

Die neuere Entwicklung der Acetylenchemie im Hinblick auf die nationale Rohstoffversorgung, insbesondere auf Kautschuk und Kunststoffe.

Von Dr. O. NICODEMUS, Frankfurt a. M./Höchst.

(Eingeg. 19. August 1936.)

Festvortrag auf dem Reichstreffen der Deutschen Chemiker in München am 8. Juli 1936.

Die Zeit, in der wir leben, hat für den gewohnten Gütertausch der Welt an Rohstoffen, landwirtschaftlichen und industriellen Erzeugnissen tiefgreifende Umwandlungen gebracht. Von diesen Veränderungen der Weltmarktbeziehungen ist kein Staat in solch einschneidender Weise getroffen worden wie unser Vaterland. Es ist mit Rohstoffen spärlich bedacht und hat besonders schwer zu kämpfen, um sich der veränderten Lage anzupassen.

Not macht erfinderisch, und wissenschaftliches Denken sowie das in weiten Schichten unserer Volksgenossen verbreitete technische Können — von jeher unsere besten Waffen in Zeiten der Not — konnten durch eine einheitliche und geschlossene Regierungsführung zielbewußt mobilisiert und in den Dienst des nationalsozialistischen Aufbaues gestellt werden. In kurzer Zeit wurden so Erfolge errungen, über welche die Öffentlichkeit bereits unterrichtet ist und für die die anerkennenden Worte des Führers wiederholt der schönste Lohn waren.

Von allen Industrien hat in einer solchen Lage die chemische Industrie volkswirtschaftlich besonders wichtige Aufgaben zu erfüllen. So ist es zu verstehen, daß gerade unser Gebiet an den großen industriellen Erfolgen der Letztzeit in Deutschland besonders reich beteiligt ist. Hier hat kühn vorstoßende Pionierarbeit, verbunden mit planmäßiger, weitschauender Forschung, es verstanden, aus den zur Verfügung stehenden heimischen Rohstoffen sowohl hochwertige Ausfuhrsgüter zu schaffen, die einen Ausgleich gegen die einzuführenden Rohprodukte zulassen, wie auch den Bodenertrag des eigenen Landes zu steigern und vor allem für die Stoffe Ersatz zu schaffen, die aus wirtschafts- und wehrpolitischen Gründen nicht in ausreichender Menge vom Ausland bezogen werden können. Als schönsten Erfolg chemischer Arbeit haben wir es dann immer wieder erlebt, daß für ein Naturprodukt nicht nur ein gleichwertiger Stoff synthetisch aufgebaut werden konnte, sondern ein Neustoff geschaffen wurde, der das ursprüngliche Vorbild an Wert übertrifft und der das eroberte Feld auch halten wird, wenn die derzeitige Wirtschaftslage nicht mehr vorhanden ist.

Die chemische Industrie befaßt sich mit der Umwandlung des Stoffes. Als wichtigster Stoff für die Zwecke der chemischen Umwandlung steht uns in Deutschland die Kohle zur Verfügung. Bis zum Weltkrieg wurde aber nur der kleinere Teil der Kohle, nämlich der bei der Verkokung der Kohle gewinnbare Teer, als Ausgangsmaterial für die chemische Großindustrie verwendet. Aus diesem Teer wurde die Chemie der Farbstoffe und Arzneimittel auf ihre heutige Höhe entwickelt. Der größere Teil der Kohle fiel bei der Verkokung als Koks an und wurde für Feuerungszwecke und zur Verhüttung der Erze verwendet. In neue Bahnen wurde die Entwicklung gelenkt, als es gelang, auch den Koks für organische Großsynthesen dienstbar zu machen. Dieses Ziel wurde auf ganz verschiedenen Wegen während und nach dem Kriege erreicht. Aus Koks und Kalk entsteht bei hoher Temperatur Calciumcarbid, das mit Wasser Acetylen bildet. Damit war der Grundstein für eine neue chemische Großindustrie gelegt, die auf dem Gebiet der aliphatischen Chemie in stürmischer Entwicklung eine chemische und technische Großtat nach der anderen vollbrachte. In anderer Weise wurde der Koks zu Kohlenoxyd

vergas, das mit Wasserstoff über geeigneten Kontakten einerseits zur Synthese des Methanols, andererseits zur Synthese der für uns so unentbehrlichen Treibstoffe führte, die auch direkt durch Hydrierung von Kohle hergestellt werden. So kann mit Hilfe der angedeuteten Synthesen die Kohle heute restlos der chemischen Verwendung und Veredlung zugeführt werden. Für die nationale Rohstoffversorgung wurden diese Fortschritte von einer so übertragenden Bedeutung, daß man heute wohl der aliphatischen Großindustrie die größte Zukunft und überragende Entwicklungsmöglichkeit in der organischen chemischen Industrie voraussagen kann.

Calciumcarbid wird aus Koks und Kalk in elektrischen Öfen hergestellt. In diesen Öfen beträgt die durch Lichtbogen erzeugte Temperatur etwa 2500°, die für eine Tonne Carbid benötigte Energie 2800—3500 kWh je nach Ofengröße und Bauart. Die Jahresproduktion an Carbid ist von Jahr zu Jahr gestiegen. Sie betrug 1934 in der ganzen Welt 3 Millionen Tonnen, wobei Deutschland mit etwa 600 000 Tonnen beteiligt ist, die wertmäßig einen Betrag von 120 Millionen Mark ausmachen. Wenn unser Anteil an der Weltproduktion mit über 20% so bedeutend ist, so liegt das vor allem daran, daß wir seit Jahrzehnten in Deutschland die technische Entwicklung dieses Prozesses besonders gepflegt, die Verwendung des Carbids gefördert und beträchtliche Mengen exportiert hatten. Auch findet sich in Deutschland nahe beieinander geeigneter reiner Kalk, billige Kohle und preiswerter elektrischer Strom. Die Größe der Carbidöfen ist in den letzten Jahren dauernd gestiegen, so daß heute Öfen mit einer Tagesleistung von 180 Tonnen Carbid in Betrieb sind, d. h. also, daß mit der Produktion eines Ofens täglich ein Eisenbahnzug von 18 Güterwagen voll beladen werden kann. Die für die deutsche Carbiderzeugung benötigte Energie betrug 1934/35 gut 2 Milliarden kWh, also $\frac{1}{15}$ der gesamten in Deutschland erzeugten kWh. Sie werden aus Wasserkraft, Braun- und Steinkohlen gewonnen.

Die erste Verwendung des Carbids für Beleuchtungszwecke trat immer mehr zurück gegenüber der Verwertung für Kalkstickstoff, autogene Schweißung und später für chemische Synthesen. Heute werden von dem in Deutschland hergestellten Carbid schätzungsweise 50—60% auf Kalkstickstoff, 15—20% für organische Synthesen, 20% für Schweißzwecke und der Rest für Beleuchtung verbraucht.

Kalkstickstoff wird aus Carbid durch Vereinigung mit dem Stickstoff der Luft bei erhöhter Temperatur hergestellt und in streufähiger, auch neuerdings gekörnter Form in den Handel gebracht. Für unsere Landwirtschaft ist der Kalkstickstoff ein hervorragendes Düngemittel. Sein Anteil an den gesamten stickstoffhaltigen und in Deutschland verbrauchten Düngemitteln beträgt 25%, die deutsche Produktion betrug 1934 etwa 500 000 Tonnen im Verkaufswert von rd. 75 Mill. Mark.

Im Weltkrieg kam uns diese Kalkstickstoffsynthese sehr zustatten zur Gewinnung von Ammoniak, das wir in Salpetersäure überführten und für unsere Schieß- und Sprengstoffe dringend benötigten.

Zur Darstellung des **Acetylens** behandelt man Carbid mit Wasser. Unter starker Wärmeentwicklung entsteht

neben gelöschtem Kalk Acetylen. Mit dem Acetylen war uns Chemikern ein äußerst energiereicher und reaktionsfähiger Stoff gegeben, der zu neuen Synthesen reizte. Eine Reihe dieser Synthesen nahm eine außerordentlich schnelle technische Entwicklung. Den stärksten Anstoß dazu gab der Krieg mit seinen unabweisbaren Forderungen. So konnte z. B. die Holzverkohlungsindustrie nicht die notwendigen Mengen an Aceton und Essigsäure für die Pulverherstellung, für Flugzeuglacke und für den synthetischen Kautschuk beschaffen. Deshalb mußten Aceton und Essigsäure synthetisch dargestellt werden, und es gelang. Im Jahre 1917 führten die Farbwerke vormals Meister, Lucius & Brüning in Höchst a. Main und die Dr. Alexander Wacker-Gesellschaft in Burghausen a. d. Salzach gleichzeitig mit Erfolg die Umwandlung des Acetylen in Acetaldehyd großtechnisch durch. Die Synthese der Essigsäure, des Acetons und der Lösungsmittel für Lacke, vor allem für Nitrolacke, schloß sich unmittelbar an, wodurch eine nie geahnte Entwicklung der aliphatischen Chemie angebahnt wurde. Die Verwendung des Acetylen zu Großsynthesen erforderte die Erfindung und den Bau von großen Acetylenentwicklern. Der Weg von der Fahrradlaterne über die Kleinbeleuchtungsanlagen mit Acetylen bis zu Großacetylenezeugern war schwer und langwierig. Ihnen allen ist bekannt, daß Acetylen mit Luft hochexplosive Gemische bildet. Nicht allen wird bekannt sein, daß schon 3,5% Acetylen in der Luft genügen, um ein gefährliches, explosives Gasgemisch zu erzeugen. Entsteht beim Einschlütten des Calciumcarbid ein Funke, der auf ein solches Gasgemisch trifft, so ist eine katastrophale Explosion unvermeidlich. Mancher Arbeitskamerad hat hier im Kampf um die Bezwingung der Materie sein Leben lassen müssen, und es dauerte lange, bis Ingenieur und Chemiker in gemeinsamer Arbeit die Großerzeuger entwickelt hatten, die heute in der ganzen Welt verbreitet sind und täglich bis 50 t Carbid automatisch verarbeiten.

Besondere Schwierigkeiten bereiteten die gewaltigen Mengen wäßrigen Kalkschlammes, die unterzubringen oder zu beseitigen waren. Wir haben ganze Täler damit ausgefüllt und wahre Kalkberge aufgeschüttet, nicht gerade zur Verschönerung der Landschaft. Aber auch das ist heute vorbei. Durch die sogenannte Trockenvergasung fällt das Kalkhydrat jetzt als trockenes Pulver an, das in Preßlinge geformt werden kann und gebrannt dem Carbidofen wieder zugeführt wird, soweit es nicht als Bau- und Düngekalk Verwendung findet.

Die Fortentwicklung der jungen Acetylenindustrie war durch den Ausgang des Weltkrieges ähnlich wie bei der Stickstoffindustrie sehr in Frage gestellt. Aber aus dem Zwang der Ausnutzung der vorhandenen Anlagen kam der Druck nach Verwertung der dort hergestellten Produkte. Durch die gewaltige Entwicklung der Autoindustrie in Amerika mit ihrer Massenproduktion und dem dadurch hervorgerufenen großen Bedarf an guten, schnell trocknenden Anstrichmitteln stieg dann stetig die Nachfrage nach **Lösungsmitteln**. Diese günstigen Verhältnisse brachten uns ein synthetisches Lösungsmittel auf Acetylenbasis nach dem andern, und der scharfe Kampf mit den Naturprodukten auf dem Gebiet der Lackindustrie regte zu sorgfältigster Bearbeitung an und ermöglichte uns eine nie geahnte Fortentwicklung der Acetylenchemie. Besonders deutlich wird der Eindruck über die vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten, die mit dem Acetylen über seine Umwandlungsprodukte durch systematische und auf weite Sicht durchgeführte Forscherarbeiten aus einfachsten heimischen Rohstoffen hervorgezaubert wurden, wenn Sie sich hier den **Acetylenbaum*** betrachten (s. Abb. auf Seite 789).

*) Der Acetylenbaum wurde als große Tafel in Farbendruck (Format 61×86 cm), mit Leisten und Aufhängevorrichtung versehen, hergestellt. Preis: 3,60 RM einschl. Verpackung, zuzügl. 0,40 RM Porto. (Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin W35.)

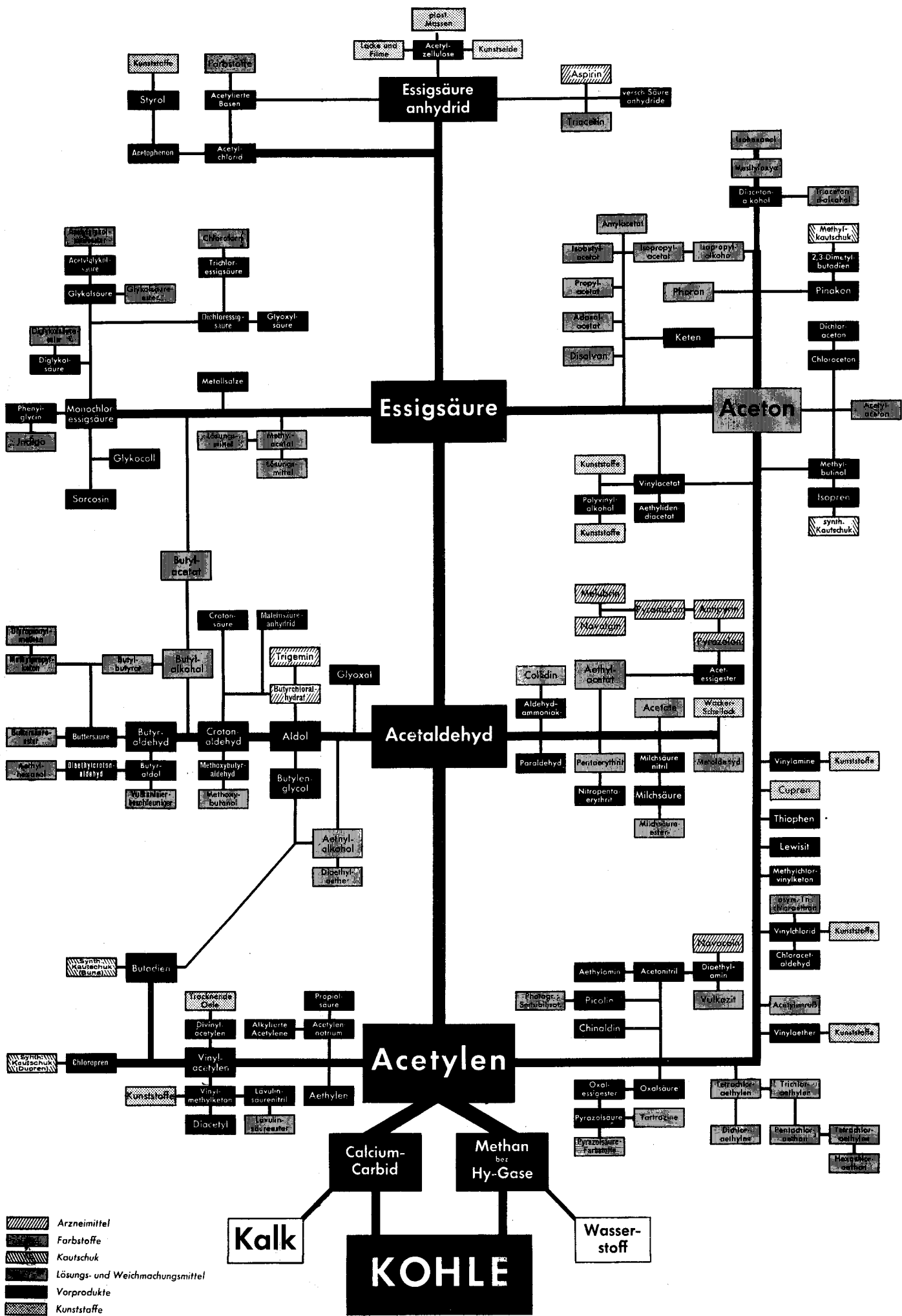
Mit seiner Hauptwurzel ist er fest in der Kohle verankert, die er veredelt und in Acetylen umwandelt. Vom Acetylen aus strebt sein starker Stamm in die Höhe über Acetaldehyd, Essigsäure bis zum Essigsäureanhydrid. Von allen diesen Knotenpunkten gehen Äste aus, die gegenseitig hier und da miteinander verflochten sind und sich weit in die meisten Wirtschaftsgebiete erstrecken. Die von Acetaldehyd und der Essigsäure ausgehenden Äste sind die ältesten des Baumes und, wie wir schon hörten, in der Not des Weltkrieges geboren und in den ersten Jahren der Nachkriegszeit entwickelt. Noch jung sind dagegen die vom Acetylen selbst sich nach beiden Seiten hinausreckenden Äste. Aus dem letzten Jahrzehnt stammend, haben sie sich von Jahr zu Jahr kräftiger entwickelt und versprechen noch weitere Erstarkung. An allen Zweigen hängen Früchte. Die verschieden schraffierten bedeuten Farbstoffe, Arzneimittel, Lösungs- und Weichmachungsmittel, Kunststoffe und synthetische Kautschukarten, die schwarzen sind Vor- und Zwischenprodukte, welche überall in der organischen Industrie als Ausgangsstoffe Verwendung finden. Der Übersichtlichkeit wegen konnte dies hier am Baum nicht weiter ausgeführt werden. Wohl ist hier und da schon eine verwelkte und auch noch manche unreife, der Verwertung und Ausreifung harrende Frucht dabei, aber gewaltig ist die Zahl der reifen Früchte, denen wir überall im täglichen Leben begegnen. Viele sehen wir, die der Menschheit zum Segen wurden, wie das über Acetaldehyd erhältliche Chloroform, das über Acetessigester hergestellte Pyramidon und das mittels Essigsäureanhydrid und Salicylsäure gewinnbare Aspirin. Aber auch manche giftige, das Leben vernichtende Frucht ist darunter, so z. B. der in Amerika aus Acetylen und Arsenchlorid entwickelte Kampfstoff, der Lewisit.

Wie wir Industriechemiker mit unendlicher Sorgfalt den Acetylenbaum entwickelt und großgezüchtet haben und wie wir zu all den für unsere Rohstoffversorgung so wichtigen und wertvollen Früchten gelangt sind, will ich Ihnen jetzt an einigen Beispielen vor Augen führen, wobei ich bei dem Umfang des Gebietes auf alle geschichtlichen Daten verzichten muß.

Die auch heute noch wichtigste chemische Weiterverarbeitung des Acetylen ist die schon erwähnte Vereinigung mit Wasser zu **Acetaldehyd**. Dieser in Mengen in Deutschland hergestellte Aldehyd ist der Ausgangsstoff für viele neue Körper, von denen ich nur wenige hier anführen kann. So erhält man durch Vereinigung mehrerer Moleküle den Metaldehyd, der unter dem Namen Meta als fester, bequem anwendbarer Kleinbrennstoff im Handel ist. Mittels Alkali entsteht aus dem Acetaldehyd das Aldol und der Crotonaldehyd, durch deren Hydrierung Butylenglykol bzw. Butanol gewonnen werden, beides Alkohole, die außer für Lösungsmittel und Weichmachungsmittel noch verschiedenen Umsetzungen und technischen Anwendungen zugänglich sind, worauf ich bei den Kautschuksynthesen noch zu sprechen komme.

Durch Hydrierung des Acetaldehyds ist es möglich, zum Äthanolspirit zu kommen. Dieser Weg wurde im Kriege und in der Nachkriegszeit schon technisch begangen, als es galt, die Verarbeitung landwirtschaftlich wertvoller Produkte auf Alkohol einzuschränken und doch der Rüstungsindustrie den so wertvollen Spirit und den aus ihm hergestellten Äther zur Verfügung zu stellen. Sollten einmal Verhältnisse eintreten, welche ein Brennen von Kartoffeln oder sonstiger stärkehaltiger Nahrungsmittel verbieten, so wäre jederzeit der gleiche Weg, ausgehend von einem billigen Acetylen, wieder beschreibbar, wobei ich aber darauf hinweisen will, daß wir im Äthylen und im Holzzucker glücklicherweise noch zwei weitere von Auslandsrohstoffen unabhängige Ausgangsstoffe zur Alkoholherstellung be-

ACETYLENBAUM



I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Elm-Höchst

sitzen. Es ist vielleicht interessant, einmal folgende Kohlenstoffbilanz zur Gewinnung von Sprit vor Augen zu führen:

Tabelle 1.

1 t Alkohol verbraucht:		
	Rohstoff t	Kohle t
Calciumcarbid	2,5	0,5
Äthylen	1,0	0,5
Kartoffeln	12,0	2,5
Getreide	4,5	2,5
Zuckerrüben	15,0	1,0

Welche Bedeutung der Äthanolsprit für die Kautschuk-synthesen heute hat, werde ich Ihnen später noch zeigen.

Durch Vereinigung von Acetaldehyd mit Sauerstoff unter Zuhilfenahme von Katalysatoren kommt man zur **Essigsäure**. Die Gesamterzeugung von Essigsäure betrug in Deutschland 1934/35 34712 t. Hiervon waren 28528 t aus Acetylen hergestellt, das sind also rund 82%. Die synthetische Essigsäure hat nun Bedeutung in der Lebensmittelindustrie als Essenz und Konservierungsmittel. Wohl jeder von Ihnen dürfte ihr beim Genuß eines köstlichen Salates, einer Fischkonserve oder eines sauren Herings immer wieder begegnet sein. Besondere Bedeutung hat aber die synthetische Essigsäure als Ausgangsstoff für Lösungsmittel und Weichmacher erlangt. Sie sehen die vielen vom Acetylen sich ableitenden Lösungsmittel hier am Acetylenbaum. Der Aufschwung der Lackindustrie seit dem Kriege ist nicht zum geringsten Teil diesen Produkten zu verdanken, und in allen Fette, Öle, Harze und Kautschuk verarbeitenden Industrien haben sie die größte Bedeutung erlangt. Sie brachten uns die Nitro- und Celluloselacke, wodurch wir Leinöl und damit Devisen ersparen konnten, sie finden Anwendung in der Film-, Leder-, Schuh-, Druckfarben- und Extraktionsindustrie. Zu Hause begegnen wir alle ihnen täglich beim Fußbodenanstrich, den polierten Möbeln, den Radioapparaten, den Kinderspielwaren, auf der Reise, sobald wir den Lederkoffer in die Hand nehmen, auf dem Fahrrad, im Auto, im Flugzeug und in der Eisenbahn. Der Bedarf der Deutschen Lackindustrie an Lösungsmitteln und Weichmachungsmitteln betrug allein 1933 43000 t, wozu noch 8000 t für die Druckfarbenindustrie kommen. Wertmäßig machen die synthetischen Lösungsmittel hier 45% aus.

Sehr wertvoll ist weiter das aus Essigsäure gewonnene **Essigsäureanhydrid**, dessen wichtigste Anwendung die Acetylierung der Cellulose ist. Die so herstellbare Acetylcellulose ist im Gegensatz zur Nitrocellulose nicht brennbar. Sie findet Anwendung für Röntgen- und Schmalfilme, für nicht brennbare Lacke, Kunstpreßmassen und vor allem in der Acetatseide. Die schöne Zusammenstellung hier zeigt Ihnen die Bedeutung dieses Gebietes.

Auch das schon erwähnte, für die Sprengstoffindustrie so wichtige Aceton ist aus Acetylen herstellbar. Es ist eines unserer wertvollsten Lösungsmittel und kann sowohl über die Essigsäure als auch vom Acetylen direkt ausgehend katalytisch gewonnen werden.

Auf diesen Grundsäulen der Acetylenchemie, die ich Ihnen jetzt zusammenfassend vor Augen geführt habe, hat sich nun in den letzten Jahren eine neue Entwicklung vollzogen. Sie brachte uns ein neues technisches Verfahren zur Gewinnung von Acetylen und weitere neue Erfolge mit Acetylenabkömmlingen, so vor allem auf den Gebieten der synthetischen Kunststoffe und des synthetischen Kautschuks, die uns heute besonders interessieren und über die ich Ihnen jetzt das Wichtigste mitteilen will.

Das neue technische Verfahren zur **Gewinnung von Acetylen** beruht in der thermischen Spaltung von Paraffinkohlenwasserstoffen wie Methan, Äthan oder Propan. Daß dieses Verfahren in Deutschland noch nicht die Bedeutung wie das Carbidverfahren gewinnen konnte, beruht darauf, daß uns diese Kohlenwasserstoffe nicht in nennenswerten Mengen als Naturgase zur Verfügung stehen, wie es z. B. in anderen Ländern wie Ungarn, Rumänien und vor allem in Amerika der Fall ist, und dann, daß das Acetylen in verdünnter Form anfällt und seine Verarbeitung Schwierigkeiten machte, die erst überwunden werden mußten. Die uns heute zur Verfügung stehenden Gase stammen aus den Kokereien und den bei der Benzinherstellung abfallenden Hydrierungsgasen. Die thermische Spaltung dieser Kohlenwasserstoffe benötigt, wie der Carbidprozeß, große Energien und ähnelt sehr der bekannten *Schönherrschen* Salpetersäuresynthese im elektrischen Lichtbogen. Dort wie hier besteht zwischen Bildung und Zerfall ein Gleichgewicht, das, wie man technisch sagt, eingefroren werden muß. Das heißt, daß das bei hoher Temperatur gebildete Acetylen aus der Reaktionszone schnell herausgebracht und durch sofortige Abkühlung dafür gesorgt werden muß, daß die Bildungsgeschwindigkeit den Zerfall übertrifft. Benutzt man z. B. als thermischen Spalter den Lichtbogen, so wird der zu spaltende Kohlenwasserstoff möglichst kurze Zeit einer Temperatur ausgesetzt, die mit über 5000° der Sonnentemperatur entspricht und dann schnell abgekühlt. Je nach dem Ausgangsgas erhält man so bisher ein 15–30%iges Acetylen, das heute auch ohne Anreicherung direkt für weitere Synthesen verwendbar ist. Es ist wissenschaftlich interessant, daß den Sachbearbeitern die Aufklärung der Acetylenbildung bei der thermischen Spaltung der Paraffine gelungen ist, indem sie spektroskopisch das bei den hohen Temperaturen auftretende Radikal als Carboniumradikal, also $C \equiv C$, nachweisen konnten, das mit dem freien Wasserstoff dann Acetylen bildet.

War die Entwicklung der Acetylenchemie und der synthetischen Lösungsmittel aus der Not des Weltkrieges geboren, so wurde in ähnlicher Weise die neuere Entwicklung der synthetischen **Kunststoffe** und des Kautschuks durch die Not der Nachkriegszeit mit dem uns aufgebürdeten Wirtschaftskrieg, dem Naturstoff- und Devisenmangel, gefördert und begünstigt.

Tabelle 2.

Vinylverbindungen enthalten die Vinylgruppe $CH_2 = CH$ und sind polymerisierbar		
Aus Acetylen und Salzsäure	$\rightarrow CH_2 = CH \cdot Cl$	Vinylchlorid
Aus Acetylen und Fettsäuren	$\rightarrow CH_2 = CH \cdot OCOR$	Vinylester
Aus Acetylen und Alkoholen	$\rightarrow CH_2 = CH \cdot OR$	Vinyläther
Aus Acetylen und Aminen	$\rightarrow CH_2 = CH \cdot NR_2$	Vinylamine
Aus Acetylen und Benzol	$\rightarrow CH_2 = CH \cdot C_6H_5$	Vinylbenzol = Styrol
(Aus Acetylen und Blausäure)	$\rightarrow CH_2 = CH \cdot CN$	Vinylcyanid = Acrylsäurenitril

Das erste Kunstharz, das vom Acetylen ausgehend auf den Markt kam, war der Wacker-Schellack, der aus Acetaldehyd durch Alkali im Weltkrieg und der Nachkriegszeit entwickelt wurde. Während hier die Verkettung vieler Aldehydmoleküle durch aldolartige Reaktion der Methyl- mit der Aldehydgruppe zustande kam, konnten ganz anders-

artige, mannigfachste Kunststoffe synthetisch aufgebaut werden, als man erkannte, daß Stoffe, welche eine Vinylgruppe endständig im Molekül enthalten, die Neigung haben, sich zu langen Ketten aneinanderzulagern, oder, fachmännisch ausgedrückt, polymerisierbar zu sein. Um diese Vorgänge verstehen zu können, muß darauf hingewiesen werden, daß nahezu in der gesamten organischen Welt das Prinzip vorherrscht, relativ kleine Moleküle gleicher oder ähnlicher Zusammensetzung zu stabilen großen Molekülverbänden zusammenzufügen, die uns dann überall im Pflanzen- und Tierreich als Hauptformelemente sichtbar werden. So entstehen aus einfachen Zuckerarten Stärke und Cellulose, aus gewissen Phenolen Gerbstoffe, aus einfachen Aminosäureabkömmlingen Eiweiß und tierische Gerüstsubstanzen. Im Gebiet dieser hochmolekularen Verbindungen spielt sich das ganze Leben ab, und den Aufbau solcher Hochmolekularen aus einfachen Bausteinen nennt man Kondensations- und Polymerisationsvorgänge. Sie spiegeln in ihrer Bedeutung und Vielseitigkeit den ganzen Reichtum der organischen Welt wider. Industriell hat man, gestützt auf die grundlegenden Arbeiten unseres Meisters *Emil Fischer*, sich immer mehr diesen Problemen zugewandt und hat heute gelernt, sich ihrer zu bedienen und sie in bestimmter, stets reproduzierbarer Weise unter Einhaltung genau festgelegter Arbeitsbedingungen so zu leiten, daß man Stoffe erhält, die in ihren physikalischen und chemischen Konstanten genügend scharf definiert sind.

Es ist deutschen Chemikern gelungen, derartige Vinylverbindungen in großer Zahl aufzubauen, wie ich schematisch hier auf der Tabelle 2 zeige. So erhält man aus Acetylen und Salzsäure das Vinylchlorid, aus Acetylen und Fettsäuren die Vinylester, wie Vinylchloracetat und Vinylacetat, die polymerisiert durch Verseifung Polyvinylalkohole geben, aus Acetylen und Alkoholen die Vinyläther, aus Acetylen mit Aminen die Vinylamine usw. Auch Styrol, Acrylsäurenitril, Acrylsäureester und Methacrylsäureester gehören hierher, wenn sie auch technisch nicht aus Acetylen hergestellt werden. Alle diese Körper geben polymerisiert Kunststoffe, deren Eigenschaften wir weitgehend beeinflussen können, einmal durch Veränderung der Reste an der Vinylgruppe und dann durch die Art der Polymerisation, indem wir Block-, Lösungs-, Oberflächen-, Emulsions- oder Mischpolymerisation anwenden. Das hört sich alles so

einfach an, aber der Weg bis hierher war voll Dornen und Hindernissen, und so mancher Rückschlag mußte überwunden werden, bis es uns gelang, diese Erkenntnisse zu sammeln und die Vinylverbindungen zu meistern. Heute haben wir es in der Hand, Stoffe mit gewollter Härte, Dehnung, Zerreißfestigkeit, Kälte- und Wärme-, Wasser- und Säurebeständigkeit und hoher elektrischer Isolier-

Tabelle 3.

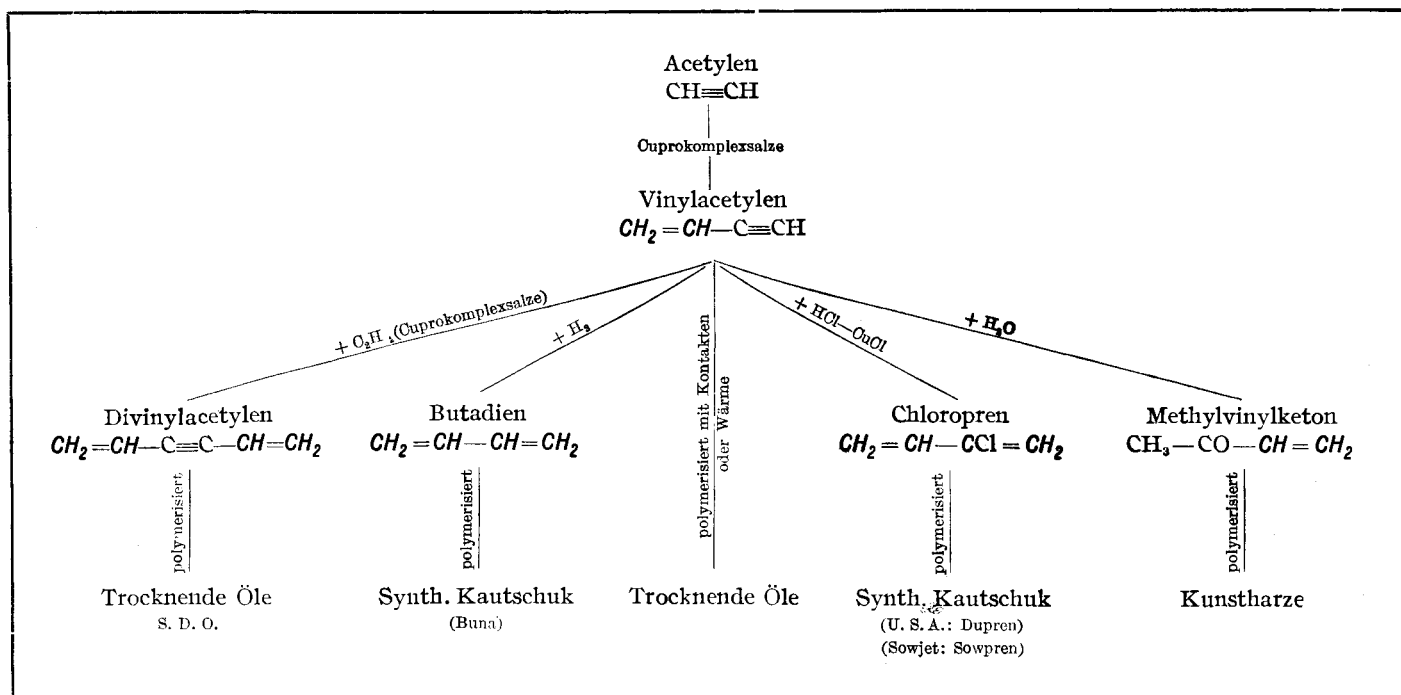
Allen- und Acetylenkohlenwasserstoffe			
Bruttoformel	Name	Konstitution	Kp.
C_2H_2	Acetylen	$CH \equiv CH$	83°
C_4H_6	Methylallen	$CH_3-CH=C=CH_2$	18°
	Äthylacetylen	$CH_3-CH_2-C \equiv CH$	8,5°
	Dimethylacetylen	$CH_3-C \equiv C-CH_3$	27 28°
C_5H_8	n-Propylacetylen	$CH_3-CH_2-CH_2-C \equiv CH$	40°
	Methyläthylacetylen	$CH_3-CH_2-C \equiv C-CH_3$	55°
	Isopropylacetylen	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \diagup \\ CH-C \equiv CH \\ \diagdown \\ CH_3 \end{array}$	28°
	Dimethylallen	$CH_3-C(CH_3)=CH-CH_3$	41°
C_4H_2	Diacetylen	$CH \equiv C-C \equiv CH$	9,5°
C_4H_4	Vinylacetylen	$CH_2=CH-C \equiv CH$	5°
C_5H_6	α -Methyl- β -vinylacetylen	$CH_2=CH-C \equiv C-CH_3$	59°
	2 Methyl-vinylacetylen ..	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ CH_2=C-C \equiv CH \end{array}$	33°
C_6H_8	α -Äthyl- β -vinylacetylen..	$CH_2=CH-C \equiv C-C_2H_5$	85°
	2-Äthyl-vinylacetylen ...	$\begin{array}{c} C_2H_5 \\ \\ CH_2=C-C \equiv CH \end{array}$	66°
C_6H_8	Dipropargyl	$CH \equiv C-CH_2-CH_2-C \equiv CH$	86°
	Methylpropargylacetylen	$CH_3-C \equiv C-CH_2-C \equiv CH$	78 83°
	Butadienylacetylen	$CH_2=CH-CH=CH-C \equiv CH$	84°
	Divinylacetylen	$CH_2=CH-C \equiv C-CH=CH_2$	83 84°
	Dimethyldiacetylen	$CH_3-C \equiv C-C \equiv C-CH_3$	129 130°
C_8H_8	Vinylbutadienylacetylen	$CH_2=CH-C \equiv C-CH=CH-CH=CH-CH_2$	43-45°, 11 mm
C_8H_6	Divinyldiacetylen	$CH_2=CH-C \equiv C-C \equiv C-CH=CH_2$	33°/9 mm

fähigkeit herzustellen. Derartige Kunststoffe sind im Handel unter den Namen:

Igelite MP u. PCU, Vinifol, Vinapas bzw. Mowithe, Vinarol, Pioloform, Povimale, Luvican, Oppanol, Stabol, Trolitul, Acronale, Pekaglas, Plexiglas u. Sigla.

Wir finden diese Körper als Imprägnierungsmittel zum Wasserdichtmachen von Mänteln und Zeltbahnen, als Schutzmittel gegen Gaskampfstoffe, als Schutzmassen und Überzüge von Kabeln und Drähten, als Isoliermaterial für elektrische Apparate, hier besonders häufig in den

Tabelle 4



Radioapparaten, als Metallsatz z. B. in Form von Türgriffen, als synthetische Wachse, als Holzersatz bei Flintenkolben, als Kunstpreßmassen in Form von Tellern, Tassen, Dosen, Kämmen und Knöpfen, als Filme und Folien, als Klebematerial für Holzfuhrnere, als wertvolle Lackrohstoffe und nicht brennbare Anstriche für Autos, Flugzeuge, in Schiffen und Eisenbahnen, kurz, überall, wo besonders hohe Anforderungen an Härte, Elastizität, Wetterfestigkeit und Lichtbeständigkeit gestellt werden. Dann finden wir sie als Sicherheitsglas oder Verbundmassen für Sicherheitsgläser, die in Autos, Flugzeugen und Panzerwagen als nicht splitternde und weitgehend beschußsichere Scheiben immer größere Anwendung finden.

Einen weiteren Aufschwung bekam die Chemie der Vinylverbindungen in den letzten Jahren durch amerikanische Arbeiten. Hier wurde eine interessante neue Klasse von Acetylenverbindungen technisch zugänglich gemacht, da es dem vor kurzem verstorbenen Prof. *Nieuwland* gelang, durch Vereinigung mehrerer Acetylenmoleküle mittels Cuprokomplexsalzen zu Acetylenkohlenwasserstoffen zu kommen, welche stark ungesättigt sind und Vinylacetylene darstellen.

Ich habe hier auf Tabelle 3 für die sich besonders für dieses Gebiet interessierenden Fachgenossen eine Reihe von substituierten Acetylen-Kohlenwasserstoffen zusammengestellt. Auch einige Allen-Kohlenwasserstoffe gleicher Bruttoformel sind dabei aufgeführt, da sie sich leicht in Acetylene umwandeln lassen. Wie aus den auf der Tabelle eingezeichneten Pfeilen zu entnehmen ist, lassen sich monosubstituierte Acetylene in disubstituierte und damit in die stabilere Form der Acetylenkohlenwasserstoffe überführen. Diese Reaktion ist jedoch auch wieder umkehrbar, alles Erscheinungen, bei denen wir Wanderungen von Kohlenstoffbindungen und ganzer Gruppen beobachten können. Sie zeigen so recht die Umwandlungsfreudigkeit und Unruhe sowie die Spannungen in den Molekülen der monosubstituierten Acetylene. Besonders groß wird die Spannung in einem solchen Molekül, wenn der Rest, mit dem das Acetylen substituiert wird, ungesättigt ist. Derartige Körper stellen gefährliche, zum Zerfall neigende Stoffe dar. In erhöhtem Maß zeigt sich dies bei Kohlenwasserstoffen mit mehreren dreifachen und doppelten Bindungen, so z. B. bei dem Butadienylacetylen C_6H_6 , einem Kohlenwasserstoff der gleichen Bruttoformel wie Benzol, dem Vinylbutadienyl-

acetylen C_8H_8 und dem Divinyldiacetylen C_8H_6 , welches letzteres schon beim Erhitzen explosionsartig zerfällt. Es ist daher verständlich, daß im Gegensatz zum Acetylen das Vinylacetylen selbst viel instabiler ist. Schon durch einen glühenden Platindraht ist es bei gewöhnlicher Temperatur zum Zerfall zu bringen. In einem geschlossenen weiten Gefäß verflüssigt stellt es einen gefährlichen Sprengstoff dar. Das Divinylacetylen und Butadienylacetylen, die aus dem Vinylacetylen unter Einwirkung von Cuprosalzen mit einem weiteren Molekül Acetylen entstehen, sind noch viel zerfallsfreudiger und gefährlicher, da sie mit Spuren Luft Peroxyde geben, die bei Schlag oder Erwärmung explodieren und als Initialzündung für den ganzen Kohlenwasserstoff wirken können. Diese Eigenschaften bedingen ein nur vorsichtiges Weiterschreiten beim Bearbeiten der Glieder dieser Klasse. Aber trotzdem ist es gelungen, diese Stoffe technisch zu meistern und zu wertvollen Synthesen heranzuziehen, wobei die Entwicklung dieses erst im Ausbau befindlichen Gebietes noch manche Überraschung bringen dürfte.

Sie sehen hier auf Tabelle 4 die Entstehung des Vinylacetylen aus Acetylen mittels Cuprokomplexsalzen. Das Vinylacetylen gibt nun seinerseits mit einem weiteren Mol Acetylen Divinylacetylen. Vinylacetylen und noch leichter das Divinylacetylen sind zu trocknenden Ölen polymerisierbar. Die Polymerisate des Divinylacetylen sind in Amerika unter der Bezeichnung S.D.O. (synthetic drying oil) in den Handel gekommen. Mit Wasser entsteht aus Vinylacetylen das Methylvinylketon, das polymerisiert Kunststoffe gibt. Durch Anlagerung von Wasserstoff oder Salzsäure an Vinylacetylen kommt man zu Butadienen, also in das Gebiet der Ausgangsstoffe für synthetischen Kautschuk, wie wir später noch sehen werden. In diesen Reaktionen liegt heute für uns die Hauptbedeutung der Körperklasse des Vinylacetylen.

Wie ich beim Divinylacetylen schon andeutete, kann allgemein gesagt werden, daß Körper, die zwei Vinylgruppen enthalten, in der Regel viel polymerisationsfreudiger sind als die mit einer. Die Polymerisation derartiger Divinylverbindungen führt uns zum **Kautschuk**, wenn die beiden Vinylgruppen benachbart sind. So ist der Naturkautschuk, wie er aus den überseeischen Plantagen gewonnen wird, ein Polymerisationsprodukt eines einfachen Bausteins, den *Harries* als ein 2-Methyldivinyl, auch Isopren genannt, auf-

geklärt hat (s. Tabelle 5). Es ist ein Abkömmling des Grundkohlenwasserstoffes Divinyl, auch Butadien genannt. Bis heute ist Isopren technisch noch nicht in beliebigen Mengen genügend billig zugänglich. Dagegen ist es uns gelungen, das Butadien selbst in technisch und wirtschaftlich befriedigenden Ausbeuten vom Acetylen ausgehend herzustellen. Das Butadien ist bei gewöhnlicher Temperatur ein leicht brennbares Gas, das wie alle Körper mit mehreren ungesättigten Bindungen zur Peroxydbildung neigt und daher nicht ganz harmlos ist. Für seine Herstellung stehen heute mehrere Wege zur Verfügung. Der zurzeit aus wirtschaftlichen und technischen Erwägungen von uns beschrittene und am weitesten durchgearbeitete Weg geht über Acetaldehyd, Aldol, Butylenglykol und daraus durch Wasserabspaltung zum Butadien. Ein zweiter Weg ist gangbar ausgehend von einem Acetaldehyd-Äthylalkohol-Gemisch oder vom Äthylalkohol selbst. Hieraus läßt sich mittels Kontakten nach älteren russischen Verfahren, die in den letzten Jahren dort verbessert wurden, ebenfalls über ein Butylenglykol als Zwischenprodukt neben vielen Nebenprodukten Butadien erhalten. Nach diesem Verfahren wird großtechnisch in Rußland gearbeitet, und zwar sollen nach russischen Angaben im letzten Jahr über 20000 t synthetischen Kautschuks (Sowpren) so gewonnen worden sein. Ein dritter Weg besteht in der Anlagerung von Wasserstoff an Vinylacetylen, wodurch in Gegenwart von Kontaktstoffen ebenfalls Butadien erhalten wird. Zu einem interessanten chlorierten Abkömmling des Butadiens, der in Amerika Chloropren genannt wird, kommt man durch Anlagerung von Salzsäure an Vinylacetylen (s. Tabelle 5). Dieses Chloropren läßt sich 700mal schneller als Isopren und 900mal schneller als Butadien polymerisieren. Sein Polymerisat ist ein Kautschuk von interessanten Eigenschaften, vor allem sehr für ölfeste Schläuche geeignet. Er ist in Amerika unter dem Namen Dupren im Handel.

Schon im Weltkrieg hatten wir versucht, das Problem der Herstellung eines synthetischen Kautschuks zu lösen, ohne daß uns dies mit dem damaligen, Methylkautschuk genannten, aus Aceton hergestellten Polymerisat des Dimethylbutadiens zufriedenstellend gelungen wäre. Mit der steigenden Motorisierung eines jeden Landes und seiner Armee wurde dieses Problem immer dringender. So stieg die Versorgung Deutschlands mit Kautschuk von 41000 t 1928 auf 60000 t 1934. Ein Anbau von Kautschukmilch gebenden Pflanzen ist bei uns und in Europa aus klimatischen Gründen bis jetzt noch aussichtslos. Es blieb daher nur der Weg eines Aufbaues von synthetischem Kautschuk für uns übrig, der dem natürlichen in den Eigenschaften mindestens gleichwertig, preislich tragbar und besonders für die Reifenfabrikation brauchbar sein mußte. Wir fanden bis heute als geeignetsten Baustein das nach einem der obigen Verfahren zugängliche Butadien. Seine Überführung in Kautschuk setzte vor allem voraus, daß erst unsere Kenntnisse über den aus natürlichem Kautschuk herstellbaren Gummi vervollständigt werden mußten. So mußte die Herstellung der verschiedenen Gummisorten auf genaueste bearbeitet, die vielen Vulkanisationsfragen geklärt, Vulkanisationsbeschleuniger und Regler geprüft, Alterungsmittel gefunden, günstigste Beimischungen art- und mengenmäßig untersucht und endlich Prüfmethode zur Bestimmung der speziellen Eigenschaften der neuen Kaut-

schukarten entwickelt und ausgearbeitet werden. Und wenn früher einmal gesagt werden konnte, daß es zwei Dinge in der Welt gäbe, von denen selbst der liebe Gott nicht sicher wisse, was darin wäre, nämlich Wurst und Gummi, so stimmt das heute für unseren synthetischen Gummi sicherlich nicht mehr. Erst nachdem der natürliche Kautschuk sozusagen auf Herz und Nieren geprüft werden konnte, war es möglich, an die Schaffung eines synthetischen Kautschuks zu gehen und in ihm gewünschte Eigenschaften großzuzüchten. Besondere Schwierigkeiten bereitete vor allem die Herstellung von Autoreifen, deren Güte ja keineswegs allein vom Kautschuk abhängt. Hier waren die Gegebenheiten zu studieren, es war zu versuchen, Baumwolle durch einheimische Textilien zu ersetzen. Weiter waren die Füllstoffe von ausschlaggebender Bedeutung. So mußten alle diese Füllstoffe und auch die für die Laufflächenmischung so wichtigen Gasruße genau durchforscht werden, und auch hier dürfte es jetzt möglich sein, uns mit einem aktiven Ruß, der durch Zerfall des Acetylens erhältlich ist, vom Ausland unabhängig zu machen. Bei der Polymeri-

Tabelle 5.

Vinylverbindungen enthalten die Vinylgruppe $\text{CH}_2=\text{CH}$ und sind polymerisierbar			
Aus Acetylen und Acetylen	$\rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}\cdot\text{C}\equiv\text{CH}$	Vinylacetylen	
Aus Vinylacetylen und Wasser	$\rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}\cdot\text{CO}\cdot\text{CH}_3$	Vinylmethylketon	
Aus Vinylacetylen und Acetylen	$\rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}\cdot\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$	Divinylacetylen	
Baustein des Naturkautschuks ist	$\rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}_2$	{ 2-Methyl-butadien= Isopren	
Aus Aceton über Pinakon	$\rightarrow \text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}_2$	{ 2,3-Dimethyl-butadien = Methylkautschuk (Kriegskautschuk)	
Aus Vinylacetylen und Wasserstoff	$\rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	Divinyl=Butadien	
Aus Vinylacetylen und Salzsäure	$\rightarrow \text{CH}_2=\text{CH}-\underset{\text{Cl}}{\text{C}}=\text{CH}_2$	{ 2-Chlor-butadien= Chloropren	

sation des Butadiens bestanden genau die gleichen, wenn nicht noch größere Schwierigkeiten, wie ich sie schon bei den Kunststoffen schilderte. Die verschiedenen Polymerisationsmöglichkeiten mußten genau durchforscht werden, so z. B. die Natriumpolymerisation neben der Wärmepolymerisation, die Emulsions- neben der Mischpolymerisation und genaue Arbeitsbedingungen festgelegt werden, die gestatten, eine gewollte Zahl von Bausteinen aneinandertreten zu lassen. Durch Zusatz von Reglern und Führung des Polymerisationsgrades, durch dauernde Kontrolle der Zähigkeit der Lösung, ferner durch Verhinderung der Nachpolymerisation und der beim Walzen der Polymerisate eintretenden Verkettungen, durch genaues Studium der Vulkanisationsbedingungen und vieler anderer Einzelheiten, auf die ich hier nicht eingehen kann, ist es uns dann gelungen, aus einem Butadien Polymerisat von stets gewollten Eigenschaften zu erhalten. Ich möchte besonders betonen, daß der Weg hierzu sehr steinig und dornenreich war. Aber gerade auf dem Kautschukgebiet ist von deutschen Fachgenossen gewaltige, gründliche Arbeit geleistet worden, die einmal der ganzen Welt zugute kommen wird und erst in späteren Zeiten richtig gewürdigt werden kann. Wir haben heute in unserem Buna N, Buna S, Buna 85 und 115 Kautschukmarken zur Verfügung, die

verschiedene ganz bestimmte Merkmale, wie Wärmebeständigkeit, Ölfestigkeit und Abreibfestigkeit zeigen und in diesen Eigenschaften dem natürlichen Kautschuk überlegen sind. Wir beglücken uns aber mit diesen Erfolgen nicht, vielmehr werden unsere Arbeiten sowohl in Richtung auf Verbilligung der Verfahren zur Herstellung der Bausteine als auch zur weiteren Hochzüchtung besonderer Eigenschaften des synthetischen Kautschuks auf das angestrengteste und mit großen Mitteln weitergeführt.

Ich komme nun zum Schluß meiner Ausführungen. Zusammenfassend möchte ich Ihnen nochmals vor Augen führen, daß die Ausstrahlungen des Acetylens und seiner aus ihm gewonnenen Stoffe in den meisten Wirtschaftsgebieten zu finden sind, und zwar: In der Energiewirtschaft als Beleuchtungs- und Heizmittel, bei den metallverarbeitenden Industrien in der Schweißtechnik, in der Landwirtschaft als Düngemittel in Form von Kalkstickstoff, in der Genuß- und Nahrungsmittelindustrie als Essenz und Konservierungsmittel, auf dem Textilgebiet als Imprägnierungsmittel, Schlichtemittel und als Kunstseide, auf dem Gebiete der Lacke und Filme als Lösungsmittel, Weichmachungsmittel und als Lackrohstoffe, auf dem Sprengstoffgebiet als Lösungsmittel, auf dem Kunststoffgebiet als synthetische Harze, Film- und Kunstpreßmassen, Kabelschutzmassen und Isoliermaterial, auf dem Gummi- gebiet als synthetischer Kautschuk und auf vielen anderen

Gebieten, wie Farbstoff- und Arzneimittelgebieten, als wertvollste Zwischenprodukte.

Wenn in der verhältnismäßig kurzen Spanne Zeit ein Gebiet sich so stürmisch entwickeln und so große Erfolge bringen konnte, so danken wir es einmal einer weitsichtigen Industrieführung, die frühzeitig große Mittel für großangelegte Forschungen bereitstellte, dann aber der Opferwilligkeit und Verantwortungsfreudigkeit der zahlreichen, der Außenwelt unbekannten Fachgenossen und Mitarbeiter aus allen Schichten unseres Volkes. Ihrer Pflichttreue und Hingabe gedenken wir in besonderer Dankbarkeit, wenn wir heute den zurückgelegten Weg überblicken.

Die Entwicklung der chemischen Industrie eines Volkes entspricht seiner Kulturhöhe und Weltgeltung. Wollen wir hier weiter führend sein, so muß auf lange Sicht mit großen Mitteln und in engster Gemeinschaft und gegenseitiger Befruchtung von Technik und Hochschule geforscht werden. Noch mehr als bisher sollte meines Erachtens die klassische Chemie wieder zur Geltung kommen und mehr experimentiert als gerechnet werden, unter Beachtung der Warnung *Alexander von Humboldts* vor über 100 Jahren, „vor einer Chemie, in der man sich nicht die Hände naß macht“.

Dann werden auch weitere gleiche und noch größere Erfolge deutscher Arbeit und deutschen Könnens nicht ausbleiben und wir Chemiker und Techniker das große Vertrauen rechtfertigen, das unser Führer in uns setzt, dessen wir heute in Dankbarkeit mit dem Gelöbnis treuester Gefolgschaft gedenken. [A. 103.]

VERSAMMLUNGSBERICHTE

Internationaler Sportärzteverband und Gesellschaft für Stoffwechselkrankheiten.

Tagung in Berlin vom 27.—31. Juli.

Die Themen waren der Erforschung der Vorgänge bei Muskelarbeit und Sport in ihren Zusammenhängen gewidmet. Nach Begrüßungsansprachen des Reichsinnenministers Dr. Frick und des Präsidenten des internationalen Sportärzteverbandes, Lатарjet, Lyon, begannen die Verhandlungen, denen wir die für die biologische Chemie wichtigen kurz entnehmen:

Schenk, Danzig: „Der Einfluß des Sports auf unseren Körper.“

Die Größe des Willensimpulses und die durch den Gemütszustand beeinflusste Ausprechbarkeit des Muskels bestimmt das Maß der Muskelarbeit und den damit verbundenen Stoffumsatz. Nach Schilderung der Beeinflussung der Arbeitsleistung durch nervöse Momente wendet sich Vortr. der Muskelforschung zu Blut-, Kreis-, Harn- und Atemluftanalyse haben zu den heutigen Kenntnissen vom Muskelstoffwechsel geführt. Als eigentliche Tätigkeitssubstanz des Muskels, die bei Kontraktion in mechanische Arbeit verwandelt wird, kennen wir die Phosphorsäureester des Adenosins und Kreatins. Sie zerfallen beim Beginn der Verkürzung in ihre Bestandteile, unter Abgabe von Energie. Das Phosphorsäuremolekül dient der Veresterung der Muskelkohlenhydrate, deren anoxydativer Abbau nur in Bindung an Phosphorsäure möglich ist. Die Milchsäure wird zum Teil verbrannt und liefert die Energie für die Resynthese der Adenosin- und Kreatinester.

Der Blutzucker sinkt bei Muskelarbeit langsam ab, bei Höchstleistungen auf extrem niedrige Werte. Das bekannte Zusammenbrechen der Sportler aus Erschöpfung ist aber kein hypoglykämischer Schock, da man das gleiche Bild auch bei hohen Blutzuckerwerten beobachten kann. Er beruht auf einer Erschöpfung der Ganglien und der adrenalinproduzierenden Zellen im Nebennierenmark. Seelische Erregung steigert den Blutzucker (z. B. Startglykosurie). Nach seiner Veresterung an Phosphorsäure zerfällt der Zucker in 2 Moleküle Milchsäure, die bei großen Muskelleistungen im Schweiß (bis zu 3 g) und im Harn ausgeschieden wird. Sie ist die Ursache schwerer Nierenveränderungen, die meist rasch abklingen.

Die Haut scheidet während der Arbeit eine Reihe Ermüdungsstoffe aus. Um die Poren für diese Ausscheidung zu öffnen, bringt man die Sportler vor dem Start in Schweiß.

Alkohol fördert die Eiweißverbrennung und hält bei Dauerleistungen das Ermüdungsgefühl hinten. Die Abnutzungsquote für Eiweiß- und Kernsubstanz wird durch Muskelarbeit erhöht. Dem entspricht eine vermehrte Ausscheidung von Schwefelsäure- und Purinkörpern im Urin. Die anfallende Kohlensäure regt Kreislauf und Atmung an. Sie steigert die Adrenalinausschüttung und erweitert die Muskel- und Koronargefäße. Die Adenosintriphosphorsäure zerfällt in Adenylsäure und Phosphorsäure, die Adenylsäure durch Desaminierung in Ammoniak und Inosinsäure. Auch sie erweitert die Koronargefäße und vermehrt die Hubkraft des Herzens. Dem von Arbeit erschöpften Herzen bringt sie fast augenblicklich Erholung, nicht aber dem Infekteschädigten. Auch Phosphor wird während der Arbeit vermehrt im Harn ausgeschieden. Da der Muskel arm an Calcium, dagegen reich an Kalium und Phosphat ist, sind nach großen Austretungen neben Traubenzucker- auch Calciuminjektionen angezeigt. Sie tonisieren den Sympathikus, kompensieren das Kaliumübergewicht und erleichtern die Lactacidogensynthese. Das Fett ist bei der Muskelarbeit direkt beteiligt. Im isolierten Muskel läßt sich bei Arbeit Fettverminderung feststellen. Außerdem steigt bei langdauernder Muskelarbeit der Fett- und Ketonkörpergehalt im Blut. Sie stellen wahrscheinlich die Übergangsstoffe von Fett in Kohlenhydrat dar und werden so in den Energiestoffwechsel des Muskels einbezogen. Phosphatide puffern die sauren Stoffwechselprodukte und verzögern dadurch das Ermüdungsgefühl. Cholesterin steigt im Blut während der Arbeit entgegengesetzt dem Blutzucker an und wird in großen Mengen im Schweiß ausgeschieden. Der Vortragende schließt seine Ausführungen mit einer Betrachtung über den Einfluß der Konstitution auf die Vertreter der einzelnen Sportarten.

Atzler, Dortmund: „Die Muskulatur als Stoffwechselorgan.“

Seit *Fisch* und *Wislicenus* kennt man die Kohlenhydrate als Kraftquelle des Muskels. Man hatte lange Zeit die Vorstellung, daß der Muskel wie eine Verbrennungsmaschine Wärme in mechanische Arbeit überführt. Während die Dampfmaschine bestenfalls einen Wirkungsgrad von 30% erreicht, zeigt der Muskel einen solchen von 33% und unter Berücksichtigung