

ANGEWANDTE CHEMIE

93. Jahrgang 1981

Heft 4

Seite 309–424

Makromolekulare Chemie heute – bejahrte Wurzeln, neue Zweige

Von Hermann F. Mark^[*]

Anfangs der zwanziger Jahre arbeitete ich am Kaiser-Wilhelm-Institut für Faserstoffchemie in Berlin-Dahlem unter der Leitung von *R. O. Herzog* in einer kleinen Gruppe mit *R. Brill*, *I. R. Katz*, *M. Polanyi* und *K. Weissenberg* an der Erforschung des Aufbaus von industriellen Textilfasern (Baumwolle, Wolle, Seide, Hanf) und von anderen Naturstoffen wie Stärke, Kautschuk und Holz. Damals stellte jeder dieser wichtigen Stoffe ein eigenes großes Arbeitsgebiet dar – in Forschung und Technik. Es gab Lehrbücher über Cellulose, über Eiweißstoffe, über Kautschuk, über Stärke; es gab eigene Zeitschriften für jeden dieser Bereiche; es gab spezielle Gesellschaften und Sondertagungen von Stärke-, Kautschuk-, Eiweiß- und Cellulosechemikern. Ähnlichkeiten wurden nicht ins Auge gefaßt – selbst wenn sie sich anboten; jedes Gebiet war eine Welt für sich. Es gab keine oder wenige Querverbindungen, welche gegenseitige Anregungen mit sich gebracht hätten.

All dies änderte sich mit einem Schlage, als *Hermann Staudinger* dem Konzept des Makromoleküls zum Durchbruch verhalf, was ihm erst nach Überwindung von nachhaltigem und vielseitigem Widerstand gelungen ist. Jetzt sah man all die vielen Stoffe nach einem einzigen Prinzip aufgebaut: Sie bestehen aus *langen Ketten*. Wie lang im einzelnen, das war zunächst nicht von großer Bedeutung – jedenfalls aus mehr als acht oder zehn, vielleicht mehr als hundert Kettengliedern. Und worin lag nun die ungeheure Vielfalt der Eigenschaften und des Verhaltens solcher Naturstoffe begründet? In der Mikrostruktur der Hauptketten und in der Art der Substituenten. Diese konnten hydrophil sein oder hydrophob, klein oder groß, basisch oder sauer; das heißt, man war auf einmal wieder mitten drin in der wohlbekannten klassischen Organischen Chemie. Ein neues, übergeordnetes Prinzip war aufgetaucht, das eine wunderbare Über-

sicht und Vereinfachung ermöglichte. So wie ein halbes Jahrhundert zuvor die verwirrende Vielfalt Tausender künstlicher Farbstoffe ihre Klärung gefunden hatte in dem grundsätzlichen Vorliegen chromophorer Systeme, aus denen alle Farben des Spektrums einfach durch Hinzufügen auxochromer Gruppen erzeugt werden konnten, so erklärten jetzt das grundsätzliche Vorhandensein langer Ketten – Kohlenwasserstoffe, Polyether, Polyester, Polyamide – und das Hinzufügen von Substituenten und Seitenketten in höchst willkommener Weise die ebenso verwirrende Unübersichtlichkeit des Verhaltens vieler wichtiger Naturstoffe. Für den Chemiker war damals der Unterschied zwischen Kautschuk und Wolle somit grundsätzlich nicht mehr größer als der zwischen einem gelben und einem blauen Farbstoff.

Immer, wenn ein umfassendes Prinzip aufgedeckt wird und Geltung erlangt, entsteht Ordnung aus Wirrsal und Verständnis aus Zweifel. Man denke, was die Chemie betrifft, nur an *Lavoisier* und *Mendelejew*!

Als ich wenige Jahre später in Ludwigshafen im Hauptlaboratorium der I. G. Farben mit einer Gruppe von Mitarbeitern – *M. Dunkel*, *H. Fikentscher*, *E. Dorrer* und *C. Wulff* – unter der Leitung von *K. H. Meyer* an der Herstellung künstlicher Polymere arbeitete, wurde uns der immense Vorteil bewußt, den das makromolekulare Modell für unser Denken und das Planen neuer Versuche bedeutete. Ebenso erging es zahlreichen Chemikern in anderen Laboratorien. Ein ungeahnter Aufschwung im Verständnis, in der Produktion und in den vielfältigen Anwendungen makromolekularer Stoffe aller Art setzte ein. Neue Gedanken und Methoden hielten den Fortschritt in Fluß.

Wenn wir heute, nach 60 Jahren, auf diese Entwicklung chemischer Wissenschaft und Industrie zurückblicken, so drängt sich die Frage auf: Läßt der Elan nach, oder sind frische Impulse spürbar?

Eine Beantwortung sei in den Fortschrittsberichten des vorliegenden Heftes dieser Zeitschrift versucht. Es gibt makromolekulare Stoffe und Stoffgruppen, die bereits einen au-

[*] Prof. Dr. H. F. Mark
Polytechnic Institute of New York
333 Jay Street, Brooklyn, N. Y. 11201 (USA)

ßerordentlich hohen Entwicklungsstand erreicht haben, der sich nur noch langsam und im wesentlichen durch Verfeinerung und Verbilligung ändert. Es gibt aber auch andere Gebiete, wo auf neuen Wegen bisher Unerreichtes angestrebt wird.

Der Beitrag „Fünf Jahrzehnte Polystyrol – Chemie und Physik einer Pioniersubstanz im Überblick“ von A. Echte et al. geht bis zu den Arbeiten aus der Mitte der zwanziger Jahre zurück, die in zwei Patenten von C. Wulff und mir und von E. Dorrer und C. Wulff ihren Niederschlag fanden. Schon die ursprüngliche „Sumpfphasen“-Polymerisation erhielt wichtige Anregungen vom Konzept der langen Ketten und führte zu einem damals verkaufsfähigen Produkt. Daran schloß sich über fünf Jahrzehnte eine ständige Verbesserung der Gleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit des Molekulargewichts an und später, zur Erweiterung der Anwendungen in Konkurrenz mit anderen Polymeren, die Einbeziehung von Mischpolymerisation und Polymermischungen unter Einsatz vieler neuer Herstellungs- und Verarbeitungsmethoden. Aus drei oder vier Prototypen der ersten Jahre ist eine breite Palette von mehr als hundert nützlichen Produkten geworden, die aus dem Haushalt, der Elektroindustrie mit Telefon, Radio und Fernsehen sowie aus der Innenausstattung von Fahrzeugen aller Art kaum wegzudenken sind. Polystyrol wird „weiterleben“, mit notwendigen Verfeinerungen, aber es sind davon keine großen Innovationssprossen zu erwarten.

Ganz anders die Beiträge von H. Ringsdorf et al. und U. Zimmermann et al., in denen die Erschließung von Neuland geschildert wird. Vor etwa 40 Jahren erachtete I. Langmuir die Strukturaufklärung der Eiweißmoleküle und die Synthese eines ihrer Repräsentanten als hervorragendes Fernziel der Chemie. Viel ist seither in beiden Richtungen geschehen, und die makromolekulare Struktur selbst komplizierter Eiweißkörper wie des Hämoglobins ist weitgehend aufgeklärt. In der Folge wurde die „Synthese“ einer Zelle als Fernziel der makromolekularen Biochemie anvisiert. Bevor man aber mit Aussicht auf Erfolg synthetisieren kann, muß man zunächst das Zielobjekt kennenlernen, z. B. indem man es gezielt verändert und die Konsequenzen studiert. Solche Untersuchungen wurden in Mainz (H. Ringsdorf), London (D. Chapman) und Jülich (U. Zimmermann) begonnen. Zur Verfestigung der Membranen von Zellen versucht Ringsdorf die Einführung polymerisierbarer Moleküle, die durch bestimmte Komponenten mit dem Membranhalt verträglich sind und deren polymerisierbare Gruppe im geeigneten Augenblick aktiviert werden kann. Auf diese Weise könnte man stabilisierte Zellmodelle erzeugen, die für das Studium von Membraneigenschaften und Transportvorgängen oder sogar als Mittel zur Bekämpfung von Tumoren in Frage kommen. Die Lösung dieser Aufgabe erfordert ungewöhnliche Geschicklichkeit bei der Synthese neuer komplizierter Monomere, in denen z. B. eine zuckerartige und eine fettsäureähnliche Komponente mit einer polymerisierbaren Gruppe –

Diacetylen oder Butadien – kovalent verbunden sind. Das Verfahren Zimmermanns zur Verschmelzung von Zellen und zum Einbau verschiedener Substanzen in Zellen und Zellmembranen erfordert Kenntnisse der Elektrotechnik und Elektronik. Die präparative Arbeit und die Anwendung biophysikalischer Methoden können aber nur dann sinnvoll sein, wenn von der anderen Seite – Zellanalyse und Membranphysiologie – die richtigen Anweisungen gegeben werden. Wir befinden uns hier in einem „mehrsprachigen“ Grenzland, in dem nur ein gut eingespieltes, interdisziplinäres Team Erfolg erwarten kann. Aus der Zusammenarbeit mag eine ganz neue Disziplin hervorgehen, welche die alten überdauert. So ist „Material Science“ aus Metallurgie, Keramik und Kunststofftechnik entstanden. Sind wir unterwegs zu „Life Science“? Können Polymerchemie, Zellbiologie und Medizin auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden?

Über eine ähnliche Pioniertätigkeit mit anderen Zielen berichtet G. Wegner in seinem Beitrag „Polymere mit metallähnlicher Leitfähigkeit – ein Überblick über Synthese, Struktur und Eigenschaften“. Bei der Herstellung und Anwendung polymerer Stoffe orientierte man sich bisher im allgemeinen an thermischen und mechanischen Eigenschaften – Schmelzbarkeit, Festigkeit, Elastizität, Zähigkeit –, weil diese für Fasern, Filme, Formstücke etc. maßgebend sind. Vom makromolekularen Standpunkt gesehen, rühren sie von der Bewegung von Atomen und Kettensegmenten her. Bei den von Wegner diskutierten Erscheinungen handelt es sich aber um die Bewegung von Elektronen in den Atomskeletten organischer Festkörper – im besonderen makromolekularer Systeme. Im Gegensatz zu metallischen Festkörpern, die sich durch eine Vielzahl mehr oder weniger leicht beweglicher Elektronen auszeichnen und daher Leiter oder Halbleiter sind, gibt es in einem organischen Festkörper wie Cellulose, Kautschuk, Polystyrol oder Nylon keine beweglichen Ladungsträger, sie sind typische Isolatoren und werden auch als solche seit langem verwendet. Jedoch erscheint es den Versuch wert, aus organischen Polymeren auch Halbleiter oder Leiter herzustellen, weil ihr niedriges spezifisches Gewicht, die leichte Verarbeitbarkeit und die Korrosionsfestigkeit als Vorteile locken. In der Tat wurde gefunden, daß durch Auflockerung des elektronischen Bindungssystems oder durch zusätzliche Ladungen bemerkenswerte Grade von Leitfähigkeit erreicht werden können. Auch hier handelt es sich wieder um Gedanken und Experimente, die zwischen zwei etablierte Wissenschaftsbereiche fallen: die Physik der Metalle und die Chemie der Makromoleküle. Nur wohlorganisiertes „Teamwork“ bietet Aussicht auf Erfolg.

In summa bringen diese Arbeiten im Jahre des 100. Geburtstags von Hermann Staudinger zum Ausdruck, daß die makromolekulare Chemie zu einem mächtigen Baum herangewachsen ist, an dem aber immer noch neue Zweige sprießen.

Eingegangen am 13. März 1981 [A 364]