

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 89 (2017)

Artikel: Karl Ziegler und das Niederdruck-Polyethylen : Rahmenbedingungen einer ungewöhnlichen Erfolgsgeschichte
Autor: Rasch, Manfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-685417>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 06.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Karl Ziegler und das Niederdruck-Polyethylen

Rahmenbedingungen einer ungewöhnlichen Erfolgsgeschichte

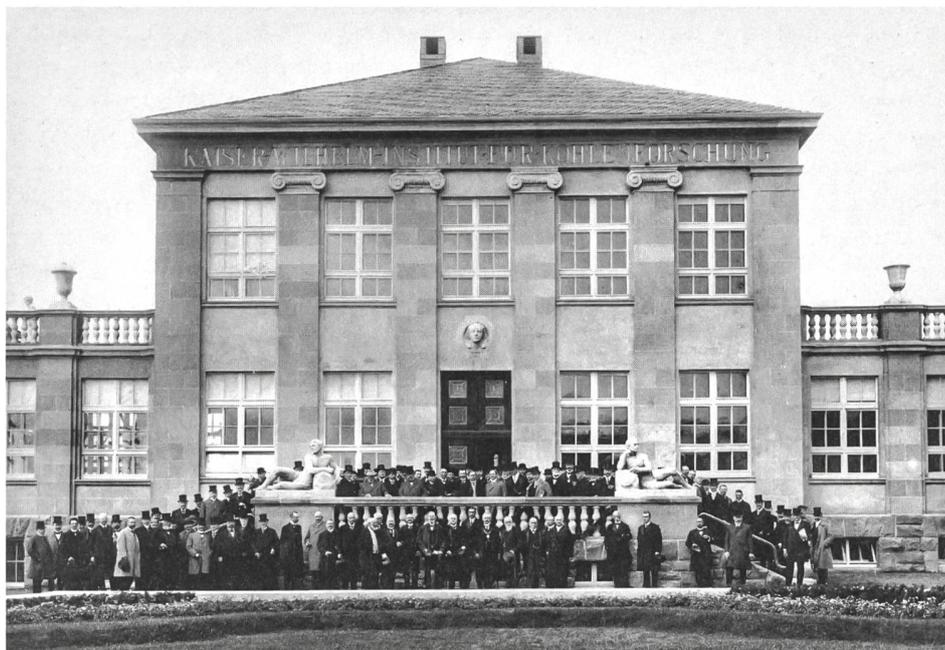
Der folgende Beitrag soll die Erfindungs- und frühe Vermarktungsgeschichte des Niederdruck-Polyethylens nachzeichnen. Die beiden Fragestellungen lauten: Warum wurde 1953 am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung – und nicht etwa an einem Polymerforschungsinstitut – das Niederdruck-Polyethylen¹ erfunden? Und zweitens: Warum war die Vermarktung so erfolgreich, die dem Institut und seinen Erfindern rund 1 Milliarde DM Lizeinnehmungen einbrachte? Unter finanziellem Aspekt war die Entdeckung des Verfahrens zur Herstellung von Niederdruck-Polyethylen nämlich die Jahrhundert-Erfindung. Sie ermöglichte dem Direktor Karl Ziegler, das Kohlenforschungsinstitut zu einem der grössten innerhalb der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) zu entwickeln und zum einzigen, das sich über mehrere Jahrzehnte vollständig aus eigenen Patent- und Lizeinnehmungen finanzierte. Dies ist ein einmaliger Vorgang in der Wissenschaftsgeschichte.

Karl Ziegler erfand das Niederdruck-Polyethylen nicht an einem Institut für Polymerforschung, sondern am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, das von seinem Namen her andere Forschungen erwarten liess. Aber nur dort waren die Rahmenbedingungen gegeben, um aus einem wissenschaftlichen Erfolg auch einen wirtschaftlichen für Erfinder und Institution zu machen.

Warum wurde das Niederdruck-Polyethylen am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung erfunden?

Das Max-Planck-Institut für Kohlenforschung war seit 1949 die Nachfolge-Institution des 1912 in Mülheim an der Ruhr

gegründeten Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung. Dieses war das erste ausserhalb Berlin-Dahlems errichtete Institut der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und wurde vier Tage vor dem Beginn des Ersten Weltkrieges feierlich eröffnet. Spenden der rheinisch-westfälischen Montanindustrie finanzierten das auf zunächst nur zehn Jahre befristete Institut. Es sollte – so die ursprüngliche Idee des Industriellen Hugo Stinnes – die direkte Verstromung der Kohle ohne Verbrennung und dampfbetriebene Generatoren erforschen. Die Komplexität des bis heute nicht zufriedenstellend gelösten Problems schätzte Hugo Stinnes richtig ein, weshalb er diese Aufgabe nicht der Industrieforschung des von ihm und August Thyssen domi-



1 Eröffnung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr am 27. Juli 1914.

nierten Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerks (RWE) zuwies, sondern zu einer Gemeinschaftsaufgabe des gesamten Ruhrbergbaus machte.² Durch geschicktes Vorgehen gelang es Stinnes u. a., den ersten deutschen Chemie-Nobelpreisträger Emil Fischer, die graue Eminenz der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, für das Projekt zu gewinnen.³ Dieser hielt vor der interessierten Industrie, Repräsentanten der Stadt Mülheim, im Übrigen Stinnes' Wohnort, und Vertretern der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und des preussischen Kulturministeriums einen sehr beachteten Vortrag über die zukünftigen Aufgaben eines Kohlenforschungsinstituts, in dem er zwar die direkte Verstromung der Kohle ansprach, aber daneben auch zahlreiche andere Aufgaben aus dem Gebiet der Kohle-, Teer- und Gas-Chemie. Er dachte dabei auch schon an katalytische Gassynthesen, u. a. mit den Gasen Kohlenmonoxid und Ethylen.⁴ Zum Institutsdirektor wurde nicht ein organischer Chemiker, sondern entsprechend der Verstromungsaufgabe ein Anorganiker berufen, nämlich der Professor für Elektrochemie Franz Fischer von der TH [Berlin] Charlottenburg, der mit Emil Fischer nicht verwandt war, der aber schon für Demonstrationszwecke in seinen Vorlesungen ein Thermo-element entworfen, also auf dem Gebiet der direkten Verstromung gearbeitet hatte.⁵

Mit Kriegsbeginn 1914 wurden zahlreiche Institutsmitarbeiter, unter ihnen auch der Institutsdirektor, zu den Soldaten einberufen. Viele kehrten erst im Spätherbst 1914 an das Institut zurück, reklamiert wegen kriegswichtiger Arbeiten zur Gewinnung von Stickstoff-Verbindungen für die Landwirtschaft sowie im Kriegsverlauf zur Schwefelsäuregewinnung und zur Erzeugung flüssiger Treib- und Schmierstoffe.⁶

Nach dem Krieg sollte das ursprüngliche Forschungsgebiet der direkten Kohleverstromung mittels

Thermo-element nur sporadisch behandelt werden, vielmehr rückten Arbeiten zu Gassynthesen in den Vordergrund mit dem Ziel der Gewinnung flüssiger Kohlenwasserstoffe, zu denen man am Institut während des Krieges aus Personalmangel nur einige Literaturstudien durchgeführt hatte. Diese Nachkriegsarbeiten hatten – wie die Fortsetzung der Forschungen zur Tieftemperaturverschmelzung der Kohlen – auch einen militärisch-wirtschaftlichen Autarkieaspekt und sollten zudem den Absatz der Ruhrkohle fördern. 1925 entdeckten Franz Fischer und sein Abteilungsvorsteher Hans Tropsch⁷ die nach ihnen benannte Synthese von flüssigen Kohlenwasserstoffen aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff bei Niederdruck. In den folgenden zwei Jahrzehnten war diese das Hauptarbeitsgebiet des Instituts. In der institutseigenen Versuchsanlage wurde eine halbindustrielle Anlage errichtet, um die Fischer-Tropsch-Synthese in Konkurrenz zum Bergius-Pier-Hochdruckhydrierverfahren (Leuna)⁸ in die industrielle Produktion umzusetzen. Erst die NS-Autarkie- und -Kriegspolitik führte zum Bau erster kleiner industrieller Fischer-Tropsch-Anlagen.⁹ Die Ruhrchemie AG, ein 1926 gegründetes Gemeinschaftsunternehmen des Ruhrbergbaus zur synthetischen Erzeugung von Stickstoffverbindungen in Konkurrenz zur BASF mit ihrem Haber-Bosch-Verfahren und ihrem Werk Leuna,¹⁰ erwarb im Interesse des Ruhrbergbaus 1934 die Generallizenz vom Kohlenforschungsinstitut.¹¹

Trotz der Kriegswichtigkeit der am Mülheimer Institut durchgeführten Arbeiten zur Fischer-Tropsch-Synthese betrieb Franz Fischer ab 1942, mittlerweile 65 Jahre alt, energisch seine Pensionierung. Der Verwaltungsratsvorsitzende des Kohlenforschungsinstituts Hermann Kellermann war offensichtlich so sehr mit der gerade übernommenen Gesamtleitung des Gutehoffnungshütte-

Konzerns beschäftigt – auf Druck der NSDAP hatte der bisherige Vorstandschef Paul Reusch¹² zurücktreten müssen –, dass er dem Präsidenten der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft die Suche nach einem Nachfolger überliess. Dieser, der Industrielle Albert Vögler, kannte das Institut seit seiner Gründung recht gut und hatte auch für dessen Weiterfinanzierung in den 1920er-Jahren gesorgt. Für ihn forschte das Institut zu sehr angewandt, industrienah. Er wollte die innerhalb der KWG betriebene angewandte Forschung – auch aus steuerlichen Gründen – ausgliedern, damit sich die Kaiser-Wilhelm-Institute wieder der Grundlagenforschung zuwenden konnten.¹³ Nach dem Krieg geschah dies mit der Gründung der Fraunhofer-Gesellschaft für die angewandte, industrienahere Forschung.¹⁴

Die von Vögler angestrebte Änderung der Forschungsrichtung war für das Kohlenforschungsinstitut die dritte innerhalb von drei Jahrzehnten. Gegenüber dem Verwaltungsratsvorsitzenden des Instituts äusserte er, «dass es nicht unbedingt notwendig sei einen Mann aus der Kohlechemie zu nehmen, sondern dass es vielleicht ganz ratsam wäre, einen hochbegabten, idealdenkenden chemischen Wissenschaftler, der der Kohlechemie ganz fremd gegenüberstehe, in Aussicht zu nehmen, der ohne Scheuklappen an die Dinge herangehe und vielleicht mit neuen Ideen komme.»¹⁵ Zwei Monate später betonte er nochmals, «daß es in erster Linie auf einen hervorragenden Organiker ankommt, ganz unabhängig von dem Fachgebiet, das er bisher bearbeitet hat.»¹⁶ Vögler befand sich mit dieser Äusserung in Übereinstimmung mit dem berühmten Emil Fischer, der in seiner Grundsatzrede auf der Gründungsversammlung des Kohlenforschungsinstituts schon am 29. Juli 1912 gesagt hatte: «Das Gelingen des Unternehmens hängt in erster Linie von dem Direktor ab. Das [!] muß ein ganz auf der Höhe der Wissenschaft stehender tatkräftiger Mann sein, der das nicht allzu häufige Talent besitzt, nach originellen Ideen systematische chemisch-physikalische Untersuchungen durchzuführen. Auch darf ihm das Verständnis für die praktische Verwertung wissenschaftlicher Erkenntnis nicht fehlen.»¹⁷

Vögler liess sich bei seiner Suche nach einem geeigneten neuen Institutsleiter von Fachleuten direkt oder indirekt beraten wie von dem organischen Chemiker und Chemie-Nobelpreisträger Heinrich Wieland, München, den Direktoren der Kaiser-Wilhelm-Institute für Chemie bzw. medizinische Forschung, den Nobelpreisträgern Otto Hahn (für 1944) und Richard Kuhn (1938), aber auch von dem NS-Wissenschaftspolitiker und nicht unbedeutendem Physikochemiker Peter Adolf Thiessen, seit 1934 Direktor des KWI für physikalische Chemie und Elektrochemie als Nachfolger von Fritz Haber. An jüngeren Nachwuchswissenschaftlern, zum Teil ohne eigene Lehrstuhlerfahrung, wurden ihm genannt: Klaus Clusius,¹⁸ Rudolf Criegee,¹⁹ Karl Ziegler²⁰ und Georg Wittig.²¹ Es spricht für die Qualität dieser, zuerst von der Industrie diskutierten Vorschläge, dass alle später einen Eintrag in den einschlägigen Handbüchern und zwei von ihnen sogar den Nobelpreis erhalten haben.²² Keiner von ihnen war als Kohlenchemiker zu bezeichnen oder hat-

te auf dem Gebiet der Fischer-Tropsch-Synthese geforscht. Da spätestens nach Kriegsende die Direktorenstellen der bedeutenden Chemischen Institute Deutschlands an den Universitäten in Berlin (Emil Fischers ehemaliges Institut), Bonn (Paul Pfeiffer), München (Heinrich Wieland) und Göttingen (Adolf Windaus) neu besetzt werden mussten, konnten alle für die Institutsleiterstelle in Mülheim genannten Kandidaten auch mit einer Berufung auf diese bedeutenden Ordinariate rechnen. Interessanterweise war 1939/40 in der Wissenschaftsverwaltung diskutiert worden, Ziegler zum Direktor eines im Rahmen des Vierjahresplans in Frankfurt/Main neu zu gründenden Kunststoffinstituts zu berufen. Die Berufung scheiterte vermutlich daran, dass mit der Stelle auch die Ernennung zum Direktor des Chemischen Instituts der Universität Frankfurt/Main, also ein ordentliches Ordinariat mit universitärem Lehrbetrieb verbunden war. Letzteres wollten damals NS-Wissenschaftspolitiker und NS-Dozentenbundführer verhindern.²³

Damit das Reichserziehungsministerium nicht eigene Vorschläge entwickelte, besprach Vögler seine Vorstellungen im Ministerium, bevor Franz Fischer sein Pensionsgesuch dort einreichte. Vögler traf sich mit dem Chef des Amtes Wissenschaft, dem Chemiker und Alten Kämpfer Professor Rudolf Mentzel,²⁴ der seit 1936 Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft und seit 1941 2. Vizepräsident der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft war und der im Übrigen gemeinsam mit seinem alten Freund Peter Adolf Thiessen in der ehemaligen Haber'schen Dienstvilla in Berlin-Dahlen wohnte, war er doch 1934 von seinem Freund als Abteilungsleiter an das Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie berufen worden. Mentzel befürwortete die ihm vorgeschlagene Berufung Zieglers, dessen ablehnende Haltung gegenüber dem Nationalsozialismus seit seiner Heidelberger Zeit 1936 bekannt und auch in Halle 1941 Anlass für entsprechende Aktivitäten des Gaustudentenführers gewesen war. Dem Reichserziehungsministerium war offensichtlich daran gelegen, Zieglers Einfluss auf Studenten zu reduzieren und ihn als Kandidaten für den Berliner Lehrstuhl für organische Chemie auszuschalten. Dazu war das Mülheimer Institut hervorragend geeignet, da es als reines Forschungsinstitut keine Studenten ausbildete und nur einige Doktoranden betreute.²⁵

Bedenken der NSDAP und ihrer Gliederungen gegenüber Forschern wie Ziegler, die in der Vorkriegszeit noch seine Berufung auf bedeutende Lehrstühle (Heidelberg, Karlsruhe, Frankfurt/Main) verhindert hatten – Ziegler leitete seit 1936 das kleine Chemische Institut der Universität Halle, da man ansonsten seine Abwanderung in die USA befürchtete –, waren im Kriegsjahr 1943 nicht mehr von Relevanz, zumal Ziegler während des Krieges mit der Wehrmacht zusammenarbeitete und schon am 19. Oktober 1940 das Kriegsverdienstkreuz 2. Klasse erhalten hatte. Ziegler forschte im Krieg u. a. über kristalline Flugtreibstoffe (Hexamethylethan) und Brandmunition.²⁶

Ziegler befürchtete, in Mülheim nur angewandte Probleme bearbeiten zu «dürfen» und wollte daher nicht

auf eine Universitätslaufbahn verzichten. Aus pädagogischen Gründen war er am Umgang mit Studenten interessiert. Ein zweieinhalb Mal höheres Gehalt in Mülheim reizte ihn nicht sonderlich, weshalb er in Bleibe Verhandlungen mit seiner Universität Halle «nur» eine Gehaltserhöhung um 50 Prozent anstrebte. Diese wurde ihm nicht gewährt. Das Reichserziehungsministerium wollte ihn gerne in Mülheim sehen, scheiterte dabei aber an seiner eigenen Forderung, während des Krieges Lehrstühle nicht neu zu besetzen. Ziegler hatte diese Schwachstelle in der ministeriellen Argumentation entdeckt und nutzte die Umkehrung für seine eigenen Interessen. Er nahm nur die kommissarische Leitung des Kohlenforschungsinstituts an, um eine Vakanz am Hallenser Institut zu vermeiden. Mit Vögler verständigte er sich über das zukünftige Arbeitsgebiet des Instituts. Unter Kohlenforschung sollte nun auch die Chemie mit einzelnen Kohlenstoff-Atomen verstanden werden, wie sie Ziegler schon seit Jahrzehnten betrieb.²⁷ Während des Krieges bewarb sich Ziegler nochmals um renommierte Chemie-Lehrstühle in Göttingen und Tübingen,²⁸ zwar ohne Erfolg, da diese – wie staatlicherseits vorgegeben – während des Krieges nicht wiederbesetzt werden sollten. Das Institutskuratorium sagte Ziegler 1943 zudem zu, das Institut nach dem Krieg grosszügig umzugestalten mit drei grossen Abteilungen für Technologie, reine organische Chemie sowie physikalische Chemie. Solche Überlegungen waren schon seit Ende der 1920er-Jahre immer mal wieder diskutiert worden, aber bisher an den dafür notwendigen finanziellen Mitteln gescheitert.

Sein Hallenser Institut funktionierte Ziegler noch 1943 in eine Aussenstelle des Kohlenforschungsinstituts um, um mit seiner Familie weiter im weniger luftkriegsgefährdeten Halle an der Saale wohnen zu können, unterschrieb aber erst im Januar 1944 seinen Anstellungsvertrag als (kommissarischer) Direktor des Kohlenforschungsinstituts.²⁹ Dort trafen ihn US-amerikanische Militärs im April 1945 an. Als sich die amerikanischen Truppen Ende Juni 1945 in ihre Besatzungszone zurückzogen, wurden – in einer grösser angelegten Aktion (operation paperclip in Halle/Saale für Emil Abderhalden u. a.) – Karl Ziegler, seine Mitarbeiter und ihre Familien, das Inventar der Aussenstelle sowie des Chemischen Instituts zwangsevakuert. Seine Rückkehr in die Sowjetische Besatzungszone wurde am 2. Juli 1945 von den US-Amerikanern verhindert. Karl Ziegler und seine Familie kamen nun definitiv in Mülheim an, wohin er eigentlich nicht wollte. Er fühlte sich noch immer dem Lehrkörper der in der Sowjetischen Besatzungszone gelegenen Universität Halle angehörig, «durch einen Zufall und infolge höherer Gewalt derzeit an der Ausübung meiner Amtsverpflichtung in Halle verhindert», wie er dem Rektor nach Weihnachten 1945 schrieb.³⁰ Eine endgültige Einweisung in sein Amt als Mülheimer Institutsdirektor fand nie statt. Das regelte letztlich die Macht des Faktischen.

Ohne besonderen Verwaltungsakt wurde aus dem kommissarischen Leiter in Mülheim ein Institutsdirektor, auch wenn sich Ziegler noch einmal – vergeblich – um ei-



2 Karl Ziegler (r.) und Günther O. Schenck im Laboratorium des Hallenser Chemischen Instituts, um 1940.

nen Lehrstuhl bewarb. Aufgrund des hohen Einflusses der Industrie auf das Institut, nach dem Freitod Vöglers 1945 und aufgrund der wirtschaftlich schwierigen Situation für den Ruhrbergbau unmittelbar nach Kriegsende nahmen utilitaristische Forderungen an die Institutsforschung zu, war das Verhältnis zwischen dem Verwaltungsrat des Instituts und dem Institutsdirektor Karl Ziegler nicht immer spannungsfrei, und das, obwohl Vögler Ende 1943 von Kellermann gefordert hatte, «dafür zu sorgen, daß eine reine Zweckforschung nicht Platz greift. In demselben Augenblick würde das Institut nicht mehr im Rahmen der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft liegen».³¹ Hermann Kellermann³² war von 1935 bis 1956 Verwaltungsratsvorsitzender des Instituts. Nach der Währungsreform 1948 wurde das Institut hälftig von der zwischenzeitlich als Nachfolgeorganisation der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft gegründeten Max-Planck-Gesellschaft und der «Deutschen Kohlenbergbau-Leitung» finanziert, zudem flossen Marshall-Plan-Mittel in die Modernisierung der Laboratorien und Werkstätten. Wegen Zieglers international anerkanntem Ruf als Wissenschaftler waren seine Arbeiten – trotz alliierter Forschungsüberwachung – nicht eingeschränkt. Karl Zieglers Interpretation von Kohlenforschung als Erforschung der Kohlenstoffverbindungen im weitesten Sinne fand jedoch – wie schon gesagt – nicht die ungeteilte Zustimmung der Institutsfinanciers. Seine Forschungen und sein «politisches» Engagement gegen die alliierte Wirtschaftspolitik entsprachen mehr den Interessen der chemischen Industrie, z.B. der Chemischen Werke Hüls GmbH, als dem Ruhrbergbau mit seinen kohlechemischen Aktivitäten.

Nach dem Krieg bildete nicht mehr die Fischer-Tropsch-Synthese den Schwerpunkt der Arbeiten des Kohlenforschungsinstituts, die existierenden Fischer-Tropsch-Werke gehörten zunächst zu den Prohibited Industries und durften nicht weiter produzieren, auch Forschungen über die Synthese waren verboten. Karl Zieglers eigene Arbeitsbereiche, die er mit «allgemein synthetische Chemie» umschrieb, rückten in den Mittelpunkt der Institutsarbeit. Sie hatten weder mit Kohlen im herkömmlichen Sinne etwas zu tun, noch waren bei ihnen baldige industrielle Nutzung für den Bergbau abzusehen. Seine Studien galten verschiedenen Polymerisationsreaktionen. Zieglers erste Nachkriegsarbeiten waren u. a. der Umwandlung des Butadiens gewidmet. Es gelang dessen thermische Cyclodimerisation zu 1,5-Cyclooctadien. Eine industrielle Ausnutzung des auf diesem Weg allerdings nur in geringen Ausbeuten (ca. 15 %) herstellbaren Achtrings schied jedoch wegen alliierter Herstellungsverbote aus, weshalb sich Ziegler öffentlich für die Aufhebung alliierter Restriktionen gegen die deutsche chemische Industrie einsetzte.

Ende der 1940er-Jahre griff Ziegler ein Forschungsthema auf, das er letztmalig 1936 in Heidelberg, unmittelbar vor seinem Wechsel nach Halle behandelt hatte: die Destillierbarkeit von Alkyllithiumverbindungen.³³ Bei diesen technisch schwierigen Studien, die Verbindungen brannten bei Luftzutritt, sammelten Karl Ziegler und seine Mitarbeiter neue fundamentale Erkenntnisse über metallorganische Verbindungen. So beobachteten sie, dass bei dem gemeinsamen Erhitzen von z. B. Lithiummethyl und Ethylen unter Druck ein stufenweiser Einschub von Ethylen in die Lithium-Kohlenstoff-Bindung stattfindet, wodurch höhere Lithiumalkyle mit jeweils um zwei Kohlenstoffatome längeren Alkylketten entstehen, die anschliessend in der Hitze zu Lithiumhydrid und α -Olefine gespalten werden können. Mit Lithiumalkylen lässt sich somit die Oligomerisation des Ethylens in Lösung zu längeren α -Olefinen bewirken. Aber nicht nur das seltene und daher teure Lithium, sondern auch das weit verbreitete und daher preiswerte Aluminium liess sich als entsprechender Katalysator wie zum Beispiel Aluminiumtriethyl – zudem mit viel grösserer Effektivität – einsetzen.³⁴ Das gasförmige Ethylen als einfachster ungesättigter Kohlenwasserstoff war jedoch im Gegensatz zu vielen seiner Derivate schwer zu hochfestem Plastik polymerisierbar.

1949 fanden Karl Ziegler und sein Mitarbeiter Hans-Georg Gellert in Mülheim den sich wiederholenden Einschub von Ethylen in die Aluminium-Kohlenstoff-Bindung von Aluminiumalkylen. Die «Aufbaureaktion» wird jedoch durch eine Verdrängungsreaktion unter Bildung von α -Olefinen begrenzt und führt nicht zum gewünschten hochmolekularen Polyethylen, sondern nur zu Oligomeren. Andererseits erwiesen sich die aluminiumorganischen Aufbauprodukte sowie die α -Olefine als geeignete Ausgangsstoffe für die Herstellung biologisch abbaubarer Waschmittel. Erste Optionen bzw. Lizenzen auf das Verfahren der Aufbaureaktion nahmen ab 1952 Farbwerke Hoechst AG, Montecatini, Società Generale per l'Industria Mineraria e

Chimica (Italien, Lizenz 11. Januar 1953) und Petrochemicals Ltd. (GB). Die chemische Industrie entwickelte auf Basis von Zieglers Aufbaureaktion grosstechnische Verfahren, mit denen Anfang der 1960er-Jahre primäre Alkohole mit Ketten von 12 bis 16 Kohlenstoffatomen im 100 000 t Massstab hergestellt wurden (1962 Conoco, USA; 1964 Condea Chemie, Brunsbüttel; 1964 Ethyl Corporation/Amoco, USA).³⁵ Das Institut verdiente zu dieser Zeit nicht nur an Lizenzen, sondern auch an der Herstellung des Katalysators Aluminiumtrialkyl, die die Industrie noch nicht beherrschte. 1954 entdeckten Ziegler und Mitarbeiter nämlich ein einfaches und elegantes Herstellungsverfahren für Aluminiumtrialkyle ohne Anfall von Nebenprodukten.³⁶ Eine Modifikation der Aufbaureaktion von Aluminiumtrialkylen mit Propylen führte zu Isopren, dem Monomer des Kautschuks. Auch dieses Ziegler-Verfahren fand ab 1963 grosstechnische Anwendung im Goodyear-Scientific-Design-Prozess zur Herstellung von 50 000 t/a Isopren.³⁷ Mit dem wirtschaftlichen Erfolg schwand allmählich der von den Institutsfinanciers ausgeübte Druck auf Ziegler, sich der industrienahen Kohlenforschung zuzuwenden.

Durch einen Zufall wurde um die Jahreswende 1952/53 im Rahmen der Dissertation von Erhard Holzkamp ein überraschender, neuer Effekt entdeckt. Bei dem fraglichen Experiment hatte ein unbekannter, aber äusserst wirksamer Spurenkatalysator die Verdrängungsreaktion katalytisch beschleunigt. Nach wochenlangen Recherchen konnte als Ursache festgestellt werden, dass sich in Haarrissen des V2A-Autoklaven³⁸ beim Reinigen mit Salpetersäure offenbar Nickelverbindungen gebildet hatten, die die unerwartete Reaktion ausgelöst hatten.³⁹ Das Phänomen wurde als «Nickel-Effekt» bezeichnet. Weitere Forschungen zum hochreinen Arbeiten, aber auch mit anderen Schwermetallen, die wie Nickel wirken, folgten. Ab Mai 1953 fanden Erhard Holzkamp, der Diplomand Heinz Breil und der promovierte Chemiker Heinz Martin unter Anleitung von Karl Ziegler die entsprechenden metallorganischen Katalysatoren, die nicht sonderlich aktiv waren. Die wirksamsten waren noch die Mischungen von Aluminiumalkylen mit Titanverbindungen, mit deren Hilfe schliesslich das Mülheimer Niederdruck-Verfahren zur Gewinnung von Polyethylen entwickelt wurde. Erste Erkenntnisse dieser Erfahrung meldete Ziegler am 17. November 1953 als «Verfahren zur Herstellung von hochmolekularen Polyäthylenen» zum Patent an (DBP 973626).⁴⁰ Das in einem 5-l-Weck-Einmachglas von Maria Ziegler, der Ehefrau des Institutsdirektors, hergestellte weiss-gelbliche Polyethylen war dem bekannten Hochdruck-Polyethylen sogar qualitativ überlegen. Es besass eine höhere Druck- und Reissfestigkeit, höhere Temperaturresistenz und höhere Dichte, sodass es formstabiler war als bisherige Hochdruck-Polyethylen-Produkte.⁴¹ Um 1935 war es dem britischen Chemiekonzern ICI (Imperial Chemical Industries Ltd.) gelungen, Ethylen unter extrem hohem Druck (1500 bis 3000 bar) und hohen Temperaturen (200 bis 300 °C) in Gegenwart von etwas Sauerstoff oder Radikale bildenden Verbindungen in hochmolekulares Polyethylen umzuwandeln und dieses



3

3 Ziegler und das Weckglas. Das Normaldruckverfahren brachte einen enormen technischen Fortschritt gegenüber dem bis dahin ausschliesslich angewandten Hochdruckverfahren und führte zu Produkten mit besonders wertvollen Eigenschaften. Links ein Becher aus Normaldruck-Polyethylen, der sich durch höhere Druckfestigkeit auszeichnet.

4 Überreichung des Nobelpreises an Karl Ziegler, 1963.



4

1939 auf den Markt zu bringen. Das so durch radikalische Polymerisation gewonnene Polyethylen ist allerdings ein weiches Plastikmaterial, da es aufgrund der drastischen Herstellungsbedingungen aus stark verzweigten Polymerketten besteht, und eignet sich daher heute besonders zur Herstellung von Folien wie z. B. Plastiktüten.⁴²

Im Gegensatz zu seinem Vorgänger als Institutsdirektor, Franz Fischer, der 1925 für seine Erfindung ein Sperrpatent beantragte, als er noch nicht genau wusste, welche höheren Kohlenwasserstoffe die neue, später nach ihm und seinem Mitarbeiter Hans Tropsch benannte Synthese erzeugte,⁴³ beschränkte sich Ziegler – hier ganz exakter Wissenschaftler – bei seiner Patentanmeldung

ausschliesslich auf Ethylen. Erste Versuche mit Propylen hatten in Mülheim – aus welchen Gründen auch immer – zu keinen positiven Ergebnissen, d.h. nicht zu festem Polypropylen, geführt,⁴⁴ weshalb Ziegler – obwohl naheliegend – zunächst keine entsprechenden Patentansprüche anmeldete, obwohl er diese im Laufe des Patenterteilungsverfahrens hätte einschränken lassen können. Dies ermöglichte Giulio Natta, dem universitären Berater von Montecatini, der sich seit 1932 intensiv – und seit 1938 im staatlichen Auftrag – mit geradkettigen Hochpolymeren und ihren strukturellen Analysen beschäftigte und der über die italienische Firma, einem Lizenznehmer der Aufbau-reaktion,⁴⁵ von Zieglers erfolgreichen Polyethylen-Verfah-

ren erfahren hatte, mit den neuen Ziegler-Katalysatoren Propylen zu kristallinem Polypropylen zu polymerisieren. Wenige Wochen später gelang Heinz Martin auch in Mülheim die Polymerisation des Propylens zu gleichen Produkten (DBP 1527430),⁴⁶ ohne dass man von Nattas zeitgleichen Versuchen wusste. Die aus Polypropylen produzierten Kunststoffe wurden zunächst zur Herstellung von Fasern und Werkstücken eingesetzt. Da das Mülheimer Institut über keine speziellen Erfahrungen auf dem Gebiet der Polymerchemie verfügte und auch keine Einrichtungen zur Untersuchung und Prüfung von Polymeren besass, blieb es zunächst Giulio Natta in Mailand vorbehalten, zu erkennen, dass die neuen Katalysatoren auch stereospezifisch wirken und insbesondere bei substituierten Ethenen zu isotaktischen Polymeren führen können.⁴⁷

Für seine metallorganischen Arbeiten, die in unerwarteter Weise zu neuen Polymerisationsreaktionen führten und danach neuen, sehr bedeutenden technischen Prozessen den Weg bahnten, erhielt Karl Ziegler zusammen mit Giulio Natta, dem als Polymerchemiker die Strukturaufklärung der mittels «Ziegler-Katalysatoren»⁴⁸ erzeugten Polymere zu verdanken ist, 1963 den Nobelpreis für Chemie.

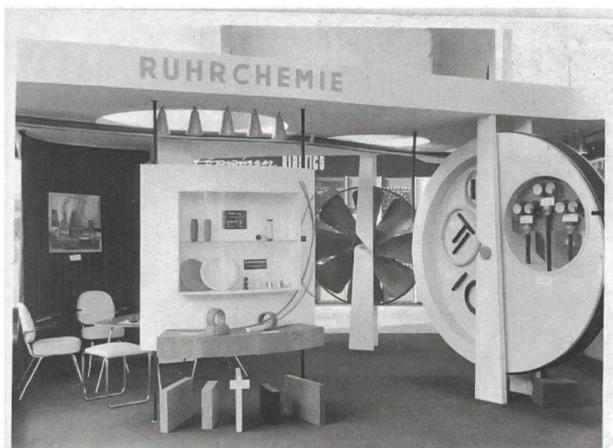
Zwischenfazit

Hätte der ehrgeizige Forscher Karl Ziegler einen der von ihm angestrebten renommierten Chemie-Lehrstühle erhalten oder wäre 1945 sein Chemisches Institut in der Sowjetischen Besatzungszone nicht von den US-Amerikanern evakuiert worden, so hätte er das Polyethylen-Verfahren nicht in Mülheim an der Ruhr erfunden. Ziegler wollte 1943 trotz eines zweieinhalb Mal höheren Gehalts als in Halle nicht Direktor des KWI für Kohlenforschung in Mülheim, sondern Ordinarius auf einem der renommierten deutschen Chemie-Lehrstühle werden. Auch nach Kriegsende verfolgte er zunächst noch dieses Ziel. Schon im Laufe der ersten beiden Jahrzehnte seiner Forschungstätigkeit eignete sich Ziegler das technische Know-how an, mit leicht entzündlichen, hochexplosiven metallorganischen Verbindungen zu experimentieren. Über entsprechende Fähigkeiten verfügten bis in die 1950er-Jahre weder die Polymerforschungsinstitute noch die chemische Industrie. Mit der Erfindung der Aufbaureaktion 1949 und dem einsetzenden wirtschaftlichen Erfolg entdeckte Ziegler aber auch die Vorzüge der Stiftung Kaiser-Wilhelm-Institut und Kohlenforschung mit ihrer eigenen Patentverwertungsgesellschaft.

Warum war die Vermarktung der Ziegler'schen Erfindung so erfolgreich

Wäre Karl Ziegler an einer Universität angestellt gewesen, so hätte er nicht die hohen Einnahmen aus seinen Erfindungen erzielt. Also: Warum war die Vermarktung der Ziegler-Katalysatoren und des Niederdruck-Polyethylen-Verfahrens so erfolgreich? Zwei Gründe sind zu nennen. Die schon bestehende Nachfrage und die qualifizierte Patentverwertung in Mülheim.

Seit langer Zeit war die Industrie an preiswerten Kunststoffen interessiert. Die chemische Industrie hatte etliche entwickelt, hier sei nur das Bakelit erwähnt.⁴⁹ Um 1935 war es dem britischen Chemiekonzern ICI, der sich auch mit dem Hochdruckverfahren der Bergius-Pier-Kohlenhydrierung beschäftigte und 1936 in Billingham eine industrielle Kohlenverflüssigungsanlage errichtete, gelungen, Ethylen unter hohem Druck (≥ 1400 bar) in hochmolekulares Polyethylen umzuwandeln, aus dem man diverse Kunststoffprodukte herstellen konnte. Trotz technisch nicht einfacher und kostspieliger Herstellung schien Polyethylen der Werkstoff der Zukunft zu sein, was sich nach dem Zweiten Weltkrieg in steigenden Produktionsziffern widerspiegelte. Der Markt für den Kunststoff Polyethylen war bereitet, es bedurfte also keiner langwierigen Markteinführung für das Niederdruck-Polyethylen, als Ziegler ein neues, wesentlich kostengünstigeres Verfahren zur Herstellung erfand. Das erste mithilfe von Ziegler-Katalysatoren bei Niederdruck technisch hergestellte Produkt, Hostalen G[®], wurde von der Farbwerke Hoechst AG bereits 1955 auf den Markt gebracht. Im Gegensatz zu den 1930er-Jahren, als die Ruhrchemie AG eine weltweite Generallizenz vom Kohlenforschungsinstitut auf das Fischer-Tropsch-Verfahren erwarb,⁵⁰ vermied Ziegler die Bindung an ein einzelnes Unternehmen. Die Ruhrchemie, mittlerweile nicht mehr Mehrheitlich im Besitz von Bergbauunternehmen an der Ruhr, erhielt nur eine einfache Lizenz auf Zieglers Erfindung. Ihr Forschungsleiter Otto Roelen, schon bei der Entdeckung der Fischer-Tropsch-Synthese 1925 – damals noch als Doktorand am Institut – dabei und einer der wichtigen Innovatoren der 1930er-Jahre für die industrielle Umsetzung dieses Verfahrens, war auch bei der industriellen Umsetzung der Ziegler-Niederdruck-Synthese äusserst kreativ. Schon am 25. Juni 1954 konnte die Ruhrchemie AG «Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von hochmolekularen Äthylen-Polymerisaten» (DBP 1008000) anmelden; im Dezember des gleichen Jahres folgte eine Ergänzung (DBP 1021168). Nach diesen Verfahren liess sich ein ultrahochmolekulares Polyethylen mit einem mittleren Molgewicht von 500 000 bzw. 1 000 000 erzeugen, für das sich das Unternehmen den Markennamen RCH 500[®] bzw. RCH 1000[®] schützen liess. Das Ruhrchemie-Polyethylen wurde 1955 in Düsseldorf auf der Kunststoff-Messe K55 zum ersten Mal präsentiert. Dank Roelens Erfindung produzierte die Ruhrchemie AG ein marktfähiges Polyethylen mit anderen Eigenschaften als die Farbwerke Hoechst AG.⁵¹ Weil der Markt für Polyethylen-Kunststoffe schon erschlossen, die Nachfrage vorhanden war, entwickelte sich die Weltproduktion nahezu stürmisch. Wurden 1955 weltweit nur 200 Jahrestonnen nach Zieglers Verfahren produziert, so waren es 1958 schon 17 000 t und neun Jahre nach der Erfindung, 1962, bereits 120 000 t. Heute existieren weltweit Produktionskapazitäten für lineares Ziegler-Polyethylen sowie Polypropylen in der Grössenordnung von 30 bzw. 45 Mio. Jahrestonnen.⁵² In seinem Nobel-Vortrag am 12. Dezember 1963 hatte Karl Ziegler darauf hingewiesen, dass dieser Erfolg, diese stürmische Entwicklung nicht



5 Kunststoffausstellung Düsseldorf 1955. Die Ruhrchemie AG präsentiert zum ersten Mal ihr hochmolekulares Polyethylen (rch 3882).

ohne «Erfindungsgeist, Tatkraft, schöpferische Phantasie und Wagemut der vielen ungenannten Chemiker, Konstrukteure und Unternehmer in der Welt, die aus unseren bescheidenen Anfängen grosse Industrien haben werden lassen», möglich gewesen wäre.⁵³

Schon 1954 nahm das Institut 19 Mio. DM durch die Erteilung von Lizenzentnahmen ein; der damalige Institutsetat betrug vergleichsweise bescheidene 1,2 Mio. DM.⁵⁴ Durch die produktionsmengenabhängige Lizenzierung des Verfahrens stiegen die Lizenzentnahmen des Instituts zusätzlich ungewöhnlich schnell, auch wenn nicht alle Anwender anfangs Gebühren für die Nutzung des Verfahrens abführten.

Die riesige Nachfrage nach einem neuen Verfahren bzw. Produkt muss für den Erfinder nicht unbedingt von Vorteil sein. Interessierte Unternehmen sind nicht immer bereit, Lizenzgebühren zu zahlen, suchen sogar gezielt nach Wegen, Schutzrechte zu umgehen oder Produktionsstandorte im Ausland zu finden, an denen der Erfinder keinen Patentschutz angemeldet hat, bzw. erheben Einsprüche, um die Patentansprüche zu Fall zu bringen bzw. einzuschränken.

Die Frage der Eigentumsrechte an geistigen Erfindungen und vor allem ihre Durchsetzung ist kompliziert. Noch in den 1950er-Jahren standen westdeutschen Hochschullehrern die Eigentumsrechte an ihren Erfindungen vollumfänglich zu. Bei ausseruniversitären Forschungseinrichtungen war dies bereits seit Jahrzehnten anders. Schon gegen Ende des Wilhelminischen Zeitalters hatte in Deutschland eine Diskussion darüber eingesetzt, ob Erfindungen von staatlich finanzierten Forschern, die diese zudem in vom Staat finanzierten Einrichtungen mit Staatsmitteln machten, nicht der Allgemeinheit kostenlos zur Verfügung zu stehen hätten. Argumente der Forschermotivation, aber auch der andernfalls nicht erfolgenden industriellen Umsetzung von nicht geschützten Erfindungen wurden damals gegen die Gemeinfreiheit angeführt. Erste Einschränkungen der Eigentumsrechte fanden an ausseruniversitären Forschungseinrichtungen auf Forderung der jeweiligen Financiers statt.⁵⁵

Mit der Gründung der Kaiser-Wilhelm-Institute – zum Teil von der Industrie oder einzelnen Mäzenen finanziert – entstanden neue Modelle der Erfindervergütung für die im Vergleich zu Ordinarien überdurchschnittlich bezahlten Institutsdirektoren. Franz Fischer hatte in seinem Arbeitsvertrag 1912 zugestehen müssen, dass «von dem Gewinn aus etwaigen nutzbringenden Erfindungen, die er in dem Institut macht, 30 von Hundert an das Institut abzugeben» seien, ausserdem hatte er den Institutsfinanciers Vorrechte bei der Ausübung von Lizenzrechten zugestimmt. Er durfte die Patente jedoch weiterhin auf eigenen Namen anmelden, musste aber auch die Kosten hierfür tragen. Nach dem Ersten Weltkrieg konnte Fischer persönlich die finanziellen Belastungen nicht mehr selbst aufbringen und war zur Übertragung seiner Rechte auf das Institut bereit. Das war jedoch keine selbstständige Rechtspersönlichkeit, sondern nur ein Institut innerhalb der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, weshalb schliesslich eine andere Rechtskonstruktion gewählt wurde. Die das Institut finanzierende Industrie fand mit der am 26. Oktober 1925 von ihr gegründeten Studien- und Verwertungsgesellschaft mbH ein Modell, das unter anderem Namen heute noch gültig ist, deren Zweck ursprünglich wie folgt formuliert wurde: «die Förderung und Unterstützung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr, die Sicherung der dort ausgearbeiteten neuen Verfahren durch Erwerbung von Schutzrechten und die Auswertung der Schutzrechte im In- und Ausland.» Erfindungen aus dem Institut gingen zunächst ohne Entgelt auf die Studien- und Verwertungsgesellschaft über, die ihrerseits die Kosten für die Patentierung übernahm. Gewinne aus der Verwertung der einzelnen Patente durch die Studien- und Verwertungsgesellschaft sollten zu 30 Prozent an das Kohlenforschungsinstitut «als Entgelt für die Benutzung der Einrichtungen» und zu 40 Prozent an den Institutsdirektor «als Abgeltung für erfinderische Arbeit» abgeführt werden. Aus seinem Anteil hatte der Direktor die beteiligten Miterfinder zu entschädigen. Über die Verwendung der restlichen 30 Prozent beschloss im Einzelfall die Gesellschafterversammlung. Aus diesem Anteil mussten u. a. die Kosten der nicht erfolgreichen, keine Gewinne abwerfenden Patentierungen gezahlt werden.⁵⁶

Die 1934 einsetzenden Einnahmen aus der Lizenzierung des Fischer-Tropsch-Verfahrens ermöglichten der am Institut beteiligten Ruhrindustrie die Ansammlung eines Institutsvermögens und 1939 die Umwandlung des Instituts in eine rechtsfähige, selbstständige Stiftung mit dem dafür notwendigen Stiftungsvermögen.⁵⁷ Durch die weltweite Patentierung der Fischer-Tropsch-Synthese sammelte die Studien- und Verwertungsgesellschaft des Kohlenforschungsinstituts Informationen und Erfahrungen zur Erfindungsvermarktung, auch wenn die Ruhrchemie AG die globale Lizenzierung übernahm.⁵⁸ Im Gegensatz zu den Hochschullehrern an deutschen Universitäten und Hochschulen besass Karl Ziegler 1953 eine erfahrene Patentverwertungsgesellschaft, die seine Schutzrechte weltweit anmelden und verteidigen konnte. Dies war auch not-



6

wendig, wie sich in den nächsten Jahren herausstellen sollte.

In den Jahren 1952 bis 1994 vergab das Kohlenforschungsinstitut bzw. korrekt die Studiengesellschaft Kohle mbH, so heisst die ehemalige Studien- und Verwertungsgesellschaft mbH seit 1955, 80 bis 90 Options- und Lizenzverträge weltweit an zum Teil renommierte Firmen der chemischen Industrie und der Petrochemie. Von 1956 bis 1999 mussten zudem 149 Einsprüche einschliesslich Patentverletzungen zurückgewiesen werden. Zahlreiche Unternehmen, darunter auch Vertragspartner des Mülheimer Instituts, versuchten, die Erteilung der Schutzrechte zu verhindern bzw. ihre Reichweite einzuschränken.⁵⁹ An erster Stelle ist hier der Rechtsstreit mit der italienischen Firma Montecatini, seit 1966 Montedison S. p. A., und Giulio Natta zu nennen, der sich über 29 Jahre erstreckte und der das persönliche Verhältnis der beiden Chemie-Nobelpreisträger des Jahre 1963 nachhaltig belastete. Sowohl die Forscher in Mülheim als auch Mailand hatten mit den neuen Ziegler-Katalysatoren ganz ähnliche Polypropylenprodukte erzeugt. Während Ziegler am 21. Juli 1954 eine Probe des in Mülheim hergestellten Polypropylens nach Mailand schickte, hatten Tage zuvor Montecatini und Natta in Italien entsprechende Patente angemeldet, ohne zuvor Karl Ziegler zu informieren oder sein Einverständnis einzuholen. Ziegler meldete sein Polypropylen-Verfahren erst am 3. August 1954 zum Patent an. Gegen diese Anmeldung sprachen besonders diejenigen Firmen ein, die bisher keine Lizenz von

Mülheim erhalten hatten. Dennoch erlangte das Verfahren Gültigkeit, jedoch erst 1973 nach einer Beschwerde vor dem Bundespatentgericht. Zu diesem Zeitpunkt war die Laufzeit des Patentschutzes schon seit drei Jahren abgelaufen und Karl Ziegler bereits verstorben, aber die Priorität seiner Anmeldung war nun amtlich anerkannt.⁶⁰

Die Hauptauseinandersetzung zwischen der Studiengesellschaft Kohle und Montecatini sowie Giulio Natta fand in den Jahren 1960 bis 1983 in den USA statt, dem grössten Markt für Polyethylen und -propylen. Die Gerichte in den USA stuften Zieglers Patent auf seine Katalysatoren als Pionierpatent ein, während die Arbeiten Giulio Nattas auf denjenigen Informationen fussten, die er von Karl Ziegler erhalten hatte, also von diesen abhängig waren.⁶¹ Auch in den USA wurde den Patentanmeldungen der Italiener letztendlich aus formalen Gründen die Anerkennung verweigert. 1983 nahm Montecatini in einem aussergerichtlichen Vergleich alle Vorwürfe und Prioritätsansprüche zurück und leistete Schadensersatz an das Mülheimer Institut.⁶²

Neben dem in den USA errungenen Erfolg gegen Montecatini erwies sich eine Entscheidung des US-amerikanischen Patentamts in Washington für das Kohlenforschungsinstitut als äusserst gewinnträchtig. Bei der Prüfung der Ziegler'schen Patentanmeldung in den USA vertrat der dortige Prüfer die Auffassung, dass ein Verfahren zur Polymerisation von Ethylen und α -Olefinen und die Herstellung von Katalysatoren unabhängig voneinander zu verwer-



7

ten seien. Es könne schliesslich ein Katalysator verkauft werden, ohne das Ethylen polymerisiert werde. So entstanden aus einer Anmeldung zwei Patente. Das Patent auf die Ziegler-Katalysatoren wurde 1963 erteilt, das zweite auf den Schutz des Niederdruck-Verfahrens jedoch aufgrund zahlreicher Einsprüche erst 1978, zwei Jahre vor dem Auslaufen des ersten Patents. Da das damalige US-Patentrecht den Patentschutz für 17 Jahre erst ab Erteilung des Patentes – und nicht wie in der Bundesrepublik Deutschland 20 Jahre ab Anmeldung – gewährte, genoss das Kohlenforschungsinstitut von 1963 bis 1995 für insgesamt 32 Jahre Patentschutz auf die Polymerisation von Propylen. Alle Klagen und Beschwerden von US-Firmen gegen diese Doppelpatentierung blieben erfolglos, da die Teilung des Patents ausschliesslich vom Prüfer verlangt worden war und nie korrigiert wurde. Mittlerweile ist das US-Patentgesetz geändert und hat wie weltweit üblich eine Laufzeit von 20 Jahren ab Anmeldung. Dadurch kann sich ein Fall wie der der Ziegler'schen Doppelpatentierung theoretisch nicht mehr wiederholen.⁶³

Aus den Einnahmen seiner lizenzierten Verfahren – dazu gehörten neben Polyethylen und Polypropylen u.a. die Entkoffeinierung von Kaffee mit überkritischem CO₂ anstatt mit Lösungsmitteln, was physiologische Vorteile für die entsprechenden Kaffeetrinker bedeutet, aber auch die Cyclotrimerisation von Butadien für die Produktion von Polyamid-12 (Vestamid® und Qiana®, Günther Wilke)⁶⁴ – konnte sich das Institut über eine Zeitspanne von 40 Jahren bis

6 Karl Ziegler (Mitte) bei der Inbetriebnahme der HITAX-Anlage von Hercules Powder in Parlin, N.J., im Juni 1957: Die erste Produktionsanlage für High Density Polyethylen (HDPE) in den USA.

7 Prof. Dr. Karl Ziegler mit dem berühmten Einwegglas seiner Frau Maria zur Demonstration, dass das Ziegler'sche Polyethylen-Verfahren tatsächlich bei Normaldruck abläuft.

1995 ausschliesslich selbst finanzieren. Zu diesem Erfolg hat neben der erfinderischen Tätigkeit von Karl Ziegler und seinen Mitarbeitern wesentlich die Studiengesellschaft Kohle beigetragen, die zum einen die finanziellen Möglichkeiten besass, die zum Teil langwierigen Patentprozesse, vor allem in den USA, durchzustehen und die zum anderen auch über das Know-how verfügte, um sowohl juristisch als auch chemisch adäquat zu argumentieren, zum Teil auch gegenüber internationalen Grosskonzernen mit ihren personell gut ausgestatteten Patent- und Forschungsabteilungen. Diesen Erfolg verdankte die Studiengesellschaft Kohle vor allem dem Miterfinder Heinz Martin, der schon ab den 1960er-Jahren Karl Ziegler in chemisch-technischen als auch patentrechtlichen Fragen beriet. Nach dem Ausscheiden Karl Zieglers als Institutsdirektor 1969 und der Ernennung Günther Wilkes zu seinem Nachfolger als Institutsdirektor und damit auch zum Geschäftsführer der Studiengesellschaft Kohle wurde Heinz Martin zum weiteren, hauptamtlichen Geschäftsführer der Studiengesellschaft ernannt. Die Wahl hätte nicht besser getroffen werden kön-

nen, da Heinz Martin als Miterfinder der Polyethylen- und Polypropylen-Verfahren zusätzlich extrinsisch motiviert war und seine Arbeitskraft vornehmlich auf die Durchsetzung dieser Patentansprüche konzentrierte. Es ging immer auch um seine Mitvergütung als Erfinder. Bei dem Kampf David gegen Goliath mag auch mancher Richter sich gefreut haben, als David ihm formale Gründe aufzeigte, um den einen oder anderen Chemie-Giganten in die Schranke zu weisen. Doch dies ist eindeutig eine Spekulation, eine Hypothese, die in späteren Jahren anhand von Quellen zu überprüfen ist. Tatsache ist, dass Natta und Montecatini als erste Polypropylen bei Niederdruck hergestellt haben, aufbauend auf Zieglers Wissen um metallorganische Katalysatoren.

Pikanterweise war es anscheinend Heinz Martins Vater Friedrich, der den ersten Kontakt Mülheims zu Montecatini und Natta vermittelt hatte, die dem Institut ab 1954 den längsten Patentstreit bescherten. Friedrich Martin war bis 1945 Vorstandsvorsitzender der Ruhrchemie und hatte sich im Spätsommer 1943 als oberster Repräsentant des Generallizenznehmers der Fischer-Tropsch-Synthese für mehrere Monate in Mailand und Umgebung aufgehalten,⁶⁵ wo er auch Giulio Natta kennenlernte. Montecatini war nach dem Krieg Lizenznehmer der Aufbaureaktion und mit eigenen Forschern in Mülheim vertreten, besass aber auch Beziehungen zum Polymerforscher Giulio Natta von der Universität Mailand (Politechnikum), der recht früh die Bedeutung der metallorganischen Katalysatoren erkannte und schliesslich ihre Wirkungsmechanismen aufklärte. Er hatte Karl Zieglers Achema-Vortrag über «Aluminiumorganische Synthese im Bereich olefinischer Kohlenwasserstoffe» am 19. Mai 1952 gehört, in dem dieser über die Aufbaureaktion berichtete, und ihn einen Monat später (23. Juni 1952) an sein Istituto di Chimica industriale del Politecnico di Milano eingeladen zum Vortrag: «La sintesi alumino-organica nell'ambito degli idrocarburi olefinici».⁶⁶

In seinen Berufungsverhandlungen 1943 hatte Karl Ziegler mit dem Vorsitzenden des Verwaltungsrats des Kohlenforschungsinstituts vereinbart, dass er bei Patent-einnahmen für Arbeitsgebiete, die er neu in das Institut einbringe, einen höheren als den bei der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft üblichen Erfinderanteil erhalte. Ziegler sah in dieser Zusage eine Möglichkeit, dem Institut einen Kapitalstock durch Errichtung eines Fonds zu vermachen. Nach jahrelangen Verhandlungen mit der Max-Planck-Gesellschaft, dem Verwaltungsrat des Instituts, der auf seinen Anteil an den Einnahmen zugunsten des Instituts verzichtete, und dem Rechnungshof Düsseldorf, der die Steuerfreiheit der gemeinnützigen Stiftung weitestmöglich interpretierte, konnte schliesslich ein Vergleich geschlossen werden, in dem Ziegler auf jede Nachforderung aus Patent-einnahmen verzichtete; dafür wurde ein entsprechender Gegenwert dem Institut steuerfrei als Vermögen belassen in Form der Ziegler-Stiftung. Anlässlich des 25-jährigen Dienstjubiläums von Karl Ziegler am 1. Oktober 1968 richtete das Ehepaar Ziegler zudem den nach ihm benannten «Ziegler-Fonds» mit über 40 Millionen DM Kapital ein. Zur

Sicherung gegen Geldentwertung wird ein Bruchteil der zu vereinnahmenden Zinsen laufend dem Vermögen des Fonds zugeschlagen. Der andere Teil der Zinserträge wird dem Institut überwiesen. Die verfügbaren Zinserträge des wachsenden Ziegler-Fonds deckten in einigen Jahren bis zu 50 Prozent des Institutsetats.

Fazit

Karl Ziegler wurde mehr oder weniger gegen seinen Willen Direktor des Kaiser-Wilhelm-, ab 1949 Max-Planck-Instituts für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr, wo er und seine Mitarbeiter Heinz Breil, Erhard Holzkamp und Heinz Martin 1953 das Niederdruck-Verfahren zur Polymerisation von Ethylen zu Polyethylen bzw. 1954 von Propylen zu Polypropylen entdeckten und wo sie in der Studiengesellschaft Kohle eine Patentverwertungsgesellschaft vorfanden, die ihnen aufgrund ihres Know-hows und ihrer finanziellen Ressourcen ermöglichte, ihre Schutzrechte in zum Teil jahrzehntelangen Prozessen weltweit durchzusetzen.

Erst diese einmalige Kombination von Forschern und Ort (gemeinnützige, rechtlich selbstständige Stiftung, Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Studiengesellschaft Kohle GmbH) ermöglichte die finanziell einmalige Erfindungs- und Vermarktungsgeschichte der Verfahren zur Herstellung von Polyethylen bzw. Polypropylen bei Niederdruck. ■

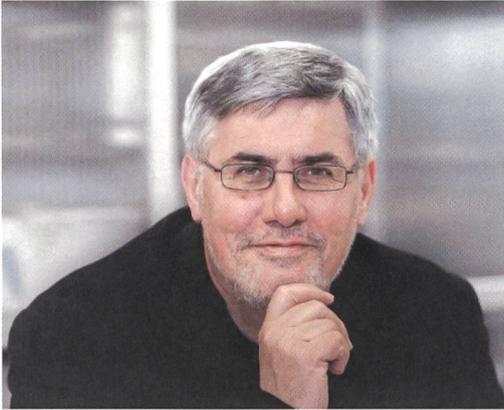
Verwandter Artikel im Ferrum-Archiv:

«Celluloid: vom explosiven Wirkstoff zum konstruierten Werkstoff» von Reiner F. Oelsner aus Ferrum 69/1997: Technische Entwicklung als Folge von Katastrophen



Zum Autor

Prof. Dr. Manfred Rasch



Jahrgang 1955; 1975–1981 Studium der Geschichte, Mathematik und Pädagogik; 1984–1986 Referendariat; 1986–1992 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung; 1989 Promotion; seit 1992 Leiter des heutigen thyssenkrupp Konzernarchivs; 2003 Honorarprofessor der Ruhr-Universität Bochum; Forschungsschwerpunkte sind Wirtschafts-, Technik- und Wissenschaftsgeschichte des 19. und 20. Jahrhunderts, insbesondere des Ruhrgebiets. Länderdelegierter der Eisenbibliothek 2000–2010.

thyssenkrupp Corporate Archives, Duisburg, Deutschland
konzernarchiv@thyssenkrupp.com

Bildnachweis

- 1–4 Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Archiv, Mülheim an der Ruhr
- 5 Oxea/Ruhrchemie
- 6–7 Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Archiv, Mülheim an der Ruhr

Anmerkungen

- 1 Ich verwende den Begriff Niederdruck-Polyethylen im Gegensatz zum Hochdruck-Polyethylen, um zu betonen, dass die von Ziegler und Mitarbeitern erfundene Synthese bei niedrigen Drücken – sogar bei Normaldruck – zwischen 1 und 100 bar abläuft. Das ICI-Hochdruckverfahren verwendet Drücke von 1400 bis 3000 bar bei Temperaturen von 200 bis 300 °C. Ziegler und Mitarbeiter zeigten, dass die Polymerisation schon bei Normaldruck (1 bar) abläuft; in der industriellen Technik werden heute Drücke bis 100 bar angewandt, da mit steigendem Druck die Raum-Zeit-Ausbeute steigt, d. h., aufgrund des grösseren Angebots an Ethylen im Reaktor die Reaktionsgeschwindigkeit steigt und man deshalb mit kleineren Reaktoren die gleichen Umsätze erzielt. Herrn Prof. Dr. Mathias Haenel, Mülheim/Ruhr, danke ich für Hinweise.
- 2 Manfred Rasch: Kohlenforschung und elektrochemische Stromerzeugung. Aus der Forschungsgeschichte des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr. In: Technikgeschichte Bd. 58 (1991), S. 127–150.
- 3 Ders.: Vorgeschichte und Gründung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung. In: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung (Hg.): Katalyse auf dem Kahlenberg. 100 Jahre Max-Planck-Institut für Kohlenforschung. Essen 2015, S. 9–26; ders.: Vorgeschichte und Gründung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung in Mülheim a. d. Ruhr [= Zeitschrift des Geschichtsvereins Mülheim a. d. Ruhr, Heft 60/1987]. Hagen 1987.
- 4 Emil Fischer: Die Aufgaben des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung. In: Stahl und Eisen 32 (1912), S. 1898–1903; dgl. in: Glückauf 8 (1912), S. 1872–1877; dgl. in: Generalanzeiger für Mülheim (Ruhr) Nr. 275, 22.11.1912, S. 3–4; dgl. in: Journal für Gasbeleuchtung 55 (1912), S. 1228–1232; dgl. in: Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle 1 (1917), S. 323–336; dgl. in: Emil Fischer: Untersuchungen aus verschiedenen Gebieten. Berlin 1924, S. 810–822.
- 5 Manfred Rasch: Franz Fischer (1877–1947): Leben und Forschung. In: Zeitschrift des Geschichtsvereins Mülheim a. d. Ruhr Heft 70 (1998), S. 86–128.
- 6 Ders.: Geschichte des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung 1913–1943. Weinheim u. a. 1989, S. 63–70.
- 7 Ders.: Tropsch, Hans [Chemiker]. In: Neue Deutsche Biographie 26 (2016), S. 453–454.
- 8 Ders.: Friedrich Bergius und die Kohleverflüssigung – Stationen einer Entwicklung [= Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Nr. 35]. Bochum 1985.

Anmerkungen

- 9 Ders.: Nebenproduktanlagen der Koke-
reien und Entwicklung der Kohlechemie
im rheinisch-westfälischen Industrie-
gebiet bis zum Ende des Zweiten Welt-
kriegs. Ein historischer Überblick mit
Bemerkungen zur denkmalpflegerisch-
musealen Behandlung des Themas.
In: Walter Buschmann (Hg.): Koks – Gas
– Kohlechemie. Historische Bedeutung
der Kohleverarbeitung und Chancen ihrer
denkmalpflegerischen Überlieferung.
Essen 1993, S. 31–51, hier S. 48.
- 10 Ders.: Kohlechemie im Ruhrgebiet: Wirt-
schaft, Technik und Patente. Zur Vor- und
Gründungsgeschichte der Ruhrchemie
AG 1926–1928. In: Ders., Dietmar Bleidick
(Hg.): Technikgeschichte im Ruhrgebiet
– Technikgeschichte für das Ruhrgebiet.
Essen 2004, S. 785–815.
- 11 Ders.: Friedrich Martin (1885–1951).
In: Wolfhard Weber (Hg.): Ingenieure im
Ruhrgebiet (= Rheinisch-Westfälische
Wirtschaftsbiographien Bd. 17). Münster
1999, S. 390–422, hier S. 394–402; ders.,
Geschichte (wie Anm. 6), S. 281–288.
- 12 Christian Marx: Paul Reusch und die
Gutehoffnungshütte. Leitung eines deut-
schen Grossunternehmens, Göttingen
2013; ders.: Paul Reusch – ein politischer
Unternehmer im Zeitalter der System-
brüche. Vom Kaiserreich zur Bundes-
republik. In: Vierteljahresschrift für
Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 101
(2014), S. 273–299.
- 13 Manfred Rasch: Albert Vögler, die
Industrie und die Wissenschaften.
Annäherung an ein Thema. In: Ulrich S.
Soënius (Hg.): Bewegen – Verbinden –
Gestalten. Unternehmer vom 17. bis zum
20. Jahrhundert. Festschrift für Klara
van Eyll zum 28. September 2003. Köln
2003, S. 313–333; ders.: Auf dem Weg
zum Dienstfinder: Zur kommerziellen
Nutzung von Forschungsergebnissen
aus Kaiser-Wilhelm-Instituten. In: Dieter
Hoffmann, Birgit Kolboske, Jürgen Renn
(Hg.): «Dem Anwenden muss das Erken-
nen vorausgehen». Auf dem Weg zu einer
Geschichte der Kaiser-Wilhelm-/Max-
Planck-Gesellschaft, 2. Auflage. Berlin
2015, S. 219–242, hier S. 237.
- 14 Rüdiger vom Bruch, Helmuth Trischler:
Forschung für den Markt. Geschichte der
Fraunhofer-Gesellschaft. München 1999.
- 15 Zitat aus Aktenvermerk Kellermanns
über die Besprechung mit Vögler am
12.10.1942, in: Rheinisch-Westfälisches
Wirtschaftsarchiv (RWWA),
130-406101332/32.
- 16 Schreiben Vögler an Kellermann vom
10.12.1942, in: ebd.
- 17 Fischer, Aufgaben (wie Anm. 4), hier S. 334f.
- 18 Klaus Clusius (19.3.1903–23.5.1963),
Physikochemiker, a.o. Professor in Würz-
burg (1934–1936), Ordinarius für physika-
lische Chemie München und ab 1947 in
Zürich; Arbeiten u.a. zur Reaktionskinetik
(besonders von Kettenreaktionen), über
Phasenumwandlungen, über Flammen
und Explosionen und auf dem Gebiet der
tiefen Temperaturen, entwickelte 1938
zusammen mit Gerhard Dickel das nach
ihnen benannte Trennrohr zur Gasent-
mischung und Isotopentrennung.
- 19 Rudolf Criegee (23.5.1902–7.11.1975),
Organiker, 1919 Freikorps Berlin,
Chemiestudium 1920 Tübingen, 1922
Greifswald, 1923 Würzburg, 1925
Promotion über «Die Einwirkung von
Acridiniumsalzen auf kuppelungsfähige
Substanzen», 1930 Habilitation Würzburg
über «Oxydation ungesättigter Kohlen-
wasserstoffe mit Blei(IV)-Salzen», 1932
Wechsel nach Marburg als Oberassistent,
1937 planmässiger Extraordinarius
für Organische Chemie TH Karlsruhe.
September 1939 bis Februar 1940
Wehrdienst, erneut Januar 1942 bis Mai
1943, November 1942 Verwundung, Mai
1943 Freistellung vom Wehrdienst für
Hochschulforschung; Sommer 1944
Zerstörung des Chemischen Instituts
in Karlsruhe, weshalb er nach Marburg
umsiedelte; 1949 Nachfolge Meerweins
in Marburg abgelehnt, dafür Ernennung
zum Direktor des selbstständig geworde-
nen Instituts für Organische Chemie der
TH Karlsruhe. Hauptarbeitsgebiete wa-
ren: Glykolspaltung, organische Peroxide,
Ozonide, Synthesen und Photochemie
von kleinen Ringen.
- 20 Karl Ziegler (26.11.1898–11.8.1973),
Chemiestudium Marburg, 1920 Promo-
tion bei Karl von Auwers, 1923 Habi-
litation «Zur Kenntnis des <dreiwertigen>
Kohlenstoffs» ebd., Lehraufenthalt in
Frankfurt/Main 1925/26; 1926–1936 a.o.
Prof. in Heidelberg, 1936–1945 Direktor
des Chemischen Instituts der Universität
Halle-Wittenberg, von 1943–1969 Direk-
tor des KWI/MPI für Kohlenforschung;
Arbeiten über freie organische Radikale,
metall-, insbesondere lithium- und
aluminiumorganische Verbindungen,
vieltgliedrige Ringe, Polymerisation, Katalyse,
Polyethylenherstellung, Synthese
von Bleitetraethyl. Für seine metallor-
ganischen Arbeiten, die in unerwarteter
Weise zu neuen Polymerisationsreak-
tionen führten und dadurch neuen, sehr
bedeutungsvollen technischen Prozessen
den Weg bahnten, erhielt Ziegler 1963
zusammen mit Giulio Natta, dem die
Strukturaufklärung der Polymere zu
verdanken ist, den Chemie-Nobelpreis;
siehe auch: Manfred Rasch: Karl Ziegler:
Chemie-Nobelpreisträger, Institutsdirek-
tor und Wissenschaftsmanager. In: Horst
A. Wessel (Hg.): Mülheimer Unternehmer
und Pioniere im 19. und 20. Jahrhundert.
Essen 2012, S. 328–337; Günther Wilke:
Nachruf auf Karl Ziegler. In: Liebigs
Annalen der Chemie 1975, S. 805–833.
- 21 Georg Wittig (16.6.1897–26.8.1987),
Chemiker, Prof. in Braunschweig, Frei-
burg/Breisgau, Tübingen, Heidelberg,
arbeitete – teilweise wie Ziegler – über
heterocyclische und metallorganische
Verbindungen, freie Radikale, Stereo-
chemie; entdeckte das Dehydrobenzol
und entwickelte 1953 die Wittig-Reaktion
zur Herstellung ungesättigter organi-
scher Verbindungen durch Umsetzen
von Aldehyden oder Ketonen mit Yliden,
wofür er 1979 zusammen mit Herbert
Charles Brown den Nobelpreis für
Chemie erhielt.
- 22 Siehe beispielsweise Hermann Römp-
p: Chemie-Lexikon. Mit jeder neuen Auflage
nahm der historische Gehalt des Römp-
p-Lexikons Chemie (10. Aufl. 1999) leider
weiter ab; jetzt ein Online-Nachschlage-
werk.
- 23 Schreiben Forstmann an Dittebrand vom
06.03.1939, Durchschlag in: MPG-Archiv I
Abt. Rep. 1 A-229; Schreiben Ziegler
an Regierungsrat Müller, Reichsamt
für Wirtschaftsausbau vom 12.03.1940,
Abschrift in: ebd.; Vertragsentwurf zwi-
schen Deutschem Reich und Karl Ziegler
vom 04.08.1939, in: ebd. 1 A-2890. Nach
Ziegler wurde Johann Heinrich Helberger
als Kandidat gehandelt, berufen wurde
jedoch 1942 der Chemiker und National-
sozialist Eugen Müller.
- 24 Manfred Rasch: Mentzel, Rudolf
(NS-Wissenschaftspolitiker). In: Neue
Deutsche Biographie 17 (1994), S. 96–98.
- 25 Die Berufungsverhandlung ausführlich
dargestellt ders.: Universitätslehrstuhl
oder Forschungsinstitut? Karl Zieglers
Berufung zum Direktor des Kaiser-
Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung
im Jahr 1943. Eine Studie zum Verhältnis
von Wissenschaft, Wirtschaft und Staat
im Dritten Reich. In: Bernhard vom Bro-
cke, Hubert Laitko (Hg.): Die Kaiser-Wil-
helm-/Max-Planck-Gesellschaft und ihre
Institute. Studien zu ihrer Geschichte.
Bd. 1 Das Harnack-Prinzip. Berlin 1996,
S. 469–505; Karl Zieglers Berufung 1943
zum Direktor des Kaiser-Wilhelm-Insti-
tuts für Kohlenforschung. In: Zeitschrift
des Geschichtsvereins Mülheim a. d.
Ruhr, Heft 70 (1998), S. 155–206.
- 26 Urkunde über Verleihung des Kriegsver-
dienstkreuzes II. Klasse an Karl Ziegler,
19.10.1940, in: Max-Planck-Institut für
Kohlenforschung, PA Karl Ziegler. Im
Aktenvermerk Telschow über «Bespre-
chung mit Professor Ziegler am 24. März
1944» (in: MPG-Archiv A 1-1325) wird
erwähnt, dass Ziegler «Verfahren zur
Herstellung phosphorfreier wirksamer
Brandsätze» zum Patent angemeldet
hatte und diese nun ausser dem Militär
(OKH; RLM) auch dem «Ministerium
Speer» anbieten wolle. Es handelte
sich dabei um die Patentanmeldungen
Z 28496/78 D 101 vom 24.3.1944, Karl
Ziegler, Kurt Breitbach: Anwendung von
Natriumarylen als Grundlage selbstent-
zündender Brandmassen, und Z 28503/12
O 26/03 vom 24.3.1944, Karl Ziegler, Kurt
Breitbach: Verfahren zur Darstellung
von Natriumarylen. Hinweis auf das
Hexamethylethan: freundliche Mitteilung
von Prof. Dr. Günther O. Schenck,

- Mülheim, damals Zieglers Mitarbeiter. Die Rolle Zieglers ist in der jüngsten Zeit umstritten. Er soll förderndes Mitglied der SS gewesen sein und durch seine Forschungen indirekt die Kriegsdauer verlängert haben.
- 27** Rasch, Berufung [wie Anm. 25], hier S. 184f.
- 28** Ebd., S. 188.
- 29** Mit Schreiben vom 9.7.1943 erklärte sich das Reichserziehungsministerium mit der Wahl Zieglers zum Direktor des Kohlenforschungsinstituts einverstanden, in: MPG-Archiv II Abt. Rep 1 A Personalakte Karl Ziegler; mit Schreiben vom 16.7.1943 beurlaubte das Reichserziehungsministerium Ziegler «zur kommissarischen Wahrnehmung der Dienstgeschäfte des Direktors und Professors» des KWI für Kohlenforschung, beglaubigte Abschrift in: Universitätsarchiv Halle Abt. II Abschnitt D Nr. 13, Bd. 1 PA 17435 Karl Ziegler; Schreiben Ziegler an Reichserziehungsministerium vom 20.10.1943, Neuschrift vom 26.1.1944, Durchschlag in: ebd., Parallelüberlieferung in: Bundesarchiv Koblenz R 21-11031, p. 316f.
- 30** Schreiben Ziegler an Rektor Eisfeld vom 27.12.1945, in: Universitätsarchiv Halle Abt. II Abschnitt D Nr. 13, Bd. 1 PA 17435 Karl Ziegler.
- 31** Schreiben Vögler an Kellermann vom 20.11.1943, Durchschlag in: RWVA 130- 400101332/31.
- 32** Zur Vita siehe Bodo Herzog: Kellermann, Hermann, Montanindustrieller. In: NDB 11 (1977), S. 472f.
- 33** Siehe hierzu die ausführliche Darstellung bei Günther Wilke: 50 Jahre Ziegler-Katalysatoren: Werdegang und Folgen einer Erfindung. In: *Angewandte Chemie* 115 (2003), S. 5150–5159.
- 34** Matthias W. Haenel: Karl Ziegler als Direktor des Instituts 1943–1969. In: *Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Katalyse* [wie Anm. 3], S. 49–103, hier S. 68f., 71.
- 35** Ebd., S. 72.
- 36** Ebd., S. 74.
- 37** Ebd., S. 73.
- 38** V2A ist ein Produktname für eine Edelstahlsorte, hergeleitet aus dem Versuchskürzel; ein Autoklav ist ein Hochdruckbehälter. Zur Geschichte des nichtrostenden Stahls siehe Manfred Rasch (Hg.): *100 Jahre nichtrostender Stahl. Historisches und Aktuelles*. Essen 2012.
- 39** Es gibt verschiedene Versionen für die Ursache der Nickelspuren. Während Heinz Martin auf «Spuren von Nickelmetall aus dem Chrom-Nickel-Stahl (V2A)» des Autoklaven verweist [Heinz Martin: *Polymere und Patente*. Karl Ziegler, das Team, 1953–1998. Zur wirtschaftlichen Verwertung akademischer Forschung, Weinheim u. a. 2002, hier S. 12], ebenso Wilke, Ziegler-Katalysatoren [wie Anm. 33], S. 5156, verweist Karl Ziegler in seinem Aufsatz zusammen mit seinen Miterfindern auf eine andere Ursache: «Der Autoklav war zuvor für Hydrierreaktionen eingesetzt worden und in Haarrissen war etwas Nickel [aus dem als Katalysator eingesetzten Raney-Nickel] zurückgeblieben. Beim Reinigen mit Salpetersäure und anschließend einem phosphathaltigen Waschmittel hatte sich etwas schwer lösliches Nickelphosphat gebildet, das dann durch Aluminium-triethyl reduziert wurde». [Karl Ziegler, Erhard Holzkamp, Heinz Breil, Heinz Martin: *Das Mülheimer Normaldruck-Polyäthylen-Verfahren*. In: *Angewandte Chemie* 67 (1955), S. 541–547.] Ob Ziegler bewusst eine falsche Spur legen wollte oder ob dies 1955 sein Kenntnisstand war, muss dahingestellt bleiben. Martin und Wilke waren 1953 im Institut anwesend.
- 40** Bei dieser von Ziegler selbst verfassten Anmeldung war das Verfahren noch dadurch gekennzeichnet, dass man Ethylen bei Drücken von mehr als 10 bar und Temperaturen von über 50 °C mit metallorganischen Mischkatalysatoren aus Aluminiumtrialkyliden und Verbindungen der Übergangsmetalle Titan, Zirkonium, Hafnium, Vanadium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän und Wolfram zusammenbringt, weshalb Ziegler auch von Niederdruck-Polyethylen sprach, auch wenn es später gelang, die Synthese sogar bei Normaldruck durchzuführen.
- 41** Manfred Rasch: Zur Institutsgeschichte. In: *Max-Planck-Gesellschaft* (Hg.): *Max-Planck-Institut für Kohlenforschung Mülheim a. d. Ruhr*. [= *Berichte und Mitteilungen* 2/87] München 1987, S. 9–55.
- 42** Ebd., S. 34–39.
- 43** Rasch, *Geschichte* [wie Anm. 6], S. 172–174.
- 44** Heinz Breil hatte in zwei ersten Versuchen mit Propylen und einem Aluminium/Zirkonium- bzw. Aluminium/Titankatalysator kein festes Polypropylen isolieren können, siehe Haenel, Karl Ziegler [wie Anm. 34], S. 78.
- 45** Von Ende Februar bis kurz vor Weihnachten 1953 hielten sich zwei Chemiker und ein Ingenieur von Montecatini im Kohlenforschungsinstitut auf, um sich vertragsgemäss mit der Aufbaureaktion vertraut zu machen, siehe ebd., S. 79.
- 46** Mit der sechsten Patentanmeldung vom 3.8.1954 erweiterte Ziegler seine Ansprüche bzgl. der polymerisierbaren Olefine von Ethylen auf α -Olefine wie Propylen und 1-Buten, siehe ebd., S. 78.
- 47** Wilke, *Nachruf* [wie Anm. 20], hier S. 819.
- 48** So wurden die Katalysatoren auch von Giulio Natta in seinen Patentanmeldungen bezeichnet.
- 49** Siehe u. a. die Beiträge von Susan Mossmann und Günter Lattermann in diesem Heft.
- 50** Rasch, *Geschichte* [wie Anm. 6], S. 276–288; ders., Friedrich Martin [wie Anm. 11], hier S. 394–408.
- 51** Manfred Rasch: *Otto Roelen: Leben und Forschen* [Otto Roelen: *Life and research*], in: OXEA GmbH (Hg.): *75 Jahre Oxo-Synthese [75 Years of Oxo Synthesis]*. Essen 2013, S. 95–158, [deutsch und englisch], hier S. 145–148.
- 52** Haenel, Karl Ziegler [wie Anm. 34], hier S. 86; Heinz Martin: *Polymers, Patents, Profits. A classic case study for patent infighting*. Karl Ziegler, the team 1953–1998. Weinheim 2007.
- 53** Karl Ziegler: *Folgen und Werdegang einer Erfindung*. In: *Angewandte Chemie* 76 (1964), S. 545–553, hier S. 545.
- 54** Haenel, Karl Ziegler [wie Anm. 34], hier S. 87.
- 55** Rasch, *Auf dem Weg* [wie Anm. 13], S. 219–242.
- 56** Ders.: *Sonderstatus innerhalb der Max-Planck-Gesellschaft*. In: *Max-Planck-Gesellschaft* (Hg.): *Max-Planck-Institut für Kohlenforschung Mülheim a. d. Ruhr* [= *Berichte und Mitteilungen* 2/87]. München 1987, S. 56–61, hier S. 57; ders., *Geschichte* [wie Anm. 6], S. 120–130.
- 57** Ebd., S. 261–276.
- 58** Ebd., S. 276–293.
- 59** Ziegler et al., Mülheimer [wie Anm. 39], S. 541–547; Haenel, Karl Ziegler [wie Anm. 34], hier S. 85.
- 60** Ebd., S. 81f.
- 61** Ebd., S. 84.
- 62** Ebd., S. 82f.
- 63** Ebd., S. 84.
- 64** Ebd., S. 121.
- 65** Rasch, Friedrich Martin [wie Anm. 11], hier S. 411f.
- 66** Die Vorträge wurden veröffentlicht in: *Angewandte Chemie* 64 (1952), S. 323–329, bzw. *La Chimica e l'industria* 34 (1952), S. 520–527.