

Hermann Staudinger und die Zukunft der Polymerforschung

Jubiläumsfeiern – selbstbestimmter Anlass kultureller Frömmigkeit^[1]

Helmut Ringsdorf*

Stichwörter:

Chemiegeschichte · Makromolekulare Chemie · Polymere · Staudinger, Hermann

Onne Aufgeregtheit und ohne sich um die heute bisweilen noch diskutierte Frage zu kümmern, wer, wann, wo und wie in der Anfangsphase der Makromolekularen Chemie etwas über Polymere gedacht, gewusst oder geschrieben hat, verlieh die Nobel-Stiftung 1953 Hermann Staudinger (1881–1965, Abbildung 1) den Nobelpreis „for his discoveries in the field of macromolecular chemistry“ – d.h. nicht für die Entdeckung der Makromoleküle und auch nicht für die Etablierung der Makro-

molekularen Chemie in ihrer Gesamtheit. Hermann Staudinger beanspruchte nie, der Entdecker der Makromoleküle zu sein. Er wusste, dass viele um Polymere wussten, aber ihre Existenz als Kettenmoleküle im Sinne der Valenztheorie von Kekulé musste er damals mit all seiner Weitsicht, seiner Brillanz und seiner Zähigkeit gegen die Dominanz derer beweisen, die an Polymeren als kolloidale Systeme oder Aggregate kleiner Moleküle festhielten.

Die Chemie war sein Leben, aber die Träume Hermann Staudingers gehörten der Biologie und der Einheit von Chemie und Biologie. Der Zeitpunkt der Nobelpreisverleihung war zwar spät, aber er hätte nicht besser gewählt werden können, um die schon blühenden Wissenschaften über synthetische und biologische Makromoleküle gemeinsam auszuzeichnen: Paul Flory veröffentlichte in jenem Jahr mit seinem Lehrbuch die „Bibel für Polymerforscher“, die Ziegler-Natta-Katalysatoren wurden gefunden, H. A. Krebs und F. A. Lipmann berichteten auf derselben Nobelpreisfeier über Enzyme und Coenzyme als wichtige biologische Makromoleküle, und J. D. Watson und F. H. Crick läuteten mit der *Nature*-Arbeit über ihr DNA-Modell endgültig die Molekularbiologie ein.

Würdigt man Hermann Staudinger, seine Genialität und seinen Beitrag zur Entwicklung der Naturwissenschaften, dann muss man allerdings auch noch fünfzig Jahre nach der Nobelpreisverleihung an das Spannungsfeld zwischen zwei Weltkriegen erinnern, in dem alle in den zwanziger und dreißiger Jahren forschten und lehrten: die Wissenschaft

als Netzwerk aus Sachlichkeit, Verantwortung und menschlichem Verhalten. Dieses Problem ist heute zwar anders „koloriert“ – aber nicht minder aktuell.

1. Des Kaisers Kutsche rollte schon auf Reifen aus synthetischem Gummi, als auch H. Staudinger noch nicht um Makromoleküle kämpfte

Es ist heute eher ein Panoptikum-vergnügen, ein Bild von Wilhelm II, dem letzten deutschen Kaiser, zu zeigen. Aber es sei der Wissenschaft wegen getan, denn es geht bei dem Bild (Abbildung 2) mehr um das Auto als um „Seine Majestät von Gottes Gnaden“. ^[2a] Herbert Morawetz hat es in seinem Buch *Polymers: The Origins and Growth of a Science* publiziert. ^[2b] Dies Buch sollte auch heute noch für jeden Pflichtlektüre sein, der aus erster Hand und eigenem Erleben ^[2c] präzise über das Werden der Wissenschaft von den Makromolekülen, der Polymerwissenschaft, informiert werden will.

Auf dem Bild beobachtet Wilhelm II (im weißen Mantel) mit seinen Generälen das Aufziehen der ersten Räder aus Synthesekautschuk auf sein Auto: Mengengrauen des ersten Weltkriegs, Unabhängigkeit von natürlichem Kautschuk aus den britischen und niederländischen Tropen. Schon damals, 1912, blühte die Natur- und Synthesekautschukindustrie in Europa und in den USA. Ohne dass es ihm schon um „seine“ Makromoleküle gegangen wäre, war auch Hermann Staudinger involviert. Als Synthetiker interessierte ihn die Isoprensynthese



Abbildung 1. Hermann Staudinger 1964 in seinem Freiburger Arbeitszimmer – ein Jahr vor seinem Tod.

[*] Prof. Dr. H. Ringsdorf
Institut für Organische Chemie
Universität Mainz
Duesbergweg 10–14
55099 Mainz (Deutschland)
Fax: (+49) 6131-39-23145
E-mail: ringsdor@mail.uni-mainz.de

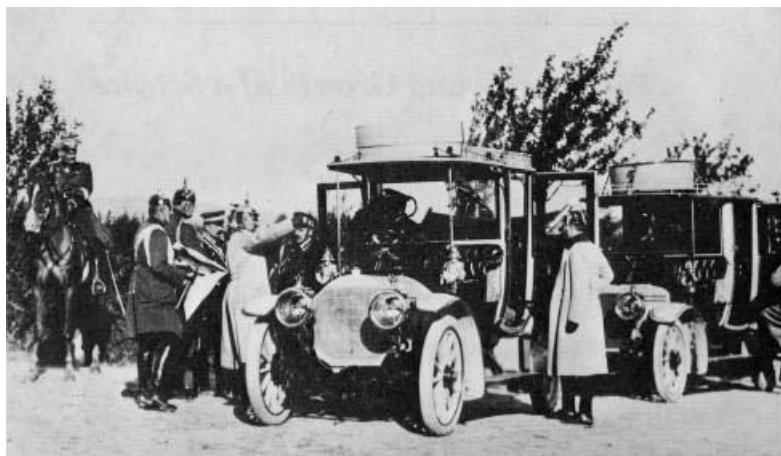


Abbildung 2. Nicht des Kaisers neue Kleider, aber neue Kunststoffreifen auf seiner alten Kutsche.

durch Pyrolyse von Terpenkohlenwasserstoffen. Die Reinheit des so hergestellten Isoprens lobend, schreibt er 1911:^[3] „...es enthält nur geringe Mengen an Trimethyl-äthylen, wie durch seine Umwandlung in Kautschuk festgestellt wurde.“ Wie er es feststellte, erwähnt er in der Arbeit nicht, aber immerhin: die Polymerisation als Reinheitsbeweis. Die heiße Phase seines Interesses an Makromolekülen begann erst mit einer 1920 publizierten Arbeit „Über Polymerisation“^[4] und besonders 1922 mit der Definition von Makromolekülen^[5] als Hauptvalenzkettensystemen. Damit eröffnete er seine etwa zehn Jahre andauernde Auseinandersetzung mit klassischen Organikern und speziell mit den Kolloidikern, die daran festhielten, große Moleküle, Polymere (Vielfache), als Kolloide und Aggregate kleiner Moleküle zu definieren.^[6] Die Historie dieses akademischen Gelehrtenstreites – die Industrie kümmerte sich relativ wenig darum – wurde oft und kontrovers beschrieben, und es seien neben dem Buch von H. Morawetz^[2b] eine Reihe anderer Arbeiten zur Polymerhistorie genannt.^[7–11] Die Stimmung dieser relativ kurzen Sturm-und-Drang-Zeit der Polymerwissenschaft schilderte 1980 mit Herman F. Mark einer der von Beginn an intensiv und kreativ involvierten Akteure dieses wissenschaftlichen Geschehens. In seinem Essay „Aus den frühen Tagen der Makromolekularen Chemie“^[12] schreibt er zwar sehr allgemein formuliert, aber selten auf eine Wissenschaftsentwicklung so direkt und nachweislich zutreffend: „Most branch-

es of science pass through a ‚pioneering period‘ where different concepts and approaches create, for a while, a turbulent atmosphere until, on the basis of new experimental evidence, clear and durable principles emerge, which lead to a broad and continuous growth of basic understanding and practical application. The author of this article recalls how, temporarily, conflicting ideas created confusion in the chemistry and technology of giant molecules before these disciplines developed into what they are now: indispensable contributors to the comfort, safety and expansion of our society from medicine to astronautica.“

2. Nobelpreise: Tageserfolge und Jahrhundertereignisse

Mit einem Nobelpreis ausgezeichnete Arbeiten sind alle wesentlich und wertvoll in ihrer Zeit. Unterschiedlich ist ihre zeitlose Bedeutung in der Wissenschaft und unterschiedlich sind die Bereiche und die Ebenen ihrer Wirksamkeit.^[13] Da gibt es Nobelpreise für hervorragende fachliche Einzelleistungen, z.B. 1912 für V. Grignard für die Entdeckung der nach ihm benannten Reaktion, heute noch wesentlich für Synthesen in der Organischen Chemie – und noch immer der Schrecken von Chemiestudenten im Praktikum, wenn „der Grignard nicht anspringt“. Eine phantastische Bauvorschrift für chemische Hütten, Häuser und Dome – der zukunftsweisende Impuls aber liegt im jeweiligen neuen Bauplan. Dasselbe gilt

für die Auszeichnung einer Reihe von technisch oder medizinisch wichtigen Verfahren und auch für die einiger Analysenmethoden. Dann aber gibt es auch Nobelpreise für Arbeiten, die weit über den gerade akzeptierten wissenschaftlichen Horizont hinausgehen, die Grenzen öffnen und neue Wissenschaften erschließen. Diese Preise erwiesen sich bisweilen als „Kettenreaktionen“, wie die Chemie- und Physik-Nobelpreise für die Nuklearwissenschaft illustrieren: 1903 Entdeckung der Radioaktivität (H. Becquerel, P. und M. Curie), 1908 Chemie der radioaktiven Substanzen (E. Rutherford), 1911 Isolierung von Radium (M. Curie), 1935 Synthese neuer radioaktiver Substanzen (F. Joliot und I. Joliot-Curie) und 1944 Entdeckung der Kernspaltung (O. Hahn) – ein konsequenter Entwicklungsprozess, mit kriegsentscheidenden Explosionen, für lange Zeit mit Frieden erhaltender Kraft und jetzt – hoffentlich! – nur noch mit friedlicheren Anwendungen.

Genauso autokatalytisch, vielleicht noch „explosionsartiger“ – was die Geschwindigkeit betrifft, mit der Bedeutung und Anerkennung wuchsen – verlief die von Hermann Staudinger ausgelöste Entwicklung einer neuen Wissenschaft. Er verließ den sicheren Hafen der Organischen Chemie, in der er schon berühmt war, um visionär, bisweilen belächelt, die Anerkennung der Makromoleküle durchzusetzen. Die Zeit war reif! Es war viel Vorwissen da und polymere Materialien, wie schon eingangs erwähnt, bereits in der Anwendung. Zu geschlossen war allerdings in den Anfängen der zwanziger Jahre des letzten Jahrhunderts noch die Front der klassischen Organiker aus der Liebig-Schule, der Kolloidiker um Wolfgang Ostwald und einiger Kristallographen, um die Existenz der Makromoleküle kampflos zu akzeptieren: Man schwor auf submikroskopische Teilchen und Aggregate. Heute ist das längst Schnee von gestern, aber es bedurfte der enormen fachlichen Fähigkeiten von Hermann Staudinger, seiner verblüffenden, meist unterschätzten Standhaftigkeit und seines fast missionarischen Eifers, um die Kolloidiker und ihre Anhänger von der Existenz der Makromoleküle zu überzeugen. Als dies geschehen war, konnten sich Forschung und Technik verbinden, konnte sich eine

neue Wissenschaft entwickeln, die längst in den Startlöchern stand: die Polymerwissenschaft heutiger Provenienz. Was daraufhin allerdings aus der Kolloidwissenschaft wurde, ist ein weiteres interessantes Kapitel der Wissenschaftsgeschichte: Sie verschwand für eine ganze Weile – zumindest aus den Labors der Universitäten – und feiert heute zum Teil in der Nanowissenschaft berechtigt eine beachtliche Wiedergeburt.

3. Genialität ist kein Dauerzustand – Kreativität ist notwendig, Intelligenz hilfreich, Gelassenheit sinnvoll: Staudingers Träume und die Nobelpreisverleihung

Gibt es eine sich konsequent entwickelnde Grundlagenforschung? Natürlich, aber sie führt selten oder nie linear zum nächsten Schritt, sondern braucht eine „Verwirrzeit“ der Ratlosigkeit bis zum nächsten Paradigmenwechsel!^[14] So wurden Glühbirnen nicht durch konsequente Abwandlung von Öllampen gefunden und die modernen Elektrolokomotiven haben wir sicher nicht der systematischen Weiterentwicklung von Dampfloks zu verdanken.

Der Schritt Hermann Staudingers von seinen frühen und großen Erfolgen in der „niedermolekularen“ Organischen Chemie (z.B. Ketene, Ozonisierung, aliphatische Diazoverbindungen, Explosonen, Aromen, Staudinger-Reaktion^[7,15]) zu den Makromolekülen war ein Schritt, der Visionen und Mut bedurfte – sicher ein Paradigmenwechsel.^[14] Große Moleküle sind in den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts erst dank seiner überzeugenden Hartnäckigkeit in die Vorstellung der Chemiker eingegangen. Und dann, Anfang der dreißiger Jahre, als die Einsicht unausweichlich war, dass es Makromoleküle gibt, waren alle dafür. Es blieben nur noch unwesentliche Rückzugsgefechte, die üblichen „wissenschaftlichen“ Verteilungskämpfe – doch gerade von ihnen ließ sich Hermann Staudinger aufhalten. Zu tief saßen die Wunden^[16] und außerdem färbte das Nahen des „tausendjährigen Reiches“ den Forschungshimmel schon braun. Die Zeit riss Hermann Staudinger aus seiner Kreativität, und seine hohe Intelligenz half ihm nicht, mit Gelassenheit seine

Visionen und Träume weiter zu verfolgen.

In vielen Labors rund um die Welt explodierte in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts die Polymerwissenschaft, das Kunststoffzeitalter war eingeläutet; Hermann Staudinger sah es freudig und stolz. Aber es gelang ihm persönlich nie, für seine Makromoleküle nicht zu kämpfen – hierbei baltisch-patriotisch und nachdrücklich von seiner zweiten Frau Magda (geborene Woit) unterstützt. Hinzu kam, dass er seine Makromoleküle als lange, steife Stäbchen liebte. Ihre Steifheit passte so gut zu seiner Beharrlichkeit und zu der von ihm erstmals aufgestellten empirischen Beziehung zwischen der spezifischen Viskosität eines gelösten Polymers und seinem Molekulargewicht, dass er bisweilen geflissentlich die ihm durchaus bekannten Arbeiten von Werner und Hans Kuhn, von Paul Flory und von anderen über das „Knäuelverhalten“ von Polymeren ausblendete. Auch in seinem Nobelpreisvortrag nimmt seine Liebe zur Viskosität einen großen Raum ein (siehe Lit. [7]). Natürlich werden Kuhn und Flory zitiert, aber es würde mich wundern, wenn Staudinger bei seinem ersten und einzigen Besuch in den USA 1958 bei Herman Mark am damals weltführenden Institute of Polymer Research in Brooklyn seine geliebten Holzstäbchen als Polymermodelle nicht doch im Gepäck gehabt hätte!^[17]

Fünfzig Jahre nach der Nobelpreisverleihung darf man aber bei der Würdigung dieses genialen Wissenschaftlers neben seinem Ringen in den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts seine charismatischen Träume nicht vergessen: Hermann Staudingers Visionen und Hoffnungen galten zeitlebens der Biologie, den biologischen Makromolekülen – und hier unterstützte ihn wiederum seine Frau Magda, selbst promovierte Biologin, mit Leidenschaft und großer Energie. Parallel zur Chemie der synthetischen Makromoleküle von Staudinger hatte sich mit der aufkeimenden Proteinchemie bereits zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts die Wissenschaft von den Biopolymeren zu entwickeln begonnen.^[10,11,18,19] Hierzu schrieb Lothar Jaenicke im Jahr 2002:^[18] „Es ist nicht müßig, auf die Ursprünge zurückzukommen, wie Emil Fischer Oligopeptide bis zu 18 Resten zusammengebastelt

hat. Hofmeisters Überlegungen und Fischers Experimente legten den Grundstein für die Überzeugung, dass Proteine durch lineare Verknüpfung von L-α-Aminosäuren über Peptidbindungen in großer Zahl und unterschiedlicher Sequenz aufgebaut sind.“

Staudingers Bild von den Biomakromolekülen war damals geprägt von seinem Wissen über Naturkautschuk und Cellulose, die Struktur- und Gerüstpolymere: im Prinzip „einfach gestrickt“ Polymerisate oder Polykondensate aus gleichartigen Monomeren. Die Komplexität von biologischen Funktionspolymeren konnte ihm in der Klarheit, wie wir sie heute sehen können, nicht gegenwärtig sein. Nur so ist es begreiflich, dass er in chemischer Simplifizierung Polystyrol für ein Modell des Naturkautschuks, Polyformaldehyd für eines der Cellulose und Polyacrylsäure gar für eines der Proteine halten konnte. Vor diesem Hintergrund ist auch verständlich, dass sein Traum von der biologischen Bedeutung der Makromoleküle mit den folgenden schönen und richtigen, aber auch sehr allgemeinen Gedanken endete: „Es gibt Makromoleküle, und sie werden in Zukunft große Bedeutung für die Biologie haben, denn nur mit so großen Molekülen kann die lebende Zelle aufgebaut werden. Sie haben dank ihrer Größe verschiedene Formen; dadurch sind verschiedene Strukturen möglich, wie sie die lebende Zelle benötigt. Sie können wiederum dank ihrer Größe ganz verschiedene reaktionsfähige Gruppen beherbergen.“

Das war seine charakteristisch nur auf die Struktur und nicht auf die Funktion bezogene Vision, doch es tut der Genialität Staudingers keinen Abbruch, dass die Grundlage seiner Träume seine synthetischen Makromoleküle waren, die mit denen der biologischen Funktionspolymere fast nichts außer dem hohen Molekulargewicht gemeinsam haben. Hätte Hermann Staudinger zu Beginn der Polymerwissenschaft nicht seine Kraft und Zähigkeit verschlissen, um die Existenz der synthetischen Makromoleküle gegen Unverständnis und Beharrung einiger Kollegen zu verteidigen, und hätte ihn nicht nahtlos anschließend durch das Dritte Reich die Brutalität des Weltgeschehens eingeschlossen, dann wäre ihm, der als Biologe begonnen hatte, der Brückenschlag zu

seiner geliebten Biologie samt ihren molekularen Kindern vielleicht gelungen. Das ist besonders dann naheliegend, wenn man bedenkt, was ehemalige Mitarbeiter von Hermann Staudinger im Bereich der Biochemie und sogar der Molekularbiologie schon damals geleistet hatten.^[20a] Für die meisten Peptidchemiker der damaligen Zeit war das „Mysterium der Makromoleküle“ fast schon eine Selbstverständlichkeit, sie hatten sich in den Kräfte absorbierenden Clinch mit den Kolloidkern nicht eingelassen, vielleicht nicht einmal viel davon gewusst.

Die Proteinchemie^[19] und das Wissen R. Signers – Mitarbeiter von Staudinger in den zwanziger Jahren – über die DNA^[20a] wären eine Brücke von ungeheurer Bedeutung zu den Biowissenschaften und zur Molekularbiologie gewesen, eine Brücke, die Hermann Staudinger zu betreten nie das Glück hatte. So blieben seine Vision und sein Wunsch von der Gemeinsamkeit seiner Chemie und seiner Biologie für ihn ein Traum.^[20b] Gegen Ende war er so in dem Don-Quichotischen Kampf um seine synthetischen Makromoleküle gefangen, dass er nicht mehr erkennen konnte, wie sehr die Biowissenschaften und die aufblühende Molekularbiologie seine Makromoleküle längst angenommen hatten und seine analytischen Methoden fast schon routinemäßig als Arbeitsbasis einsetzen. Das ist eines der Beispiele für die „Menschlichkeit“ der Wissenschaft, ein Beispiel, bei dem man nicht weiß, was man mehr bewundern soll: die Kreativität des Wissenschaftlers oder die Konstanz des Festhaltens an seinen ursprünglichen Ideen.

Die Polymer- und die Biowissenschaft haben sich parallel entwickelt und waren beide bereits in voller Blüte, als Hermann Staudinger 1953 den Nobelpreis erhielt, eine berechtigte Auszeichnung für herausragende Leistungen und Erfolge von gestern und vorgestern. Es gibt kein besseres Beispiel für die Parallelität von zwei Wissenschaftsentwicklungen – und kein Regisseur hätte es perfekter in Szene setzen können – als die Tatsache, dass Staudinger in Stockholm den Nobelpreis für Chemie erhielt und gleichzeitig Hans Adolf Krebs^[21] und Fritz Albert Lipmann^[22] den Nobelpreis für Medizin entgegen nehmen konnten.



Abbildung 3. Uhrenvergleich: der Augenblick kurz vor der Verleihung der Nobelpreise 1953 – eine Sternstunde der Wissenschaft. Von links nach rechts sind F. Lipmann, H. Krebs, H. Staudinger und F. Zernike zu sehen.

Es macht Freude, eine solche „Sternstunde der Wissenschaft“ auch direkt im Bild ansehen zu können (Abbildung 3).^[23] Das Bild zeigt neben den bereits Genannten noch den holländischen Physiker Fritz Zernike, der das auch für die damals aufkommende Membran- und Zellbiologie wesentliche Phasenkontrastmikroskop entwickelt hat.^[24] Die beiden Biochemiker H. A. Krebs und F. A. Lipmann hatten in ihren Nobelpreisvorträgen über die vielfältigen Strukturen und die Funktionen biologischer Makromoleküle viel Konkretes und noch mehr Zukunftweisendes zu berichten – Biochemiker auf dem Weg zur Molekularbiologie.^[25] Und fast wie um das noch zu unterstreichen, publizierten im gleichen Jahr J. D. Watson und F. H. Crick ihre ersten Arbeiten über die doppelhelicale Struktur der DNA,^[26] unter anderem fußend auf Erwin Chargaffs^[27,28] Feststellung, dass in den Desoxyribonucleinsäuren immer die gleichen Zahl an Thymin- und Adenin- sowie an Cytosin- und Guaninmolekülen vorliegt (siehe auch Lit. [20a]). Die erste Arbeit der beiden endet mit dem inzwischen klassischen „Understatement“: „*It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material.*“

Welch eine Spanne an Genialität und Entwicklung von den Leistungen Hermann Staudingers und seinen Träumen über die Biologie des Lebens bis zu diesen Sternstunden der Wissenschaft 1953! Ich glaube nicht, dass Hermann Staudinger die Arbeit aus dem Aprilheft von *Nature* kannte, als er im Dezember

1953 nach Stockholm fuhr. Hätte er sich gefreut? Er beendete jedenfalls seinen Vortrag zum Nobelpreis mit genau dem, was er dort hätte lesen können und von dem er zeitlebens weitschauend und hoffend geträumt hatte: „*Im Licht dieser neuen Erkenntnisse der makromolekularen Chemie zeigt sich das Wunder des Lebens von seiner chemischen Seite her in der unerhörten Mannigfaltigkeit und meisterhaften molekularen Architektonik der lebenden Materie*“ (siehe Lit. [7]).

4. Gräben in der Wissenschaft, die nicht gleich überbrückt werden, sind später schwer zu schließen: auch ein Generationenproblem!

Mit der Überschrift ist eigentlich schon alles gesagt! Wie überbrückt man die Gräben zwischen der Polymer- und der Biowissenschaft? Eine in den letzten dreißig Jahren oft gestellte Frage und dennoch muss man auch heute noch davon sprechen, wie Polymer- und Biowissenschaft sowie Biomedizin weiter zusammenwachsen können. Sicher sind sie sich heute viel näher als zu Staudingers Zeiten, aber getrennte Geschwister sind sie immer noch. Die Gräben zwischen diesen Wissenschaftsbereichen sind trotz aller anderslautenden Beteuerungen noch immer zu tief. Viele Kooperationen sind heute zwar vorhanden, aber sie werden zu rasch wieder in Bereiche des Machbaren und Rechenbaren eingeteilt – und sind solche Bereiche nicht vorhanden, fehlen die Worthülsen, dann werden sie geschaffen: Nano, Bionano, Supranano, Nanotec, Bionanotec etc. etc.

Nach Wolfgang Frühwald, dem Präsidenten der Alexander von Humboldt-Stiftung, steigt synchron mit der Flut des Wissens auch die des Unwissens. Das gilt nicht mehr nur für die Bereiche Naturwissenschaft, Geisteswissenschaft und Philosophie, sondern längst auch innerhalb naturwissenschaftlicher Fachdisziplinen.^[29] Damit wächst bei allem Wissen das Unverständnis für andere Bereiche und versandet die Fähigkeit zur wirklichen Kooperation. Ist daher zu befürchten, dass sich Polymerchemiker nach dem großen Erfolg ihrer Wissenschaft in der Technik und im Alltag in Ruhe wieder auf Staudingers klassische

Polymere zurückziehen? Manchmal könnte man es meinen, besonders wenn man Tagungsthemen liest wie „Classical Polymer Science revisited“.

Von den Biopolymeren gehören auch heute noch – wie zu Staudingers Zeiten – eigentlich nur die Struktur- und Gerüstpolymere wie Kautschuk und Cellulose und vielleicht noch die abbau-baren Kohlenhydrate der Nahrungskette in die Polymerwissenschaft. Für alle wesentlichen biologischen Funktionspolymere von der DNA über die Proteine und Glycoproteine erklären sich die Biochemie und die Molekularbiologie als allein zuständig – historisch durchaus nicht falsch und von daher verständlich. Gäbe es den Begriff der Biopolymere nicht schon lange, man müsste ihn heute erfinden, aber dann würde er nicht ausschließlich für die natürlichen Makromoleküle gelten, sondern man würde ihn auch für viele synthetische Polymere verwenden, die als funktionelle Makromoleküle, als Composit- und Hybrid-Materialien, als Co- und Terpolymere im biologischen Bereich längst Interesse gefunden haben oder als Modellsysteme wichtig sind. Die heutige Generation der Polymerchemiker kann und wird viel kooperativer sein – obwohl auch sie erst langsam das Vokabular der Molekular- und Membranbiologie lernt.

Und wieder nur fünfzig Jahre nach dem Nobelpreis für Hermann Staudinger und der DNA-Helix von Watson und Crick, nur wenige Jahre nach der Aufklärung des menschlichen Genoms, veröffentlichte *Science* im Mai 2003 „Derivation of Oocytes from Mouse Embryonic Stem Cells“.^[30] In Kultur gezogene embryonale Stammzellen wurden bis dahin nur als pluripotent angesehen – jetzt sind sie als totipotent erkannt. Welch ein Sprung! Hat die Polymerwissenschaft – wenn sie denn ihre biologische Schwester noch liebt und mit ihren Erkenntnissprüngen nicht nur mit halten, sondern dabei auch mithelfen will – nicht auch hier wieder einiges aufzuholen?

Wo steht die Polymerwissenschaft heute? Erwarten Sie eine Antwort? Es ist dem Leser sicher nicht entgangen, dass ich von Staudingers Träumen angesteckt, sehr der biologischen Schwester der Polymerwissenschaft zuneige. Diese Neigung kann und wird auch im nächsten Abschnitt nicht verleugnet

werden. Dies mag als Entschuldigung gelten dürfen, dass bei dem Versuch der Beantwortung der gestellten Frage Einseitigkeit im Spiel sein wird – bei allem Bemühen um Objektivität. Es kann allerdings auch sein, dass mangelnde Wissensbreite den Blick noch zusätzlich einengt.^[31]

mit ihm vor fünfzig und mehr Jahren Geburtshelfer der Polymerwissenschaft waren, dann wäre bei so viel Erfolg dieser „neuen“ Wissenschaft nichts mehr hinzuzufügen. Aber es wird ja weitergehen!

Nur zwei Punkte seien herausgegriffen. Zwei neue Gedanken? Bei weitem nicht, aber es gilt noch immer, was André Gide in seiner sich selbst belächelnden Art lebensweise formulierte: „All das ist schon gesagt worden, aber da keiner zuhört, muss es immer wieder gesagt werden“ (siehe Lit. [39]). Dezent hängt zurzeit noch der Bereich der Biomedizin^[38] auch den Materialwissenschaften an: Polymere als medizinische Werkstoffe, Biomaterialien, z.B. als Herzklappen, Venen und Arterien, als Augenlinsen, als Operationsfäden sowie als Haut- und Organersatz. Bereits sichtbar und begonnen hat der nächste Schritt – polymere medizinische Wirkstoffe: synthetische Makromoleküle als Zellbestandteile und synthetische Polymere als Pharmaka.^[39]

5. Zum Garnieren Makromoleküle: die klassische Polymerwissenschaft als willkommene Zutat zu den Materialwissenschaften und anderen Wissenschaftsbereichen

Am Anfang der Makromolekularen Chemie stand ein Paradigmenwechsel,^[14] und sie entwickelte sich zur Polymerwissenschaft, kaum dass sie geboren war. Sie schweißte damals Chemie und Physik zusammen, war Geburtshelferin der Materialwissenschaften und nicht zuletzt dadurch wesentlich für die Entwicklung unserer modernen Welt. Schon verstaubt ist heute der Begriff vom Kunststoffzeitalter. Polymere als Werkstoffe sind aus Technik und Biotechnologie, aus unserem Alltag und selbst aus Kunst und Kultur nicht mehr wegzudenken. Nicht zuletzt dank der enormen Breite an Materialeigenschaften der Makromoleküle ist die Polymerwissenschaft längst essenzieller Teil vieler moderner Wissenschaftsbereiche geworden, z.B. der Chemie und Physik supramolekularer Systeme^[32] und supramolekularer Materialien,^[33,34] der gesamten Nanotechnologie, der Oberflächenchemie^[35] und der mit Recht wieder auferstandenen Kolloidchemie.^[36] Viele wichtige funktionelle, strukturbildende Makromoleküle werden schon längst nicht mehr in den Küchen der klassischen Polymerwissenschaft gekocht: zum Garnieren Makromoleküle! Offensichtlich ist, dass die Polymerwissenschaft längst Schwester oder gar Teil der Materialwissenschaften geworden ist^[37] und auch den Biowissenschaften steht sie schon lange nicht mehr fremd gegenüber: Polymeric Biomaterials^[38a] und Tissue Engineering.^[38b]

Wenn es hier nur um eine „Jubiläumsfeier als selbstbestimmter Anlass kultureller Frömmigkeit“ für große Wissenschaftler ginge, um eine Laudatio für Herrmann Staudinger und alle die, die

5.1. Von synthetischen Makromolekülen zu biologischen Strukturen

Was hier zum Verständnis und zur breiten Anwendung noch fehlt, hat schon begonnen: das detaillierte Studium der Wechselwirkung von Zellen mit synthetischen „Biopolymeren“ und die Biologisierung von synthetischen Makromolekülen. Ohne zu werten und ohne einen Überblick zu versuchen, seien hier einige Arbeiten aus diesem Grenzgebiet zitiert: Polymere und Biomimikri,^[40] gezielt hergestellte Biopolymere,^[41] bioaktive Polymere,^[42] mehrbindige Liganden,^[43a] topologisch verknüpfte Katalysatoren,^[43b] Inhibierung der Zelladhäsion an Fibronectin durch Polynorbornene^[44a] und Nanocontainer, die an definierte cytoplasmatische Organellen liefern.^[44b] Mit diesen Denkrichtungen und auf der Basis des modernen Wissens über wasserlösliche, strukturbildende Homo-, Co- und Terpolymere^[45] gewinnen alte – damals wirklich nur polymerspielerische – Arbeiten über polymere Monoschichten und Lipidensembles^[46] als Biomembran- und Zellmodelle neues Gewicht.

Es wird heute auf breiter Basis über sich selbst reproduzierende Systeme im

Sinne der Molekularbiologie nachgedacht. Noch gilt es für die Polymerchemiker, von der Biologie zu lernen, um von „einfachen“ synthetischen zu komplexen zellanalogen Systemen überzugehen. Die Molekularbiologen brauchen jedoch für die Übersetzung ihres Wissens in synthetische „molekulare Maschinen“ und zellähnliche Systeme auch die moderne Polymerwissenschaft. Beispiele könnten sein: virale Vektoren, stabile, ATP produzierende, Rhodopsin und F_0F_1 -ATPase enthaltende polymere Zellmodelle, Systeme zur transmembranen Impulsweiterleitung (undermembrane fishing!). Ich glaube, dass auch die Zell-, Membran- und Molekularbiologen noch keine oder eine zu geringe Vorstellung davon haben, welche Rolle die Polymerwissenschaft in ihren Bereichen spielen kann und wird. Hier ist ebenfalls Aufklärung und Wechselwirkung notwendig.

„Vom Makromolekül zum biologischen Moleküльverband“ – ein schöner Titel! Das ist ein Thema! Es war die Überschrift der Nobelpreisrede von Aaron Klug 1982.^[47] Die entscheidende Rolle von Makromolekülen bei allen biologischen Prozessen lebender Zellen beschreibend sagt er: „*Diese Makromoleküle üben ihre Funktionen nicht isoliert aus, sondern sie sind oft in größere geordnete Aggregate oder makromolekulare Komplexe eingebunden, die manchmal so charakteristische Strukturen und Funktionen haben, dass sie den Namen Organellen verdienen.*“ Natürlich meint er die Nucleinsäure-Protein-Komplexe – kein Wort von synthetischen Makromolekülen. Damals, 1982, selbstverständlich nicht – aber heute? Zu Zeiten der Proteomics, der Hybridstrukturen, der Selbstorganisation und Selbstassoziation, der modernen Kolloid- und Supramolekularen Chemie sowie der enormen Synthesemöglichkeiten sind eigentlich alle Voraussetzungen gegeben. Was fehlt, ist – wie schon gesagt und gesagt – die selbstverständliche Nähe zu den Zell- und Molekularbiologen und zu ihren schon aufregend perfekten Einsichten in molekulare Prozesse. Wir Polymerchemiker müssen ihre Sprache sprechen lernen und sie lehren, in Vorlesungen und Praktika. Wir müssen auf die Zell- und Molekularbiologen zugehen, die auch noch nicht wissen, wie sehr sie uns für „künst-

liche Zellen“ und selbstreproduzierende Systeme brauchen werden.

5.2. Polymere als Wirkstoffe – die Pharmaka der Zukunft?

Es gibt einen weiteren mit dem Gedanken der „synthetischen biologischen“ Strukturen eng zusammenhängenden Traum Staudingerscher Prägung – und auch dafür ist eine enge, langfristige Kooperation der Polymerwissenschaft mit Membran- und Zellbiologie, mit Pharmazie, Pharmakologie und Medizin eine essenzielle Notwendigkeit: Polymere als Wirkstoffe – polymere Therapeutika.^[48] Die Zeit ist sicherlich nicht mehr fern, dass Pharmaka nicht nur zell- und gewebespezifisch angreifen müssen, sondern darüber hinaus ein spezifisches Verhalten im Cytoplasma der Zelle zeigen müssen: eine definierte Wechselwirkung mit der Vielfalt an Membranen und Zellorganellen. Erste Überlegungen zu diesem Grenzgebiet zwischen Pharmazie und Polymerwissenschaft sind zwar fast ein halbes Jahrhundert alt, aber noch ist die Akzeptanz in der Pharmazie und Pharmakologie und vor allem in der oft auf Kurzeiterfolge eingestellten Industrie nicht hoch genug. In ihrer 2003 erschienenen Arbeit fasst Ruth Duncan die Basis, die Ergebnisse, die Möglichkeiten und die Zukunft dieses Grenzgebietes zusammen.^[48] Im Vorwort zu dieser Arbeit wird der von ihr geprägte Begriff definiert und die Spanne der Möglichkeiten umrissen: „*As we enter the twenty-first century, research at the interface of polymer chemistry and the biomedical sciences has given rise to the first nano-sized (5–100 nm) polymer-based pharmaceuticals, the Polymer Therapeutics. Polymer Therapeutics include rationally designed macromolecular drugs, polymer-drug and polymer-protein conjugates, polymeric micelles containing covalently bound drug, and polyplexes for DNA delivery. The successful clinical application of polymer-protein conjugates, and promising clinical results arising from trials with polymer-anticancer-drug conjugates, bode well for the future design and development of the even more sophisticated bio-nanotechnologies that are needed to realize the full potential of the post-genomics age.*“

Insidern ist das Gebiet vertraut, sind die Ergebnisse bekannt,^[49–52] aber der Weg wurde erst betreten. Was in der Tumorforschung gemacht werden konnte und in der Tumortherapie bereits als möglich gezeigt wird, ist gerade dabei, auf andere Krankheitsbilder übertragen zu werden.^[48] Die notwendigen Kenntnisse auf beiden Seiten sind da: in der Biomedizin und in der Pharmakologie die Einsicht in molekulare Details und den Ablauf der meisten Krankheiten und in der Polymerwissenschaft die Fähigkeit, abbaubare, schmalverteilte Homo- und Blockcopolymere herzustellen mit einer Breite an funktionellen und strukturbildenden Gruppen, die die in der Natur vorhandenen Möglichkeiten sogar noch überbieten kann. Der Treffpunkt beider ist wiederum die Molekular- und Membranbiologie mit der Kenntnis von Zellmembranen und dem Transmembran- sowie intrazellulären Stofftransport (vgl. hierzu auch den Chemie-Nobelpreis 2003).^[53] Man kann voraussehen, dass die Wechselwirkungen maßgeschneiderter synthetischer Makromoleküle mit Zellen – Zellmembranen und intrazellulären Systemen – auch zu neuen Effekten führen werden. Hierbei können sich Grundsatzfragen ergeben, die im Wissenskatalog der bisher nur biologisch orientierten Molekularbiologen noch nicht vorhanden sind.

Je mehr wir über die Wechselwirkung von natürlichen und synthetischen Makromolekülen mit Zellmembranen und Zellorganellen wissen, je mehr wir von den Prozessen des intrazellulären Transports neuartiger Polymere, von endosomalen, lysosomalen und transzellulären Systemen begreifen, desto näher werden wir einem Verständnis kommen, das die Entwicklung krankheitsspezifischer Polymere erlauben wird. Auch hier ist die enge und gemeinsam planende Kooperation zwischen Polymerwissenschaft, Membran- und Molekularbiologie sowie Pharmazie und Pharmakologie gefragt. Es geht um die Synthese von Makromolekülen auf der Basis des biologischen Verstehens (biological rational). Die reine Freude an der Nur-Synthese neuer Makromoleküle soll damit nicht unterbunden werden, aber sie gehört – und es sei ohne Wertminderung gesagt – in die klassische Polymerwissenschaft. Es

scheint vorhersehbar, dass die Fülle der immer rigoroseren Anforderungen an die Pharmaka der Zukunft nur von polymeren Therapeutika erfüllt werden können. Nicht umsonst hat sich Mutter Natur, wenn es um Lebensfähigkeit, Regulierung, Selbstreproduktion und Stabilität ging, immer an Makromoleküle gehalten.

Die Polymerwissenschaft hat ihren Platz als Basiswissenschaft gefunden. Wir, die alten Polymerwissenschaftler, werden aussterben und mit uns die alte Zeit der klassischen Makromoleküle. Die kreativen Köpfe der jungen Generation werden dann ungestörter ihre und die Träume Hermann Staudingers Realität werden lassen können. Sie werden Wege finden, in enger Kooperation mit der Biomedizin, der Membran- und der Molekularbiologie die Vielfalt möglicher Polymersysteme zum Aufbau von neuen zell- und gewebespezifischen Pharmaka und von funktionierenden künstlichen Zellen einzusetzen – und das, während sie schon wieder auf dem Weg zu neuen Zielen sind.

6. Wissenschaft im Spannungsfeld zwischen zwei Weltkriegen

Was wissen wir, die wir heute in einer liberalen Demokratie und in relativer Freiheit lehren und forschen können, eigentlich von der Unfreiheit der Wissenschaften?^[54] Hermann Staudingers Forschungen fanden weitgehend im Spannungsfeld zwischen zwei Weltkriegen (1914–1918 und 1939–1945) statt. Er lehrte und forschte im letzten deutschen Kaiserreich (1907–1912), in der liberalen, neutralen Schweiz (1912–1926) und in der braunen Nazidiktatur (1933–1945), die direkt 1933 die Universitäten arisch formierte und danach jeden Wissenschaftszweig „generös“ unterstützte, der ihrem Rassenwahn und ihren Kriegsplänen entgegenkam.^[55] Dazwischen lag für Hermann Staudinger zwar noch ein kurzes Stück demokratischer Weimarer Republik (1926–1933), aber auch die war sehr mit vaterländischen Gefühlen gefüllt. Nein, es sollen hier nicht die Historie und die – meist beschämende und tragi sche – Verflechtung von Wissenschaft und Politik in jener Zeit aufgerollt werden. Darüber ist vieles geschrieben

worden.^[55–60] Zum Verständnis dieses großen Wissenschaftlers muss man jedoch, auch fünfzig Jahre nach der Nobelpreisverleihung, darauf hinweisen, wie sehr er als Mensch und Forscher in jene tragischen Zeiten eingebunden war.

Seit 1912 an der ETH Zürich, liebte Hermann Staudinger das dortige liberale, politisch tolerante Klima. Von dort verfolgte er mit großer Skepsis und voller Sorge^[61] die Politik und die Entwicklung des ersten Weltkriegs. Sein Sinnens war nicht auf direkte politische Aktivitäten gerichtet, und er äußerte sich nur ungern zu Fragen, die außerhalb seiner Kompetenz lagen. Aber er hielt es für seine Pflicht, sich mit Politik und Wissenschaft auseinanderzusetzen – und hier unterstützte ihn seine erste Frau, Mina Mathilde (geborene Förster), Mutter seiner vier Kinder und engagierte Sozialistin.

In seinen Vorlesungen ging er damals ausführlich auf die wirtschaftlichen und kulturellen Konsequenzen des ungeheuren Umwandlungsprozesses der modernen Technik ein. Einen Niederschlag dieser Sorge finden wir 1917 in seinem mutigen Aufruf direkt an die deutsche kaiserliche Generalität, das Blutvergießen des Krieges zu beenden. In einem Artikel „Technik und Krieg“ beschrieb er die große Überlegenheit der Alliierten und folgerte daraus die Kriegsniederlage Deutschlands.^[61] Der Aufruf und diese Publikation führten zu der bekannten ernsten Kontroverse mit Fritz Haber, seinem Freund aus Karlsruher Tagen, den er wegen dessen aktiven Beitrags zum Gaskrieg angegriffen hatte. Wie wichtig Hermann Staudinger der Zusammenhang von Wissenschaft, Technik und Gesellschaft war, zeigt sich auch darin, dass er diese Gedanken noch 1946 – mit etwas antiquiertem Titel und Inhalt – als Buch erneut herausgibt (Abbildung 4).^[62]

Nach dem ersten Weltkrieg, in der zwar demokratischen, aber noch stark patriotisch geprägten Weimarer Republik, ließ die Reaktion auf so wenig vaterländisches Ehrgefühl – und das noch aus der neutralen Schweiz heraus – nicht lange auf sich warten. Bei seinem Wechsel von der ETH Zürich an die Universität Freiburg 1926 musste Staudinger nach Aufforderung des Freiburger Dekans offiziell zu seinem Aufruf



Abbildung 4. Das Deckblatt des Buches von Hermann Staudinger von 1946^[62] mit seinen Korrekturen und seiner Unterschrift.

von 1917 Stellung nehmen, um Bedenken gegen seine patriotische Haltung auszuräumen^[63] – und er tat es.

Wissenschaft als „neuronales Netzwerk“: eine sensible zeitliche Verknüpfung von menschlichen, wissenschaftlichen und politischen Geschehnissen, die Gleichzeitigkeit von Ereignissen und die Parallelität oder Gegensätzlichkeit von Entwicklungen. Alles hängt zusammen, aber wir in unseren fachlichen Kerkern^[29] merken es meist nicht, wollen es oft aus fachlichem Eifer und sachlicher Verblendung nicht wahrhaben und sehen es oft erst historisch. Gerade die Nobelpreisverleihung vor fünfzig Jahren ist ein gutes Beispiel für das Netzwerk aus wissenschaftlichen Hoffnungen und politischen Realitäten. Die Lebens- und Forschungsbahnen des Polymerwissenschaftlers Hermann Staudinger und des Mediziners Hans Krebs hätten sich nämlich schon lange vor ihrer gemeinsamen Auszeichnung 1953 kreuzen können – vielleicht haben sie es ja sogar. Der spätere Biochemiker arbeitete ab 1931 als Stationsarzt in der Universitätsklinik in Freiburg. Lange hat das nicht gewährt, es „reichte“ in seiner Forschung gerade noch zum Ornithinzylkus und zur Habilitation. Dann kam die „Wende“, die Lothar Jaenicke in Lit. [64] so bitter, aber wahr beschreibt: „1932 erhielt H. A. Krebs – in Freiburg – die Venia docendi und allerhand ehrende Angebote für sein Fortkommen. Acht Wochen später bekam er Hausverbot: Die Nazis waren an die Macht gekommen und mit ihnen das Deutschtum virulent ausgebrochen. Der in höchsten Tönen gelobte Dozent war über Nacht Jude und persona non grata geworden. Sein alter, sanft opponierender Lehrer von Möllendorf wurde als Rector magnificus durch den mystischen

Opportunisten Heidegger als Führerrektor ersetzt, der das Geschehen existentialistisch unterfütterte: die Studenten waberten hirnlos aber gefährlich.“

So gesehen spielt bei einer historischen Rückblende die politische Haltung natürlich eine Rolle, nicht für den Nobelpreis, aber sicher für den Nobelpreisträger. Hermann Staudingers Weg im Dritten Reich verlief nicht geradlinig. Es war eine schwere Zeit und stark geprägt durch seine Liebe zu seinen Makromolekülen. Auch für ihn sah es anfangs tragisch aus: Der besagte braune, profilierungssüchtige Philosoph Martin Heidegger betrieb seine Ächtung und plante seine Entlassung auf der Basis seines nichtpatriotischen Verhaltens im ersten Weltkrieg. Der zweite Weltkrieg rettete Hermann Staudinger, denn nun waren Kunststoffe für die Nazis kriegswichtig geworden. Hermann Staudinger war kein Freund des NS-Regimes – aber er war auch kein Gegner. Bei seiner Haltung im Dritten Reich ging es ihm um seine Forschung und die Erhaltung seines Arbeitskreises. So bot er, um zu Tagungen ins Ausland reisen zu können, der Universitätsleitung die Vertretung der deutschen Wissenschaft im Ausland an, die Verteidigung seiner „deutschen“ Makromoleküle gegen die in der Zwischenzeit „jüdisch“ gewordenen Polymere.^[65] Hätte Hermann Staudinger an seiner pazifistischen Haltung aus der Zeit des ersten Weltkriegs auch nur annähernd festgehalten, dann hätte er 1939 (!) nicht Herausgeber des anerkannten deutschen *Journals für praktische Chemie* werden können, man hätte ihm 1940 nicht erlaubt, das erste europäische Institut für Makromolekulare Chemie an der Universität Freiburg zu gründen, und er hätte 1943 seine Zeitschrift nicht in *Journal für Makromolekulare Chemie* umbauen können.^[66] Wäre all das nicht geschehen, es hätte die Anerkennung der wissenschaftlichen Leistungen Hermann Staudingers nicht gemindert, die Polymerwissenschaft nicht aufgehalten,^[67] und es hätte auch dem Chemie-Nobelpreis 1953 keinen Abbruch getan.

Man muss Roald Hoffmanns und Pierre Laszlos tiefesinniges Essay über Fritz Haber und jene Zeit lesen,^[68] um die tiefe Tragik und Verflechtung von Wissenschaft und Menschlichkeit im Spannungsfeld von Politik und Gesell-

schaft erfassen zu können. Was wissen wir heute wirklich noch von solchen Zwängen der Unfreiheit der Wissenschaft? Was können wir tun, um auch in unserer Zeit, für unsere Zeit etwas davon zu verstehen? Kein geringerer als Roald Hoffmann^[68] stellt und beantwortet diese Frage aus eigenem Erleben – nicht damals, jetzt, 2001! Ich möchte seine Antwort hier – und ich bitte den Autor um Verständnis und Verzeihung – in etwas varierter Form als Schlussbemerkung zu diesem wissenschaftspolitischen Teil unserer Jubiläumsfeier für den Nobelpreis 1953 wiedergeben: „*Die meisten von uns sind auch als Hochschullehrer tätig und verantwortlich. In dieser Funktion müssen wir etwas Beseres versuchen als die traditionelle Beschreibung der technischen Erfolge. Wir müssen über den Wissenschaftler reden, die historische Gestalt und die Person. Und wir müssen uns einmischen, wo unsere Kompetenz gefordert ist!*“^[69,70]

Literatur, Erläuterungen und ketzerische Bemerkungen

[1] Zugegeben: abgeschrieben! Diese so treffliche Unterüberschrift stammt von L. Jaenike, Universität Köln, und er verwendet sie zum gleichen Anlass. Da sein Beitrag in einer biochemischen Zeitschrift erschien und der Graben zur Polymerwissenschaft noch immer nicht recht geschlossen ist, zitiere ich hier und versuche damit, nicht nur mein Überschriften-Plagiat zu rechtfertigen, sondern auch das Interesse auf einen fantastischen, sachlich kritischen und philosophisch menschlichen Beitrag über H. Staudinger zu lenken: L. Jaenike, *BIOspektrum* **2003**, 9, 601–604.

[2] a) Zeigt das folgende Dokument die Promotionsurkunde seiner Majestät



des letzten deutschen Kaisers? Natürlich nicht! Da aber damals alles, was auch immer geschah, von „Kaisers Gnaden“ war, prangte sein Name auch über Hermann Staudingers Promotionsurkunde von 1903 (das Original dieser Kopie der Promotionsurkunde befindet sich im Archiv der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, M. AUGUSTI A. MDCCCCIII; das Thema der Doktorarbeit war „*Anlagerung des Malonesters an ungesättigte Verbindungen*“) – historische Gepflogenheiten haben ihre eigene Wertigkeit.

b) H. Morawetz, *Polymers: The Origins and the Growth of a Science*, Wiley-Interscience, New York, **1985**. Ein Buch, wissenschaftlich exakt geschrieben, in dem die Fußnoten genauso lesenswert sind wie der Text. Herbert Morawetz sagt in der Einleitung, dass er jedes seiner 1042 Literaturzitate in der Originalsprache selbst gelesen hat, solange er ihrer mächtig war – und Herbert Morawetz ist als nach den USA zwangsemigrierter, hochgebildeter Prager und Mitteleuropäer vielsprachig. Nicht vielen Wissenschaftlern würde ich diese Aussage abkaufen, bei ihm tue ich es blind. Das lange vergriffene Buch wurde endlich bei Dover Publications neu aufgelegt.

c) Herbert Morawetz ist Professor für Polymer Science und einer der frühen Mitstreiter von Herman Mark am 1946 gegründeten Institute of Polymer Research am Polytechnic Institute of Brooklyn (heute: of New York).

[3] „Über die Darstellung von Isopren aus Terpenkohlenwasserstoffen“: H. Staudinger, H. W. Klever, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* **1911**, 44, 2212.

[4] „Über Polymerisation“: H. Staudinger, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* **1920**, 53, 1073.

[5] a) „Über die Hydrierung des Kautschuks und über seine Konstitution“: H. Staudinger, J. Fritschi, *Helv. Chim. Acta* **1922**, 5, 785–806; b) „Schwierigkeiten bei der Durchsetzung des Polymerbegriffs – ein Essay“: H. Morawetz, *Angew. Chem.* **1987**, 99, 95–100; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1987**, 26, 93–97.

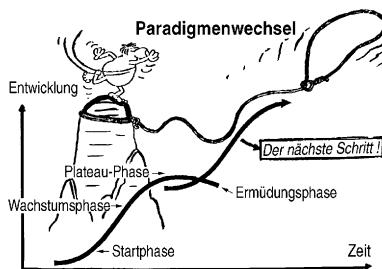
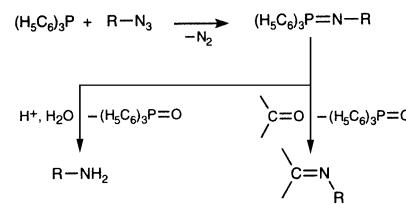
[6] Nur zur Erinnerung: Die Begriffe Polymere und Kolloide wurden bereits im 19. Jahrhundert geprägt, „polymeric“ von J. J. Berzelius und „colloides“ von T. Graham (J. J. Berzelins, *Jahresber. Fortschr. Phys. Wissensch.* **1833**, 12, 63; T. Graham, *Philos. Trans. R. Soc. London* **1861**, 151, 183). Sieht man sich die Definitionen und Beispiele dafür nebeneinander an, macht das den damaligen Konflikt verständlich, den erst Hermann Staudinger auflöste. Zur Klasse der „colloidal substances“ wurden nämlich bereits im vorletzten Jahrhundert schon als Hochpolymere bezeichnete Verbin-

- dungen wie Kautschuk, Zellulose, Stärke und synthetische Harze gerechnet; vgl. hierzu: H. Morawetz in Lit. [2b], S. 5 und 47. Wie sehr auch Hermann Staudinger direkt mit den Kolloiden verbunden blieb, belegt sein 1941 nochmals herausgegebenes Buch: H. Staudinger, *Organische Kolloidchemie*, Vieweg, Braunschweig, **1941**.
- [7] H. Staudinger, *From Organic Chemistry to Macromolecules: A Scientific Autobiography based on My Original Papers*, Wiley-Interscience, New York, **1970** (übersetzt von J. Fock und M. Fried). Das Buch – die deutsche Ausgabe erschien schon 1961 (H. Staudinger, *Arbeitsrinnerungen*, Hüthig, Heidelberg, **1961**), d.h. noch zu Staudingers Lebzeiten – enthält als Abschluss seinen Nobelpreisvortrag vom 11. Dezember 1953 in Stockholm. Die englische Ausgabe wird mit einem Vorwort von Herman F. Mark eingeleitet, das so herzlich, umsichtig und weitblickend geschrieben ist, dass man es getrost als Jubiläumsbeitrag für „Fünfzig Jahre Nobelpreis Staudinger“ hätte drucken können.
- [8] C. Priesner, H. Staudinger, H. Mark und K. H. Meyer: *Thesen zur Größe und Struktur der Makromoleküle*, Verlag Chemie, Weinheim, **1980**.
- [9] Y. Furukawa, *Staudinger, Carothers and the Emerge of Macromolecular Chemistry*, University of Pennsylvania Press, Pennsylvania, **1998**.
- [10] C. Tanford, J. Reynolds, *Proteins versus Polymers: History needs Revising*, The Chemical Intelligencer, Juli **1999**, S. 24–27.
- [11] „Protein Chemists Bypass the Colloid/Macromolecule Debate“: C. Tanford, J. Reynolds, *Ambix* **1999**, 46, 33–51.
- [12] „Aus den frühen Tagen der Makromolekularen Chemie“: H. F. Mark, *Naturwissenschaften* **1980**, 67, 477.
- [13] Weit davon entfernt, eine kritisch vergleichende Übersicht über Nobelpreise geben zu wollen, möchte ich doch je zwei Beispiele für Nobelpreise in Medizin, Physik und Chemie mit – nach meiner Meinung – unterschiedlicher Wirkungsbreite und unterschiedlicher wissenschaftlicher Bedeutung nennen. In der Medizin: 1908 für Paul Ehrlich und Ilya Metschnikow „in Anerkennung ihrer Arbeiten über die Immunität, der die moderne Chemotherapie zu verdanken ist“, 1911 für Alvar Gullstrand „für seine Arbeiten über die Dioptrik des Auges“; in der Physik: 1903 für Henri Becquerel „for his discoveries of spontaneous radioactivity“ sowie für Pierre Curie und Marie Curie „for their joint researches on the phenomena discovered by H. Becquerel“, 1906 für Joseph J. Thomson „for his theoretical and experimental investigation of the con-

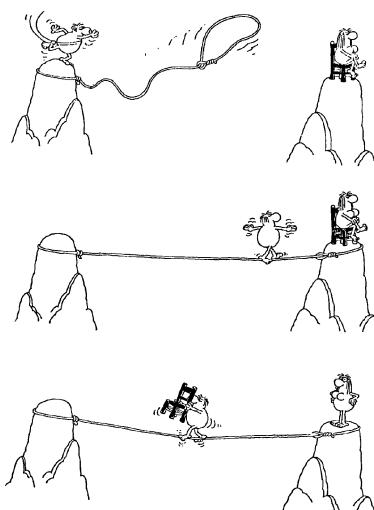
ductivity of electricity by gases“; in der Chemie: 1953 für Hermann Staudinger „for his discoveries in the field of macromolecular chemistry“, 1912 für Victor Grignard „for the discovery of the Grignard reagent“.

- [14] T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2. Aufl., University of Chicago, Chicago, **1970**: Fortschritt in der Wissenschaft vollzieht sich nicht kontinuierlich, nicht durch lineare Ansammlung neuer Fakten, sondern durch revolutionäre Prozesse. Diese induzieren den Vorgang, bei dem bestehende Erklärungsmodelle (Paradigmen) abgelöst und durch neue Konzepte ersetzt werden – es findet ein Paradigmenwechsel statt. Zwei Bilder mögen Paradigmenwechsel in der Wissenschaft illustrieren. Bild 1: Der Aufbruch

Abspaltung zu Phosphanimiden (Iminophosphoranen). Diese können, in einer der Wittig-Reaktion analogen Umsetzung, mit Carbonylverbindungen zu Iminen (Azomethinen, Schiff-Basen) umgesetzt werden, die wiederum zu Aminen hydrolysiert werden können. Mit dieser Reaktion lassen sich also unter relativ milden Bedingungen aus Aziden Amine herstellen.



zum nächsten Schritt; Bild 2: Wissenschaftler beim Aufbruch zu neuen Zielen: Materialwissenschaft oder Biowissenschaft, das ist hier die Frage. Es ist verblüffend, wie gut G. Mordillo, der argentinische Karikaturist, Polymerchemiker kennt



- wissenschaft, das ist hier die Frage. Es ist verblüffend, wie gut G. Mordillo, der argentinische Karikaturist, Polymerchemiker kennt
- [15] Staudinger-Reaktion (siehe Gleichung): Die Reaktion von organischen Aziden mit Phosphanen führt unter Stickstoff-

- [16] Die Intensität von verbalen und schriftlichen Kontroversen der damaligen Zeit ist heute kaum noch vorstellbar. Ein besonders extremes Beispiel ist die große gegenseitige Aversion von H. Staudinger und K. H. Meyer. Hierbei war H. Staudinger nicht zimperlich. Man muss aber auch in Meyers Lehrbuch^[16a] lange suchen, bis man auf Seite 32 Staudinger erstmals zitiert findet, und viele seiner Arbeiten tauchen unter „ferner liefern“ auf. a) K. H. Meyer, *Natural and Synthetic High Polymers*, 2., überarbeitete und ergänzte Aufl., Interscience Publisher, New York, **1950**. b) Auch Herbert Morawetz geht in Lit. [2], S. 97, auf dieses Buch ein, allerdings auf die erste Ausgabe, die von H. Staudinger vehement angegriffen worden war.

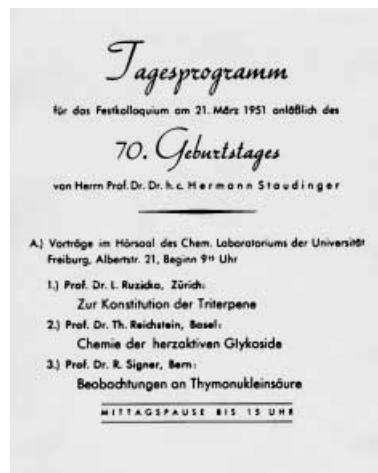
- [17] a) Reine Phantasie? Nicht so ganz: Ich hatte 1958 – nach meiner Diplmandenzeit bei Hermann Staudinger am Institut für Makromolekulare Chemie in Freiburg und von Polymerwissen noch wenig belastet – als Doktorand von Elfriede Husemann, der Nachfolgerin von H. Staudinger, das wirkliche Vergnügen, drei Vormittage pro Woche als „Privatassistent“ bei Hermann Staudinger zu arbeiten und ihm beim Ausarbeiten seiner *Arbeitsrinnerungen*^[7] und auch seiner vier USA-Vorträge zu helfen. Die Originaldias dieser Vorträge sind heute noch in Mainz.
b) Es war zeitlich direkt im Umfeld der Nobelpreisverleihung 1953, dass stabförmige Polymere – außer für die DNA^[20a] – auch beim Helix-Knäuel-Übergang von Polypeptiden nachgewiesen wurden: L. Pauling, R. B. Corey, H. R. Branson, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **1951**, 37, 205; P. Doty, A. M. Holtzer, J. H. Bradbury, E. Blout, *J. Am. Chem. Soc.* **1954**, 76, 493 – detailliert nachzulesen bei H. Morawetz in

- Lit. [2], S. 231–234. Bis Hermann Staudingers steife synthetische Makromoleküle hergestellt werden konnten, dauerte es allerdings noch etwas länger, z.B. „Dendronized Polymers: Recent Progress in Synthesis“: D. Schlüter, *Macromol. Chem. Phys.* **2003**, *204*, 328.
- [18] „Ein Jahrhundertdatum – 1902. Das Geburtsjahr der Peptidchemie“: L. Jaenicke, *Chem. Unserer Zeit* **2002**, *36*, 338.
- [19] „The Physical Chemistry of the Proteins“: E. J. Cohn, *Physiol. Rev.* **1925**, *5*, 349.
- [20] a) Zwei der Mitarbeiter von H. Staudinger, die ursprünglich mit ihm über Terpene gearbeitet haben, erhielten den Nobelpreis vor ihm: L. Ruzicka erhielt 1939 zusammen mit A. Butenandt den Chemie-Nobelpreis „for his work on polymethylenes and higher terpenes“, Thaddäus Reichstein, der 1922 bei Staudinger promoviert hatte und danach Assistent bei L. Ruzicka war, erhielt 1950 (zusammen mit Kendall und Hench) den Medizin-Nobelpreis „for their discoveries relating to the hormones of the adrenal cortex, their structure and biological effects“. Viel direkter mit Staudingers Nobelpreis 1953 und noch mehr mit der jetzt 50 Jahre zurückliegenden Entschließung der DNA-Struktur durch Watson und Crick verbunden ist Rudolf Signer (Universität Bern), einer der Mitarbeiter von Staudinger aus den 1920er Jahren: Er wäre 2003 hundert Jahre alt geworden! Sein Beitrag zur Aufklärung der DNA-Struktur ist fast vergessen und taucht in der Literatur der entscheidenden Phase nicht auf! Man kann heute eindeutig sagen, dass ohne seine Vorleistungen die Aufklärung der DNA-Struktur zum mindesten 1953 noch nicht möglich gewesen wäre. In der Zeit bei Staudinger waren die von Signer zusammen mit J. Hengstenberg durchgeführten Arbeiten über die röntgenographische Untersuchung von Polyoxymethylenfraktionen für den Beweis entscheidend, dass die Elementarzelle eines Makromoleküls viel kleiner sein kann als das Molekül selbst. Diese röntgenografische Leistung und die ihr zugrunde liegende Geräteerfahrung wären eigentlich eine perfekte Ausgangsbasis für die Entdeckung und Deutung der Doppelhelix gewesen. Denn es waren Rudolf Signers hoch gereinigte DNA-Proben, die in den Labors von Maurice H. Wilkins und Raymond Gosling zu den DNA-Beugungsmustern führten, die Watson und Crick ihre Deutung erlaubten. Die offizielle wissenschaftliche Welt hat diesen essenziellen Beitrag von R. Signer fast völlig vergessen. Er wird nicht zitiert, obwohl Maurice Wilkins in sei-

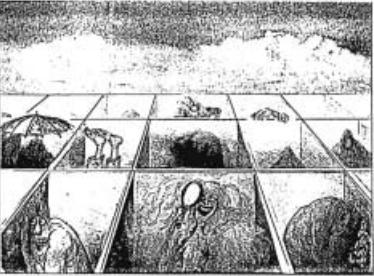
nem Nobel-Vortrag vom Dezember 1962 den Tatbestand in seltener Klarheit und in höchster Anerkennung für R. Signer formulierte. Er beschreibt, wie beeindruckend für ihn war, dass er aus dem DNA-Gel von den Signerschen DNA-Proben Fasern wie ein Spinnennetz ziehen konnte. Er gab die Proben an Raymond Gosling weiter und betont in seinem Nobel-Vortrag (M. H. F. Wilkins, *Angew. Chem.* **1963**, *75*, 429–439): „Gute Beugungsbilder erhielten wir auch von einer DNS, die Signer und Schwander isoliert hatten und die Signer 1950 zu einer Tagung der Faraday-Society über Nucleinsäuren nach London mitbrachte und dort großzügig verteilt, so daß jeder sie mit seiner Technik untersuchen konnte.“ In diesem Nobel-Vortrag zitiert Maurice Wilkins auch die beiden folgenden Arbeiten von Signer und Mitarbeitern: „109. Isolierung hochmolekularer Nucleinsäure aus Kalbsthymus“: R. Signer, H. Schwander, *Helv. Chim. Acta* **1949**, *32*, 853; „Molecular Shape and Size of Thymonucleic Acid“: R. Signer, T. Caspersson, E. Hammarsten, *Nature* **1938**, *141*, 122. In seiner *Nature*-Arbeit ziehen R. Signer und Mitarbeiter aus ihren Viskositäts- und optischen Untersuchungen unter anderem den Schluss, dass DNA in Lösung die Gestalt dünner, langer Stäbchen hat und dass die Purin- und Pyrimidinringe in Ebenen senkrecht zur Achse des Moleküls stehen. Damals – 15 Jahre vor Watson und Crick – eine revolutionäre Einsicht. Es wird wahrscheinlich immer eine offene Frage bleiben, warum R. Signer, röntgenfahrend aus der Zeit bei Staudinger, Biopolymer-interessiert und klar um die Bedeutung seiner DNA-Proben wissen, nicht selbst versucht hat, die DNA-Struktur mithilfe der Röntgenographie aufzuklären. Siehe auch: „Signer's Gift“ – Rudolf Signer and DNA“: M. Meili, *Chimia* **2003**, *57*, 735–740.

b) H. Staudinger, *Makromolekulare Chemie und Biologie*, Wepf, Basel, **1947**. In diesem Buch, das vielleicht als eine Art „Lehrbuch“ für Biologen geschrieben war, legt Hermann Staudinger seine Gedanken zur Einheit von Chemie und Biologie begeistert dar. Er spricht darin auch von Viren, Genen, Polynucleotiden, Enzymen und kristallinen Proteinen, betrachtet sie aber nur durch die Brille seiner Erfahrung mit synthetischen Polymeren (vgl. S. 49, 60) und erläutert auch zu diesem Zeitpunkt noch seine Vorstellung der langgestreckten synthetischen Fadenmoleküle (siehe beispielsweise S. 61, 103, 107). Es ist wissenschaftshistorisch sicher interessant, dass zum 70. Geburtstag von Hermann Staudinger in einem eintägi-

gen Festkolloquium am 21. März 1951 seine ehemaligen Mitarbeiter L. Ruzicka (Zürich), T. Reichstein (Basel) und R. Signer (Bern) die ersten Vorträge hielten (siehe Bild). Besonders hervzuheben ist hierbei, dass Rudolf Signer auch bei dieser Gelegenheit über seine hochgereinigten Nucleinsäuren sprach.



- [21] Sir Hans Adolf Krebs (1900–1981), Professor für Biochemie an der Oxford University; Arbeitsgebiete: Biochemie, Stoffwechselenergetik, Aufstellung des Harnstoffzyklus und des nach ihm benannten Citronensäurezyklus.
- [22] Fritz Albert Lipmann (1899–1986), Professor für Biochemie an der Harvard University; Arbeitsgebiete: das Coenzym A und seine zentrale Rolle bei der Energieübertragung in Zellen, Energie- und Synthese von Peptiden.
- [23] In *Chemical and Engineering News* vom 11. Januar 1954 wird unter „The Cover: Nobel Ceremony honors chemists“, die Nobelpreisverleihung von 1953 beschrieben: *Chem. Eng. News* **1954**, *32*(2), 162–163.
- [24] Fritz Zernike (1888–1966), Professor für Physik an der Universität Groningen.
- [25] Im Hinblick auf die parallele Entwicklung der Polymer- und der Biowissenschaft ist erwähnenswert, dass auch Herbert Morawetz' Polymerbuch ein Kapitel über „The Rise of Molecular Biology“ enthält (siehe Lit. [2], S. 197–213).
- [26] J. D. Watson, F. H. Crick, *Nature* **1953**, *171*, 737.
- [27] E. Chargaff, *Experientia* **1950**, *6*, 201–204. Sehr lesenswert ist auch, was Lothar Jaenicke zum Tod dieses Universalgenies 2002 geschrieben hat.^[28]
- [28] „Die Fackel des Erwin Chargaff und das Feuer des Heraklit fressen ihre Kinder“: L. Jaenicke, *Angew. Chem.* **2002**, *114*,

- 4387–4390; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2002**, *41*, 4213–4216.
- [29] „Human Beings“ nennt Ronald Searle, der britische Cartoonist, diese Karikatur. Ganz analog sitzen wir Wissen-
- 
- schaftler meist in den Boxen unserer Fachdisziplinen: interessiert, was nebenan vorgeht, sind wir natürlich! Aber darüber hinaus?
- [30] „Derivation of Oocytes from Mouse Embryonic Stem Cells“: K. Hübner, G. Fuhrmann, L. K. Christenson, J. Kehler, R. Reinbold, R. LaFuente, J. Wood, J. F. Strauss, M. Boiani, H. R. Schöler, *Science* **2003**, *300*, 1251.
- [31] Ein altes Sprichwort (mongolisch): „Der Frosch, der im Brunnen lebt, beurteilt das Ausmaß des Himmels, der sich darüber wölbt, nach dem Brunnengrund.“
- [32] Die Supramolekulare Chemie und die Polymerwissenschaft haben sich in der Chemie und Physik supramolekularer Systeme eigentlich schon früh verbrüdert: 1987 erhielten Donald J. Cram, Jean-Marie Lehn und Charles J. Pedersen den Chemie-Nobelpreis für die „Entwicklung und Verwendung von Molekülen mit strukturspezifischer Wechselwirkung von hoher Selektivität“ und 1988 publizierte die *Angewandte Chemie* in der Ausgabe zu ihrem hundertjährigen Bestehen neben dem Nobelpreis von Jean-Marie Lehn^[32a] auch einen Beitrag über die Molekulare Architektur von polymeren orientierten Systemen.^[32b] a) „Supramolekulare Chemie – Moleküle, Übermoleküle und molekulare Funktionseinheiten“: J. M. Lehn, *Angew. Chem.* **1988**, *100*, 91–116; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1988**, *27*, 89–112; b) „Molekulare Architektur und Funktion von polymeren orientierten Systemen – Modelle für das Studium von Organisation, Oberflächenkennung und Dynamik bei Biomembranen“: H. Ringsdorf, B. Schlarb, J. Venzmer, *Angew. Chem.* **1988**, *100*, 117–162; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1988**, *27*, 113–158.
- [33] a) *Supramolecular Polymers* (Hrsg.: A. Ciferri), Marcel Dekker, New York, **2000**; b) „Supramolecular Polymer Chemistry—Scope and Perspectives“: J.-M. Lehn in Lit. [33a], Kap. 14, S. 615–653.
- [34] *Supramolecular Materials and Technologies* (Hrsg.: D. N. Reinhoudt), Wiley-Interscience, New York, **1999**.
- [35] a) „Supramolecular Structures with Macromolecules“: U. Beginn, M. Möller in Lit. [34], Kap. 3, S. 89–107; b) „Layer-by-Layer Adsorption: The Solid Liquid Interface as a Template for the Controlled Growth of Well Defined Nano Structures of Polyelectrolytes, Proteins, DNA and Polynucleotides, Self-Production of Supramolecular Structures“: G. Decher, J. D. Hong, K. Lowaki, *NATO ASI Ser. Ser. C* **1999**, *446*, 267; c) „Smart Inorganic/Organic Nanocomposite Hollow Microcapsules“: D. G. Shchukin, G. B. Sukhorukov, H. Möhwald, *Angew. Chem.* **2003**, *115*, 4610–4613; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2003**, *42*, 4472–4475; d) „Nanocomposites of Hairy Rod Macromolecules: Concepts, Constructs, and Materials“: G. Wegner, *Macromol. Chem. Phys.* **2003**, *204*, 347–357.
- [36] Die Kolloidchemie hat längst – auch in Deutschland – wieder den ihr zukommenden Platz gefunden und ist heute – wie zu Beginn – wesentlicher Teil der Polymerwissenschaft und vitaler denn je. a) Zur Erinnerung zwei historische Quellen, von denen die zweite auch das beständige Interesse Hermann Staudingers an Kolloiden bestätigt: W. Ostwald, *Die Welt der vernachlässigten Dimensionen*, 10. Aufl., Steinkopf, Leipzig, **1927**; H. Staudinger, *Organische Kolloidchemie*, 3. Aufl., Vieweg, Braunschweig, **1950**; b) „90 Years of Polymer Latexes and Heterophase Polymerization: More Vital Than Ever“: M. Antonietti, *Macromol. Chem. Phys.* **2003**, *204*, 207; c) „Polymerization in Inverse Microemulsions“: F. Candal in *Comprehensive Polymer Science*, Vol. 4 (Hrsg.: J. C. Eastmond, A. Ledwith, S. Russo), Pergamon, Oxford, **1989**, Kap. 13, S. 225.
- [37] Man könnte die Zukunft der modernen Polymerwissenschaft auch etwas ironischer formulieren: Der klassische Teil ist Basiswissenschaft wie Organik oder Anorganik, wesentliche Teile sind längst Materialwissenschaft geworden, und die neuesten Entwicklungen verschwinden gerade im alles verschlingenden Moloch der Nanotechnologie, die man – bevor auch sie dann doch von den Materialwissenschaften geschluckt werden wird – noch rasch mit der Vorsilbe „Bio“ als Lebensretter versieht.
- [38] a) *Polymeric Biomaterials* (Hrsg.: S. Dumitriu), 2., überarbeitete und ergänzte Aufl., Marcel Dekker, New York, **2002**, 1168 Seiten (!); b) *Synthetic Biodegradable Polymer Scaffolds* (Hrsg.: A. Atala, D. J. Mooney, J. Vacanti, R. S. Langer), Birkhäuser, Boston, **1997**; c) „The His-
- tory of Tissue Engineering Using Biodegradable Synthetic Polymer Scaffolds and Cells“: B. E. Chaignard, R. S. Langer, J. Vacanti in Lit. [38b], S. 1–14.
- [39] Es war kein Geringerer als Herman Mark, der sich 1981 zum 100. Geburtstag von Hermann Staudinger Gedanken über die Zukunft der Polymerwissenschaft machte. In seinem Essay „Makromolekulare Chemie heute – bejahrte Wurzeln, neue Zweige“ spricht er unter anderem von „stabilisierten Zellen“ und der „Synthese einer Zelle“ als Fernziele. Eine mögliche Zusammenarbeit von Polymerwissenschaft und Zellbiologie diskutierend schreibt Herman Mark: „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?“: H. F. Mark, *Angew. Chem.* **1981**, *93*, 309–310; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1981**, *20*, 303–304.
- Und noch viel früher, nämlich 1959, schrieb J. Lederberg schon fast einen Beitrag zu diesem Essay über den 50. Jahrestag des Nobelpreises für Hermann Staudinger: „If the ingenuity and craftsmanship so successfully directed at the fabrication of organic polymers for the practical needs of mankind were to be concentrated on the problem of constructing a self-replicating assembly along these lines I predict that the construction of an artificial molecule having the essential function of primitive life would fall within the grasp of our current knowledge of organic chemistry“ („A View of Genetics“, J. Lederberg, *Science* **1960**, *131*, 275). Was für ein Kompliment für uns Polymerchemiker und welcher Glaube an uns. Diese Veröffentlichung basiert auf Lederbergs Vortrag anlässlich der Verleihung des Medizin-Nobelpreises 1958 an ihn. H. Morawetz zitiert diesen Gedankensprung von J. Lederberg auch in seinem Buch über die Historie der Polymerwissenschaft (Lit. [2], S. 213).
- [40] „Polymers and Biomimicry“: V. Percec, C. H. Ahn, W. D. Cho, A. M. Jamieson, J. Kim, M. Schmidt, M. Gerte, M. Möller, *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, *120*, 8619–8631.
- [41] „Engineered Biopolymers“: K. Dizio, D. A. Tirell, *Macromolecules* **2003**, *36*, 1553–1558.
- [42] „Bioactive Polymers“: J. L. West, J. A. Hubbel in Lit. [38b], S. 83–96.

- [43] a) „Influencing Receptor–Ligand Binding Mechanisms with Multivalent Ligand Architecture“: J. E. Gestwicki, C. W. Cairo, L. E. Strong, K. A. Oetjen, L. L. Kiessling, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 14922–14933; b) „Epoxidation of Polybutadiene by a Topologically Linked Catalyst“: P. Thordarson, E. Bijsterveld, A. Rowan, R. Nolde, *Nature* **2003**, *424*, 915–918.
- [44] a) „Inhibition of Cell Adhesion to Fibronectin by Oligopeptide Substituted Polynorbornenes“: H. D. Maynard, S. Y. Okada, R. H. Grubbs, *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123*, 1275–1279; b) „Nanocontainers Distribute to Defined Cytoplasmic Organelles“: R. Savic, L. Luo, A. Eisenberg, D. Maysinger, *Science* **2003**, *300*, 615–616.
- [45] „Polymerosomes: Tough Vescicles Made from Diblock Copolymers“: B. M. Discher, Y. Y. Won, D. S. Ege, J. Lee, F. S. Bates, D. E. Discher, D. Hammer, *Science* **1999**, *284*, 1143–1150.
- [46] a) „Polymerization and Domain Formation in Lipid Assemblies“: B. Armitage, D. E. Bennett, H. G. Lamparski, D. F. O'Brien, *Adv. Polym. Sci.* **1996**, *126*, 53–84; b) „Attempts to Mimic Docking Processes of the Immune System: Recognition Induced Formation of Protein Multilayers“: W. Müller, H. Ringsdorf, E. Rump, G. Wildburg, X. Zhang, L. Angermaier, W. Knoll, M. Liley, J. Spinke, *Science* **1993**, *262*, 1706–1708; c) „Ultrathin Organic Films: Molecular Architecture for Advanced Optical, Electronic and Bio-Related Systems“: H. Fuchs, H. Ohst, W. Prass, *Adv. Mater.* **1991**, *3*, 10–18; d) „Preformed Polymers for Langmuir–Blodgett Films—Molecular Concepts“: F. Embs, D. Funhoff, A. Laschewsky, U. Licht, H. Ohst, W. Praß, H. Ringsdorf, G. Wegner, R. Wehrmann, *Adv. Mater.* **1991**, *3*, 25–31; e) „Specific Interaction of Proteins with Functional Lipid Monolayers—Ways of Simulating Biomembrane Processes“: M. Ahlers, W. Müller, A. Reichert, H. Ringsdorf, J. Venzmer, *Angew. Chem.* **1990**, *102*, 1310–1327; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1990**, *29*, 1269–1285.
- [47] „From Macromolecules to Biological Assemblies“: A. Klug, *Nobel Lectures, Chemistry 1981–1990* (Hrsg.: A. G. Frängsmye, B. G. Malström), World Scientific, London, **1992**, S. 77; A. Klug, *Angew. Chem.* **1983**, *95*, 579–596; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1983**, *22*, 565–582; siehe auch Lit. [39].
- [48] „The Dawning Era of Polymer Therapeutics“: R. Duncan, *Nat. Rev. Drug Discovery* **2003**, *2*, 347–360.
- [49] a) „Macromolecular Therapeutics. Advantages and Prospects with Special Emphasis on Solid Tumour Targeting“: K. Greish, J. Fang, T. Inutsuka, A. Nagamitsu, H. Maeda, *Clin. Pharmacokinetic* **2003**, *42*, 1089–1105.
Vergleicht man die Überschriften von Lit. [48] und [49a], fällt auf, dass sich wieder mit „Polymer Therapeutics“ und „Macromolecular Therapeutics“ „Polymere“ und „Makromoleküle“ gegenüberstehen – wie zu den alten Staudinger-Zeiten –, allerdings weniger politisch eingefärbt. Man muss der Exaktheit wegen den Begriff polymere Therapeutika akzeptieren, denn er schließt sinnvoll neben klassischen Polymersystemen auch polymere Micellen und polymervariierte Liposomen ein. Hier würde sich wieder Magda Staudinger freuen (siehe Lit. [65]), da für sie unter Makromolekülen nur hauptkettenverknüpfte Riesenmoleküle zu verstehen waren – wissenschaftlich exakt, aber bei ihr politisch eingefärbt. Der Begriff Polymer Therapeutics wurde 1996 von Ruth Duncan in einer Übersichtsarbeit geprägt („The Role of Polymer Conjugates in the Diagnosis and Treatment of Cancer“: R. Duncan, S. Dimitrijevic, E. G. Evagoron, *S.T.P. Pharma Sciences* **1996**, *6*, 237–263). Er hat sich in der Zwischenzeit auch für die ebenfalls 1996 begonnenen Tagungen „International Symposia on Polymer Therapeutics“ in Großbritannien und Japan eingebürgert und wird in dem von Hiroshi Maeda et al. herausgegebenen Buch^[49b] im Beitrag von A. Kabanov und T. Okano (S. 1) „Challenges in Polymer Therapeutics“ im gleichen Sinne von Ruth Duncan klar definiert und verwendet.
b) *Polymer Drugs in the Clinical Stage. Advantages and Prospects* (Hrsg.: H. Maeda, A. Kabanov, K. Kataoka, T. Okano), Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, **2003**; c) *Self-Assembling Complexes for Gene Delivery* (Hrsg.: A. V. Kabanov, P. L. Felgner, L. W. Seymour), Wiley-VCH, Weinheim, **1998**.
- [50] a) „HPMA Copolymer–Anticancer Agents: Design, Activity, and Mechanism of Action“: J. Kopecek, P. Kopeckova, T. Minko, Z. Lu, *Eur. J. Pharm. Biopharm.* **2000**, *50*, 61–81; b) „Doxorubicin–Polymer Conjugates: Further Demonstration of the Concept of Enhanced Permeability and Retention“: F. M. Muggin, *Clin. Cancer Res.* **1999**, *5*, 7–8.
- [51] a) „Phase I Clinical and Pharmacokinetic Study of PK1 (HPMA Copolymer Doxorubicin): First Member of a New Class of Chemotherapeutic Agents–Drug–Polymer Conjugates“: P. Vasey, S. Kaye, R. Morrison, C. Twelves, P. Wilson, R. Duncan, R. Thomson, J. Cassidy, *Clin. Cancer Res.* **1999**, *5*, 83–94; b) „Polymer Conjugates for Tumour Targeting and Intracytoplasmic De-
- livery. The EPR Effect as a Common Gateway“: R. Duncan, *Pharm. Sci. Technol. Today* **1999**, *2*, 441–449.
[52] Eine Reihe von Arbeiten über polymere Therapeutika sind bereits in Lit. [38a] zitiert, z.B.: „Systematic Cancer Therapy using Polymer-Based Prodrugs and Progenes“ von L. W. Seymour, S. 843; „Anticancer Drug Conjugates with Macromolecular Carriers“ von F. Kratz, A. Warnecke, K. Riebesee, P. Rodriguez, S. 851; „Enzyme-Prodrug Therapy of Cancer“ von R. J. Knox, R. G. Melton, R. Satchi, S. 895–927; „Recent Developments in Drug Delivery to the Nervous System“ von D. Maysinger, R. Savic, A. Eisenberg, S. 1083–1099.
[53] Es hat Freude gemacht, den Chemie-Nobelpreis 2003 noch in dieses Essay einbauen zu können. Es ist fast so, als hätte das Nobel-Komitee mitmachen wollen bei der Feier für Hermann Staudingers wissenschaftliche Leistungen und seine Träume von der Bedeutung der Polymerwissenschaft in der Biologie anlässlich der 50. Wiederkehr der Verleihung des Chemie-Nobelpreises an ihn. Peter Agre und Roderick MacKinnon erhielten den Chemie-Nobelpreis 2003 für Arbeiten zur Membranfunktion von Polymeren – zugegeben: noch sind es natürliche Proteine. Bei P. Agre ging es um die Entdeckung von Wasserkanälen in Zellen und bei R. MacKinnon um strukturelle und mechanistische Studien an Ionenkanälen. In der Begründung heißt es: „Die Entdeckungen geben einen fundamentalen molekularen Einblick in die Funktionsweise von Zellen.“ Nicht viele Chemiker und sicher noch weniger Polymerwissenschaftler haben mit diesem Nobelpreis 2003 auf der Basis dieser Ergebnisse gerechnet. Aber er wird das Interesse von uns Chemikern an Zellmembranprozessen eventuell neu entfachen oder intensivieren!
[54] Zugegeben: Ganz so frei spielen sich Lehre und Forschung auch heute nicht ab. Kriege werden noch immer geführt, Bio- und Chemiewaffen sowie Atombomben noch „vorsorglich“ gehütet. Landminen werden zwar wissenschaftlich mit Sensoren aufgespürt, aber noch in einigen Ländern eifrig hergestellt – wahrscheinlich sind sogar beide Prozesse staatlich/militärisch gefördert. Doch anders als früher ist es oft nicht mehr die Diktatur der Politik, sondern manchmal die Diktatur der Wirtschaft. Aus einer entfesselten Marktwirtschaft, aus uneingeschränktem Laissez-faire-Kapitalismus erwachsen neue Probleme. In dieses Geflecht einer industriellen Entwicklung, die auf Kurzfristigkeit setzt, ist die Forschung eingebunden – trotz ihrer immanenter Notwendigkeit zur

intuitiven und langfristigen Arbeit, die nicht so recht zu den oft nur Shareholder-Value-getriebenen Globalisierungstendenzen passt. Die Börse fordert gnadenlos das kurzfristige Erreichen gestellter – oft nur formaler – Ziele ein und degradiert damit weite Bereiche der Forschung und Entwicklung in Industrie und Hochschule zu einem Kurzzeitvergnügen unserer Fun-Gesellschaft.

- [55] U. Deichmann, *Flüchten, Mitmachen, Vergessen. Chemiker und Biochemiker in der NS-Zeit*, Wiley-VCH, Weinheim, 2001. Wem das Buch zu dick, der Stoff zu fremd, die Materie zu alt zu sein scheint, sei auf die Veröffentlichung von U. Deichmann in der *Angewandten Chemie* hingewiesen: U. Deichmann, *Angew. Chem.* **2002**, *114*, 1364–1383; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2002**, *41*, 1310–1328. In der Zusammenfassung dieses Beitrags schreibt die Autorin: „... die nach dem Krieg verbreitete Haltung des ‚Vergessens‘ der zwölf Jahre nationalsozialistischer Herrschaft ... verzögerte den Anschluss der zurückgefallenen Forschungsgebiete an das internationale Forschungsniveau.“ Das bezieht sich – in ihrer Arbeit ausführlich belegt – speziell auf die Biochemie und Molekularbiologie. Wie das Essay von Roald Hoffmann^[68] so sollte – nach meiner Meinung – auch diese Arbeit Pflichtlektüre in einer der Vorlesungen der Chemie sein. Dies ist kein antideutscher Beitrag, sondern ganz klar ein Versuch, wieder einmal darauf hinzuweisen, dass wir Wissenschaftler aus all unseren Fehlern lernen müssen. Wir alle wissen: „Die, die nicht aus der Historie lernen, sind verdammt, sie zu wiederholen.“
- [56] *Science in the Twentieth Century* (Hrsg.: J. Krige, D. Pestre), Harwood Academic Publishers, 1997. Das Buch beschreibt nicht nur die Entwicklung von Wissenschaftsbereichen im 20. Jahrhundert in verschiedenen Ländern, sondern es geht auch auf das Zusammenspiel von Wissenschaft und kulturellen Aspekten, Industrie- und Staatsinteressen ein. Es zeigt dabei, wie immer wieder in Kriegen und bei politischen Konflikten militärische Geldgeber die wissenschaftlichen Entwicklungen vorantreiben. Nationale Unterschiede sind hierbei kaum oder gar nicht festzustellen. Haben wir aus der Geschichte immer noch zu wenig gelernt? „Der Krieg ist der Vater aller Dinge!“ Gilt denn dieses berühmte und unselige Wort von Heraklit (550–490 v. Chr.) noch immer?
- [57] H. Kahlert, *Chemiker unter Hitler*, Bernhardus Verlag, Grevenbroich, 2001.
- [58] Für diejenigen, die hier nicht weiterlesen wollen, weil ihrer Meinung nach alles von gestern und alles gesagt sei, sei nur darauf hingewiesen, dass das ja auch für die Wissenschaft gilt, die wir gerade röhmen. Ist sie wesentlicher? Das zu häufige Beschweigen der Vergangenheit^[55] an den deutschen Hochschulen in genau den fünfzig Jahren, von denen wir hier reden, hat es mit sich gebracht, dass z.B. erst im Jahre 2000 die Max-Planck-Gesellschaft (MPG) zwei Bände über die Geschichte ihrer Vorgängerin, der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, im Nationalsozialismus herausgegeben hat.^[59] Nicht zuletzt deswegen so spät, weil unter Adolf Butenandt (1903–1995) als MPG-Präsident (1960–1971) eine kritische, reflektierende Diskussion über das Dritte Reich nicht möglich war, und das nicht nur, weil sein Nachlass (Briefe etc.) im Archiv der MPG noch bis zum Jahr 2025 (!) gesperrt ist.^[60] Butenandt erhielt 1937 zusammen mit L. Ruzicka – einem Mitarbeiter Staudingers aus der Zürcher Zeit – den Chemie-Nobelpreis.
- [59] *Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektive der Forschung* (Hrsg.: R. Rürup, W. Schieder), Wallstein-Verlag, Göttingen, 2000 (herausgegeben im Auftrag der Präsidenten-Kommission der MPG).
- [60] In Lit. [59], Band 1, S. 210.
- [61] „Ein Chemiker zur Friedensdiskussion. Hermann Staudinger zu Technik und Politik“: H. Sachsse, *Nachr. Chem. Tech. Lab.* **1984**, *32*, 974.
- [62] Hermann Staudinger, *Vom Aufstand der technischen Sklaven*, Hans V. Cahmir, Essen, 1947.
- [63] „Hermann Staudinger und die makromolekulare Chemie in Freiburg. Dokumente zur Hochschulpolitik 1925–1955“: C. Priesner, *Chem. Unserer Zeit* **1987**, *21*, 151.
- [64] L. Jaenicke, *BIOspektrum* **2001**, *7*, 45.
- [65] Magda Staudinger hat noch bis zum Ende ihres Lebens aus Liebe zu ihrem Mann und seinen Hauptvalenz-verknüpften Makromolekülen gegen den Begriff „Polymere“ gewettert. Formal hatte sie insofern Recht, als dieser aus dem Altgriechischen übernommene Begriff (polys = viele, meros = Teile) natürlich genauso auf Kolloide, Liposomen und Kristalle angewendet werden kann. Nach meiner Meinung ging es einer Frau ihres Stolzes und ihrer überzeugten Haltung in diesem Fall allerdings weniger um fachlich formale, als um menschlich emotionale Aspekte (vgl. auch Lit. [61, 63]).
- [66] Eine ausführliche Historie der Zeitschrift *Macromolecular Chemistry and Physics* wurde, eingewoben in die Entwicklung der Polymerwissenschaft, zum 60. Geburtstag der Zeitschrift veröffentlicht: „The 60th Anniversary of the First Polymer Journal (Die Makromolekulare Chemie‘): Moving to New Horizons“: I. Meisel, R. Mühlhaupt, *Macromol. Chem. Phys.* **2003**, *204*, 199–206.
- [67] In den USA gab Herman Mark schon 1945 die Zeitschrift *Polymer Bulletin* heraus, die 1946 in *Journal for Polymer Science* umgetauft wurde. Im gleichen Jahr gründete er am Polytechnic Institute of Brooklyn das Institute of Polymer Research. In Europa erschien ab 1947 *Die Makromolekulare Chemie* unter der Leitung von Hermann Staudinger und in Frankreich startete im gleichen Jahr in Straßburg Charles Sadron das Centre de Recherches sur les Macromolecules.
- [68] „Fritz Habers düstere literarische Schatten“: R. Hoffmann, P. Laszlo, *Angew. Chem.* **2001**, *113*, 4733–4739; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2001**, *40*, 4599–4604.
- [69] Heute geht es sicher nicht mehr darum, Hitler zu bekämpfen. Unsere jetzige Bereitschaft dazu kommt zu spät! Uns, die damals Jungen und heute Alten, wird die heutige junge Generation fragen, ob wir etwas gelernt und unsere Verantwortung als Wissenschaftler für die Gesellschaft heute ernst genommen haben. Oder haben auch wir sie wieder im Übereifer der Fachlichkeit und Geschäftigkeit ersticken lassen? Bisweilen habe ich Angst, dass wir Naturwissenschaftler doch noch zu wenig bereit sind, uns einzumischen. Noch immer treffen wir uns in friedlichen und neutralen Zeiten auf Tagungen in vielen Ländern und klopfen uns wohlwollend und anerkennend auf die Schultern. Wird es dann ernst, oder auch nur etwas ernster, dann ziehen wir uns zurück in unsere Labors, betreiben „reine“ Wissenschaft – auch wenn draußen die Schornsteine der menschlichen – der sozialen wie politischen – Ungerechtigkeit rauchen! Und dennoch: „Optimismus ist Pflicht. Wir alle sind mitverantwortlich für das was kommt!“^[70] Und was kommt? Fast wie zur Erläuterung veröffentlichte *Science* im September und Oktober 2003 unter „News of the Week“ zwei kurze Notizen: „IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Under Fire for Withdrawing Iranian Members‘ Benefits“ (*Science* **2003**, *301*, 1646) und „U.S. License Needed to Edit Iranian Papers“ (*Science* **2003**, *302*, 210). Kann es wirklich wahr sein, was Y. Bhattacharjee im Oktoberheft von *Science* 2003 schreibt: „The U.S. Department of Treasury has ruled that scientific journals based in the United States cannot edit papers submitted by authors from Iran unless they have the government‘s permission. The policy, described in a letter sent last week to the Institute of Electrical and Electronics

Engineers (IEEE), stems from rules prohibiting U.S. organizations from engaging in trade with Iran. Although the trade embargo has been in place since 1997, the 1 October letter is the first time Treasury has spelled out how it would affect publishers.“ Ich kann mir einfach

nicht vorstellen, dass die chemischen Gesellschaften und die entsprechenden Verlage in den USA bei dieser Sache mitmachen werden! Nicht weniger seltsam allerdings mutet es auch an, wenn man sieht, dass „auf der anderen Seite der Kontroverse“ jedes Heft des *Iranian*

Polymer Journals die Überschrift „In the Name of Allah“ trägt.
 [70] K. Popper, *Alles Leben ist Problemlösen. Über Erkennen, Geschichte und Politik*, Piper, München, 1996.

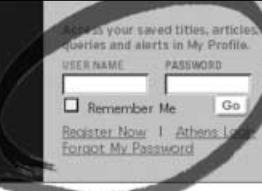


**WILEY
InterScience®**

DISCOVER SOMETHING GREAT

Access some of the finest full text journals, reference works, books, and databases from around the globe. It's just what you need to make some important discoveries of your own.

[ABOUT US](#) [VIEW DEMO](#) [CONTACT US](#) [HELP](#)



Manage your access easily with “MY PROFILE”

Key features available to registered users include:

Easy Access

- Save Titles, Articles & Queries for quick access
- Setup roaming access to access content outside of your institutions network
- Get free online sample copies
- Get free online trial subscriptions
- View a complete list of your subscriptions and accessible products

Enhanced Tools

- Set E-Mail Alerts when new content is available
- Purchase individual articles online with Pay-Per-View
- Purchase Article Select Tokens online
- Track your manuscripts

Register now and sign up for “MY PROFILE”! Registration is fast and free!



www.interscience.wiley.com



**WILEY
InterScience®**

DISCOVER SOMETHING GREAT