

Holz und Kohle, chemische und wirtschaftliche Betrachtungen.

Von Dr. FRIEDRICH BERGIUS, Heidelberg.

Vorgetragen auf der Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker in Dresden am 31. Mai 1928.

(Eingeg. 6. Juni 1928.)

Erwarten Sie heute nicht systematische und umfassende Ausführungen über die wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Arbeiten, an denen mitzuwirken ich durch fast zwei Jahrzehnte das Glück hatte. Es seien mir vielmehr einige Bemerkungen gestattet, die bei näherer Kritik später vielleicht aphoristisch erscheinen werden und die durchaus nicht den Anspruch erheben, ein Problem zu erschöpfen, mit dem Naturwissenschaft und Technik, Privat- und Weltwirtschaft in der modernen Zeit in einem Kampfe gerungen haben, dessen Ende noch lange nicht abzusehen ist, und man erwarte nicht von mir gewissermaßen einen Rechenschaftsbericht über die Verwendung meiner Zeit und der mir anvertrauten Mittel und Hilfskräfte. Die kurze Zeit dieses Vortrages soll dazu benutzt werden, um in großen Linien den Kreis zu umschreiben, der meine und meiner Mitarbeiter Tätigkeit umfaßt.

Kohle und Holz stehen in so vielseitigen Beziehungen zueinander, daß wir uns zunächst mit zwei äußerlichen Feststellungen begnügen müssen, einer wirtschaftlichen und einer naturwissenschaftlichen.

Bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts war das Holz der weitaus wichtigste Energielieferant für die Menschheit. Allmählich wird es abgelöst durch die Kohle, aber noch heute erzeugen nicht nur die Länder des größten Holzreichtums Wärme aus dem Ertrag der Wälder, sondern auch bei uns wandert noch ein Äquivalent von etwa 9 Mill. t Steinkohlen jährlich, hauptsächlich bei der ländlichen Bevölkerung, in Form von Holz in den Ofen. Die Verbrennung zerstört ein Kohlenhydratskelett, welches nur geringe Unterschiede aufweist gegenüber denjenigen Verbindungen, welche im menschlichen Körper durch einen außerordentlich rationellen Umwandlungs- und Verbrennungsprozeß zum Aufbau und zur Energielieferung verbraucht und gestapelt werden.

Energetisch nicht unähnlich, im chemischen Mechanismus natürlich ganz anders als die unter Einwirkung der verschiedenartigsten biochemischen Reaktionen im Körper sich vollziehende Umwandlung der Kohlenhydrate, sind die pflanzlichen Stoffe in der Natur, soweit nicht langsame Verbrennung sie in Kohlensäure und Wasser bei Berührung mit Luft zersetzt, der Inkohlungsreaktion unterworfen. Durch Bedeckung mit Wasser oder Erdmassen vor der Luft geschützt, verfallen die celluloseähnlichen Stoffe einer außerordentlich langsam, aber im thermodynamischen Sinne freiwillig verlaufenden Reaktion, die sie im Laufe geologischer Epochen in Kohle verwandelt. Daß die Kohle auf diesem Wege entstehe, war schon seit Jahrzehnten die herrschende Anschauung, als wir uns einem näheren Studium dieser Reaktion zuwandten.

Eine Reihe von Forschern hat in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts versucht, den Hauptfaktor der geologischen Kohlenbildungsreaktion, nämlich die Zeit, in ihren Laboratoriumsversuchen nach bekannten chemischen Grundsätzen durch Temperatursteigerung zu ersetzen, in ganz ähnlicher Weise, wie es Engler bei

seinen bekannten Versuchen über die Petroleumbildung getan hat. Die Tatsache aber, daß beim Übergang der pflanzlichen Substanz in Kohle bedeutende Wärmemengen entstehen, hatte zur Folge, daß die laboratoriumsmäßig hergestellten Kohlen sich von den natürlichen immer dadurch unterschieden, daß sie infolge von Überhitzung einen destruktiven Zersetzungsprozeß erlitten.

Um dieser Fehlerquelle zu begegnen, wurde in meinem Laboratorium die Umwandlung der pflanzlichen Substanz in Kohle mit einer Methode untersucht, die den schädlichen Einfluß der Wärmeentwicklung verhinderte, und mit der es gelang, die erwähnte Destruktion der Kohle zu vermeiden. Es wurde nämlich die pflanzliche Substanz in Gegenwart von flüssigem Wasser, das als guter Wärmeregulator diente, ohne an der Reaktion selbst teilzunehmen, auf Temperaturen erhitzt, bei denen die Kohle noch stabil blieb. Das zur Vermeidung der Verdampfung unter hohem Druck gehaltene Wasser diente gewissermaßen als Temperaturregelungsbad für die reagierende Substanz. Diese Methode erlaubte zum ersten Male, den Ablauf der Kohlenbildungsreaktion stufenweise und einigermaßen quantitativ zu verfolgen, und sie führte praktisch zu demselben Ergebnis in bezug auf die Elementarzusammensetzung der entstandenen Kohle, wenn man Cellulose selbst, Lignin oder Holz dem Prozeß unterwarf. Das ist auch sehr einleuchtend, da sich ja die Cellulose vom Lignin nach der Bruttoformel nur durch ihren Wassergehalt unterscheidet.

Die quantitative Verfolgung der Reaktion, welche für jede Temperatur eine bestimmte Zeit bis zum vollständigen Ablauf brauchte, ergab, daß die Cellulose definierbare Mengen von Wasser und Kohlensäure abspaltete, und daß die übrigbleibende kohlige Substanz bei gleichen Arbeitsbedingungen stets konstante Zusammensetzung hatte. Auf die quantitative Erfassung dieser Reaktion wurde deshalb großer Wert gelegt, weil man hoffen konnte, aus der quantitativen Kenntnis des Umwandlungsprozesses, der vom Holz zur Kohle führt, Rückschlüsse auf die chemische Natur des Endproduktes dieser Reaktion zu ziehen.

Wenn sich der Chemiker aber über die chemische Natur eines Stoffes eine Vorstellung machen kann, dann ist er durch Analogieschlüsse in der Lage, die Möglichkeit neuer chemischer Reaktionen vorauszusehen, durch welche dieser Stoff chemisch angegriffen und vielleicht technisch veredelt werden kann.

Die beim Studium der Inkohlungsreaktion gewonnenen Produkte zeigten, je nach der Dauer der Erhitzungszeit und der angewandten Arbeitstemperatur, verschiedenen Kohlenstoffgehalt. Wurde bei der höchsten Temperatur, die mit Rücksicht auf die Stabilität der Produkte anwendbar war, die Reaktion etwa 20 Stunden lang fortgesetzt, so stieg der Kohlenstoffgehalt auf etwa 84% an. Er konnte durch längere Dauer nicht mehr gesteigert werden, selbst wochenlange Behandlung veränderte die Substanzen nicht mehr.

Wir haben diese so erhaltene Kohle Endkohle genannt. Diese stellte demnach ein Produkt dar, das — geologisch gesprochen — durch Zeiteinfluß allein sich nicht mehr verändert. Es blieb fraglich, wie aus dieser Endkohle die kohlenstoffreicheren Kohlenarten, die besten Koks-kohlen, die Magerkohlen und die Anthrazit-kohlen, entstanden sind. Schon geologische Betrachtungen weisen darauf hin, daß überall dort, wo solche kohlenstoffreicheren Kohlen gefunden werden, starke Gebirgspressung auf die Kohlenlager eingewirkt haben muß. Es wurde aus diesen Erwägungen heraus versucht, ob nicht auch die Endkohle unter Einwirkung sehr starker Pressung in kohlenstoffreichere Produkte übergeführt werden könnte. Dies gelang tatsächlich, wenn man die Endkohle in Preßzylindern einem Druck von etwa 6000 kg/qcm aussetzte. Man konnte mit dieser Methode in den relativ wenigen Versuchen schon, die damals angesetzt wurden, die Kohlenstoffanreicherung bis zu 87% treiben und, was sehr auffallend war, es wurden bei dieser Reaktion ganz andere gasförmige Produkte entwickelt wie bei der eigentlichen Inkohlung; es entstanden nämlich Methan und Wasserstoff neben Kohlenoxyd und Kohlensäure. Auch diese Erscheinung hat ihre geologische Analogie; denn man findet schlagende Wetter gerade in den Kohlenflözen, in denen Kohlen mit über 84% Kohlenstoffgehalt abgebaut werden.

Wir gelangten auf Grund der Versuche zu der Hypothese, daß der Hauptbestandteil der Endkohle eine einigermaßen einheitliche chemische Substanz sein müßte, über deren Struktur wir uns eine Vorstellung bildeten. Diese, wie ich ausdrücklich bemerken möchte, unbewiesene Hypothese zusammen mit der Beobachtung einer gewissen Labilität des Wasserstoffs der Kohle bei einer Temperatur von etwa 350° machten es wahrscheinlich, daß Wasserstoff unter geeigneten Bedingungen mit der Kohle zur Reaktion gebracht werden könnte, und daß diese Hydrierungsreaktion bei etwas höherer Temperatur zur Aufspaltung der Kohlenmoleküle führen würde. Es war wahrscheinlich, daß die dann entstehenden wasserstoffreicheren Spaltprodukte den Charakter der Mineralölkohlenwasserstoffe zeigen könnten. Diese Überlegungen erwiesen sich als fruchtbar, wobei ich durchaus nicht sagen will, daß sie absolut richtig sind; denn es gelang, die Endkohle in petroleumartige Kohlenstoffe aufzuspalten, wenn man Wasserstoff bei Temperaturen von etwa 450° und einem Druck von mehr als 100 Atm. auf diese Endkohle einwirken ließ. Der Versuch konnte mit natürlicher Kohle mit einem Kohlenstoffgehalt unter 85% wiederholt werden. Auf Grund dieser Beobachtung wurde im August 1913 das erste Kohlenverflüssigungspatent zur Anmeldung gebracht. Die bei dieser Verflüssigung erhaltenen Produkte enthielten neben Kohlenwasserstoffen einen gewissen Prozentsatz sauerstoffhaltiger Verbindungen, insbesondere Phenole. Es gelang schon damals, die Kohlenstoffsubstanz bis auf einen Rest von etwa 15% in flüssige, schmelzbare und gasförmige Verbindungen umzuwandeln.

Es ist vielleicht an dieser Stelle nicht uninteressant, zu erzählen, durch welche Umstände wir seinerzeit auf das Kohlenbildungsproblem und auf die Technik der Hydrierung gelenkt wurden. Die Kohlenbildungsversuche knüpften an die Beobachtungen, die in meinem Laboratorium in Hannover bei Versuchen über Torfentwässerung gemacht wurden. Hannover, nahe an den großen Torflagern der norddeutschen Tiefebene gelegen, war ein natürlicher Standort für die Diskussion des damals sehr aktuellen Torfproblems. Zu einer Zeit, als noch nicht, wie heute, ein Kohlenüberfluß auf den Markt drückte,

als der Kohlenbergbau maschinell noch viel weniger entwickelt war als heute und die Ökonomisierung der Feuerung noch nicht im Mittelpunkt der Rationalisierungsüberlegungen stand — wobei interessant ist, zu bedenken, daß diese Zeit nur etwa 20 Jahre zurück liegt —, konnte die Gewinnung von Brennstoff aus Torf ein zentrales Problem werden, und in vielen Unterhaltungen mit dem Leiter des neu errichteten Torfforschungsinstituts in Hannover, meinem Freunde K e p p e l e r, wurde das Problem der Torfentwässerung behandelt.

Die in meinem Laboratorium damals ziemlich gut entwickelte Hochdrucktechnik erlaubte, Versuche zu machen über die Erhitzung von nassem Torf auf Temperaturen über 100°, Temperaturen, bei welchen die Torfsubstanz ihre Bindungsfähigkeit für das Wasser verliert. Diese Versuche gaben Anlaß zum Studium des Zerfallsprozesses der Torfsubstanz, welcher ein Teil der Inkohlungsreaktion ist, und damit weiter Anlaß zum Studium des Inkohlungsvorganges selbst. Man kam also von der rein empirischen Behandlung einer aktuellen technisch-wirtschaftlichen Aufgabe zu einer ganz allgemeinen chemisch-naturwissenschaftlichen Problemstellung. Bei den Versuchen zur Brennstoffgewinnung aus Torf ergab sich der Fragenkomplex der Kohlenentstehung. Der Entschluß, die Forschung auf diesem an sich nicht sehr aussichtsreichen Gebiet aufzunehmen, wurde erleichtert durch die Verlockung, eine gut ausgebildete Laboratoriumsmethode, nämlich die damals noch ziemlich neue Hochdrucktechnik, auf einem neuen Gebiet anwenden zu können. Er wäre aber schließlich niemals gefaßt worden, wenn nicht eine Aufklärung der Kohlenentstehung uns damals von sehr weittragender und allgemeiner Bedeutung erschienen wäre. Es war schon damals klar, daß wissenschaftliche oder technische Resultate aus solcher Forschung erst nach jahrelanger, intensiver Arbeit zu erwarten sein würden, und es war auch klar, daß ein derartiges Thema für publikationshungrige Gemüter falsch gewählt gewesen wäre. Das zeigte sich auch bald aus der Einstellung der Fachgenossen. Aber die Aufgabe erschien groß und reizvoll, denn, wie gesagt, Klärung über den Werdegang der Kohle konnte zu größerem Verständnis der chemischen Natur der Kohle führen und versprach Fortschritte in ihrer Verwertung, die bei der chemischen Verwandtschaft zwischen Kohle, Petroleum und Kohlenwasserstoff als großes Ziel in der Zukunft lagen.

Das Ölproblem war damals zwar, besonders in der deutschen Öffentlichkeit, noch sehr wenig bekannt. Aber infolge vieler Unterhaltungen mit meinem verstorbenen Freunde Ludwig L a n d s b e r g, an den zu erinnern gerade im Kreise des Vereins deutscher Chemiker mir eine Freude und ein Bedürfnis ist, war in mir der Glaube an ein, allgemein noch nicht vermutetes, außerordentlich starkes Ansteigen des Ölbedarfs in der Welt und besonders auch des Bedarfs an Benzin fest geworden. Von dieser Überzeugung ausgehend, beschäftigten wir uns mit der Umwandlung schwerer Mineralöle, die damals in großem Überfluß vorhanden waren, in leichte. Diese Umwandlung, „Kracken“ genannt, war der Technik bekannt, aber im wesentlichen durchgeführt durch reine Wärmereaktion, bei welcher ein beträchtlicher Teil des schweren Öls in Form von Koks und Gas verloren ging und ungesättigte leichte Kohlenwasserstoffe das Reaktionsprodukt verschlechterten. Das einzige Mittel, diesem Übelstande abzuhelpen, schien uns damals die Zufuhr von Wasserstoff bei der Crackreaktion zu sein, um die Bildung von Koks und ungesättigten Benzinen

zu vermeiden. Aber wir wollten nicht den Weg der katalytischen Hydrierung gehen, weil die damals bekannten Kontaktmassen den Verunreinigungen des Erdöls nicht widerstanden hätten. Mit Hilfe unserer Hochdrucktechnik gelang es uns, festzustellen, daß ohne Zufügung von Kontakten Wasserstoff bei hohen Drücken und hohen Temperaturen mit dem sich spaltenden Kohlenwasserstoffmolekül reagiert, und daß die Krackreaktion in Gegenwart von Wasserstoff bei Drücken von etwa 100 Atm. praktisch durchgeführt werden kann unter Vermeidung der Bildung von Koks, und daß fast nur gesättigte Benzine entstanden. Die Beobachtung der Hydrierung der schweren Kohlenwasserstoffe, die Kenntnis der Temperatur- und Druckbedingungen, bei denen diese Reaktion sich durchführen ließ, veranlaßte uns, dieselbe Hydrierungsmethode später erfolgreich auf die Kohle anzuwenden. Es war also der Glaube an ein großes, volks- und weltwirtschaftliches Problem und das Vertrauen auf eine verlässliche Laboratoriumsmethodik, der die Entschlußkraft gab, solche damals, vor der Zeit der Kohlenforschungsinstitute, noch etwas ungewöhnlichen Arbeiten aufzunehmen. Ich erinnere mich heute noch genau, daß ich zu jener Zeit stark die Verantwortung gefühlt habe, ob es statthaft wäre, die eigene Zeit, die eigenen und die anvertrauten Mittel und die Zeit und die Kraft meiner Mitarbeiter einzusetzen für Bemühungen, deren Ende noch nicht abzusehen war, und von denen man im Anfangszustande noch nicht sagen konnte, ob sie zu ernsthaften Forschungsergebnissen führen würden. Indessen der Entschluß zur Durchführung der Arbeiten erklärte sich aus der weiten Perspektive, die sich aus dem Kohlenverwertungs- und dem Ölproblem ergab. Man mochte damals in einem solchen Entschluß eine gewisse Don Quichotterie sehen, wenn man überlegt, daß solche Forschungen in jedem Falle unter einem Aufwand ungewöhnlicher materieller Mittel erfolgen mußten, über deren Aufbringung durch Jahre hindurch natürlich bei Beginn der Arbeit noch keine Klarheit herrschen konnte. Die Entwicklung und das Glück haben meinem damaligen Entschlusse recht gegeben. Das Ziel der Arbeiten behielt seine Werbekraft auch in schwierigen Zeiten, und nicht nur der materielle Anreiz, mit der Entwicklung eines solchen Prozesses Geld zu verdienen, sondern mindestens ebenso die Werbekraft der Idee und der allgemeinen wirtschaftlichen Phantasie, die sich an eine Gewinnung von leichten Ölen aus schweren, und an eine Umwandlung von Kohle in Öl knüpfte, die es ermöglicht haben, die langen Jahre hindurch das Schiff, das wir bestiegen hatten, in Fahrt zu halten, bis es in den Hafen der I. G. Farbenindustrie eingelaufen ist.

Der Ozean bringt Stürme und guten Wind und nur, wenn die Mannschaft zusammenhält und nicht desertiert oder meutert, kommt das Schiff an seinen Bestimmungsort. Und wenn Reeder und Kapitän zusammenwirken, erfüllt es seine wirtschaftliche Aufgabe. Aber wenn auch dann und wann einer der Mannschaften durch einen anderen ersetzt wird, und die Reederei hier und da ihre Partner wechselt, im schlimmsten Falle der Kapitän mit seinen Getreuen allein das Schiff führen muß, schließlich erreicht das gute Schiff doch den sicheren Port.

Die wissenschaftliche Einstellung schließt den Drang nach Erkenntnis in sich und damit natürlich den Wunsch, neuen Beobachtungen nachzugehen, nicht nur zur praktischen Anwendung, sondern zum tieferen Verständnis der Zusammenhänge. Und so wünschenswert und fördernd dieses Streben ist, so ist doch Beschränkung erste Aufgabe, wenn nicht Überhäufung mit Einzelarbeiten und Zeitverluste das große Ziel verdunkeln

sollen. Andererseits verleitet die wirtschaftliche Einstellung leicht dazu, nur die positiven Ergebnisse zu bemerken und zu fördern und die häufig mindestens ebenso lehrreichen, scheinbar negativen Resultate zu vernachlässigen und dementsprechend die an dem Problem arbeitenden Menschen zu bewerten. Es bleibt Aufgabe der Führung, hier den Mittelweg zwischen beiden Richtungen zu suchen. Das aber erfordert das Verständnis, das Einfühlen und die Achtung vor beiden Einstellungen.

Die Beschäftigung mit der Kohle, mit ihrer chemischen Verwertung und ihrer Entstehung, liegt gar nicht fern dem zweiten Arbeitsgebiet, mit dem wir uns im Laufe der letzten 12 Jahre beschäftigt haben, nämlich mit der chemischen Auswertung des Holzes.

Es liegt so nahe, daß man bei der Behandlung der Reaktion, welche die pflanzliche Substanz in Kohle verwandelt, seine Überlegungen ausdehnt auf eine konservativere Behandlung des Holzes. Die Inkohlungsreaktion nämlich greift tief in die Struktur der holzbildenden Substanz ein. Sie entzieht ihr zuerst Wasser und wandelt sie in huminsäureartige Stoffe um, sie entzieht ihr weiter Wasser und Kohlensäure und wandelt sie um in Braunkohle und Steinkohle, zweifellos unter Zusammenschluß kettenartiger Verbindungen zu ringförmigen unter Kondensation, Polymerisation und Abspaltungsreaktionen. Sie verwandelt das chemische Skelett der Cellulose in ein Gebilde von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, das den Kohlenwasserstoffen nähersteht als den celluloseähnlichen verdaulichen Kohlenhydraten.

Um einen Teil der in der pflanzlichen Substanz enthaltenen Energie in die konzentrierte Form der Kohle oder des Öls überzuführen, mußte man eine beträchtliche Energiemenge in Form von Kohlensäure und Wasser opfern. Gewissermaßen ist die Aufbewahrung des Holzes während geologischer Perioden in Form von Kohle mit einem außerordentlich großen Lagerverlust verbunden, über den die Inkohlungsreaktion Rechenschaft gibt.

Die Energieverwertung der Kohlenhydrate ist im Organismus rationell, aber der Körper vermag die Kohlenhydrate nur in bestimmter Form aufzunehmen, um sie für die Wärmezeugung und den Körperaufbau zu benutzen. Von den Bestandteilen des Holzes ist im menschlichen Organismus fast nichts verwertbar, in gewissen tierischen Organismen ein Teil, und auch hierfür sind die Meinungen verschieden. Aber die Ernte an Kohlenhydraten in Form von Holz ist ein nicht unbedeutender Prozentsatz der gesamten Kohlenhydraternte in Deutschland. Man darf nicht etwa glauben, daß das Holz annähernd ausschließlich als Werkstoff Verwendung findet. Nur etwa 50% des jährlichen Holzzuwachses sind Nutzholz und Zellstoffholz; der Rest, von einem kleinen Prozentsatz abgesehen, der in die Holzverkohlung wandert, wird verbrannt. Die chemischen Qualitäten des Celluloseskeletts, das in so naher Verwandtschaft zu den verdaulichen Kohlehydraten steht, werden in gewalttätiger Weise zerstört und bleiben für die Volksernährung völlig unausgenutzt. Nun könnte man allerdings sagen, die Welt erzeuge soviel Kohlenhydrat, daß eigentlich ein Überschuß an Nährstoffen besteht. Aber diese Überlegung ist einseitig. Wir importieren tatsächlich in Deutschland außerordentliche Quantitäten von hochkohlenhydrathaltigen Futtermitteln, hauptsächlich in Form von Mais. Da 40% der deutschen Schweinemast auf Kartoffelfütterung aufgebaut ist, und die übrigen 60% durch Körnermast bestritten werden, so sind in diesem Zusammenhang die ungeheuren Importziffern

von Gerste und Mais verständlich, nämlich insgesamt über 4 Millionen Tonnen im Werte von mehr als 700 Millionen Mark im Jahre 1927. Die Überlegung, daß die Kartoffel infolge ihres hohen Wassergehaltes dem Transport einen großen Widerstand entgegengesetzt, macht es verständlich, daß die im Osten erzeugten Kartoffeln nicht für die Schweinemast in Süd- und Westdeutschland verwendet werden können. Man muß sich auch klar darüber werden, daß die Schweinemast, die in Deutschland eine sehr große Rolle spielt, denn sie bestreitet einen großen Teil des Fettbedarfs und produziert 60% des Fleischverbrauchs der Bevölkerung, hauptsächlich auf Kohlenhydratfütterung aufgebaut ist, und es ist irrig zu meinen, daß unser Futtermittelimport im wesentlichen des Eiweißes wegen notwendig sei, und daß das Kohlehydrat sozusagen ein unwillkommener Ballast sei. Eiweiß ist in den konzentrierten Kraftfuttermitteln, wie Ölkuchen, Fischmehl usw., bedeutend billiger als in der Gerste und in Mais zu haben. Damit soll natürlich durchaus nicht gesagt werden, daß mit der Herstellung eines Kohlenhydratfuttermittels etwa das Fütterungsproblem gelöst sei, im Gegenteil, jede Möglichkeit, auch das Eiweiß im eigenen Lande herzustellen, muß mit größtem Interesse gepflegt werden.

Es bleibt also die Tatsache bestehen, daß große Mengen von Holz an Stelle von Kohle verbrannt werden, daß dagegen außerordentliche Quantitäten von Kohlenhydrat für Futterzwecke herangeschafft werden müssen.

So ergibt sich das wirtschaftliche Problem, das unrationell zur Wärmeerzeugung verwandte Holz chemisch in der Weise zu verändern, daß das Produkt für Ernährungszwecke benutzbar gemacht wird.

Die Überführung von Cellulose, dem Hauptbestandteil des Holzes, in verdauliche und lösliche Kohlenhydrate durch Hydrolyse ist chemisch wohl bekannt. Durch Hydrolyse in der Hitze unter Anwendung verdünnter Säuren wird die Cellulose in Glucose umgewandelt, allerdings mit sehr schlechten Ausbeuten, weil das gebildete Produkt in saurer Lösung in der Wärme sich zum größten Teil zersetzt. Die Hydrolyse in der Kälte mit konzentrierter Schwefelsäure, die eingehend von Ost und anderen Forschern behandelt worden ist, und mit konzentrierter Salzsäure, wie sie Willstätter durchführte, verläuft mit günstigen Ausbeuten. Für die technische Durchführung des Prozesses kommt natürlich nur eine chemische Reaktion in Frage, die mit sehr guten Ausbeuten verläuft und die mit möglichst geringem Bedarf an Säure arbeitet, sonst würde von vornherein ein solcher Prozeß unwirtschaftlich sein.

Die Holzverzuckerung in der Wärme ist, wie bekannt, mehrfach in großem Umfange, im wesentlichen zwecks Herstellung von Alkohol versucht worden. Man mußte diese Prozesse aber wegen der schlechten Ausbeuten aufgeben. Mit der Verarbeitung des Holzes mit konzentrierter Schwefelsäure hat sich die Technik ebenfalls eingehend befaßt. Es ist aber bisher noch nicht gelungen, in befriedigender und billiger Weise eine Wiedergewinnung der nicht unbeträchtlichen Menge von Schwefelsäure zu erzielen, die für diesen Prozeß notwendig ist.

Im Jahre 1916 nahmen wir die von Willstätter vorgezeichnete Methode der Hydrolyse der Cellulose mit konzentrierter Salzsäure auf, nachdem wir die prinzipielle Lösung gefunden hatten für die technisch nicht ganz einfache Aufgabe der Abtrennung und Wiedergewinnung der konzentrierten Salzsäure von den gebildeten Kohlenhydraten. Diese Arbeiten, welche im Laufe von 12 Jahren so weit geführt wurden, daß nun-

mehr ein technischer Prozeß entstanden ist, der aus einer Reihe hintereinander folgender, technisch und chemisch relativ einfacher Einzelprozesse besteht, sind ein typisches Beispiel dafür, daß ein technisches Verfahren nicht auf einer Erfindung beruht, sondern aus einer Reihe von teils neuen, teils übernommenen chemisch-technisch-physikalischen Ideen aufgebaut werden muß. Diese Ideen brauchen durchaus nicht etwa von einem sogenannten Erfinder herzurühren. Es wäre müßig, zu sagen, daß der oder jener der einzige Urheber des Prozesses sei, vielmehr verschmelzen die wissenschaftlichen und technischen Gedanken, die von verschiedenen Seiten kommen, zu einer höheren Einheit zusammen, die dann in der breiten Öffentlichkeit gewöhnlich eine „Erfindung“ genannt wird.

Die chemische Grundreaktion des Prozesses zur Gewinnung verdaulicher Kohlenhydrate aus Holz entstammt der schönen Willstätterschen Arbeit über die Auflösung der Cellulose in 40%iger Salzsäure und ihre fast quantitative Hydrolyse bei gewöhnlicher Temperatur. Demjenigen, der diese Reaktion vom Standpunkt der technischen Verwertbarkeit betrachtet und der die Vorarbeiten der früheren wissenschaftlich-technischen Versuche kannte, leuchteten bei der Betrachtung zwei Dinge ein: einmal, daß es gelingen mußte, die gebildeten Kohlenhydrate vor der Zerstörung zu bewahren, und zweitens, daß im Gegensatz zu der Hydrolyse in Gegenwart von konzentrierter Schwefelsäure bei dieser Willstätterschen Reaktion die Aussicht bestand, die Salzsäure als flüchtige Säure von den gelösten Hydrolyseprodukten zu trennen und wiederzugewinnen, was bei Schwefelsäure naturgemäß unmöglich ist. An die technische Bearbeitung der Reaktion konnte man aus dieser Erwägung heraus erst herangehen, wenn man grundsätzlich einen technisch gangbaren Weg wußte, um diese Trennung vorzunehmen. Erst dann war der materielle Anreiz gegeben, ohne den man niemals an Arbeiten gehen kann, welche die Grenze der rein wissenschaftlichen Forschung überschreiten. Zur Abtrennung kam nach vielen Erwägungen nur Destillation bei niedriger Temperatur, also im Vakuum, in Frage. Aber die bisherigen Methoden waren dieser speziellen Aufgabe nicht gewachsen, weil es technisch verwendbare salzsäurefeste Metalle nicht gibt, und Apparate aus keramischem Material infolge der geringen Wärmedurchlässigkeit solcher Substanzen undiskutable Formen und Dimensionen ergeben hätten. Zudem erforderte die Wärmeempfindlichkeit der gebildeten Kohlenhydrate in salzsauren Lösungen ein Verfahren, bei welchem schnelle Trennung der Salzsäure von den Kohlenhydraten Voraussetzung war. Die Lösung dieser Aufgaben ergab sich dadurch, daß man einen flüssigen Wärmeträger, der weder die Salzsäure, noch die Zuckersubstanz in sich aufzunehmen, zu lösen oder zu emulgieren vermochte, mit der Lösung in feinsten Verteilung in einem säurefesten Vakuumapparat in Berührung brachte und dadurch eine außerordentlich schnelle Verdampfung der Salzsäure und Abtreibung des überschüssigen Chlorwasserstoffs erreichte. Die früher so schwierige Übertragung der großen, zur Verdampfung nötigen Wärmemengen war damit in das Innere eines leicht konstruierbaren, salzsäurefesten Apparates verlegt worden. Auf die Einzelheiten dieses Prozesses kann ich in diesem Zusammenhang leider nicht näher eingehen.

Erst nachdem diese zweite Erfindung grundsätzlich den Weg zur technischen Ausführung gezeigt hatte, wurde mit der Ausarbeitung des Verfahrens begonnen. Natürlich war auch hier von der Auffindung des technischen Gedankens bis zur Inbetriebsetzung einer ersten

Auflage ein weiter und dornenvoller Weg, der aber mit einem gewissen Maß von Beharrlichkeit und Geduld glücklich zurückgelegt werden konnte. Die Chemie und die Technik dieses Prozesses darf heute als geklärt gelten, nachdem eine erste technische Fabrikanlage befriedigende Resultate ergeben und gezeigt hat, daß man auch im großen Maßstab 60–70% trockenen Holzes in verdauliches Kohlenhydrat verwandeln kann. Aber bis zur Industrialisierung des Prozesses sind noch Schwierigkeiten zu überwinden, die jenseits der chemischen und technischen Zuständigkeit liegen. Die Rohstoffbeschaffungs- und die Rohstofftransportfragen, die günstigsten geographischen Lagen, die zweckmäßigste Form, in der die Produkte zu vertreiben und anzuwenden sind, die Art, wie der Absatz zu handhaben ist, müssen geklärt werden, abgesehen von den finanziellen und großtechnischen Fragen, die bei der Aufnahme einer Massenfabrikation wohl auftreten.

Wissenschaftliche, technische, volkswirtschaftliche und kaufmännische Arbeit hat parallel zu gehen. Die fachliche Arbeit kann nicht mehr beschränkt werden auf Chemismus und Technik des Produktionsvorganges, sie muß eindringen in Rohstoff- und Konsumfragen. In dem vorliegenden Falle der Umwandlung des Holzes in Futtermittel wird das Studium der landwirtschaftlichen Situation, insbesondere das Studium der Fütterungslehre, ebenso wichtig sein, wie es am Anfang das Studium der Reaktion zwischen Cellulose und Salzsäure war.

Je weiter die Entwicklung eines neuen technischen Prozesses fortschreitet, desto breiter wird der Weg der Wissenszweige, in die diejenigen einzudringen haben, die an der Entwicklung derartiger Verfahren mitarbeiten, und wenn ich hinzufüge, daß zu den breiten Gebieten des Wissens, die behandelt werden müssen, noch das Verständnis und das Einfühlen in soziale und politische Fragen gehört, so wird man mir im Falle der Herstellung von Produkten, die mit der Landwirtschaft in engem Zusammenhang stehen, recht geben. Betrachtungen im Rahmen der allgemeinen Wirtschaft erst zeigen, ob die Herstellung eines Produktes berechtigt ist oder nicht, mag seine fabrikatorische Gewinnung auch noch so günstig und rationell sein. Es genügt nicht, einfach das Statistische Jahrbuch aufzuschlagen und einige Ziffern zusammenzutragen, sondern ein eingehendes, fachkundiges Studium der wirtschaftlichen Zusammenhänge darf ebensowenig vernachlässigt werden wie sorgfältige wissenschaftliche und technische Arbeit.

Wenn ich hier so stark betone, wie wichtig und wie schwierig bei der Entwicklung großindustrieller Verfahren die außerhalb der Kompetenz der Chemie und der Ingenieurkunst liegenden Fragen sind, so soll damit nicht herabgesetzt sein, was erfinderischer Geist, technisches Können und Zähigkeit und Geduld bei der Ausarbeitung der Probleme bedeuten. Es soll aber betont sein, daß Kräfte verschiedenster Geistesrichtung und Schulung mitzuwirken haben, um technisch-wirtschaftliche Probleme zu lösen.

Und wenn ich an dieser Stelle wieder zurückgehe zu den verschiedenen Problemen, die in unserem Kreise bearbeitet worden sind, so möchte ich noch einmal betonen, daß die Zusammenarbeit vieler, mit denen zusammenzuwirken ich die Freude hatte, notwendig war, um zum Erfolg zu kommen, und ich benutze gern die Gelegenheit, hier einige Namen der Männer zu nennen,

die im Laufe von zwei Jahrzehnten an diesen Problemen in forschender und führender Tätigkeit mitgewirkt haben.

Es sind das die Chemiker Hugo Specht, John Billwiller, Paul Kalnin, Max Hofsäß, Max Herbst, Paul Erasmus, Karl Schoenemann, Ludwig Rheinfelder, die Physiker und Ingenieure Richard Becker, August Riedler, Stephan Löffler, Richard Tillmann, Arno Debo, Willy Schulz, Karl Noack, die sich neben anderem um die Entwicklung der Kohlen-Ölarbeiten verdient gemacht haben, während die Herren Erik Hägglund, Fritz und Hugo Koch, M. M. Wolff und Eduard Färber wesentlich zur Entwicklung des Holzprozesses beitrugen.

Weniger an den rein technischen wie an den wirtschaftlichen Arbeiten haben die Herren J. A. Duiker, W. R. Ormandy und Otto Jellinek mitgewirkt, und schließlich, aber nicht zum mindesten, möchte ich der Männer und Gruppen gedenken, die in Erkenntnis der wirtschaftlichen Bedeutung der Probleme ihre Erfahrungen, ihre Kraft und ihre Mittel zur Fortentwicklung dieser Arbeiten hergeliehen haben: Ludwig Landsberg, Karl Goldschmidt, Fritz v. Friedlaender-Fuld, Ernst Gerlach von der Donnersmarckschen Verwaltung, die heute nicht mehr unter den Lebenden weilen, und neben diesen Heinrich Brückmann, der jahrelang in schwieriger Zeit mit mir zusammen die Geschehnisse dieser Forschungsarbeiten führte, Robert Friedländer, die Gruppe der Bataafschen Petroleum-Maatschappij, Adolf Spilker und die Gesellschaft für Teerverwertung, in den letzten Jahren in England Sir James Calder und Thomas Board mit der Distillers Gruppe und Howard Spence, und schließlich die I. G. Farbenindustrie, welche die Arbeiten über die Kohlenverflüssigung vor einigen Jahren aufgegriffen, die Reaktionen durch eigene Forschung verbessert und die erste großindustrielle Anlage geschaffen hat.

Wenn ich die große Zahl von Menschen, mit denen ich zusammenarbeiten durfte, hier aufführe und neben diesen auch der vielen gedenken möchte, die ich hier nicht namentlich aufzählen kann, und die ihre Kraft und Ausdauer auch in schwierigen Zeiten den Problemen gewidmet haben, so tue ich das nicht nur als äußeres Zeichen des so selbstverständlichen Dankes und der Anerkennung, sondern ich möchte dadurch an einem Beispiel zeigen, wie verschiedenartige Einstellungen und Schulungen zusammenwirken müssen, um neue wirtschaftliche Probleme anzufassen und weiterzubringen. Es genügt nicht allein, daß der Erfinder, der Forscher und der Techniker am Werke sind, es genügt nicht, daß der Chemiker und der Ingenieur sein engstes Forschungsgebiet kennt. Eine breite naturwissenschaftliche und Allgemeinbildung ist erforderlich, und es ist nötig, daß alle lebendigen Kräfte des Staates für die Bedürfnisse der Technik und der Wirtschaft Verständnis lernen und nicht die Entwicklung hemmen. Deshalb ist es die Forderung an alle Stellen, welche für die Ausbildung und für die Erziehung der jungen Kräfte verantwortlich sind, diesen Kräften nicht nur Spezialkenntnisse des Einzelfaches als höchstes Bildungsideal zu vermitteln. Es ist die brennende Frage, in veränderter moderner Form einiges zu retten vom alten Begriff der Universitas. [A. 114.]