

100 Jahre Bakelit: das Material für 1000 Anwendungen**

Daniel Crespy,* Marianne Bozonnet und Martin Meier

Baekeland, Leo Hendrik · Bakelit · Phenolformaldehyd · Wissenschaftsgeschichte

Einleitung

„Inzwischen werden die natürlichen Harze ... von einer Vielfalt chemisch produzierter Kunstharze oder harzartiger Stoffe ersetzt, die eindeutig bessere Eigenschaften als die natürlichen Materialien aufweisen.“

Aus einer Rede von Leo H. Baekeland, 1932.

Am 13. Juli 1907, also vor rund hundert Jahren, reichte Leo Hendrik Baekeland^[1] ein Patent zur Aufbereitung eines Produkts ein, das einen enormen Einfluss auf die Entwicklung der Technik und der Kunststoffe ausüben und unser alltägliches Leben für immer verändern sollte.^[2] Dieses Patent markierte den Übergang in das „Kunststoff-Zeitalter“, weil darin mit Bakelit der erste synthetische Kunststoff beschrieben wurde. Ziel des Erfinders, Leo Hendrik Baekeland (1863–1944, Abbildung 1), war es, ein Material zu entwickeln, das in vielen verschiedenen

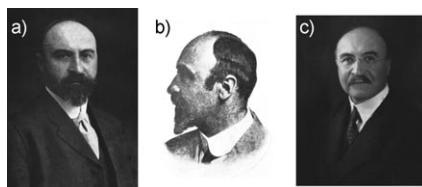


Abbildung 1. Leo Hendrik Baekeland a) 1904, b) 1916, bei der Verleihung der Perkin-Medaille in New York, und c) 1935.^[1]

Bereichen des täglichen Lebens nutzbringend eingesetzt werden konnte. Bakelit war nicht nur der erste synthetische Kunststoff, sondern es ließ sich auch in größeren Mengen herstellen und formen. Es wurde sehr früh auch als Matrix für Verbundstoffe eingesetzt.

Hier werden wir die Etappen bis zur Synthese der ersten unschmelzbaren synthetischen Harze, auch Duroplaste genannt, nachzeichnen. Dazu erwähnen wir frühe Arbeiten von Baekeland und anderen Chemikern und zeigen die Entwicklung der Technologien auf, welche diese Erfindung ermöglichten. Wir beleuchten, warum Bakelit-Produkte begeistert aufgenommen wurden, und gehen schließlich den Gründen für den langsam Niedergang ab Mitte der 40er Jahre nach. Heute wird im Vergleich zu anderen Kunststoffen nur wenig Phenolformaldehyd hergestellt, doch seinerzeit hatte das Bakelit einen außergewöhnlichen Einfluss auf Naturwissenschaften, Wirtschaft und Gesellschaft.

Der Weg zum Bakelit

„Hier steht, dass ich, Leo H. Baekeland, Bürger der Vereinigten Staaten, wohnhaft in Yonkers, im Westchester County des Staates New York, neue und

nützliche Verbesserungen bei den Kondensationsprodukten und der Produktionsmethode ähnlicher Materialien erfunden habe, wovon folgende Spezifikation berichtet.“

Leo H. Baekeland, 1907.^[3]

Leo Hendrik Baekeland wurde 1863 in Gent (Belgien) geboren. Er studierte Chemie und promovierte dort unter der Anleitung von Professor Théodore Swarts. Sein Doktorvater war der Nachfolger des berühmten August Kekulé, der das erste Forschungslabor für Chemie in Belgien einrichtete. Mit 21 war Baekeland bereits als Forschungsassistent an der gleichen Universität angestellt. Im Jahr 1889 bewarb er sich dann erfolgreich um ein Stipendium in den Vereinigten Staaten, wobei er gleichzeitig einen Ruf als „agrégé spécial de chimie“^[4] an der Universität Gent erhielt; diese Position behielt er während seiner Reise honoris causa bei.^[5] Noch im selben Jahr 1889 heiratete er Céline Swarts, die Tochter seines Doktorvaters, die er gerne als „seine wichtigste Entdeckung an der Universität“ bezeichnete. In den Vereinigten Staaten wollte Baekeland ein von ihm erfundenes fotografisches Verfahren weiterentwickeln. Bevor er jedoch seine Reise antrat, meldete er noch in Belgien ein Patent an, das die Entwicklung fotografischer Filme in Wasser beschrieb. Zur Ausschöpfung aller Anwendungen gründete er sogar eine eigene Firma, die aber Konkurs anmelden musste, sodass seine Eltern, die dieses Unternehmen unterstützt hatten, in große finanzielle Schwierigkeiten gerieten. Zu der Anziehungskraft, welche die Vereinigten Staaten damals ohnehin auf Europäer ausübten, könnte also bei Baekeland noch dieses private Motiv kommen.

[*] Dr. D. Crespy, M. Bozonnet
Abteilung Schutz und Physiologie
Empa, Swiss Federal Laboratories for
Materials Science and Technology
Lerchenfeldstrasse 5, 9014 St. Gallen
(Schweiz)
Fax: (+41) 712-747-762
E-Mail: daniel.crespy@empa.ch

M. Meier
Wissensmanagement und Technologie-
transfer
Empa, Swiss Federal Laboratories for
Materials Science and Technology
Lerchenfeldstrasse 5, 9014 St. Gallen
(Schweiz)

[**] Wir bedanken uns bei Dr. René Rossi und Dr. Veronika Meyer für die anregenden Diskussionen sowie bei Yvonne Metzger für das Nachzeichnen der Struktur von „Produkt B“ nach Baekeland.

Bestimmt war auch er von den USA als Wirtschaftsmacht beeindruckt. Amerika war, laut Maurois, ein von Fabriken bedecktes Land. Dort fanden Erfinder wie Morse, Bell und Edison ideale Bedingungen und einen florierenden Markt für ihre Erfindungen vor.^[6] Prof. C. F. Chandler von der Columbia Universität überzeugte Baekeland, in Amerika zu bleiben. Ab 1891 war er bei A.&H. Anthony Company, einer Firma, die Fotomaterialien entwickelte, als Chemiker angestellt.

1861 hatte Ernest Solvay, ein Landsmann von Baekeland, sein erstes Patent zur technischen Produktion von Soda eingereicht und somit ein weltweit erfolgreiches Unternehmen in der Produktion von Natriumcarbonat begründet (Firma Solvay). Laut Gillis war Ernest Solvay als Vorbild für Baekeland von großer Bedeutung.^[1]

Kurze Zeit arbeitete Baekeland als selbstständiger Berater und forschte über Fotomaterialien intensiv weiter. Im Jahre 1892 erfand er das Fotopapier Velox, wodurch man erstmals mit künstlichem Licht kopieren, Fotos schnell entwickeln und fixieren konnte. Zur Vermarktung seiner Erfindung gründete er die Nepera Chemical Company, doch die Wirtschaftskrise von 1893 setzte dieser Firma zu. Baekeland lenkte sich ab, indem er fast pausenlos an der Optimierung seiner Erfindung arbeitete.^[7] Sieben Jahre später verkaufte er das Verfahren und die Fabrikation an Eastman Kodak und strich dafür die damals unglaubliche Summe von 750000 US-Dollar ein. Nun war er das erste Mal in seinem Leben finanziell unabhängig und konnte seine ganze Zeit seinen Forschungsprojekten widmen. In Yonkers bei New York erwarb er einen Stall, den er zu einem Privatlabor ausbaute (Abbildung 2 und 3). Hier begann er intensiv zu forschen und stellte, je nach Bedarf, auch Assistenten ein. Dies war die glücklichste Zeit seines Lebens: Er war frei und konnte sich ganz seiner wissenschaftlichen Neugier und seinem Forscherdrang hingeben. Diese Phase seines Lebens erinnert uns an einen seiner Zeitgenossen, den berühmten Naturwissenschaftler Arthur Eichengrün. Auch er war durch ein bedeutendes Patent unabhängig geworden und widmete sich seither ganz der Erforschung von Celluloseacetat. Als Jude



Abbildung 2. Das Labor von Leo H. Baekeland in Yonkers.^[1]

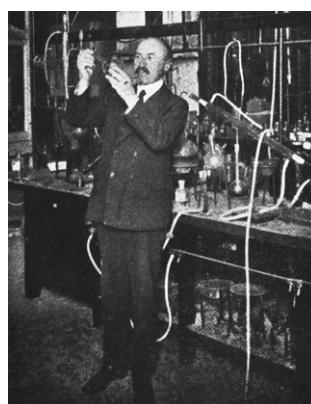


Abbildung 3. Leo Hendrik Baekeland in seinem Labor (1930).^[1]

hatte er jedoch während des Dritten Reiches ungleich größere Schwierigkeiten zu überwinden.^[8]

Nach einem kurzen Aufenthalt im Labor für Elektrochemie am Technologischen Institut in Berlin-Charlottenburg errichtete Baekeland 1904 in Zusammenarbeit mit C. P. Townsend eine Fabrik, um dessen neuartige elektrolytische Zelle zum Einsatz zu bringen.^[9]

Ab 1905 beschäftigte sich Baekeland dann intensiv mit Phenolharzen. Seine experimentellen Ergebnisse und hervorragenden Fachkenntnisse über die Forschungsarbeiten seiner Kollegen prädestinierten ihn für die Entdeckung eines Materials, das er Bakelit nannte.^[2] Die Entdeckung des Phenolformaldehydharzes selbst verdanken wir nicht Baekeland alleine. Er entwickelte jedoch als erster ein Verfahren, um dieses als widerstandsfähiges Produkt in größeren Mengen billig herzustellen. Laut Aussagen eines seiner Freunde ging es ihm dabei vorrangig darum, möglichst viel Geld zu verdienen. Baekeland

wollte ein Material als Ersatz für den damals üblichen elektrischen Isolator, Schellack, auf den Markt bringen. Schellack wird von der Lackschildlaus *Kerria lacca*, einem ostasiatischen Käfer, hergestellt, und war deshalb ziemlich teuer. Außerdem konnte die Gewinnung von Schellack mit der schnell steigenden Nachfrage nach einem billigen und effizienten Isoliermaterial nicht mithalten. Daher war das Interesse, insbesondere der Elektroindustrie, an einem alternativen Isoliermaterial sehr groß. Baekeland hatte hier eine Nische entdeckt, und seinem Bakelit öffneten sich vielversprechende Märkte und Anwendungsbereiche.

Ohne die Forschungsergebnisse seiner Kollegen hätte Baekeland den Durchbruch aber wohl nicht geschafft. Er kannte ihre Arbeiten über die Reaktionen von Aldehyd mit Phenol bis ins Detail. Dazu betrieb er umfangreiche Literaturrecherchen und wiederholte selbst viele Experimente, die in Fachzeitschriften und Patenten beschrieben waren.

Bereits 1859 synthetisierte Butlerow ein Material,^[10] das von Formaldehyd abgeleitet war und 1920 von Staudinger als Polyformaldehyd identifiziert wurde.^[11] Adolf von Baeyer wies schon 1872 nach, dass bei der Reaktion von Phenol mit Aldehyden eine farblose harzige Masse entsteht.^[12,13] Er beobachtete auch die Entstehung einer rotbraunen Masse während der Reaktion von Pyrogallol mit Bittermandelöl. Diesem Material schenkte man jedoch kein weiteres Interesse, da die Synthese sehr kostspielig war und Probleme bei der Charakterisierung auftraten. Claus und Trainer erhielten bei der Reaktion von einem Äquivalent Formaldehyd mit zwei Äquivalenten Phenol in Gegenwart von Chlorwasserstoffsäure ein lösliches Harz mit einem Schmelzpunkt von 100°C.^[14] Auch dieses Produkt wurde nicht weiter studiert, weil es nicht kristallisierbar war. Kurze Zeit später verwendete Kleeber einen Überschuss an Formaldehyd und Salzsäure und synthetisierte so ein vernetztes, unlösliches Harz.^[15] Speier setzte Ammoniak als Katalysator bei der Reaktion von Resorcin mit Formaldehyd ein, und als Produkt ergab sich ebenfalls ein unlösliches Material.^[16] Schließlich wurde jedoch Smith das Patent für Phenolharze

erteilt.^[17] Schon er schlug vor, diesen Stoff als Ersatz für Holz und Ebonit (aus Naturkautschuk und Schwefel gewonnener, besonders harter Gummi) zu verwenden, und hob auch die isolierende Wirkung des Materials hervor. Von diesem Zeitpunkt an wurden die Anwendungsmöglichkeiten des Phenolharzes immer deutlicher und somit intensivierte sich die Forschung. 1902 erhielt die Louis Blumer Company das Patent für die Herstellung von Phenolharzen.^[18] Der Chemiker Luft begann Weichmacher der Formulierung von Harzen beizumischen.^[19] Der bedeutendste Versuch vor Baekeland geht auf Henschke zurück, der ein unlösliches Harz erhielt, als er bei der Reaktion von Phenol mit Formaldehyd Natronlauge zusetzte.^[20]

Nach Thinius können die wichtigsten Resultate, die vor Baekelands Forschung publiziert wurden, folgendermaßen zusammengefasst werden:^[21] Phenol und Formaldehyd reagieren unter Zugabe einer Säure oder Base miteinander zu einem Harz. Je nach den Versuchsbedingungen kann dieses Harz löslich und schmelzbar oder ein unschmelzbarer Kunststoff (Duroplast) sein. Vor Baekelands Entdeckung setzte man Phenol mit Formaldehyd bei Temperaturen unter 100°C um. Die Reaktionen dauerten sehr lang, und infolge der Freisetzung von Formaldehydgas wurden durchweg poröse Materialien erhalten, die nicht vermarktungstauglich waren.

Baekeland war einer der ersten, die sich einen Überblick über diese Reaktionen verschafften und die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der Phenolharze erkannten. Laut Knop und Scheib^[22] geht die erste detaillierte Beschreibung der drei Phasen bei der Herstellung von Phenolformaldehydharzen auf Baekeland zurück.^[3] Für die Reaktion zwischen Formaldehyd und Phenol benutzte er eine breite Palette organischer wie anorganischer Säuren und Basen als Katalysatoren. Der Unterschied zwischen den einzelnen Säuren und Basen war gering, doch er stellte fest, dass große Basenmengen zu Materialien mit schlechten Eigenschaften führten. Baekeland unterschied zwischen drei verschiedenen Phasen bei der Herstellung von Phenolformaldehyd-Duroplast, welche die Produkte A, B

und C ergaben.^[23] A ist in vielen Lösungsmittel löslich und schmelzbar; B entsteht beim Erhitzen von A und ist in Lösungsmitteln wie Aceton quellbar. Der nicht schmelzbare Festkörper B ist bei Raumtemperatur ziemlich hart, wird aber beim Erhitzen langsam weicher und lässt sich unter Druck leicht formen. Durch Erhitzen von B entsteht während dieser letzten Phase das Produkt C, das unter Druck in eine gewünschte Form gebracht werden kann. C ist unlöslich und nicht schmelzbar, es zerfällt sich oberhalb 300°C.

Zur Herstellung von C verwendete Baekeland einen „Bakelizer“ (Abbildung 4). Schon früh zeigte er, dass sein Material – verglichen mit allen anderen

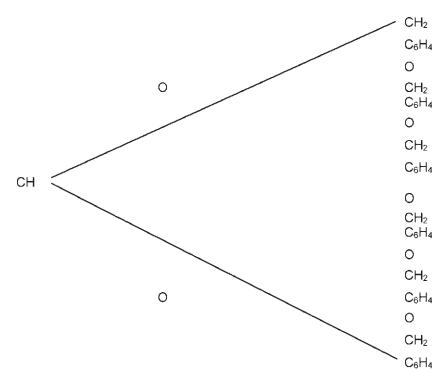


Abbildung 5. Baekelands Vorschlag zur chemischen Struktur des Produkts B. Nachgezeichnet aus Lit. [23].



Abbildung 4. Der Autoklav zur Herstellung von Bakelit in Yonkers (1907–1909).

Konkurrenten seiner Zeit – ein sehr guter elektrischer Isolator war. Er wies auch auf die Bildung von Verbundwerkstoffen aus Bakelit durch Zugabe von Sägemehl, Farbstoffen und Asbest hin.

Baekeland war sich bewusst, wie schwer eine eindeutige Charakterisierung von Bakelit war, weil es unlöslich und weder schmelz- noch verdampfbar war und nicht kristallisiert werden konnte. Trotzdem versuchte er, die Zusammensetzung des Materials zu beschreiben, und stellte sogar eine chemische Struktur für das Produkt B auf (Abbildung 5).

Auch heute unterteilt man die Reaktion von Phenol mit Formaldehyd in drei Stufen: 1) Addition von Formaldehyd an Phenol, 2) Synthese eines Prä-

polymers und 3) Vernetzung des Präpolymers. Die Struktur des Präpolymers hängt im Wesentlichen vom pH-Wert ab. Bezuglich der Polykondensation kann die Funktionalität des Monomers Phenol zwischen 1 und 3 schwanken, während diese für das Monomer Formaldehyd 2 beträgt. So wird die vollständige Vernetzung zum Phenolformaldehydpolymer bei der Zugabe von 1.5 mol Formaldehyd zu 1 mol Phenol erreicht (Abbildung 6). Für die Reaktion können auch andere Monomere verwendet werden (Abbildung 7).

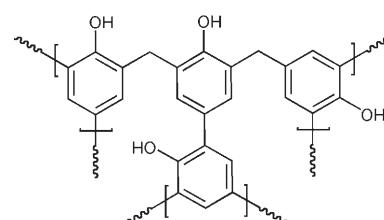


Abbildung 6. Chemische Struktur eines Phenolformaldehyd-Bakelit-Duroplasts mit vollständiger dreidimensionaler Vernetzung.

Bei den Reaktionen in Abbildung 8 wird ein Unterschuss an Formaldehyd unter sauren Bedingungen mit Phenol umgesetzt. So entstehen lineare Polymere mit geringen Molekulargewichten um 2000 g mol⁻¹. Diese „Novolake“ sind Thermoplaste und können durch Zusatz von Härtern wie Hexamethylentetramin vernetzt werden. Sie werden häufig gepulvert und in Spritzgieß- oder Kompressionsverfahren geformt.

Unter basischen Bedingungen und mit einem Formaldehyd/Phenol-Mol-

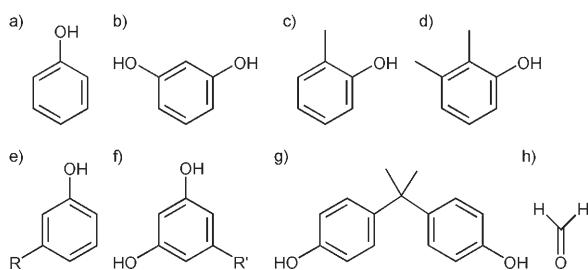


Abbildung 7. Chemische Strukturen der wichtigsten Verbindungen bei der Synthese von Phenolharzen: a) Phenol, b) Resorcin, c) m-Kresol, d) 2,3-Xylenol, e) Cardanol, f) Cardol, g) Bisphenol A, h) Formaldehyd. R und R' sind C₁₅-Kohlenwasserstoffketten, die ein oder zwei Doppelbindungen aufweisen. Nicht alle Isomere von Kresol und Xylenol sind dargestellt.

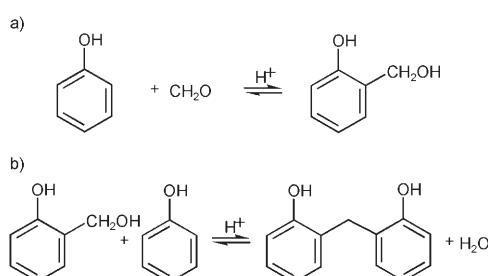


Abbildung 8. a) Reaktion zwischen Formaldehyd und Phenol in saurer Umgebung. b) Anschließend reagiert die unbeständige Methylol-Gruppe mit Phenol weiter. Das entstandene Di(hydroxyphenyl)methan reagiert mit Formaldehyd oder mit einer Methylol-Gruppe unter Bildung von Novolak-Oligomeren.

verhältnis über 1.5 ergibt die Reaktion Hydroxymethylphenole, auch Resole genannt, die anschließend durch weiteres Erhitzen auf 120°C vernetzt werden können. Der Polykondensationsgrad wird über die Temperatur gesteuert. Resole werden zur Herstellung verschiedener Lacke genutzt.

Blütezeit und Niedergang des Bakelits

„Vom morgendlichen Zahneputzen mit einer Zahnbürste aus Bakelit bis zu dem Augenblick, wenn man sich abends in sein Bett aus Bakelit legt, scheint alles, was man berührt, sieht, benutzt, aus diesem einen Material für tausend Anwendungen gefertigt zu sein ...“

The Time, 22.09.1924

Als Baekeland ein geeignetes Verfahren zur Produktion kleiner und großer Gegenstände aus Bakelit gefunden hatte, ließ er dieses sofort patentieren, um die Erfindung zur Herstellung des Harzes im industriellen Maßstab um-

Asbest gemischt war. Ursprünglich wollte Baekeland sich aus der Vermarktung heraushalten und allein an den Erträgen seiner Nutzungsrechte verdienen. Er musste jedoch feststellen, dass man auf Seiten der Industrie nicht gewillt war, sein relativ einfaches Verfahren im großen Maßstab einzusetzen. So sah er sich gezwungen, selbst zu handeln. Eine Kooperation mit seinen Konkurrenten schien ihm dabei angenehmer als der Kampf um Marktanteile. Er schloss sich daher mit der Damard Lacquer Company, die 1910 in Großbritannien gegründet worden war, und mit weiteren Firmen zur Bakelite Ltd. Company zusammen.

Die frühe Produktion von Bakelit ist stark mit der Entwicklung der Elektroindustrie verbunden. Die steigende Nachfrage nach einem preisgünstigen Isoliermaterial für Kabel und elektrische Systeme förderten den Absatz. Schon bald wurde Bakelit als isolierender Werkstoff für die Gehäuse aller möglichen elektrischen Geräte eingesetzt, vor allem in der Telekommunikation und im Haushalt. Die Entwicklung farbiger Bakelitharze verlieh dem Material zusätzliche Attraktivität, und es gewann auch im Luxusbereich zunehmend an Bedeutung. 1928 gelang es durch ein neues Verfahren, transparente Harze herzustellen. Die Verknappung von Naturstoffen mit ähnlichen Eigenschaften – etwa Kautschuk und Elfenbein – förderte den Absatz des neuen, beinahe überall einsetzbaren Kunststoffs enorm. Durch seine vorteilhaften Eigenschaften war Bakelit diesen Werkstoffen ohnehin überlegen: Es war chemikalienecht, hitzebeständig, kratzfest und widerstandsfähig gegen Tropenfäule.

Eine „Time“-Ausgabe von 1924 zeigt auf dem Cover den Erfinder des Bakelits; Baekeland war damals bereits eine bekannte Persönlichkeit. Seine Erfindung hielt auch Einzug in die Automobilindustrie. Das Ford Model A enthielt beispielsweise Bauteile aus Bakelit. Die Erfindung dieses Kunststoffes kam gerade zur rechten Zeit für die Entwicklung der Fahrzeug- und Elektroindustrie, und schon bald konnte man sich Autos, Telefone, Schmuckstücke, Kameras, Radios oder Fernseher ohne den Allerweltsstoff gar nicht mehr vorstellen. Sogar Thomas Edison benutzte



Abbildung 9. Produktion von Phenolharzen bei der Bakelite GmbH Letmathe um 1960.^[24]



Abbildung 10. Forschungslabor der Bakelite GmbH in Letmathe um 1960.^[24]

ursprünglich Bakelit zur Herstellung von Schallplatten. Die Begeisterung über das neue „Wundermaterial“ fand selbst in der Dichtkunst ihren Niederschlag. So schuf Mumford das Wort „Bakelese“ für eine vom Wort Bakelit abgeleitete Semantik.^[25] Für Kras war die Entwicklung des Bakelits eine logische Fortsetzung der industriellen Revolution, in der es auf das Gusseisen folgte:^[26] Eine gusseiserne Infrastruktur besiedelte unsere Landschaft, während Bakelit in unseren Haushalten vorherrschte. Die unzähligen Anwendungen des Bakelits veranlassten den Erfinder, das Symbol für die Unendlichkeit in das Firmenlogo aufzunehmen (Abbildung 11). Die Prozesse zum Schutz seiner ungefähr 400 Patente, die mit Bakelit in Zusammenhang standen, zeugen von der Bedeutung der Erfindung. Laut Knop und Scheib wurden noch 1979 mehr als 2/3 der Phenolharze als Pressmasse, zur Isolierung und für die holzverarbeitende Industrie geliefert.^[22]

Baekeland wurde für seine vielseitigen und hervorragenden Leistungen gebührend geehrt. Er war beispielsweise zwischen 1917 und 1944 Honorarprofessor an der Columbia Universität in New York (Abbildung 12), Vorsitzender der „Electrochemical Society“ (1909), des „American Institute of Chemical Engineers“ und der „American Chemical Society“ (1924). Die „National Academy of Science“ nahm ihn 1936 als Mitglied auf. Unter den vielen Auszeichnungen, die Baekeland erhielt, sind die Nichols-Medaille, die Willard-Gibbs-Medaille der „American Chemical Society“ (1909 und 1913), die John-Scott-Medaille des Franklin-Instituts (1910) und die Perkin-Medaille für industrielle chemische Forschung (1916) hervorzuheben.



Abbildung 11. Firmenlogo der „Bakelite Corporation“.



Abbildung 12. Baekeland als Honorarprofessor der Columbia Universität, New York (1930).^[5]

Einige aus Bakelit gefertigte Gegenstände sind historisch bedeutsam, andere sind mit der Zeit zu beliebten Sammlerstücken geworden. Viele dieser Objekte sind im Buch „Bakelite Style“ von Clark abgebildet und ausführlich beschrieben.^[27]

Der deutsche „Volksempfänger“ (Abbildung 13 a) ist eines der bekanntesten Objekte aus Bakelit, wenn auch kein eigentliches Sammlerstück. Durch die Verbreitung dieses Radiogeräts, das im Volksmund den bezeichnenden Namen „Goebbelschnauze“ erhielt, gelang es den nationalsozialistischen Machthabern, breite Bevölkerungsschichten mit ihrer Propaganda zu erreichen. Auch für die Gehäuse von Kameras verwendete man Bakelit (Abbildung 13 b).

Baekeland verkaufte schließlich seine Firma 1939 an das amerikanische Chemieimperium „Union Carbide and Carbon Corporation“. 1944 starb er in Beacon, NY; damals betrug die weltweite Bakelit-Produktion 175 000 Tonnen.

Trotz der guten Eigenschaften von Bakelit sank die Nachfrage nach dem 2. Weltkrieg. Den Geruch von Bakelit verband man unwillkürlich mit den minderwertigen Kunststoffmaterialien, die zu Kriegszeiten als Ersatzstoffe, etwa zur Penny-Herstellung, eingesetzt wurden. Für den Markt bildeten die relativ hohen Kosten ein wesentliches Kriterium, denn Polyvinylchlorid, Polystyrol, Nylon und Polyolefine konnten viel günstiger und in größeren Mengen produziert werden. Die neuen Kunststoffe ließen sich auch leicht bearbeiten,

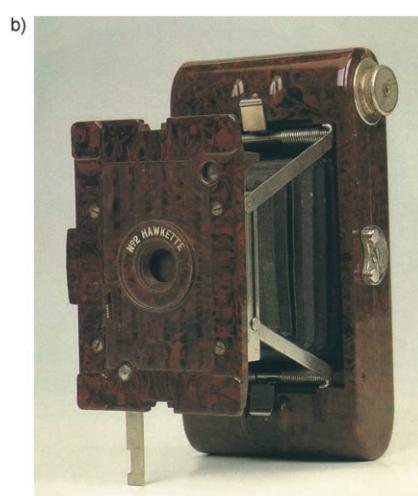


Abbildung 13. a) Der Volksempfänger VE301GW aus dem Jahr 1935. b) Kodak-Photographieapparat von 1927.^[27]

und ihre Monomere waren oft einfache Derivate von Erdölkomponenten. Phenolformaldehyd wird zwar auch heute noch hergestellt, doch das „goldene Zeitalter“ des Bakelits ist längst vorbei.

Das Erbe des Bakelits: Auswirkungen auf Naturwissenschaften, Gesellschaft und Wirtschaft

„Wir können ehrlich behaupten, dass der Anwendungsbereich der Chemie beinahe grenzenlos ist.“

Aus einer Rede von Leo H. Baekeland, 1932.

Auf die Erfindung des Bakelit und seine weltweite Vermarktung folgten viele Berichte über diesen „Wunderstoff“, die sich in drei Kategorien einteilen lassen: 1) Baekelands eigene

Veröffentlichungen zur Chemie und Verfahrenstechnik.^[28–36] 2) Publikationen, die sich hauptsächlich mit den Eigenschaften von Bakelit beschäftigen. Dazu gehören z.B. jene über die Wirkung von Radiumstrahlen,^[37] Licht^[38] und Wasser^[39] auf den Kunststoff sowie Beiträge zu seinen elektrischen^[40] und mechanischen^[41] Eigenschaften. 3) Publikationen über Bakelitbauteile für den Einsatz in analytischen Methoden^[42–43] oder im biomedizinischen Bereich.^[44–47]

Wie bereits erwähnt, ist die Produktion von Bakelit im Vergleich zu neueren Kunststoffen heute gering. Die „Erben“ des Bakelits sind deshalb alle Kunststoffarten, die nach seiner Entdeckung entwickelt wurden. Bakelit bahnte der heutigen Kunststoffindustrie den Weg. Die frühen Kunststoffe waren anfänglich oft ein günstiger Ersatz für Luxusgüter in Bernstein- oder Elfenbein-Imitataten. Krätz erwähnt beispielsweise Galalith, einen halbsynthetischen Kunststoff aus Kasein.^[48] Nach der Einführung des Bakelits standen den Kunststoffen weitere Anwendungen als elektrische Isoliermaterialien oder Strukturwerkstoffe offen. Die vorherrschende Stellung, die Kunststoffe heute einnehmen, geht daher ursprünglich auf Bakelit zurück. Später wurde Bakelit dann durch Kunststoffe abgelöst, die billiger waren und bessere Eigenschaften besaßen. Schon 1979 war die Volumenproduktion von Kunststoffen höher als von Stahl.

Die Erfindung des Bakelits steht in enger Beziehung mit der Entwicklung des Art-Déco-Stils. Einige aus Phenolharz geformte Kunstobjekte sind in Abbildung 14 zu sehen. Dieser Art-Déco-Stils konnte sich rasch ausbreiten, weil die Haushalte mit Bakelit-Gegenständen jeglicher Art ausgestattet waren. Die Bezeichnung „Art Déco“ geht auf eine Ausstellung 1966 in Paris zurück, die einen umfassenden Rückblick über die Kunst der „Exposition des Arts Décoratifs et Industriels Modernes“ von 1925 bot. Künstler aus Deutschland und Österreich gründeten 1907 in München den „Deutschen Werkbund“, dessen erklärt Ziel es war, Industrie, Kunst und Handwerk zu verbinden. Die Nähe ihrer Kunst zur industriellen Produktion ergab sich daraus, dass die Funktion eines Gegenstands im Wesentlichen seine äußere Form vorgeben sollte.^[49–50] In den

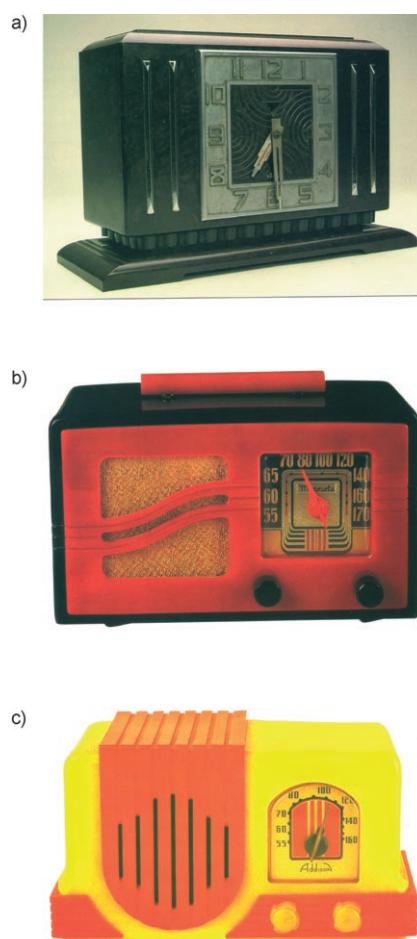


Abbildung 14. a) Tischuhr von JAZ (1934) im französischen Art-Déco-Stil. Geformtes Phenolharz und Chrom. b) Motorola-Radio; c) Adisison-Radio (1940).^[27]

30er Jahren benutzte sogar Coco Chanel das Bakelit zur Herstellung von Schmuck. So fand diese Material auch Eingang in die Mode und bestimmte sie kurzfristig mit. Ein Jahr nach dem Tod von Andy Warhol wurde die Öffentlichkeit nochmals auf Bakelit aufmerksam, als die umfangreiche Bakelit-Sammlung des Künstlers 1988 bei Sotheby's unter den Hammer kam.

Bakelit wird heute von Sammlern immer noch sehr geschätzt. Kenner können sogar zwischen Objekten aus dem echten Phenolformaldehyd-Bakelit und solchen aus verwandten Polymeren unterscheiden. Das müssen sie auch, denn es werden auch „Fakelite“ (von engl. *fake*: Fälschung) als Bakelit zum Kauf angeboten! Es gibt einige Tricks, um die verschiedenen Kunststoffe schnell zu unterscheiden: Steckt man etwa eine heiße Nadel in den zu tes-

tenden Kunststoff, riecht es im Fall von Harnstoff-Formaldehyd-Harz nach Fisch. Bei Phenolformaldehyd entwickelt sich eher ein „medizinischer“ Geruch. Für Kenner ist Bakelit auch an dem klobigen Klang erkennbar, der entsteht, wenn man zwei Gegenstände aus diesem Stoff aneinanderstößt.

Schlussfolgerung

„Es war Alchemie des 20.Jahrhunderts. Aus etwas so Abscheulichem wie Steinkohlenteer entstand eine bemerkenswert vielfältige Substanz.“

Ivan Amato, *The Time*, 29. März 1999

Die Phenolharzproduktion nahm, im Vergleich zu den neuen Kunststoffen, im Laufe der Jahre beständig ab. Während der Ölkrise der 70er Jahre kam die unvernünftige Idee auf, die Bakelitproduktion neu zu beleben, denn Phenol konnte aus Steinkohlenteer gewonnen werden.^[21] Aus heutiger Sicht sollte man aber eher auf die Entwicklung umweltverträglicher Kunststoffe setzen.

Baekeland deutete 1934 in einem Brief an einen seiner Freunde an, dass er es ernsthaft bedaure, nicht seine ganze Forschertätigkeit „zum Besseren der Menschheit“ eingesetzt zu haben.^[51] Heute wissen wir, dass er sich mit dieser Aussage etwas zu negativ beurteilt hat. Seine Erfindungen förderten die Verbreitung neuer Technologien ungemein. Wir denken da etwa an die Bereiche Telekommunikation, Elektroindustrie und Fotografie. Der „Vater des Kunststoffs“ wäre wohl über dessen zahllose Anwendungen erstaunt: Babyflaschen, künstliche Muskeln und Prothesen werden aus Kunststoff gefertigt. Die Erfindung von Bakelit brachte auf verschiedenen Ebenen einen großen Fortschritt. Sie kann etwa mit der Entdeckung des Verfahrens zur Ammoniak-Produktion verglichen werden. Baekeland ist es gelungen, ein Produkt auf den Markt zu bringen, das dem großen Bedürfnis der Industrie seiner Zeit nach einem günstigen, formbaren Material mit guten mechanischen Eigenschaften entsprach.

Schließlich ist Baekeland ein Vorbild für alle Forscher der angewandten Naturwissenschaften, da er seine Erfindung „vom Labor in die Fabrik und von

der Fabrik zum Verbraucher“ brachte.^[52]

Eingegangen am 17. September 2007
Online veröffentlicht am 3. März 2008

- [1] J. Gillis in *Leo Hendrik Baekeland: Verzamelde oorspronkelijke documenten*, Paleis der Academiën, Brüssel, **1965**.
- [2] L. H. Baekeland, US Patent 942 699, **1907** (13 July 1907).
- [3] L. H. Baekeland, US Patent 942 809, **1907**.
- [4] Entscheid des Belgischen Finanzministers, A. Beernaert, 1889. A. Beernaert wurde 1909 der Friedensnobelpreis für sein Engagement gegen die Sklaverei und die Ausbeutung des Kongos verliehen.
- [5] Briefe vom Belgischen Innen- und Bildungsminister, J. De Volder, an den Rektor der Universität Gent, A. Wagenner.
- [6] A. Maurois in *L'Histoire du peuple américain*, Editions littéraires de France, Paris, **1956**.
- [7] C. F. Kettering in *Biographical Memoirs, Vol. XXIV—eighth memoir of Leo Hendrik Baekeland 1863–1944*, National Academy of Sciences, Washington, **1947**.
- [8] E. Vaupel, *Angew. Chem.* **2005**, *117*, 3408–3419; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2005**, *44*, 3344–3355.
- [9] C. P. Townsend, *J. Franklin Inst.* **1902**, *154*, 261–262.
- [10] A. Butlerow, *Justus Liebigs Ann. Chem.* **1859**, *110*, 51–66.
- [11] H. Staudinger, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* **1920**, *53*, 1073–1085.
- [12] A. Baeyer, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* **1872**, *5*, 25.
- [13] A. Baeyer, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* **1872**, *5*, 1094.
- [14] A. Claus, E. Trainer, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* **1886**, *19*, 3004.
- [15] W. Kleeberg, *Justus Liebigs Ann. Chem.* **1891**, *263*, 283.
- [16] A. Speier, DE-PS 99750, **1897**.
- [17] A. Smith, DE-PS 112685, **1899**.
- [18] L. Blumer, DE-PS 172877, **1902**.
- [19] A. Luft, DE-PS 140552, **1902**.
- [20] F. Henschke, DE-PS 157553, **1903**.
- [21] K. Thinius, *Plaste Kautschuk* **1976**, *23*, 746.
- [22] A. Knop, W. Scheib in *Chemistry and Application of Phenolic Resins*, Springer, Heidelberg, **1979**.
- [23] L. H. Baekeland, *J. Ind. Eng. Chem.* **1909**, *1*, 149–161.
- [24] 50 Jahre Bakelite: 1910–1960, Bakelite Gesellschaft mbH Letmathe, **1960**.
- [25] J. K. Mumford, *The Story of Bakelite*, Stillson, New York, **1924**.
- [26] R. Kras in *Bakelite, the material of a thousand uses* (Hrsg.: Rob Perrée), Cadre/Snoeck-Ducaju, Amsterdam/Gent, **1996**.
- [27] T. Clark in *Bakelite Style*, Apple, London, **1997**.
- [28] L. H. Baekeland, *J. Ind. Eng. Chem.* **1909**, *1*, 149–161.
- [29] L. H. Baekeland, *J. Ind. Eng. Chem.* **1909**, *1*, 545–549.
- [30] L. H. Baekeland, *J. Franklin Inst.* **1910**, *169*, 55–60.
- [31] L. H. Baekeland, *J. Ind. Eng. Chem.* **1910**, *2*, 478.
- [32] L. H. Baekeland, *J. Ind. Eng. Chem.* **1911**, *3*, 518–520.
- [33] L. H. Baekeland, *J. Ind. Eng. Chem.* **1911**, *3*, 932–938.
- [34] a) L. H. Baekeland, *J. Ind. Eng. Chem.* **1912**, *4*, 737–743; b) L. H. Baekeland, *J. Ind. Eng. Chem.* **1912**, *4*, 857–857.
- [35] L. H. Baekeland, *T. Am. Inst. Chem. Eng.* **1913**, *5*, 1–18.
- [36] L. H. Baekeland, *Ind. Eng. Chem.* **1925**, *17*, 225–237.
- [37] C. E. S. Phillips, *Nature* **1914**, *93*, 295.
- [38] D. Murray, *Nature* **1928**, *122*, 845.
- [39] H. G. Leopold, J. Johnston, *J. Phys. Chem.* **1928**, *32*, 876–878.
- [40] W. A. Zinzow, T. Hazen, *Ind. Eng. Chem.* **1935**, *27*, 899–902.
- [41] A. Thum, H. R. Jacobi, *Z. Ver. Dtsch. Ing.* **1939**, *83*, 1044–1048.
- [42] L. J. Curtman, *J. Ind. Eng. Chem.* **1922**, *14*, 610–610.
- [43] H. Clark, *Am. J. Roentgenol. Radium Ther.* **1924**, *11*, 445–451.
- [44] *Br. Med. J.* **1937**, 969–969.
- [45] M. L. Boyd, *J. Urol.* **1937**, *38*, 100–101.
- [46] F. C. Turner, *J. Natl. Cancer Inst.* **1941**, *2*, 81–83.
- [47] H. E. Koehnlein, G. Lemperle, U. Bremer, *Eur. Surg. Res.* **1971**, *3*, 200.
- [48] O. Krätz, *Chem. Unserer Zeit* **2004**, *38*, 133–137.
- [49] P. Maenz in *Art Deco: Formen zwischen zwei Kriegen*, DuMont, Köln, **2003**.
- [50] P. Sparke in *The Plastics Age: From Bakelite to Beanbags and Beyond*, Overlook, New York, **1993**.
- [51] N. Robins, S. M. L. Aronson in *Savage Grace*, Victor Gollancz, New York, **1985**.
- [52] Rede von W. D. Richardson bei der Verleihung der Gibbs-Medaille der ACS an L. H. Baekeland, *J. Ind. Eng. Chem.* **1913**, 505.