe, welche auf ihre Auffindung verwendet worden war, läßt sich kaum berechnen oder schätzen. Hier bot sich ein weites Feld, um das Alte zu verbessern und wertvolles Neues hinzuzufügen.

Die Bleicherei der Pflanzenfasern konnte sich das neuentdeckte Chlor, diejenige der Tierfasern die Wirkung der schwefligen Säure zu Nutzen machen. Es galt ferner, für die Baumwolle, welche zwar schon das Altertum gekannt hatte, die aber bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts hinein im fertig versponnenen und verwobenen Zustande nach Europa gelangte, geeignete Arbeitsmethoden herauszufinden, nachdem durch die Aufnahme des Importes und der Verspinnung von Rohbaumwolle zuerst in England und später auf dem Kontinent eine rasch emporblühende Baumwollindustrie begründet worden war. In der Färberei der Fasern wurden mancherlei Reaktionen aus dem Gebiete der organischen Chemie, bei welchen intensiv gefärbte unlösliche Niederschläge entstehen, zu sehr brauchbaren Färbeprozessen ausgestaltet. Die rohen und höchst komplizierten, zeit- und arbeitraubenden und dabei doch noch nicht vollkommenen Methoden der Beizung der Fasern wurden auf Grund der Ergebnisse der chemischen Forschung vereinfacht und dabei zuverlässig und sicher gestaltet. Die Wirkungen des Chlorkalks und der neu entdeckten organischen Säuren wurden zu einer Ätzmethode kombiniert, durch die das unvergleichlich echte Türkischrot auf Baumwollgeweben mit weißen und bunten Zeichnungen dekoriert werden konnte. Die Methode der Türkischrotfärberei selbst

Befruchtung empirischer Industrien durch die Ergebnisse der Forschung.

Textilindustrie.

Bleicherei.

Färberei.

Druckerei, Ätzverfahren.

war damals eben erst ein Gemeingut der Färber Europas geworden, nachdem die für die Entwicklung der Industrie stets besorgte französische Regierung das Geheimnis seiner Herstellung unter großen Opfern in Adrianopel erworben und dann zu allgemeinem Gebrauch veröffentlicht hatte. Das Verfahren zur Erzeugung dieses schönen und echten Scharlachrot auf Baumwolle hat ein volles Jahrhundert lang unausgesetzt zahlreiche Chemiker zu wissenschaftlichen Forschungen angeregt, deren Resultate nicht nur der Rotfärberei zugute gekommen sind, sondern auch auf andere Verfahren der Färberei und des Zeugdruckes zurückgewirkt haben.

Natürliche Farbdrogen und ihre wirksamen Prinzipien.

In der Färberei bediente man sich der aus alter Zeit bekannten Drogen, des Krapps, der Cochenille, des Indigos, Waids, der zahlreichen verschiedenen Farbhölzer, der Gelbbeeren und des Waus, zu denen nach und nach einige neu importierte Erzeugnisse fremder Länder hinzukamen. Aber auch diese Drogen wurden nicht mehr angewandt, ohne daß man sich Rechenschaft von den wirksamen Prinzipien gab, welche dieselben enthielten. Nach und nach begannen sogar die schüchternen Versuche einer chemischen Umgestaltung dessen, was die Natur uns so willig gewährte. So wurden aus dem Indigo durch Behandlung desselben mit rauchender Schwefelsäure die verschiedenen Arten des Indigokarmins hergestellt, aus der Cochenille der Cochenillekarmin zubereitet, der sich freilich als Aquarellfarbe wichtiger erwies, als für die Zwecke der Färberei. Schließlich versuchte man auch dem Krapp mit Hilfe der beim Indigo so bewährten Schwefelsäure neue Seiten abzugewinnen und gelangte so, indem durch die Säure die nicht färbenden Bestandteile der Droge zerstört und gelöst wurden, zu den konzentrierten Formen der sogenannten Krapp-Präparate, zu der Garanceine, dem Garanceux, den Krappblumen und dem Krappextrakt. Der Wert aller dieser und anderer Arbeiten ist hoch zu veranschlagen, weil sie bis zu einem gewissen Grade eine Vorbereitung des Färbers für das Kommen der synthetischen Farbenindustrie bildeten.

Aufblühen der technischen organischen Synthese.

Wenn die vorstehende kurze Skizze als eine genügende Charakteristik der ersten Epoche einer organisch-chemischen Gewerbstätigkeit gelten kann, so ist es nunmehr an der Zeit, uns mit der zweiten Epoche zu beschäftigen, in der die synthetische Arbeit der Forschung ihre Früchte trug. Sie konnte natürlich erst einsetzen, nachdem der Ausbau der organischen Synthese gewisse Fortschritte gemacht hatte. Wenn wir den Beginn derselben auf das Jahr 1828 zurückführen konnten, so müssen wir den Anfang der modernen organischen Technik dreißig Jahre später auf das Ende der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts ansetzen.

In der Zwischenzeit hatte die wissenschaftliche organische Chemie ganz außerordentliche Fortschritte gemacht, auf die hier nur verwiesen werden kann (vgl. Abschnitt IV), da eine auch nur oberflächliche Aufzählung des Geleisteten viel zu weit führen würde. Aber es darf nicht unerwähnt bleiben, daß in dieser Zeit namentlich unter dem Einfluß Liebigs wissenschaftliche Unterrichtslaboratorien begründet worden waren, denen außerordentlich viele junge Leute in der ausgesprochenen Absicht zuströmten, das Gelernte später

in industrieller Tätigkeit zu verwerten. Die Wissenschaft hatte das Motto: „Vita, non scholae discimus“ auf ihre Fahne geschrieben und die Gewerbe hatten eingesehen, daß derjenige, der auf ihrem Felde neue Wege suchen und weiteren Fortschritt anbahnen wollte, sich nicht darauf beschränken durfte, in einer Lehrlingszeit das Erbteil der Väter zu erwerben, um es zu besitzen, sondern daß er, unbekümmert um direkte Beziehungen zu dem von ihm vertretenen Gewerbszweig, zunächst in der Wissenschaft heimisch werden mußte, deren Prinzipien in seiner Industrie zur Anwendung kamen. So mehrte sich in allen Zweigen der chemischen Technik die Zahl derjenigen Industriellen, welche die nötigen Vorkenntnisse und vielfach auch die Begabung besaßen, als Forscher die alten empirischen Methoden zu bearbeiten und dem Besitzstand der Technik Neues hinzuzufügen. Wohl sind manche dieser mit einer wissenschaftlichen Vorbildung versehenen Gewerbetreibenden später im Drange des Erwerbslebens auf die ausgetretene Bahn der Routine zurückgekehrt, viele aber haben als echte Technologen mit voller Kenntnis und Verwertung der in keinem Industriezweig fehlenden handwerksmäßigen Gepflogenheiten doch dem wissenschaftlichen Sinn ihrer technischen Arbeit nachgespürt und die Lehren der alten Erfahrung mit neuer Erkenntnis durchgeistigt. Sie waren die Verbindungsglieder zwischen der reinen wissenschaftlichen Forschung und der aufblühenden Industrie, und ihrer Tätigkeit ist es in erster Linie zu danken, wenn die von der Wissenschaft gewonnene Erkenntnis auch für die Industrie ihre reichen Früchte trug.

Wissenschaftlich vorgebildete Hilfskräfte strömen der Industrie zu.

Die wissenschaftliche organisch-chemische Forschung des mittleren Drittels des 19. Jahrhunderts hatte sich mit Vorliebe der Bearbeitung des in einem früheren Kapitel dieses Aufsatzes charakterisierten Steinkohlenteers angenommen. In verschiedenen Laboratorien waren Bestandteile desselben isoliert, ihre Eigenschaften und Umsetzungen studiert worden. Ganz besonders war dies der Fall in dem Laboratorium A. W. Hofmanns, der schon in einem frühen Stadium seiner glänzenden Laufbahn mit Arbeiten über Teerprodukte sich beschäftigt hatte, zu deren Fortführung nach seiner Übersiedlung nach England, dem klassischen Lande der Gasindustrie, er alle Ursache hatte.

Technische Konsequenzen der Teerverarbeitung.

So sind denn auch einige der wichtigsten Errungenschaften der damals entstandenen Teer- und Farbstoffindustrie Schülern des Hofmannschen Laboratoriums zu verdanken. Mitte der fünfziger Jahre hatte Mansfield die industrielle Gewinnung des Benzols aus dem Steinkohlenteer organisiert, wobei er sein Leben einbüßte. Aber sein Werk dauerte fort, und verschiedene seiner Studiengenossen befaßten sich mit der Frage nach einer praktischen Verwertung der nunmehr leicht zugänglich gewordenen Benzolkohlenwasserstoffe. Man begann das von Mitscherlich entdeckte Nitrobenzol fabrikmäßig darzustellen und unter dem Namen „Mirbanöl“ als Seifenparfüm in den Handel zu bringen. Daß das aus dem Nitrobenzol entstehende Reduktionsprodukt mit dem ursprünglich aus Indigo gewonnenen, später in geringen Mengen auch im Steinkohlenteer aufgefundenen Anilin identisch war, hatte Hofmann selbst in seiner Jugendzeit nachgewiesen. Ebenso hatte schon Runge auf die Fähigkeit

Fabrikation von Nitrobenzol und Anilin.

dieses Körpers aufmerksam gemacht, bei manchen Reaktionen in gefärbte Verbindungen überzugehen. Seine Arbeiten waren damals vielleicht vergessen. Nicht in Anlehnung an sie, sondern durch eine uns heute wenig korrekt scheinende Schlußfolgerung gelangte man zu dem ersten Schritt auf dem Gebiete der Industrie synthetischer Farbstoffe.

Begründung der
Farbenindustrie.

Das Anilin war eine organische Stickstoffbase, und solche bezeichnete man in jener Zeit als Alkaloide. Das wichtigste Pflanzenalkaloid war damals und ist wohl heute noch das Chinin. W. H. Perkin, damals ein noch jugendlicher Schüler Hofmanns, faßte den schülerhaft kühnen Gedanken, das Chinin aus dem Anilin herzustellen, indem er dasselbe einer energischen Oxydation unterwarf. Die Synthese des Chinins ist bis auf den heutigen Tag noch nicht gelungen, und wir wissen längst, daß dasselbe mit dem Anilin nicht das Geringste zu tun hat. So erhielt denn auch Perkin bei seinen Versuchen an Stelle der erhofften weißen Kristalle von Chinin eine höchst unerquickliche dunkle Schmiere. Aber das, was er als Schüler begonnen hatte, wußte er als Meister zu Ende zu führen. Mit bewunderungswürdigem Geschick isolierte er aus seinem Reaktionsprodukt einen schönen violetten Farbstoff, dessen Fabrikation er sofort unternahm und den er unter dem Namen „Mauve“ in den Handel brachte.

Mauvein.
Teerfarbstoffe.

In den Tagen der ersten Entwicklung der organischen Chemie, als man noch an die Lebenskraft als an ein unumstößliches Dogma glaubte, hatte man stets die Entstehung der Farbstoffe in der Natur als die höchste und vollendetste Äußerung dieser Lebenskraft angesehen. Ein Rest dieser Anschauung war auch in den Tagen der beginnenden synthetischen Arbeit als Überzeugung von dem außerordentlich komplizierten Bau der organischen Farbstoffe übrig geblieben. Wir können daher begreifen, daß das Aufsehen kein geringes war, als die Kunde sich verbreitete, daß es einem jungen Manne gelungen sei, einen Farbstoff künstlich aus dem farblosen Benzol des Steinkohlenteers herzustellen. Wie groß dieses Aufsehen war, davon können wir uns freilich heute keine Vorstellung mehr machen, denn in unserer Zeit folgen sich die Entdeckungen auf chemischem Gebiete Schlag auf Schlag, und wir haben uns längst gewöhnt, selbst sehr viel einschneidendere Neuerungen, als es die Erfindung des Mauve war, mit einer gewissen Gelassenheit hinzunehmen. Jedenfalls bewirkte der geschilderte erste Erfolg ein fieberhaftes Arbeiten in fast allen damals existierenden Laboratorien, deren Zahl freilich nicht sehr groß war. In Glasgow arbeitete damals ein ebenfalls noch sehr junger Chemiker, Greville Williams, dessen Namen als Pionier ich später nochmals werde erwähnen müssen, über die Chinolinbasen, welche durch Zersetzung des in der Chinarinde enthaltenen Cinchonins erhalten werden und somit zu dem Chinin in der allernächsten Beziehung stehen. Ihm gelang ganz kurze Zeit nach Perkins Entdeckung die Herstellung eines blauen Farbstoffes aus diesen Basen, welcher den Namen „Cyanin“ erhielt und dessen Fabrikation von Perkin, der sich mit Williams verbündete, ebenfalls aufgenommen wurde. Es mag hier sogleich gesagt werden, daß die Bedeutung, welche das Mauve sowohl wie das Cyanin in der Folgezeit erlangt haben, nicht allzu hoch veranschlagt werden darf.

Cyanin.

Desto wichtiger war eine Erfindung, welche in dem Laboratorium der Seidenfärberei von Renard in Lyon durch den jungen Chemiker Verguin gemacht wurde. Dieser fand, daß das Anilin bei Oxydationsversuchen, welche er in etwas anderer Weise anstellte als Perkin, einen prächtigen roten Farbstoff lieferte, der in Erinnerung an die Nuance der damals in der Gärtnerei neu eingeführten Blume Fuchsia und gleichzeitig in einer Hindeutung auf den Namen des Besitzers der Fabrik, in welcher die Entdeckung stattgefunden hatte, den Namen „Fuchsin“ erhielt. Dieser Farbstoff war es, der das Produkt eines technischen Großbetriebes werden und den eigentlichen Ausgangspunkt der Industrie der künstlichen Farbstoffe bilden sollte. Zu seiner Fabrikation wurde eine nach damaligen Begriffen außerordentlich bedeutende Aktiengesellschaft „La Fuchsine“ gegründet, deren großer Erfolg nicht nur auf die sofort in großem Maßstabe in die Wege geleitete Fabrikation des neuen Farbstoffs, sondern namentlich auch darauf zurückzuführen ist, daß an dem Fuchsin die Fähigkeit entdeckt wurde, in eine ganze Reihe von anderen Farbstoffen sich umwandeln zu lassen. Die Gesellschaft „La Fuchsine“ blieb nicht lange im Alleinbesitz der Verguinschen Erfindung. In England wurde durch Simpson, Maule und Nicholson, auch Schüler A. W. Hofmanns, eine Fabrik gegründet, welche ebenfalls durch Oxydation des Anilins, aber nach wiederum anderer Methode das „Magenta“ darstellte, einen Farbstoff, dessen Verschiedenheit vom Fuchsin zunächst behauptet wurde, der aber in Wirklichkeit mit demselben identisch war. Auch in der Schweiz entstanden Fabriken der neuen Produkte; eine lange Reihe von Patentprozessen war die Folge, welche damals wohl niemandem zum Vorteil gereichten, aber durch Enthüllung zahlreicher von den Fabriken zunächst ängstlich gehüteter Geheimnisse namentlich der wissenschaftlichen Durchforschung des neu erschlossenen Gebietes Vorschub leisteten. A. W. Hofmann selbst nahm sich der neuen Industrie auf das tatkräftigste an und förderte namentlich die wissenschaftliche Seite derselben, indem er die neu auftauchenden Farbstoffe einer weitgehenden Untersuchung unterwarf, wobei es ihm gelang, seinerseits neue Farbstoffe herzustellen, die der jungen Industrie zugute kamen.

Es wäre unmöglich, die nunmehr mit außerordentlicher Schnelligkeit sich vollziehende Ausbildung dieser Industrie in ihren Einzelheiten zu schildern. Diese Ausbildung vollzog sich zunächst in einer Verbesserung der Darstellungsmethoden der Ausgangsmaterialien und auch der Farbstoffe selbst, welche von der gesamten Färberei mit der größten Begeisterung aufgegriffen worden waren, so daß die immer zahlreicher werdenden und nun namentlich auch in Deutschland aufblühenden Fabriken der Nachfrage gar nicht genügen konnten. Die Preise, welche damals für diese Farbstoffe bezahlt wurden, erscheinen heute phantastisch und ließen der jungen Industrie trotz ihrer nach heutigen Begriffen wenig rationellen Arbeit einen Nutzen, wie man ihn auf anderen Gebieten der Technik nicht zu erzielen gewohnt war.

In wissenschaftlicher Hinsicht blieben die damaligen Anilinfarbstoffe trotz der bedeutsamen Forschungen A. W. Hofmanns und anderer,

Fuchsin und die
älteren Anilin-
farbstoffe.

die sich im Verlaufe der Zeit ihm beigesellt hatten, immer noch ziemlich rätselhaft. Daher konnten auch die eifrig weitergeführten Versuche zur Auffindung neuer Farbstoffe kaum einen anderen Charakter annehmen, als den der Einwirkung aller möglichen Reagentien auf alle möglichen Rohmaterialien, von denen immer wieder neue aus dem Steinkohlenteer hergestellt wurden. Die altgewohnte Empirie spielte immer noch eine große Rolle in der Chemie der Farbstoffe, und wenn auch mit ihr das Zeitalter der technischen Synthese angebrochen war, so war es doch eine Synthese auf empirischer Grundlage, welche damals so eifrig gepflegt wurde.

Synthese auf empirischer Grundlage.

Der erste Anstoß zu einer Änderung dieser Sachlage kam, wie es so oft geschieht, aus dem Lager der reinen wissenschaftlichen Forschung.

Einfluß der Benzoltheorie.

Im Beginn der sechziger Jahre hatten unsere Anschauungen über das Wesen der organischen Verbindungen überhaupt und namentlich derjenigen der aromatischen Reihe eine ganz neue Form dadurch angenommen, daß August Kekulé mit der Lehre von der Vierwertigkeit des Kohlenstoffatoms und der aus ihr abgeleiteten Benzoltheorie hervorgetreten war. Die Tragweite dieser genialen Schöpfungen ist heute noch unberechenbar, aber von Anfang an hatten sie die Folge, daß nunmehr der Chemiker den Kohlenstoffverbindungen als einer Form der Materie gegenübertrat, von der er nicht mehr bloß die quantitative Zusammensetzung aus ihren Elementarbestandteilen kannte, sondern in deren intramolekularen Aufbau er einen gewissen Einblick gewonnen hatte. Die „Strukturchemie“ war geschaffen worden, und es erschien möglich, das Molekül jedes einzelnen Körpers in seiner Konfiguration zu betrachten und die Wirkungen der Lagerung der Atome zueinander auf die Eigenschaften der Körper zu erwägen. Mit Problemen solcher Art beschäftigte sich die damalige neue Schule der Chemiker, und es war einer der geistvollsten Vertreter dieser neuen Schule, Adolf Baeyer, der sich die Aufgabe gestellt hatte, die Konstitution desjenigen Körpers zu ergründen, der immer noch trotz aller Neuerwerbungen der wichtigste Farbstoff geblieben war, des Indigos.

Erkenntnis der Konstitution natürlicher Farbstoffe.

Dieses Ziel sollte der große Meister erst viele Jahre später erreichen. Aber einstweilen sammelte er um sich eine Gruppe von jüngeren Fachgenossen, welche, wie er, weniger bestrebt waren, beliebige neue Farbstoffe zu entdecken, als vielmehr das Wesen der alten natürlichen Farbstoffe zu ergründen.

Synthese des Alizarins und Begründung der zielbewußten Synthese von Farbstoffen.

So kam es, daß zwei Schüler Baeyers, Graebe und Liebermann, die etwas eingeschlafene Bearbeitung der Krappfarbstoffe wieder aufgriffen, wobei es ihnen gelang, festzustellen, daß diese Farbstoffe und namentlich der wichtigste derselben, das Alizarin, sich von einer gemeinsamen farblosen Muttersubstanz ableiteten, welche sich als der aus dem Teer bereits bekannte Kohlenwasserstoff Anthracen erwies. Damit eröffnete sich ihnen die Möglichkeit, Versuche zu unternehmen, welche umgekehrt vom farblosen Anthracen zum Farbstoff Alizarin führten. Damit war zum ersten Male die erschöpfende Synthese eines in der Natur vorkommenden Farbstoffs gelungen, und man kann wohl sagen, daß mit dieser wichtigen Entdeckung und Erfindung ein neues Prinzip

in der Farbstoffchemie Geltung gewann, das Prinzip der zielbewußten Synthese.

Die Fabrikation des Alizarins und einer Reihe von mit ihm verwandten, in der Natur nicht vorkommenden Farbstoffen wurde von der deutschen Industrie sofort aufgenommen und mit größtem Geschick und Erfolg durchgeführt. Aber auch in England geschah dies durch Perkin, der die Bedeutung der neuen Errungenschaft sofort richtig erkannt hatte. Indessen hat gerade dieser neue Industriezweig sich im Auslande nie so recht einbürgern können, während er in Deutschland mit staunenswerter Sicherheit und Schnelligkeit emporblühte und nicht wenig dazu beigetragen hat, der deutschen Farbenindustrie ihre heutige weltbeherrschende Stellung zu sichern. Im Laufe der Zeit hat die Industrie der Anthracenfarbstoffe eine Entwicklung erfahren, welche sich ursprünglich gar nicht voraussehen ließ. Sie dauert bis auf den heutigen Tag fort und wäre nicht denkbar gewesen, wenn nicht durch die inzwischen erfolgte Einführung der Destillationskokerei die anfangs etwas knappe Produktion an Anthracen die erforderlichen großen Dimensionen angenommen hätte. Die in der Neuzeit so zahlreich auf dem Markt erscheinenden neuen Anthracenfarbstoffe haben mit den natürlichen Krappfarbstoffen, von denen diese Industrie ursprünglich ausging, nichts mehr zu tun, dagegen knüpft sich an jene ersten Produkte die denkwürdige Episode des Kampfes des künstlichen synthetischen Alizarins mit den natürlichen Krappfarbstoffen, für deren Produktion früher in Frankreich, dem Elsaß und an vielen anderen Orten weite Länderstrecken in Anspruch genommen wurden. Dieser Kampf zwischen dem Erzeugnis der Natur und der menschlichen Kunst endigte mit dem schließlichen vollkommenen Siege des synthetischen Produktes und hat sich später in ganz gleicher Weise, aber in noch größerem Umfange, zwischen dem synthetischen und dem natürlichen Indigo abgespielt.

Dem kühnen Gedanken einer technischen Synthese des Indigos hat die Farbenindustrie mit dem Beginn der achtziger Jahre sich zugewandt, als Baeyer die Konstitution dieses Königs der Farbstoffe endgültig enträtselt hatte und mit einigen ersten Methoden für seinen künstlichen Aufbau an die Öffentlichkeit trat. Diese ersten Erfindungen auf diesem Gebiete und viele andere, welche sich aus der nun auf allen Seiten einsetzenden eifrigen Bearbeitung des Gegenstandes ergaben, führten noch nicht zum Erfolge, und erst um die Jahrhundertwende gelang es der Badischen Anilin- und Sodafabrik, welche während zwanzig Jahren mit unvergleichlicher Geduld und Ausdauer das Problem weiter und weiter verfolgt hatte, mit dem künstlichen Indigo in einer Form auf dem Markt zu erscheinen, welche einen Wettbewerb mit dem Produkt des Plantagenbaues der Tropen unternehmen und siegreich durchfechten konnte. In dieser Entwicklung, die hier nur mit wenigen Worten gestreift werden kann, liegt eine Fülle der subtilsten wissenschaftlichen Forschung, der genialsten apparativen Erfindungskunst und des großartigsten wirtschaftlichen Scharfsinnes, welche zusammenwirken mußten, um den schließlichen Erfolg herbeizuführen, und zu deren erschöpfender Schilderung ein mehrbändiges Werk

Entstehung der Alizarinindustrie.

Kampf zwischen Krapp und künstlichem Alizarin.

Ergründung der Konstitution u. erste Synthesen des Indigos.

Technische Synthese des Indigos.

kaum hinreichen würde. Die wissenschaftliche und technische Literatur des letzten Vierteljahrhunderts enthält eine gewaltige Fülle der hier in Betracht kommenden Einzelheiten.

Erweiterte Möglichkeiten der Synthese natürlicher Farbstoffe und Konsequenzen, welche sich daraus ergeben.

Wie Alizarin und Indigo, so sind auch manche andere weniger bedeutsame unter den natürlichen Farbstoffen heute schon auf künstlichem Wege hergestellt worden. Für andere ist die Möglichkeit der künstlichen Herstellung durch die inzwischen gelungenen Konstitutionsbestimmungen und wissenschaftlichen Synthesen ohne weiteres gegeben, und ihre Durchführung würde nicht lange auf sich warten lassen, wenn sie ein erhebliches technisches Interesse besäßen. Dies ist aber zum großen Teil nicht der Fall, und auch vom theoretischen Standpunkte aus haben derartige Synthesen nur noch ein engbegrenztes Interesse, seit nicht mehr der geringste Zweifel darüber besteht, daß zwischen den natürlichen und künstlichen Farbstoffen keinerlei prinzipielle Unterschiede obwalten, sondern daß vielmehr beide Gruppen nach gewissen Gesetzmäßigkeiten gestaltete Abkömmlinge der aromatischen Kohlenwasserstoffe sind. Im Alizarin und im Indigo hat die Natur Farbstoffe geschaffen, welche eine ungewöhnliche Häufung der für eine technische Verwendung wichtigsten Eigenschaften aufweisen. Daher bildete der künstliche Aufbau gerade dieser kostbaren Farbstoffe Probleme von der größten praktischen Bedeutung, und der sich an die Lösung dieser Probleme in beiden Fällen anknüpfende Kampf zwischen Natur und Kunst mußte in seiner dramatischen Entwicklung das Interesse auch solcher Kreise erregen, die der chemischen Wissenschaft und Technik fernstanden. Aber eine Wiederholung der einzelnen Stadien einer derartigen Entwicklung zugunsten eines oder des anderen unter den weniger bedeutenden natürlichen Farbstoffen wird nie wieder in gleicher Weise die Augen der ganzen Welt auf sich ziehen können.

Wie die Abwesenheit aller prinzipiellen Unterschiede zwischen natürlichen und künstlichen Farbstoffen heute schon eine unwiderlegliche Tatsache geworden ist, so steht es auch fest, daß die Natur bei ihrer synthetischen Arbeit nicht immer das geleistet hat, was für unsere Bedürfnisse das Vollkommenste ist. Längst haben wir gelernt, von der synthetischen Farbenindustrie eine Vervollkommnung unserer Hilfsmittel im Vergleich zu der Zeit, als wir ausschließlich auf Naturprodukte angewiesen waren, zu erwarten. Längst ist auch diese Erwartung auf das glänzendste in Erfüllung gegangen.

Gesetzmäßigkeiten in dem Zusammenhang zwischen Konstitution der Farbstoffe und ihren Eigenschaften.

Damit dies geschehen konnte, war zunächst noch eine Aufgabe zu lösen. Der Farbstoffsynthetiker, der ursprünglich nur darauf ausgegangen war, beliebige Farbstoffe zu suchen, der dann später gelernt hatte, bei seiner synthetischen Arbeit ein bestimmtes Ziel vor Augen zu haben, bedurfte noch einer gewissen Richtschnur, die ihm gestattete, auch bei dem Aufbau solcher Produkte, die aus der Natur noch nicht bekannt waren, auf das Vorhandensein bestimmter für die Verwendung günstiger Eigenschaften hinzuwirken. Es mußten, mit anderen Worten, die Gesetzmäßigkeiten erkannt werden, welche obwalten zwischen der durch die Synthese vorauszubestimmenden Konstitution der aufgebauten Verbindungen und den Farbstoffeigenschaften, welche dieselben besitzen sollten.

Der erste Versuch zur Feststellung dieser Gesetzmäßigkeiten ist von dem Verfasser der vorliegenden Skizze im Jahre 1875 gemacht worden. Auf Grund der damals vorliegenden Tatsachen über die Konstitution verschiedener Farbstoffe wurden die Wirkungen verschiedener Atomgruppen in den Molekülen dieser Verbindungen festgestellt und zur Ableitung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten verwendet. Es wurde nachgewiesen, daß der Färbcharakter an gewissen Atomkonstellationen haftet, welche den Namen der Chromophore erhielten. Durch den Eintritt dieser Chromophore in das Molekül aromatischer Verbindungen entstehen die Chromogene, welche nun wiederum des Eintritts der sogenannten auxochromen Gruppen bedürfen, um sich in Farbstoffe, d. h. zum Färben der kolloidalen Substanz der Faser geeignete Verbindungen zu verwandeln.

Farbstofftheorie
von Otto N.
Witt, 1875.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß die so geschaffene Wittsche Farbstofftheorie der Farbenindustrie, welche dieselbe als etwas Selbstverständliches adoptierte und für ihre Zwecke in Gebrauch nahm, große Dienste bei der Verfolgung ihrer Ziele geleistet hat. Ihre Anwendbarkeit für den beabsichtigten Zweck wurde von ihrem Urheber selbst in der Gruppe der Azofarbstoffe erforscht, deren regelmäßiger Bau, außerordentlich große Zahl (die Anzahl der technisch herstellbaren Farbstoffindividuen dieser Gruppe läßt sich auf über hundert Millionen berechnen) und Mannigfaltigkeit die weitgehendsten Möglichkeiten für die Kontrolle der abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten gewährten.

Einführung der
Azofarbstoffe.

Durch die solchergestalt zustande gekommene Einführung der Azofarbstoffe fanden die glänzenden wissenschaftlichen Untersuchungen von Peter Griess, der in den sechziger Jahren die Diazoverbindungen entdeckt, ihre außerordentliche Reaktionsfähigkeit nachgewiesen und nach den verschiedensten Richtungen hin durchgearbeitet hatte, ihre Nutzen bringende praktische Verwertung, welche im Laufe der Zeit einen geradezu ungeheuren Umfang angenommen hat. Die Anzahl der heute im Handel befindlichen Azofarbstoffe ist größer als die aller anderen Farbstoffe zusammengenommen, und der Wert ihrer jährlichen Produktion läßt sich in achtziffrigen Zahlen ausdrücken.

Parallel mit den soeben geschilderten Entwicklungen verlaufen die Bestrebungen der Farbenindustrie, mit Hilfe ihres so sehr verbesserten Rüstzeuges nach und nach auch Klarheit in ihre ersten durch den Zufall ihr in den Schoß gefallen und zunächst rätselhaften Errungenschaften zu bringen. Auch dies ist heute längst geschehen; das Mauvein und Fuchsin und alle ihre Abkömmlinge sind längst ihrer Konstitution nach auf das genaueste durchforscht, und bei der Durchführung der hierzu erforderlichen Arbeiten hat sich eine Fülle neuer Farbstoffe gefunden, welche zum Teil den alten an Schönheit und Echtheit bei weitem überlegen sind. Diese ältesten Farbstoffe waren die ersten Repräsentanten der Gruppen der Triphenylmethan- und der Azinfarbstoffe, welche heute sehr zahlreich und so genau durchforscht sind, daß wir auch auf ihrem Gebiete vollkommen imstande sind, in planmäßiger Weise Moleküle von ganz bestimmten und vorher berechenbaren Eigenschaften aufzubauen. Dasselbe gilt von der Mehrzahl der anderen natürlichen Farbstofffamilien, die wir im Laufe der Jahre kennen gelernt haben.

Aufklärung der
Konstitution u.
Weiterentwick-
lung der älteren
Anilinfarbstoffe.

Vertiefte
Anschauungen
über die Eigen-
schaften u. Ver-
wendungsweisen
der Farbstoffe.

Nur flüchtig mag hier noch erwähnt werden, daß auch unsere Anschauungen über die Eigenschaften, deren Vorhandensein bei den Farbstoffen wir tunlichst anstreben müssen, sich im Laufe der geschilderten großartigen Entwicklung der Farbenindustrie sehr wesentlich umgestaltet haben. Für die Art und Weise, wie wir den Farbstoff auf der Faser befestigen, ist ursprünglich natürlich die in der Empirie der älteren Färbetechnik geschaffene Methodik maßgebend gewesen. Da aber die natürlichen Farbstoffe ungewöhnlich mannigfaltig sind, so verlangte eigentlich jeder Farbstoff eine besondere Art der Anwendung. Aus mehr als einem Grunde aber ist es wünschenswert, Gruppen von Farbstoffen zu besitzen, welche tunlichst gleiche Färbeeigenschaften mit größtmöglichem Wechsel in der Nuance verbinden. Die Entwicklung auf diesem Gebiete hat sich nun, wenn wir sie ohne alles Eingehen auf Einzelheiten nur in ihren großen Zügen charakterisieren wollen, in dem Sinne vollzogen, daß die bequemsten, billigsten und zuverlässigsten Färbemethoden bevorzugt und einige ausgedehnte Farbstoffgruppen geschaffen worden sind, deren einzelne Mitglieder sich in gleichartiger Weise neben- und miteinander verwenden lassen. So unterscheiden wir heute basische Farbstoffe, Beizenfarbstoffe, substantive Baumwollfarbstoffe, Küpenfarbstoffe u. a. m. Die Küpenfarbstoffe sind zweifellos die echtsten, ihre Anwendung geschieht nach einer Methode, die in ihrem Prinzip noch aus den alten Tagen der Empirie stammt und ursprünglich nur für den Indigo zur Anwendung kam. In der Besonderheit dieser Anwendungen sind gerade die wertvollen Eigenschaften der Indigofärbungen begründet. Die Methodik der Küpenfärberei ist freilich in der Neuzeit von Grund auf umgestaltet und sehr vereinfacht worden. Auch stehen uns jetzt schon mehr als fünfzig Farbstoffe zur Verfügung, welche dieser besonderen Verwendung angepaßt sind und in deren Erfindung wir die neuesten und mit die wertvollsten Errungenschaften der rastlos von Erfolg zu Erfolg fortschreitenden Farbenindustrie zu erblicken haben.

Synthese von
Riechstoffen,
Heilmitteln,
Nährstoffen.

Daß der große Erfolg, den die synthetische Chemie auf dem Gebiete der Farbstofftechnik errang, auf dieses Gebiet nicht beschränkt bleiben würde, war vorauszusehen. Tatsächlich hat die organisch-chemische Industrie sehr frühzeitig begonnen, die Prinzipien der Synthese auch auf die Herstellung anderer nützlicher Präparate anzuwenden, was ihr um so leichter wurde, als die forschende Wissenschaft sich bei ihren auf Konstitutionsenträtselung und synthetischen Aufbau gerichteten Bestrebungen durchaus nicht auf irgend eine bestimmte Gruppe organischer Substanzen beschränkte. Ganz von selbst wurden Riechstoffe, Heilmittel und schließlich sogar Nährmittel in den Kreis dieser Arbeiten einbezogen, und sehr häufig waren die erzielten Resultate solcher Art, daß sie sich nicht allzu schwierig zur Grundlage einer Fabrikation machen ließen. So entstanden neue Zweige der synthetisch-organischen Technik, deren Entwicklung in ihren Einzelheiten zu verfolgen hier zu weit führen würde. Wie in der Farbenindustrie, so blieb auch hier zunächst manches dem Zufall überlassen, bis durch eine immer weitergehende Erforschung des ganzen Gebietes

mit immer größerer Sicherheit die Wege vorgezeichnet wurden, die wir zu gehen hatten, um zum Ziele zu gelangen.

Das neueste Gebiet, welches Wissenschaft und Technik in gemeinsamer Arbeit in Angriff genommen haben, betrifft hochwertige Gebrauchsstoffe, die sich durch die Abwesenheit der Kristallisationsfähigkeit und anderer für die genaue wissenschaftliche Charakterisierung chemischer Verbindungen bisher als unbedingt erforderlich betrachteter Eigenschaften auszeichnen. Es sind dies die Harze und Gummiarten. Schon ist eine Reihe von künstlichen Harzen hergestellt und auf den Markt gebracht worden, das große Problem auf diesem Gebiet aber, an dessen Lösung von den verschiedensten Seiten mit fieberhaftem Fleiß gearbeitet wird, ist die technische Synthese des Kautschuks, nach deren endgültiger Verwirklichung manche das Entbrennen eines ähnlichen Kampfes erwarten, wie wir ihn bei der Einführung des Alizarins und des Indigos erlebt haben.

Synthese colloidaler Körper, Harze und Gummiarten.

Die erste Andeutung über die Natur des Kautschuks verdanken wir dem als Entdecker des Cyanins bereits genannten englischen Forscher Greville Williams, der im Jahre 1860 durch die trockene Destillation von Kautschuk den leicht flüchtigen Kohlenwasserstoff Isopren darstellte. Spätere Forscher haben dann den Beweis dafür erbracht, daß der Kautschuk nichts anderes ist, als das Polymerisationsprodukt dieses Isoprens, dessen Konstitution heute ebenfalls bekannt ist. Das Problem der Kautschukgewinnung läuft also hinaus auf eine bequeme und billige Methode zur Herstellung von Isopren und auf die Erkennung der besten Mittel, durch welche dieses letztere veranlaßt werden kann, sich zu Kautschuk zu polymerisieren. Wissenschaftlich kann das Kautschukproblem als gelöst bezeichnet werden, nachdem wir heute nicht nur eine, sondern sogar mehrere Methoden kennen, sowohl um Isopren herzustellen als auch um dasselbe zu polymerisieren. Für die technische Lösung des Problems aber bleibt noch die Bewältigung der praktischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte der ganzen Frage, und hier sind wir über die allerersten Anfänge noch keineswegs hinaus. Daß mit der Zeit künstlicher Kautschuk neben dem Naturprodukt auf dem Weltmarkt erscheinen wird, ist nicht mehr zu bezweifeln, ob sich, wie seinerzeit bei Alizarin und Indigo ein Kampf des synthetischen Erzeugnisses mit dem Naturprodukt einstellen wird, ist dagegen fraglich. Der Kautschuk ist ein Produkt von ungemein großer Anwendbarkeit, dessen Verwendungsmöglichkeiten bisher bloß deshalb nicht erschöpft worden sind, weil durch den Mangel an dem erforderlichen Material die Preise desselben für viele Anwendungsweisen zu hoch blieben. Mit dem Auftreten eines Wettbewerbes zwischen dem synthetischen und Naturprodukt werden die Preise sinken, dann aber auch die Verwendungen des Kautschuks so stark zunehmen, daß auf lange Zeit hinaus Natur- und Kunstprodukt nebeneinander werden bestehen können, ohne sich in einen Vernichtungskampf einzulassen.

Synthese des Kautschuks.

Aussichten derselben für die Zukunft.

Aber auch eine andere Konsequenz wird hier nicht ausbleiben, die wir noch immer bei der Aufnahme synthetischer Arbeitsmethoden durch die Technik haben beobachten können. Zu dem mit dem Naturprodukt identischen syn-

thetischen Erzeugnis werden sich andere ähnliche, aber in der Natur bis jetzt nicht vorkommende Produkte gesellen, deren Eigenschaften ihnen neue Verwendungsgebiete zuweisen. Daß ein derartiger Verlauf dieser Entwicklung sehr wahrscheinlich ist, ergibt sich schon aus dem Umstande, daß die Natur selbst durch Erzeugung solcher Kautschuk-ähnlicher Weichharze, wie sie in Guttapercha, Balata, Chikle und dergleichen vorliegen, uns eine Andeutung dafür gegeben hat, daß der Vorgang der Bildung solcher Verbindungen sich nicht auf das polymere Isopren beschränkt, sondern eine weitverbreitete Gruppenreaktion einer ganzen Reihe von ungesättigten Kohlenwasserstoffen darstellt.

Schlußwort.

Im Vorstehenden ist der Versuch gemacht worden, in knappsten Umrissen einige der wichtigsten Gebiete der chemischen Technik zu skizzieren und dabei immer auf die Anregung und Hilfe hinzuweisen, welche dieselben bei ihrer Entwicklung von der rein wissenschaftlichen chemischen Forschung empfangen, die sie derselben aber auch ihrerseits gegeben haben. Gar vieles, das interessant und einer genauen Betrachtung in hohem Maße würdig gewesen wäre, hat dabei übergangen werden müssen.

Die anorganisch-chemische Großindustrie hat nur in einigen ihrer Betriebe besprochen werden können, das wichtige, durch den Umfang seiner Produktion längst auch schon zur Großindustrie gewordene Gebiet der Präparatentechnik ist völlig unerwähnt geblieben. Die für Bergbau, Verkehr und Landesverteidigung so bedeutsame Sprengstoffindustrie hat ebenfalls nicht erwähnt werden können, obwohl gerade auf ihrem Gebiete sich in eigenartiger Weise die Wechselwirkung von Wissenschaft und Technik geltend gemacht hat. Auch die Glasindustrie und Keramik, uralte menschliche Errungenschaften, haben nicht in der umgestalteten Form Besprechung finden können, welche ihnen die Neuzeit auf Grund einer wissenschaftlichen Durchforschung ihrer Arbeitsmethoden aufgeprägt hat.

Auch im Reiche der Kohlenstoffverbindungen hat der Verfasser sich auf die Auswahl einiger wenigen Kapitel beschränken müssen. Das gesamte Gebiet der Agrikulturchemie, die landwirtschaftlichen und die Gärungsgewerbe bieten eine Fülle von Beispielen für die Wechselwirkung, die hier nachgewiesen werden sollte, wenn auch der Verfasser die Schilderung dieser Gebiete, welche außerhalb seiner eigenen Betätigung liegen, nicht gerne unternommen hätte. Desto vertrauter ist ihm die Entwicklung, welche die Chemie und die Technik der Faserstoffe in ihren mannigfaltigen Verwendungen erfahren haben und deren Schilderung sich ebenfalls hier nicht einfügen ließ. Auch das in der Weltwirtschaft heute eine so wichtige Rolle spielende Erdöl, die Erforschung seiner Entstehung und die Verwertung, welche die dabei gewonnene Klarheit in der Technik der unschätzbaren Naturgabe gefunden hat, hat aus dem Plane dieses Aufsatzes ausgeschieden werden müssen.

Wenn so die Lückenhaftigkeit der vorliegenden Darstellung unumwunden anerkannt werden muß, so glaubt doch der Verfasser den Hauptzweck seiner Arbeit erreicht zu haben, welcher darin besteht, zu zeigen, wie groß der Wert

ist, den die wissenschaftliche Forschung auch für die gewerbliche Arbeit der Menschheit besitzt, andererseits aber auch den Beweis dafür zu erbringen, daß durch die nützlichen Errungenschaften, die aus den Entdeckungen der reinen Wissenschaft hervorgehen, diese letztere erst ihre höchste Weihe empfängt. Wäre die Arbeit der wissenschaftlichen Forschung ganz losgelöst von der gewerblichen Tätigkeit des Menschen, so müßte sie für alle Zeiten ein Spielzeug, eine Liebhaberei sein, welche die Kulturvölker, nachdem sie zu Wohlstand gelangt sind, sich wohl erlauben dürften, die aber keinen Anteil hätte an dem Wohl und Wehe des Einzelnen und der Gesamtheit. Dadurch, daß die Forschung in ihrem Ringen nach der Erkenntnis der Wahrheit auch die Wege zur Verbesserung der Lebensbedingungen des ganzen Volkes, zu Wohlstand und Behagen zeigt, und dann es auch nicht verschmäht, aus der täglichen gewerblichen Arbeit der Menschen neue Anregung zum Streben nach Erkenntnis zu entnehmen, wird sie erst jenes höchste Gut, als welches wir alle sie verehren.

