

# Marcelin Berthelot als erster Polymerforscher des neunzehnten Jahrhunderts

Prof. Dr. Dietrich Braun, Jakob-Jung-Str. 56, 64291 Darmstadt

Marcelin (auch Marcellin) Pierre Eugène Berthelot (1827 – 1907) war einer der vielseitigsten und bedeutendsten französischen Chemiker des 19. Jahrhunderts. Er veröffentlichte über 1500 Arbeiten zur synthetischen organischen und zur physiologischen Chemie, über Thermochemie und Explosivstoffe sowie zu den Ursprüngen der Alchemie und wirkte bis zu seinem Tode als akademischer Lehrer und Forscher in Paris, war aber zeitweise auch französischer Unterrichts- und Außenminister. Heute weitgehend vergessen ist, dass Berthelot 1863 für das Entstehen von hochmolekularen Stoffen durch Polyreaktionen den Begriff „transformation polymérique“ einführte, aus dem später im Deutschen das Wort Polymerisation wurde. Aus experimentellen Untersuchungen entwickelte er erste Vorstellungen über den Ablauf von Polymerisationsreaktionen und wurde damit zum ersten Polymerforscher des neunzehnten Jahrhunderts und Vorgänger der um 1920 von Staudinger begründeten makromolekularen Chemie.

Jöns Jakob Berzelius prägte um 1831 den Begriff „Isomerie“ und bezeichnete als isomere Stoffe (damals Körper genannt) solche, die bei verschiedener Struktur gleiche Elementarzusammensetzung und gleiche Molmasse besitzen. Wenig später führte er das Wort „Polymerie“ in die Chemie ein<sup>1</sup>, konnte aber zu dieser Zeit nicht ahnen, dass er damit den Grundbegriff der erst viel später entstandenen Polymerchemie schuf. Berzelius bezeichnete Substanzen als polymer, die bei gleicher Elementarzusammensetzung verschiedene Eigenschaften und damit unterschiedliche Molekülgröße besitzen. Das Wort Polymerie bürgerte sich rasch ein; so heißt es in einem englischen Wörterbuch<sup>2</sup> um 1863/68:

“Bodies are said to be polymeric when they have the same percentage composition, but different molecular weights; the olefins  $C^nH^{2n}$  for example ...”<sup>3</sup>

Der Begriff Polymerie wurde zunächst allerdings oft sehr formal benutzt, so dass z. B. sogar Milchsäure  $C_3H_6O_3$  gelegentlich als ein Polymeres des Formaldehyds ( $CH_2O$ ) bezeichnet wurde. Erst Berthelot<sup>4</sup> beschränkte den Begriff Polymerie auf solche „Körper, die durch die Vereinigung mehrerer gleichartiger Moleküle zu einem einzigen entstehen“. Er erkannte aber auch, „dass die gesättigten Verbin-

dungen wie das Sumpfgas (Methan) zu keiner Polymerie fähig sind, sondern nur diejenigen, welche mit dem Wasserstoff, dem Chlorwasserstoff u.s.w. Additionsprodukte bilden können“. Er nannte dafür als Beispiele Acetylen, Ethylen, aber auch Aldehyde und „überhaupt die unvollständigen (ungesättigten) Verbindungen“. Zunächst gab es aber keine Vorstellungen, wie die mit dem Begriff der Polymerie verbundene „Vereinigung mehrerer gleichartiger Moleküle“ zu Stoffen unterschiedlicher Molekülgröße ablaufen könnte. Zwar stammt die erste Beschreibung einer (im heutigen Sinne) Polymerisationsreaktion schon aus dem Jahre 1839 von Eduard Simon, einem Berliner Apotheker. Er erhielt bei der Destillation von Storax, dem Balsam eines in Kleinasien und in Mittelamerika beheimateten Baumes, ein Öl, das er Styrol nannte,<sup>5</sup> dessen Struktur aber erst 1866 von Emil Erlenmeyer<sup>6</sup> aufgeklärt wurde. Simon beobachtete auch bereits den „Übergang“ des Styrols beim Aufbewahren an der Luft und beim Einwirken von Licht oder Wärme in eine gummiartige bis glasige Substanz, die er Styroloxyd nannte.

Diesen Befund bestätigten 1845 John Blyth und August Wilhelm Hofmann.<sup>7</sup> Sie erkannten aber, dass die „Metamorphose“ des Styrols in ein Harz im Gegensatz zur Meinung von Simon ohne Aufnahme von Sauerstoff erfolgte, denn sie fanden die gleichen Elementarzusammensetzungen für das eingesetzte Styrol und das Simonsche Styroloxyd, weshalb sie dieses Metastyrol nannten. Sowohl Simon als auch Blyth und Hofmann beobachteten auch schon die Rückbildung von Styrol beim vorsichtigen Erhitzen des Metastyrols, im heutigen Sinne also dessen Depolymerisation. Etwa gleichzeitig entstanden weitere Arbeiten, in denen nach heutiger Terminologie Polymerisationsreaktionen beschrieben werden. So beschrieb Henri Victor Regnault 1838 Vinylidenchlorid als unstabile Flüssigkeit, die sich bei längerem Aufbewahren trübte und eine nicht-kristalline Substanz abschied, die er als isomere Modifikation bezeichnete.<sup>8</sup>

1860 machte A. W. Hofmann eine ähnliche Beobachtung mit Vinylbromid, wobei er vermutete, dass das Produkt dieser „Metamorphose“ ein Ether aus Allylalkohol und Bromwasserstoff sein könnte.<sup>9</sup> 1872 hielt Eugen Baumann<sup>10</sup> die Polymerisation von Vinylchlorid und Vinylbromid durch Sonnenlicht als deren Überführung in „isomere Körper“. Wie sich aus diesen und weiteren ähnlichen Untersuchungen ergibt, wurden damals erst viel später als Polymerisationen bezeichnete Reaktionen als Isomerisierungen, Modifikationen oder Metamorphosen bezeichnet, ohne dass damit eine Vorstellung von den ablaufenden Vorgängen verbunden war. Keiner der Autoren erkannte damals, dass es sich in allen diesen Fällen um die Umwandlung von Monomeren in höher- oder gar hochmolekulare Polymere handelte.

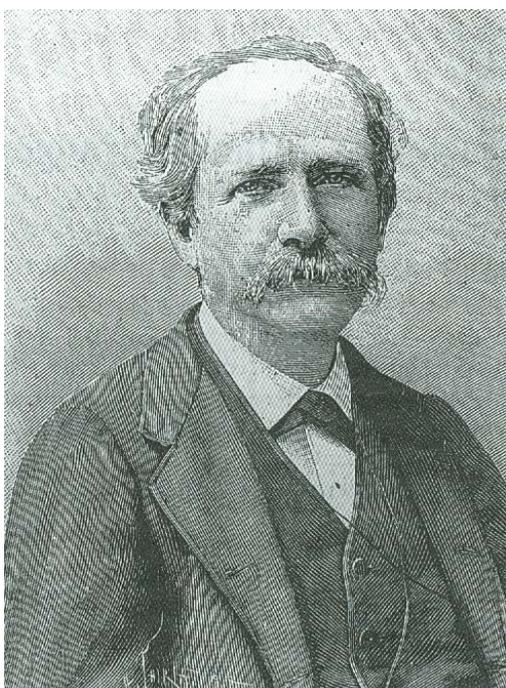


Abb. 1: Marcelin Berthelot (um 1895), aus: Jean Jacques, *Berthelot: autopsie d'un mythe* (Paris 1987), S. 228.

Der erste, der sich genauer mit dem Wesen und dem Ablauf solcher Reaktionen beschäftigte, war Marcelin (manchmal auch Marcellin geschrieben) Berthelot, einer der vielseitigsten und produktivsten französischen Chemiker des 19. Jahrhunderts. Auf die Bedeutung von Berthelot für die Polymerforschung finden sich nur wenige Hinweise in der Literatur: Hermann Staudinger erwähnt in seinen Schriften Berthelot nicht. Paul Flory<sup>11</sup> und Yasu Furukawa<sup>12</sup> nennen die „transformation polymérique“ nur als Quelle des Begriffs Polymerisation. Lediglich Herbert Morawetz<sup>13</sup> würdigt in seiner bis heute unübertroffenen Polymergeschichte die Arbeiten von Berthelot ausführlich.

## Marcelin Berthelot

Marcelin Berthelot wurde als Sohn eines Arztes am 25. Oktober 1827 in Paris geboren. Er schloss das Studium der Medizin und der Naturwissenschaften im Juli 1849 in Paris ab und legte im April 1854 seine Dissertation „*Mémoire sur les combinaisons de la glycerin avec les acides et sur la synthèse des principes immédiats des graisses des animaux*“ (Über die Verbindungen des Glycerins mit Säuren und zur Synthese der tierischen Fette) vor. Es folgte eine rasche akademische Karriere: Von 1859 bis 1876 war er Professor für organische Chemie an der École Supérieure de Pharmacie und besaß außerdem seit 1865 einen Lehrstuhl am Collège de France. 1873 wurde er Mitglied der Französischen Akademie der Wissenschaften, seit 1889 war er deren ständiger Sekretär als Nachfolger von Louis Pasteur. Daneben bekleidete Berthelot auch bedeutende politische Ämter in Frankreich: 1876 erhielt er einen unbefristeten Sitz im französischen Senat, von 1886-1887 war er französischer Erziehungsminister und 1895-1896 Außenminister. Er starb am 18. März 1907 in Paris. Das wissenschaftliche Werk von Ber-

thelot ist in über 1500 Veröffentlichungen und etwa 20 Büchern niedergelegt. Eduard Färber<sup>14</sup> hat die Hauptarbeitsgebiete und die dazu erschienenen zusammenfassenden Bücher in fünf Kapitel gegliedert:

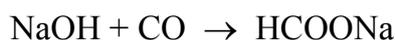
1. Synthesen organisch-chemischer Verbindung
2. Chemische Gleichgewichte und Reaktionsmechanismen
3. Thermochemie
4. Physiologische Chemie
5. Arbeiten zur Geschichte der Chemie, besonders der Alchemie

### **Berthelot und die Vis Vitalis**

Vermutlich gab seine Dissertation den ersten Anstoß, dass Berthelot sich dem von Friedrich Wöhler eingeleiteten Paradigmenwechsel über das Entstehen organischer Substanzen anschloss. Bekanntlich herrschte noch am Anfang des 19. Jahrhunderts die Meinung, dass in der Natur vorkommende organische Stoffe zu ihrem Entstehen der Mitwirkung einer sogenannten Lebenskraft (*vis vitalis*) bedürfen. Erst mit der Synthese zahlreicher in der Natur vorkommender Substanzen, so z. B. des Harnstoffs aus Ammoniumcyanat durch Friedrich Wöhler 1828



wurde diese Lehrmeinung nach und nach aufgegeben, woran Berthelot mit seinen Arbeiten zur künstlichen Herstellung organischer Substanzen zweifellos erheblichen Anteil hat. Seine auch technisch zum Herstellen der Ameisensäure genutzte Synthese des Natriumsalzes der Ameisensäure (Natriumformiat) aus Kohlenoxid und Ätznatron



öffnete 1855 einen industriellen Weg zur Ameisensäure, die bis dahin nur aus Ameisen durch eine Art trockene Destillation zugänglich war. Berthelot bestritt in seinem Buch „*Chimie Organique fondée sur la Synthèse*“ (Paris 1860) endgültig die Existenz einer *vis vitalis*: „La force vitale n'est point nécessaire pour former les substances organiques.“

## Synthetische organische Chemie

Im Jahre 1877 veröffentlichte Berthelot in der Reihe „*Internationale wissenschaftliche Bibliothek*“ eine Zusammenfassung seiner Vorstellungen von der organischen Chemie, ihrer Entwicklungsgeschichte und über die Klassifikation organischer Stoffe, ohne hierbei allerdings systematisch auf seine Untersuchungen über die „*transformation polymérique*“ einzugehen.<sup>15</sup> (s. dazu weiter unten).

Von seinen zahlreichen Arbeiten zur Synthese organischer Stoffe seien hier nur die erwähnt, die in Zusammenhang mit der Polymerforschung von besonderer Bedeutung sind:

1862: Herstellung von Acetylen im Kohlelichtbogen mit Wasserstoff: die Versuchsanordnung hat als Berthelotsches Ei Eingang in die Literatur gefunden und befindet sich im Deutschen Museum in München (Abb. 2)

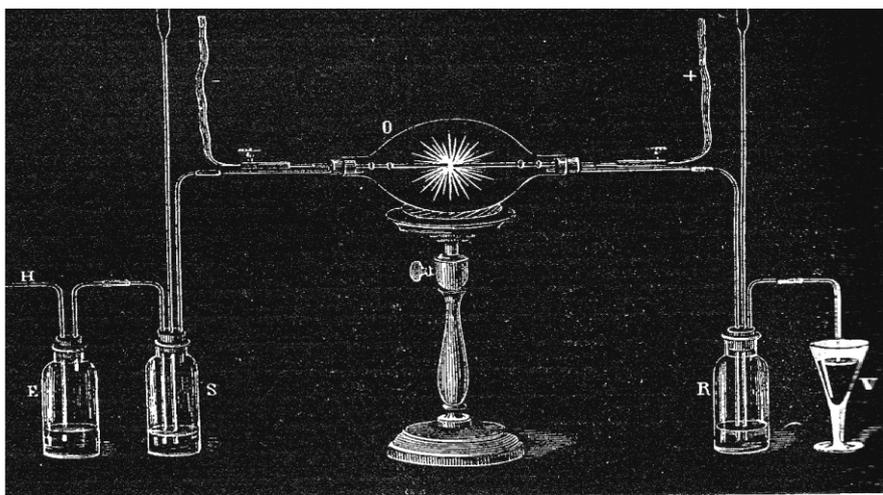


Abb. 2: Berthelots Apparat zur Synthese von Acetylen im Kohlelichtbogen.<sup>14</sup>

1867: Styrolsynthese aus Benzol und Ethylen in glühenden Röhren

1869: Styrol durch Pyrolyse von Ethylbenzol, was man als Vorgänger des heutigen technischen Prozesses ansehen kann

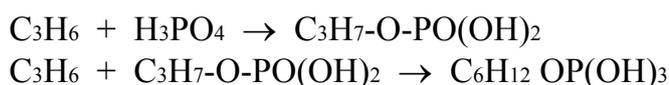
Neben der schon erwähnten Direktsynthese von Ameisensäure sei an die Arbeiten von Berthelot zum Herstellen von Ethanol aus Ethylen, von Methanol aus Methan und von Benzol aus Acetylen erinnert.

## M. Berthelot als erster Polymerchemiker

Wie bereits erwähnt, gehört Berthelot aus heutiger Sicht zu den weitgehend vergessenen Pionieren der makromolekularen Chemie. Er diskutierte am 27. April 1863 in einem später veröffentlichten Vortrag in Paris erstmals das Verknüpfen organischer Moleküle durch Polymerisationen, wobei er das „Verharzen“ von Styrol durch Hitze oder mit Schwefelsäure als „transformation polymérique“, bezeichnete.<sup>16</sup> Später untersuchte er die aus heutiger Sicht kationische Polymerisation von Penten und von Pinen genauer und folgerte daraus, dass alle Substanzen, die Wasserstoff, Chlor oder Wasser addieren können, auch in der Lage sein sollten, sich an ihre eigenen Moleküle anzulagern. Zugleich sagte er voraus, dass ungesättigte Alkohole oder Säuren (für die er keine Beispiele kannte) polymerisieren könnten. Er machte aber keine Angaben über die Zahl der möglichen Anlagerungsschritte, da die Addition von zwei (nach heutiger Nomenklatur) ungesättigten Molekülen wieder zu ungesättigten Produkten und damit von zum weiteren Polymerisieren fähigen Stoffen führen müsse. Bei der kationischen Polymerisation von Ethylen erhielt er eine als Hexadecen bezeichnete Substanz, die er wohl als erster „Polyethylen“ nannte. Als erster erörterte Berthelot auch verschiedene Möglichkeiten zum Auslösen von Polymerisationen, z. B. durch Wärme, aber auch durch die „Wirkung einer gleichzeitigen chemischen Reaktion“ (was man heute als Kettenstart mit Hilfe von Initiatoren oder Katalysatoren ansehen könnte) oder unter dem Einfluss eines „nascent state“ (nach Joseph Priestley, der damit die erhöhte Reaktivität von Wasserstoff im Moment seiner Entstehung/Freisetzung bezeichnet hatte); dafür könnte man heute bei (Berthelot natürlich noch unbekanntem) radikalisch verlaufenden Polymerisationen den Start durch aus Initiatoren wie Peroxiden, aliphatischen Azoverbindungen oder Redoxsystemen entstehende Radikale ansehen.

Übrigens beobachtete Berthelot auch schon Möglichkeiten zum Beschleunigen oder Unterdrücken von Polymerisationsreaktionen, z. B. dass der thermische Übergang von Styrol in Metastyrol, das er ohne Begründung als Dimeres des Styrols ansah, durch Schwefelsäure oder Alkali beschleunigt und durch Jod oder Schwefel inhibiert wird. Bei der von Berthelot genauer untersuchten Polymerisation von Penten oder von Pinen mit sehr kleinen Mengen Bortrifluorid reagiert nach seinen Vorstellungen die aus Bortrifluorid mit Feuchtigkeit entstandene Säure zuerst exotherm mit der ungesättigten Verbindung; die dabei freigesetzte Wärme löst dann unter weiterer Temperaturerhöhung das Anlagern von benachbarten Molekülen aus, so dass sich der Prozess durch die Masse „wie ein Feuer fortpflanzt“, was man heute als eine Kettenreaktion bezeichnen würde. Die Polymerisation von Propylen mit Phosphorsäure besteht nach Berthelot im ersten Schritt in der Bildung eines Phosphorsäureesters, der dann mit einem weiteren

Propylenmolekül zum Dimeren reagiert. Da dieses Dimere wieder eine Doppelbindung enthält, kann sich die Reaktion unter Kettenverlängerung fortsetzen. Berthelot macht hierzu keine weiteren Angaben. Er konnte damals aber auch noch nicht wissen, dass die wachsende Kette bei derartigen, in heutiger Nomenklatur als kationisch bezeichneten Polymerisationen in der Regel durch Protonenübertragung abgebrochen wird und sich die Reaktionskette (nicht die einzelne wachsende Kette) durch Start mit einem anderen Proton fortpflanzt, so dass es sich also nicht um eine „lebende“ Polymerisation handelt. Berthelot formuliert die Auslösung der Polymerisation von Propylen (in heutiger Schreibweise):

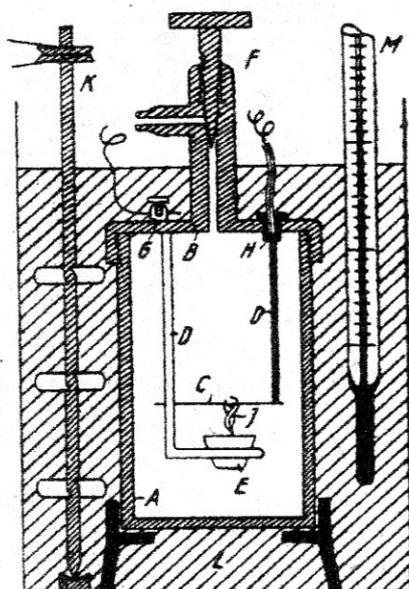


Peter H. Plesch<sup>17</sup> hat rund 100 Jahre später unter Bezug auf Berthelot ein allgemeines Schema dieser Reaktion (auch ohne Kettenabbruch bzw. Kettenübertragung) formuliert:



Rückblickend kann man also mit den heutigen Kenntnissen die Vorstellungen von Berthelot zum Wesen der Polymerisation als Kettenreaktion mit Start und Wachstum interpretieren. Natürlich bleibt die Frage offen, warum Berthelot nicht dazu Stellung genommen hat, wie viele Anlagerungsschritte aufeinander folgen können, ehe die Reaktion zum Stillstand kommt. Allerdings muss man dabei berücksichtigen, dass nach damaligen Kenntnissen die Zahl der Anlagerungen (die wir heute den Polymerisationsgrad nennen würden) nicht sehr groß sein konnte, da direkte Molekulargewichtsbestimmungen zu Zeiten von Berthelot noch nicht möglich waren und destillativ nur die ersten Glieder von polymerhomologen Reihe getrennt werden konnten. Mit der fraktionierenden Destillation hat Berthelot aber auch schon die erst viel später von Staudinger postulierte und bewiesene molekulare Uneinheitlichkeit von Polymeren beobachtet, ohne sich allerdings der Tragweite dieses Befunds bewusst gewesen zu sein. Insofern hat Berthelot mit seinen Arbeiten aber schon gezeigt, dass polymere (nach Staudinger makromolekulare) Stoffe molekularuneinheitliche Gemische und nach der heutigen Definition keine chemisch einheitlichen „Verbindungen“ sind.

Später hat sich Berthelot auch mit thermochemischen Untersuchungen an Polymeren befasst. Von ihm stammen die Begriffe „endotherm“ und „exotherm“. Er konstruierte ein Kalorimeter (Berthelotsche Bombe) (Abb. 3), dessen Prinzip noch heute angewandt wird. Aus dem Vergleich der Verbrennungswärmen von Penten und seinem Dimeren und Trimeren berechnete er das Inkrement für eine CH<sub>2</sub>-Einheit und folgerte daraus, dass Methylen nicht beständig sein könne.



### Kalorimetrische Bombe nach Berthelot (1881)

- A = Bombe
- B = Deckel
- C = Pt-Draht
- D = Stromzuführung
- E = Schale
- F = Ventil für O<sub>2</sub>
- G, H = Anschlußklemmen
- J = Baumwollfaden
- K = Rührer
- L = Wasser
- M = Beckmann-  
Thermometer

Abb. 3: Kalorimeter („Berthelotsche Bombe“)<sup>18</sup>

Zusammenfassend gehören die Arbeiten Berthelots auf dem Polymergebiet sicher zu den Meilensteinen auf dem Weg zum Makromolekül.<sup>19</sup> Auf ihn geht nicht nur der Begriff der Polymerisation für das Verknüpfen mehrerer oder vieler gleichartiger ungesättigter Moleküle zu heute nach Staudinger als Makromoleküle bezeichneten „Riesenmolekülen“ zurück, sondern er entwickelte bereits erste Vorstellungen über das Auslösen von Polymerisationsreaktionen und beobachtete die Polymolekularität synthetischer hochmolekularer Stoffe. Berthelot war zu seiner Zeit wohl einer der angesehensten und auch ein international vielfach geehrter französischer Chemiker. Er wurde 1882 ausländisches Mitglied der Friedensklasse des preußischen Ordens Pour le merite; 1883 erhielt er die Davy-Medaille der Royal Society. Bei der Feier zu seinem 50jährigen Doktorjubiläum war Deutschland durch Emil Fischer, Carl Engler und Carl Dietrich Harries vertreten.

Von den zu diesen Ehrungen veranstalteten Festlichkeiten sind keine Bilder bekannt, doch findet sich in einer italienischen Geschichte der Chemie aus dem Jahre 1984 eine Comic-Zeichnung, in der einige Leistungen Berthelots gewürdigt werden, allerdings fehlt auch hier ein Hinweis auf seine Bedeutung als Polymerforscher.



Abb. 4: Ehrung von M. Berthelot.<sup>20</sup> Linker Kasten: In den folgenden Jahren synthetisierte ein französischer Chemiker im Labor Alkohol, Methan, Benzol, Acetylen und viele andere Substanzen. Rechter Kasten: Dank Ihnen, Berthelot, ist der Übergang zwischen organischen und anorganischen Substanzen kein verbotenes Abenteuer mehr“ (gemeint ist seine Ablehnung der Annahme einer Lebenskraft (*vis vitalis*) in organischen Stoffen)



Abb. 5: Marcelin Berthelot (Büste von Auguste Rodin)<sup>21</sup>

Berthelots letzte Lebensjahre waren überschattet vom plötzlichen Tod seines Sohnes bei einem Eisenbahnunfall im Jahre 1904 und dem vermutlich dadurch verursachten Herzleiden seiner Frau, dem sie am 18. März 1907 erlag. Er folgte ihr nur wenige Stunden später am gleichen Tag. Die französische Regierung veranlasste durch ein Sondergesetz, das zum ersten Mal die Beisetzung einer Frau im Panthéon erlaubte, die gemeinsame Bestattung von Marcelin Berthelot und seiner Frau Sophie Niaudet (1837 - 1907). Eine Büste Berthelots von Auguste Rodin befindet sich in der Carlsberg Glyptothek in Kopenhagen (Abb. 5).

## Summary

Marcelin Berthelot (1827- 1907) was one of the most famous and creative French chemists of the 19th century. He published more than 1500 papers and about 20 books on synthetic organic und physiological chemistry, thermochemistry and explosives and on the early history of chemistry. Until his death he was an academic teacher in Paris and served in two French governments as Minister of Foreign Affairs and Minister of Education. Nowadays it is mostly forgotten, that Berthelot was the first chemist who called the formation of polymers “transformation polymérique”, which later-on became the origin of the term polymerization. On basis of experimental investigations he developed first ideas on initiation and growth of polymerization processes that can be considered as one of the early milestones in macromolecular chemistry.

- <sup>1</sup> Jöns Jakob Berzelius, Jahresbericht über die Fortschritte der physikalischen Wissenschaft, 12 (Tübingen 1833), S. 63.
- <sup>2</sup> Henry Watts, A Dictionary of Chemistry and Applied Branches of Other Sciences, Vol. 4 (London 1866).
- <sup>3</sup> Yasu Furukawa, Inventing Polymer Science – Staudinger, Carothers, and the Emergence of Macromolecular Chemistry (Philadelphia 1998), S. 12.
- <sup>4</sup> Marcelin Berthelot, Die chemische Synthese (Leipzig 1877), S. 62 f.
- <sup>5</sup> Eduard Simon, „Über den flüssigen Storax (Styrax liquidus)“, Liebigs Annalen, 31 (1839), S. 265.
- <sup>6</sup> Emil Erlenmeyer, „Studien über die s. g. aromatischen Säuren“, Liebigs Annalen, 137 (1866), S. 353.
- <sup>7</sup> John Blyth, Augsut Wilhelm Hofmann, „Über das Styrol“, Liebigs Annalen, 53 (1845), S. 289.
- <sup>8</sup> Henri Victor Regnault, “De l’Action du Chlore sur la Liqueur des Hollandais et sur le Chlorure d’ Aldéhydène”, Annales de chimie et de physique, [2], 69 (1838), S. 152.
- <sup>9</sup> August Wilhelm Hofmann, „Metamorphose des einfach-bromürten Aethylens“, Liebigs Annalen, 115 (1860), S. 271.
- <sup>10</sup> Eugen Baumann, „Über einige Vinylverbindungen“, Liebigs Annalen, 163 (1872), S. 312.
- <sup>11</sup> Paul J. Flory, Principles of Polymer Chemistry (Ithaca London 1953), Chapter I., S. 3-28.
- <sup>12</sup> Furukawa, Inventing Polymer Science, S. 18.
- <sup>13</sup> Herbert Morawetz, Polymers – The Origins and Growth of a Science (New York 1985), S. 18-21.

- <sup>14</sup> Eduard Färber, „Berthelot“, in: Das Buch der großen Chemiker, hrsg. von Günther Bugge (Berlin 1930), Band II, S. 190-199.
- <sup>15</sup> Marcelin Berthelot, Lecons de chimie professées en 1864 et 1865, Société chimique de Paris (Paris 1866), S. 18-65, S. 148-167.
- <sup>16</sup> Ebenda.
- <sup>17</sup> P[eter] H. Plesch, The Chemistry of Cationic Polymerisation (Oxford London New York Paris 1963), S. 213.
- <sup>18</sup> John Eggert, Lehrbuch der physikalischen Chemie in elementarer Darstellung, 7. Auflage (Leipzig 1948), S. 390.
- <sup>19</sup> Dietrich Braun, „Der lange Weg zum Makromolekül“, Chemie in unserer Zeit, 46 (1912), S. 310.
- <sup>20</sup> Cinzia Ghigliano, Luca Novelli, Storia della Chimica a fumetti (Geschichte der Chemie in Comic Strips) (Milano 1984).
- <sup>21</sup> [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Marcellin\\_Berthelot&oldid=616403717](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Marcellin_Berthelot&oldid=616403717)