

HISTORISCHE STÄTTEN DER CHEMIE

# Otto Roelen

Oberhausen, 24. September 2013



*Nach der von Otto Roelen 1938 entdeckten Oxo-Synthese (Hydroformylierung) werden in Oberhausen-Holten und in der ganzen Welt jährlich über zwölf Millionen Tonnen sogenannter Oxo-Produkte hergestellt. Viele Chemiker kennen zumindest seine Entdeckung, nur wenige jedoch den Erfinder.*



Bronzetafel neben dem Eingang zum derzeitigen Verwaltungsgebäude der OXEA im Werk Ruhrchemie, Otto-Roelen-Strasse 3, Oberhausen

Mit dem Programm „Historische Stätten der Chemie“ würdigt die Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) Leistungen von geschichtlichem Rang in der Chemie. Als Orte der Erinnerung werden Wirkungsstätten beteiligter Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen in einem feierlichen Akt ausgezeichnet.

Eine Broschüre stellt deren wissenschaftliches Werk und die Tragweite ihrer Arbeiten im aktuellen Kontext dar. Ziel dieses Programmes ist es, die Erinnerung an das kulturelle Erbe der Chemie wach zu halten sowie ihre historischen Wurzeln stärker in das Blickfeld der Öffentlichkeit zu rücken.

Bildnachweise für die Titelseite

Oben links: Otto Roelen, 1959 (Fotowerkstätten Opperbecke Duisburg, LVR-Industriemuseum, Sammlung Ruhrchemie).

Oben rechts: Erster Oxo-Reaktor von 1938 (Foto LVR-Industriemuseum, Sammlung Ruhrchemie, reh 3399).

Unten: Werk Ruhrchemie der ehemaligen Ruhrchemie AG in Oberhausen Holten aus dem Jahre 1954

(Foto: Emil Schütte (Bottrop), LVR-Industriemuseum, Sammlung Ruhrchemie, reh 2818).

Am 24. September 2013 würdigen die GDCh und die OXEA die bahnbrechenden Arbeiten von Otto Roelen (1897–1993) auf dem Gebiet der Hydroformylierung (Oxo-Synthese). Diese Entdeckung (eine Reaktion von Olefinen mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff) im Jahr 1938 war wegweisend für die Nutzung von fossilen Rohstoffen zur Herstellung von Aldehyden und deren Folgeprodukten (Carbonsäuren und Alkohole).

Gewürdigt werden zudem das im Werk Ruhrchemie erstmals von Otto Roelen industriell praktizierte Fischer-Tropsch-Verfahren (Herstellung von Kohlenwasserstoffen aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff bei Normaldruck) und die großtechnische Herstellung von hochmolekularem Polyethylen nach dem Verfahren von Karl Ziegler (1898–1973). Mit der Anwendung der Oxo-Synthese und der Ziegler-Polymerisation begann das Zeitalter der industriell genutzten homogenen Katalyse. Die Entdeckung von 1938 wirkte auch auf die Entwicklung der metallorganischen Komplexkatalyse und der homogenen Katalyse, die heute zu den bedeutendsten und innovativsten Gebieten der Chemie gehören und für die Synthese organischer Chemikalien in der chemischen und auch pharmazeutischen Industrie große wirtschaftliche und technische Bedeutung besitzen.

Für seine bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet der industriellen Chemie erhielt Otto Roelen 1963 die Adolf-von-Baeyer-Denkmedaille der GDCh sowie im gleichen Jahr die Wilhelm-Normann-Medaille der Deutschen Gesellschaft für Fettwissenschaft. Das Ehrendoktorat der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen wurde ihm 1983 verliehen. In Würdigung seiner Verdienste verleiht die DECHEMA seit 1997 die von OXEA gestiftete und nach ihm benannte Otto-Roelen-Medaille für herausragende wissenschaftliche Leistungen auf dem Gebiet der anwendungsbezogenen Katalyse.

## LEBENS DATEN

22.03.1897	Otto Roelen wird in Mülheim an der Ruhr als einziges Kind des Kaufmanns Otto Roelen sen. und seiner Ehefrau Margarethe, geb. Vosswinkel, geboren
04.08.1914	Vorgezogenes Kriegsabitur am Realgymnasium in Mülheim
1914 – 1915	Praktikum auf der Friedrich Wilhelms-Hütte in Mülheim
1915	Studium der Chemie an der Technischen Hochschule München
1915 – 1918	Kriegsdienst bei der II. Marine Art. Abt. II. Schw. Korps. Art. Regiments
1919 – 1922	Studium der Chemie an der Technischen Hochschule Stuttgart fortgesetzt
1922	Praktikum im Forschungslaboratorium der Eisen- und Stahlwerke Hoesch AG in Dortmund
1922 – 1923	Doktorand am Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Kohlenforschung bei Prof. Franz Fischer / Dr. Hans Tropsch
1923 – 1924	Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Hans Th. Bucherer an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg
05.03.1924	Promotion zum Dr.-Ing. an der Technischen Hochschule Stuttgart bei William Küster mit der Arbeit „I: Über die katalytische Zersetzung des Formaldehyds bei höheren Temperaturen; II: Über die teilweise Verbrennung von Methan zu Formaldehyd mit Luft“
1924 – 1927	Assistent am KWI für Kohlenforschung bei Prof. Franz Fischer / Dr. Hans Tropsch. Zuständig für die Hochdruckversuche zur Herstellung von Synthol
1927 – 1934	Leitung der Fischer-Tropsch-Versuchsanlagen, seit 1931 Stellvertreter des Institutsdirektors Prof. Franz Fischer
01.11.1934	Wechsel zur Ruhrchemie AG gemeinsam mit seinem Assistenten Dr. Walter Feißt und seinem Laboranten Franz Hanisch
1935 – 1945	Leiter des Forschungslaboratoriums der Ruhrchemie AG bzw. Ruhrbenzin AG. Zuständig für die Versuchsanlage zur Herstellung von Benzin nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren
Dezember 1937	Zufallsentdeckung der Oxo-Synthese (Hydroformylierung)
19.09.1938	Anmeldung der Patentschrift DE849548 über das „Verfahren zur Herstellung von sauerstoffhaltigen Verbindungen“ (Hydroformylierung)
1941	Entwicklung zur Umsetzung der technisch-wirtschaftlichen Methanisierung von Kohlenoxid
1945	Auslagerung der Produktionsstätte der Ruhrchemie nach Gebhardhagen/Salzgitter und Rückkehr Roelens im Oktober 1945 nach Oberhausen
05.11.1945 – 12.08.1946	Internierung in Wimbledon zwecks Befragung durch die britische Militärregierung zu Themen der FT- und Oxo-Synthese
1946 – 1948	Forschungsverbot für die Ruhrchemie durch die alliierte Besatzung angeordnet
1949 – 1955	Direktionsassistent von Dr. August Hagemann bei der Ruhrchemie AG
1954	Realisierung der großtechnischen Herstellung von hochmolekularem Polyethylen nach dem Verfahren von Karl Ziegler (1898 – 1973) bei der Ruhrchemie AG (Patentschriften DE 973540, DE1008000 und DE1021168)
1955 – 1962	Prokurist und Leiter der Forschungslaboratorien und Versuchsanlagen der Ruhrchemie AG
31.03.1962	Pensionierung
1978	Letzte Publikation „Die Entdeckung der Fischer-Tropsch-Synthese“ in: Erdöl & Kohle, Erdgas, Petrochemie 1978, 31, 524–529
24.07.1991	Eheschließung mit seiner langjährigen Lebensgefährtin Helga Christ
30.01.1993	Otto Roelen stirbt 95-jährig in Bad Honnef

### Ehrungen

1963	Adolf-von-Baeyer-Denkünze der Gesellschaft Deutscher Chemiker
1963	Wilhelm-Normann-Medaille der Deutschen Gesellschaft für Fettwissenschaft e.V.
1983	Ernennung zum Dr. rer. nat. E. h. der RWTH Aachen

# OTTO ROELEN – LEBEN UND FORSCHEN

## Studium, erste Arbeiten am KWI für Kohlenforschung und Promotion



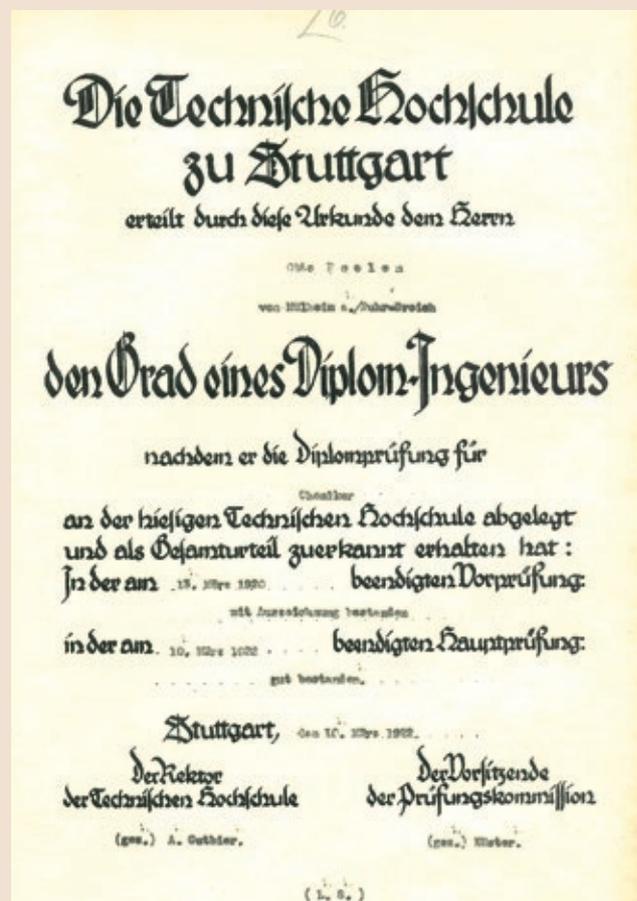
Otto Roelen (3. v. l.) als Student im Anorganischen Laboratorium der TH Stuttgart (1922). (LVR-Industriemuseum Sammlung Ruhrchemie reh 3386)

Otto Roelen, am 22. März 1897 in Mülheim-Broich geboren und in bürgerlichen Verhältnissen aufgewachsen, interessierte sich früh für Chemie, belegte zusätzliche chemische Übungen in der Schule und erlebte als Zaungast am 27. Juli 1914 – vier Tage vor Ausbruch des Ersten Weltkrieges – die Eröffnung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung (1948 umbenannt in Max-Planck-Institut) in Mülheim. Am 4. August erwarb er das vorgezogene und erleichterte Kriegabitur, meldete sich jedoch nicht als Kriegsfreiwilliger, sondern absolvierte ein halbjähriges Praktikum auf der nahegelegenen Friedrich-Wilhelms-Hütte. Das Hüttenwerk mit Gießerei und eigener Maschinenbauanstalt realisierte 1910 als erstes deutsches Montanunternehmen den Energieverbund von Hochofen und Kokerei. Es besaß außerdem ein wissenschaftlich geführtes Laboratorium. So erhielt der junge Roelen Einblicke in die sich ständig weiterentwickelnde Eisen- und Stahlindustrie sowie in die Industrieforschung mit ihrem Anspruch auf akademische Wissenschaftlichkeit.

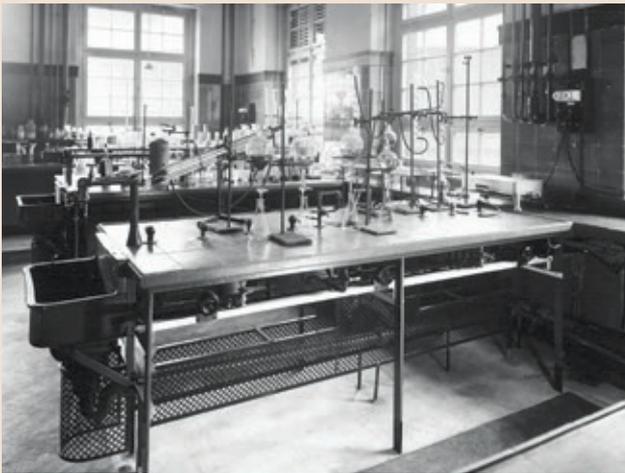
Zum Sommersemester 1915 schrieb sich Otto Roelen an der TH München für Chemie ein, wurde jedoch am 19. August zur Marine eingezogen. Nach einer Verwundung 1917 als kriegsverwendungsunfähig eingestuft, arbeitete er bis zum Ende des Krieges als chemischer Praktikant auf der kaiserlichen U-Bootwerft in Wilhelmshaven. Am 8. Dezember 1918 aus der ehemals Kaiserlichen Marine entlassen, setzte Otto Roelen im Frühjahr 1919 sein Chemiestudium an der TH Stuttgart fort. Nach sechs Semestern am 10. März 1922 bestand er die Diplom-Hauptprüfung in der Fachrichtung Chemie.

Bereits damals schlossen die meisten Chemiestudenten ihr Studium mit der Promotion ab; auch Otto Roelen wollte promovieren. Wenn man nicht eine der seltenen Assistenten-/Hilfskraftstellen ergatterte, dann war die Promotion mit zusätzlichen Kosten verbunden, zumal eine allgemeine Studienförderung begabter Studenten noch nicht

existierte. Bei Otto Roelen folgte zunächst wieder ein Praktikum in der Eisen- und Stahlindustrie, diesmal im Forschungslaboratorium des Dortmunder Montankonzerns Eisen- und Stahlwerk Hoesch AG. Vermutlich suchte Roelen jemanden, der ihm das Promotionsstudium bezahlte, d. h. er suchte ein Thema mit Praxisbezug. In Stuttgart hatte er keine der seltenen bezahlten Assistenten- bzw. Hilfskraftstellen erhalten. Hingegen wurden die Laboratorien und Versuchsanstalten der deutschen Stahlindustrie seit der Jahrhundertwende sowohl personell als auch apparativ ausgebaut und nahmen sich verstärkt auch Themen der Grundlagenforschung an. Wegen der werkseigenen Zechen und Kokereien untersuchten diese Laboratorien auch Aspekte der Kohlechemie und vor allem der ökonomischen Verwertung der Kokereiebenprodukte neben den täglichen Produktionsanalysen; ihr Hauptarbeitsgebiet war jedoch die anorganische Chemie, die in Deutschland seit der Jahrhundertwende einen kontinuierlichen langsamen Aufschwung erlebte. Das Hoesch-Laboratorium untergliederte sich in die fünf Abteilungen Stahl, Erz und Schlacke, Öl und Brennstoff, Sonderanalysen sowie wissenschaftliche Untersuchungen. In Dortmund fand Roelen jedoch kein Thema für eine bezahlte Doktorarbeit. In seinen späteren Lebensläufen unterschlug er dieses kurze Praktikum. Hingegen erinnerte sich das Unternehmen Hoesch anlässlich des 50-jährigen Bestehens der Forschungsabteilung im Jahre 1937 seiner.



Urkunde der Technischen Hochschule zu Stuttgart über die bestandene Prüfung zum Diplomingenieur, 10. März 1922 (Universitätsarchiv Stuttgart)



Chemisches Labor der Versuchsanstalt der Eisen- und Stahlwerk Hoesch AG in Dortmund, in dem Otto Roelen 1922 kurzzeitig tätig war (vor 1926) (ThyssenKrupp Konzernarchiv, Hoesch-Archiv, Duisburg)

Während des Dortmunder Praktikums fragte Otto Roelen beim Direktor des Mülheimer Kohlenforschungsinstituts Professor Franz Fischer an, ob er am Institut eine Doktorarbeit schreiben könne. Fischer nahm Roelen als Doktorand an. Er sollte in Mülheim für seine Doktorarbeit forschen, diese aber in Stuttgart vorlegen und verteidigen, denn Fischer war seit seinem Wechsel von der TH Berlin-Charlottenburg nach Mülheim lediglich Honorarprofessor an seiner einstigen Hochschule und nahm nur noch als externer Gutachter an Promotionen teil.

Der Wechsel von Stuttgart über Dortmund nach Mülheim bedeutete für Roelen einen grundlegenden Wechsel von der anorganischen zur organischen Chemie, von der Komplex- und Kolloidchemie eines Professors Gutbier zur organischen Kohlechemie, betrieben von dem ideenreichen Experimentator Franz Fischer, der von Haus aus Elektrochemiker war und eigentlich die direkte Gewinnung von Elektrizität durch kalte Verbrennung der Kohle erforschen sollte.

Seit 1921 forschte das KWI für Kohlenforschung verstärkt auf dem Gebiet der Gassynthesen mit dem Ziel der Gewinnung flüssiger Kohlenwasserstoffe. Ein Grund dafür war, dass die das Institut finanziell unterstützende rheinisch-westfälische Schwerindustrie nach Verwendungsmöglichkeiten für ihr überschüssiges Kokereigas suchte. Der Kokereigasüberschuss war eine Folge der Modernisierung der Kokereien unmittelbar vor und im Krieg sowie der Energie-Verbundwirtschaft von Hochofen und Kokerei, was zur Substituierung des Kokereigases durch Gichtgas zur Beheizung der Kokereien geführt hatte, sodass das energiereiche Kokereigas nun im Überschuss zur Verfügung stand. Die Gasverbundwirtschaft auf Hüttenwerken wurde nach dem Krieg auch auf die Siemens-Martin-Öfen der Stahlwerke ausgeweitet, die bisher mittels eigener Gasgeneratoren beheizt worden waren. Ein anderer Grund für die erneute Aufnahme eines Arbeitsthemas der kriegsbedingten Ersatzstoffforschung war, dass man weltweit ein nahendes Ende der Mineralölvorräte befürchtete. Das Deutsche Reich hatte während des Weltkrieges den Mangel an flüssigen Treib- und Schmierstoffen bei der Kriegsführung empfindlich gespürt, weshalb in den 1920er-Jahren eine geheime, militärisch indizierte Treibstoffautarkie befürwortet wurde.

Professor Franz Fischer und sein Abteilungsvorsteher Dr. Hans Tropsch untersuchten u. a. die in BASF-Patenten aus der Vorkriegszeit beschriebene Methanol-Erzeugung unter hohem Druck. Im Vordergrund ihrer Arbeiten stand zunächst die Frage nach dem Reaktionsmechanismus jener Synthese. Als Arbeitshypothese formulierten sie die Formiattheorie [1], zu deren Verifizierung studierten Fischer und Mitarbeiter in umfangreichen Experimenten Bildung und Zersetzung des Formaldehyds. Otto Roelen mit seinem Interesse an theoretischen Überlegungen, aber auch an praktischer, experimenteller Arbeit wurde dem Abteilungsleiter Dr. Hans Tropsch als Mitarbeiter zugewiesen. Dieser forschte seit 1921 speziell auf dem Gebiet der Gassynthesen. Diese Arbeiten waren zwar akademischer Natur, besaßen aber gleichzeitig die von Roelen gewünschte Praxisrelevanz.

Unter Tropschs Leitung beschäftigte sich Otto Roelen von September 1922 bis Juli 1923 mit der katalytischen Zersetzung des Formaldehyds bei höheren Temperaturen sowie mit der Verbrennung von Methan zu Formaldehyd. Im Kohlenforschungsinstitut wurde versucht, den sich nach der Formiattheorie bildenden Formaldehyd als Zwischenprodukt der Methan-Synthese abzufangen. Fischer, Tropsch und Mitarbeiter untersuchten auch die Bildung des Methans. Es gelang ihnen jedoch nicht, die hypothetisch angenommenen Zwischenprodukte Formaldehyd bzw. Methan – außer in Spuren – nachzuweisen.



In unregelmäßigen Abständen ließ der Direktor des KWI für Kohlenforschung, Franz Fischer (1. Reihe, 8. v. r.) Gruppenaufnahmen von den Institutsmitarbeitern machen, so auch 1922. Außer Otto Roelen (1. Reihe, 2. v. r.) sind Hans Tropsch (7. v. r.) und Hans Schrader (9. v. r.), später als Forschungsleiter der Th. Goldschmidt AG Gesprächspartner von Otto Roelen, zu nennen (Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr)

Otto Roelen bestimmte die zur Bildung von Formaldehyd aus Methan in Betracht kommende Temperatur und die Gasgeschwindigkeit. Nach nur elf Monaten hatte Otto Roelen den experimentellen Teil seiner Arbeit abgeschlossen und wechselte im August 1923 noch vor der Promotion als bezahlter wissenschaftlicher Mitarbeiter an die TH Berlin-Charlottenburg. In Berlin arbeitete Otto Roelen bis März 1924 und schrieb in dieser Zeit seine Dissertation „I: Über die katalytische Zersetzung des Formaldehyds bei höheren Temperaturen. II: Über die teilweise Verbrennung von Methan zu Formaldehyd mit Luft“. Am 5. März 1924 bestand er die Doktorprüfung in Stuttgart bei den Professoren William Küster und Ernst Wilke-Dörfurt (Nachfolger Gutbiers). Alexander Gutbier war nämlich 1922 an die Universität Jena gewechselt, wo er nicht nur dem Chemischen Laboratorium vorstand,

sondern auch eine von der philosophischen unabhängige mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät schuf.

In seiner Dissertation hatte Roelen, recht selbstbewusst, an das Literaturverzeichnis den Absatz angefügt: „Die teilweise Verbrennung des Methans zu Formaldehyd stellt einen Sonderfall aus dem großen Gebiete der Reaktionen im Gasraum dar, welche sowohl in wissenschaftlicher, als auch in technischer Hinsicht noch eine weite Entwicklung und reiche Ausbeute versprechen. Ich gedenke, mich mit diesem Gegenstande, besonders auch mit der Methanverbrennung, noch weiter zu befassen“ [2]. Weit über seine damalige Vorstellungskraft hinausgehend sollte seine Aussage zutreffen.

Schon bei seiner Doktorarbeit dachte Otto Roelen weniger als Wissenschaftler, sondern vielmehr praxisbezogen. Ihm ging es nicht um die Veröffentlichung wissenschaftlicher Erkenntnisse in einschlägigen Fachorganen – die Anzahl seiner Fachpublikationen blieb zeitlebens gering. Am 10. Juni 1924 meldete er seine erste Erfindung (DRP 497694), ein „Verfahren zur Durchführung der teilweisen Verbrennung von Methan zu Formaldehyd“, zum Patent an. Gegen das Verfahren wurde eingesprochen, weshalb das Patent erst am 2. April 1930 erteilt wurde. Noch im gleichen Jahr ließ Roelen seinen Patentanspruch fallen. Obwohl eine Nachfrage an Formaldehyd für die

Erzeugung von Harnstoffharzen und Phenolharzen bestand, hatte die Industrie kein Interesse an einer Realisierung gezeigt, sondern blieb in der Weltwirtschaftskrise zurückhaltend, da die Entwicklung eines neuen technischen Verfahrens mit finanziellen Risiken verbunden war.

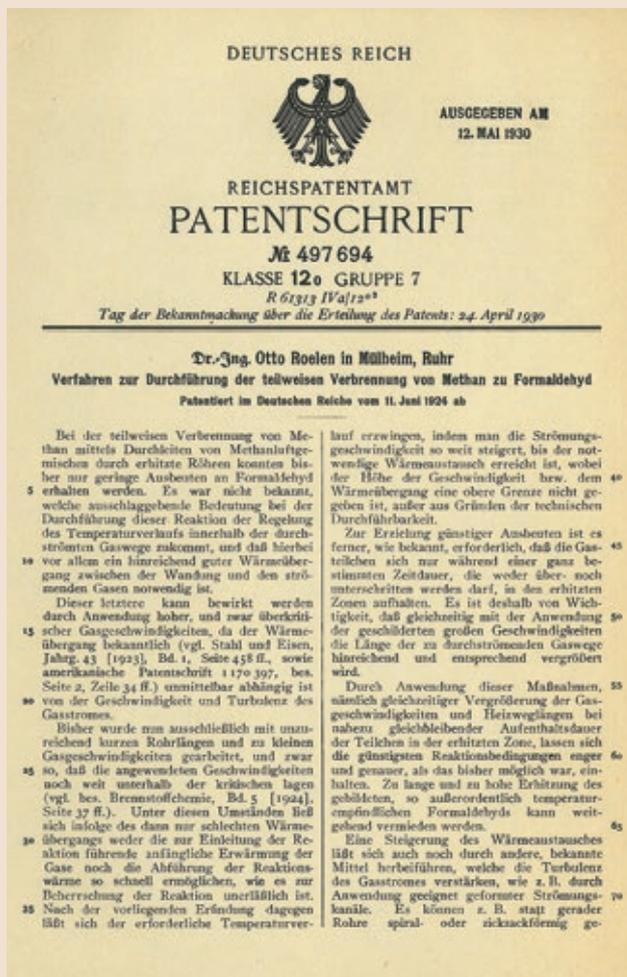
Nur 14 Tage nach der bestandenen Promotionsprüfung starb Otto Roelens Vater an Grippe. In seinem damals verfassten Lebenslauf hieß es über seine Aktivitäten im Sommer 1924, dass er die Stelle in Berlin wegen des Todes seines Vaters aufgegeben habe, „wonach im Laufe des Sommers 1924 meine Anwesenheit in Mülheim-Ruhr zur Erledigung privater Verhältnisse erforderlich war“.

## Rückkehr an das KWI für Kohlenforschung und erste Arbeiten zur Fischer-Tropsch-Synthese

Im Sommer 1924 versuchte Otto Roelen, sich beruflich neu zu orientieren. Er fand offensichtlich keine reizvolle Alternative, weshalb er am 15. Oktober 1924 ans KWI für Kohlenforschung – nun als bezahlter wissenschaftlicher Assistent – zurückkehrte. Fischer hatte sich erneut bei den Kollegen in Berlin und Stuttgart über Roelen informiert, vermutlich das eigene Urteil absichernd, da er Roelens Berufsinteresse als Chemiker nicht einschätzen konnte; zu unterschiedlich waren die Arbeitsgebiete in Stuttgart, Dortmund, Mülheim an der Ruhr und Berlin gewesen, auch wenn immer ein Interesse an Chemischer Technologie festzustellen war.

Eine wissenschaftliche Laufbahn strebte Otto Roelen wohl nicht an. Trotz eines ihm mehrfach testierten Hangs zum chemischen Theoretisieren fehlte ihm der für Wissenschaftler ebenso notwendige Publikationsdrang, wollte er in der Wissenschaft Erfolg haben. Hans Tropsch publizierte zusammen mit ihm 1924/25 drei Aufsätze aus dessen Dissertation, während Roelen selbstständig nur die Literaturzusammenstellung „Über die Verbrennung von Methan zu Formaldehyd“ in den „Gesammelten Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle“, dem Hausperiodikum des Kohlenforschungsinstituts, veröffentlichte.

Fischer beauftragte Roelen 1924 zunächst mit der Fortführung der Hochdruck-Versuche zur Herstellung von Synthol; er wurde erneut der Arbeitsgruppe Tropsch zugeteilt, die immer noch über Gassynthesen forschte. Am 28. Januar 1925 arbeitete Otto Roelen einen vom französischen Chemiker Georges Patart im Dezember-Heft 1924 der Comptes Rendues beschriebenen Versuch nach, der den Hinweis auf den Zinkoxid-Katalysator (für die Methanol-Synthese) enthielt. Da flüssige Kohlenwasserstoffe ohne die zur Formiatbildung notwendigen Alkalien synthetisiert wurden, entstanden berechtigte Zweifel an der bisherigen Arbeitshypothese Formiattheorie. Nichtsdestotrotz ließ Fischer auch weiterhin alkalisierte Katalysatoren testen und in Mülheim war der Grundstein für die Entdeckung der Fischer-Tropsch-Synthese gelegt.



Druckschrift des von Otto Roelen am 10. Juni 1924 angemeldeten Patents über die teilweise Verbrennung von Methan zu Formaldehyd

Tropsch hatte 1925 während eines USA-Aufenthaltes des Institutsdirektors die Versuchsbedingungen grundlegend geändert – von Hochdruck (wie es Fischers und Tropschs theoretische Überlegungen vorgaben) zu Normaldruck – und dies dem Institutsdirektor per Schiffspost mitgeteilt, sodass dieser für einen längeren Zeitraum nicht in die Forschungsarbeiten an seinem Institut eingreifen konnte. Tropsch hatte das Gegenteil von dem getan, was die eigene Theorie besagte, er hatte eine Autorität nicht (mehr) anerkannt. Bei Fischers Rückkehr hatte man nur erste erfolgversprechende Hinweise ermittelt, meldete kurz darauf aber dennoch umfassende Patentansprüche auf eine Kohlenwasserstoffsynthese bei Normaldruck an. Otto Roelen schätzte seinen Anteil an der Entdeckung der Fischer-Tropsch-Synthese zeitlebens als bedeutend ein, während die chemische Fachwelt seinen Beitrag ignorierte. Jedenfalls bestärkte die Entdeckung der Fischer-Tropsch-Synthese ihn in einer charakteristischen Geisteshaltung, sich nicht unbedingt an Vorgaben „von oben“ zu halten.

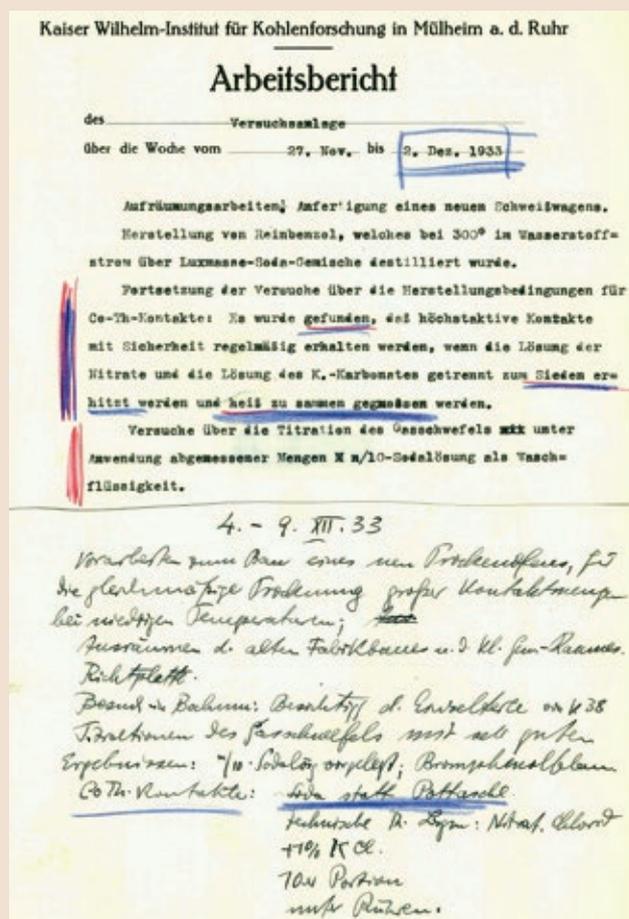
Da die Entdeckung der Fischer-Tropsch-Synthese im Widerspruch zur bis dahin am KWI für Kohlenforschung favorisierten Formiattheorie stand, entwickelten Fischer und Tropsch die Carbid-Hypothese. Otto Roelen selbst hielt noch bis Ende der 1940er-Jahre an der Formiattheorie fest. So vertrat er in dem auf alliierter Veranlassung verfassten Artikel „Kohlenoxyd und Wasserstoff“, der in der Reihe „Naturforschung und Medizin in Deutschland 1939–1946“ erschien, die Ansicht: „Nach Roelen [unveröffentlichte Mitteilung aus dem Laboratorium der Ruhrchemie AG, Oberhausen-Holteln] ist die Kohlendioxyd-Bildung während der Kohlenwasserstoffsynthese an Kobalt und Eisen zumindest teilweise die Folge einer nachträglichen, über Formiate der Alkalien als Zwischenverbindungen verlaufenden Konvertierung des Kohlenoxyds mit gebildetem Wasserdampf. Diese Theorie konnte durch einige Beobachtungen gestützt werden“. Als Pensionär sollte er sich intensiv mit der Frage auseinandersetzen, welche Faktoren Forscher bei ihrer Arbeit beeinflussen und sie davon abhalten, Naheliegendes, Neues wahrzunehmen.

## Technische Weiterentwicklung der Fischer-Tropsch-Synthese in der institutseigenen Versuchsanlage

Wesentliche Anteile an der technischen Weiterentwicklung der Fischer-Tropsch-Synthese sind Otto Roelen zu verdanken. Die an den Forschungsergebnissen des Kohlenforschungsinstituts interessierte Industrie, zusammengefasst und vertreten durch den Aufsichtsrat der Studien- und Verwertungsgesellschaft mbH, hatte im Sommer 1926 der Errichtung einer Versuchsanlage auf dem Institutsgelände zur Überführung der Fischer-Tropsch-Laborversuche im Technikumsmaßstab zugestimmt. 1927 übernahm Otto Roelen die Leitung der institutseigenen Versuchsanlage, da er nicht nur gern theoretisierte, sondern ebenso sehr an praktischen und technologischen Fragen interessiert war. Er schied damit aus der Arbeitsgruppe Tropsch aus und war nun Franz Fischer direkt

unterstellt. Da es Mitte der 1920er-Jahre in Deutschland noch keine ausgebildeten Chemie-Ingenieure gab, war Otto Roelens Neigung zu praktischen Experimenten für die technische Entwicklung der Kohlenwasserstoff-Synthese besonders wichtig.

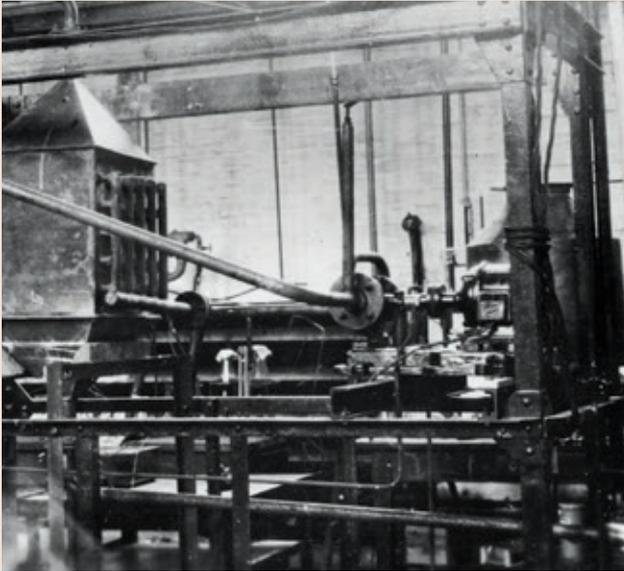
In der Versuchsanlage beschäftigten sich Roelen und Mitarbeiter mit Fragen der Gasreinigung, der Ausformung der Kontakttöfen, ihrer Kühlung, der Temperaturmessung usw. Über diese Versuche sind wir sehr gut unterrichtet, da alle wissenschaftlichen Mitarbeiter sogenannte Wochenberichte für den Institutsdirektor anfertigen mussten. Diese – in der Regel handschriftlichen – Berichte sind nur in seltenen Fällen erhalten geblieben. Auch Roelens Originale sind verloren gegangen, aber er hatte seine Berichte mit Schreibmaschine geschrieben, um einen Durchschlag zu seinen Handakten nehmen zu können. Diese Unterlagen – mittlerweile im Archiv des MPI für Kohlenforschung – bilden eine interessante Quelle zu den technischen Weiterentwicklungen der Fischer-Tropsch-Synthese.



Der von Otto Roelen verfasste Wochenarbeitsbericht über die Arbeiten der Versuchsanlage des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung, Durchschlag auf einem Vordruck für die Woche vom 27. November bis 2. Dezember 1933 (Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr)

Um unerwünschte Temperatursteigerungen im Reaktor zu unterbinden, wurden bis Sommer 1928 allein 22 verschiedene – bis zu Otto Roelens Ausscheiden 1934 sogar 38 unterschiedliche – Apparate konstruiert, gebaut, getestet, abgeändert und erneut getestet, ohne dass es Otto Roelen anfangs gelungen wäre, die Reaktionstemperatur auf 250–260 °C konstant zu halten. Wegen der damals

noch unzureichend entwickelten Mess- und Regeltechnik war bei den Versuchen viel Intuition gefragt. Zu den für eine industrielle Realisation zu lösenden Problemen gehörte auch die Entfernung der organischen Schwefelverbindungen aus dem Synthesegas. Mit Hilfe eines Luxmasse-Soda-Gemisches (DRP 651462) hatte Otto Roelen und sein Assistent Dr. Walter Feißt eine entsprechende Möglichkeit gefunden.



In der institutseigenen Versuchsanlage testeten Otto Roelen und Mitarbeiter verschiedene Reaktionsapparate (Mitte), um im halbertechnischen Maßstab die Fischer-Tropsch-Synthese bei konstanten Temperaturen durchführen zu können. Aufnahme: 2. Hälfte der 1920er-Jahre (Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr)

Viele für die halbertechnische Durchführung der Fischer-Tropsch-Synthese wichtige Innovationen gehen auf Otto Roelen zurück, u. a. ein „selbständiger Temperaturregler für gasbeheizte Öfen“ und eine zusammen mit seinem Assistenten Feißt entwickelte „Schwefelbestimmungs-Apparatur“, die von der Firma Glasbläserei W. Feddeler, Essen, in Lizenz nachgebaut wurde.

Nachdem Hans Tropsch im Sommer 1928 die Leitung des tschechischen Kohlenforschungsinstituts in Prag übernommen hatte, wurden 1929 die Fischer-Tropsch-Arbeiten sowohl der „halbertechnischen Anlage“ als auch des Laboratoriums unter Otto Roelens Leitung zusammengefasst. Er war damit am Institut neben Fischer für die Weiterentwicklung der Kohlenwasserstoff-Synthese maßgebend und durfte in dieser Eigenschaft dem Präsidenten der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, dem Physiker Max Planck, am 5. Juni 1934 die Fischer-Tropsch-Versuchsanlage vorstellen. Schon am 10. März 1931 hatte ihn Franz Fischer zu seinem Stellvertreter gemacht.

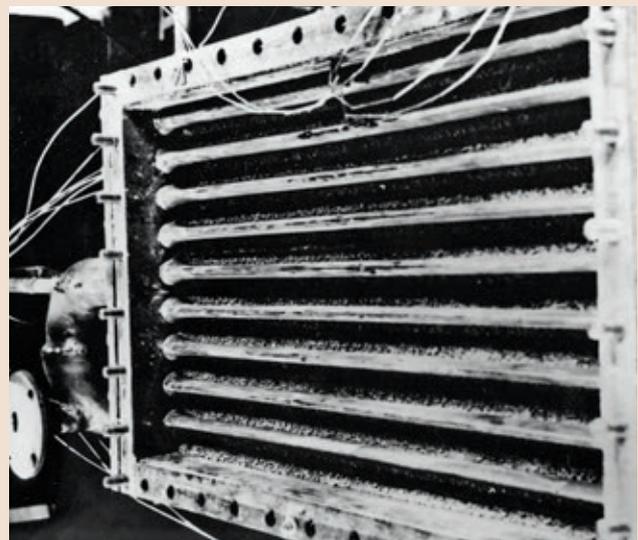
Roelen und seine Mitarbeiter erzielten nicht nur technisch, sondern auch wissenschaftlich interessante Ergebnisse. Im Juli 1930 fand Otto Roelen das stöchiometrische Verhältnis für  $\text{CO} : \text{H}_2$  von 1 : 2 als optimal. Im November 1930 wurde in der Versuchsanlage die Fischer-Tropsch-Synthese erstmals in flüssiger Phase versucht. Franz Fischer, Kurt Peters und Otto Roelen hofften, so das leidige Temperaturproblem zu lösen. Diese Arbeiten wurden spä-



Am 5. Juni 1934 besuchte der Präsident der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, der Physiker und Nobelpreisträger Max Planck (2. v. r.) das Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mülheim. Ihm führten der Institutsdirektor Franz Fischer (r.) und der Leiter der Versuchsanlage Otto Roelen (2. v. l.) zusammen mit Walter Feißt (l.) unterschiedliche Produkte der Fischer-Tropsch-Synthese in der institutseigenen Versuchsanlage vor (Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr).

ter im Kohlenforschungsinstitut von Herbert Kölbl und Helmut Pichler fortgeführt, ohne dass es diesen gelungen wäre, ein praktikables technisches Verfahren in flüssiger Phase zu entwickeln.

Die erhoffte industrielle Realisation der Fischer-Tropsch-Synthese fand – trotz umfangreicher Arbeiten in der Versuchsanlage des Kohlenforschungsinstituts – nicht umgehend statt. Zum einen hatte sich das wirtschaftliche Umfeld nach 1929 zu einer Weltwirtschaftskrise eingetrübt und neue Ölfelder waren entdeckt worden, die den befürchteten Ölmangel in weite Ferne rücken ließen. Zum anderen war die Fischer-Tropsch-Synthese noch nicht technisch ausgereift, so dass ein rentabler Betrieb in Deutschland in naher Zukunft nicht realisierbar schien. Doch mit der Machtübernahme der NSDAP 1933 änderten sich die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Die industrielle Durchführung des Verfahrens rückte unter Autarkiegesichtspunkten in greifbare Nähe.



Sogenannter „Kastenreaktionsofen“ zur Fischer-Tropsch-Synthese mit aufgeschraubtem Seitenteil, wie ihn Otto Roelen für die Versuchsanlage des Kohlenforschungsinstituts konzipiert hatte. Stückige Katalysatormasse ist auf den verschiedenen Wärmeaustauschböden sichtbar. Aufnahme: 2. Hälfte der 1920er-Jahre (Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr)

## Wechsel zur Ruhrchemie AG und weitere grundlegende Arbeiten zur technischen Realisation der Fischer-Tropsch-Synthese

Ob Otto Roelen 1932/33 die NSDAP gewählt hat, daran konnte er sich bei seiner Entnazifizierung 1946/47 nicht mehr erinnern. In die NSDAP ist er jedenfalls nicht eingetreten, weder vor 1933 noch danach. In Bremerhaven erlebte er 1918 das Kriegsende angeblich als Mitglied eines Arbeiter- und Soldaten- bzw. Matrosenrats. Politisch sollte er sich später nicht mehr öffentlich exponieren. Während seines langen Lebens hat er offensichtlich einen politischen Sinneswandel durchgemacht, der ihn mehr zum rechten Rand des demokratischen Parteienspektrums tendieren ließ. Seine angebliche Mitgliedschaft im Wilhelmshavener Matrosenrat erscheint vor diesem Hintergrund eher eine Schutzbehauptung für das britische Entnazifizierungsverfahren gewesen zu sein, in dem Otto Roelen übrigens in die Kategorie V, unbelastet, eingestuft wurde.

Auch ohne NSDAP-Mitgliedschaft gehörte Roelen zu den Nutznießern der NS-Machtübernahme und ihrer auf Autarkie und Kriegsbereitschaft ausgerichteten Wirtschaftspolitik. Denn erst nach der Machtübergabe an die NSDAP rückte die industrielle Verwertung der Fischer-Tropsch-Synthese zur inländischen Herstellung von Benzin aus Kohle in greifbare Nähe. Die Ruhrchemie AG, Oberhausen-Holten, ursprünglich von rheinisch-westfälischen Montanunternehmen zur (chemischen) Verwertung überschüssiger Kokereigase gegründet und vornehmlich auf dem Gebiet der Stickstofferzeugung tätig, erwarb am 27. Oktober 1934 die Generallizenz auf diese Kohlenwasserstoff-Synthese.

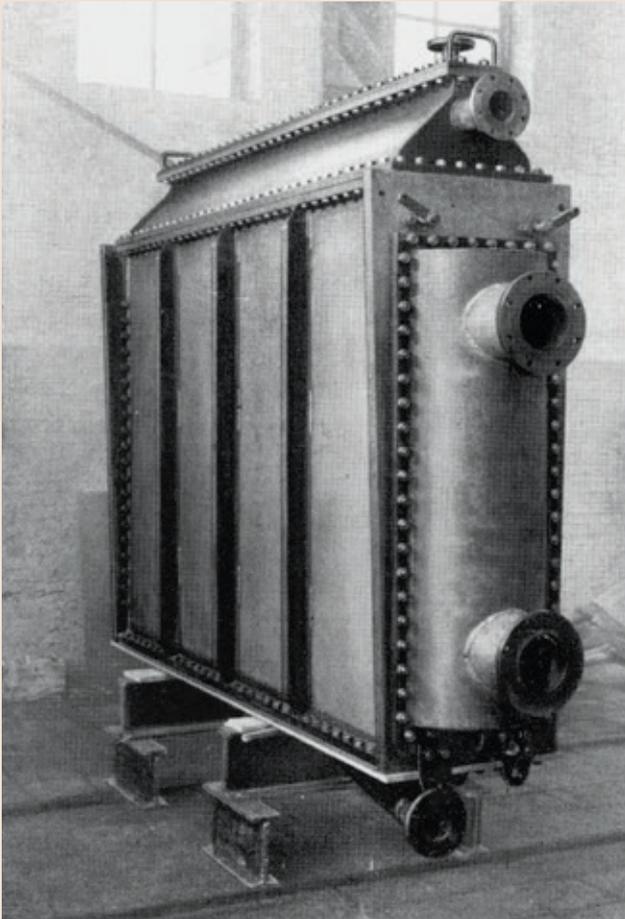
Sie hatte schon 1928 mit Fischer wegen einer Lizenznahme Kontakt aufgenommen, diese Verhandlungen jedoch 1929 zurückgestellt und zunächst die ebenfalls am KWI entwickelte Benzol-Synthese erworben. Die zurückgestellten Lizenzverhandlungen wurden im Mai 1933 wieder aufgenommen. Anfang 1934 verhandelte die Ruhrchemie jedoch mit der IG Farbenindustrie AG über den Erwerb des Bergius-Pier-Kohlenhochdruckverflüssigungsverfahrens, das auf Braunkohlenbasis in Leuna seit 1926 realisiert war. Da die IG Farbenindustrie AG eine hälftige Kapitalbeteiligung an der Ruhrchemie forderte, um eine eigenständige Chemiepolitik der rheinisch-westfälischen Montanindustrie zu unterbinden, kam es zu keiner Verständigung. Obwohl die Gesteungskosten für Fischer-Tropsch-Benzin über den vom Staat angebotenen Garantiepreis für Leuna-Benzin von 25 Pfg/kg lagen, und deutlich über dem von Importbenzin (etwa 5–6 Pfg/kg), wünschte der Aufsichtsrat der Ruhrchemie, dessen Mitglieder auch zu den Finanziers des Mülheimer Kohlenforschungsinstituts gehörten, dennoch den Bau einer Versuchsanlage in Holten. Sie wollten die Vermarktung von Institutserfindungen nicht bergbaufremden Chemieunternehmen überlassen. Der Staat gewährte der Ruhrchemie sogar einen um 1 Pfg pro kg höheren Garantiepreis als der IG Farbenindustrie AG, dennoch sah der Generaldirektor der Ruhrchemie Friedrich Martin, ein habilitier-

ter Chemiker und als Vorstandsvorsitzender selbst noch forschend und erfinderisch tätig, ein großes unternehmerisches Risiko bei Anwendung einer nicht erprobten Technologie. Er handelte deshalb die Größe der im Gegenzug für die Preisgarantie zu erbauenden Anlage kontinuierlich herab. Statt zunächst eine Großversuchsanlage von 5.000 t/a Kapazität zu errichten, wurde ein Technikum für 1.000 t/a Fischer-Tropsch-Produkte gebaut, und statt einer industriellen Anlage mit einer Produktionskapazität von 50.000 t/a nur eine halb so große. Martin wollte das unternehmerische Risiko minimieren, nicht selbst große Mengen Fischer-Tropsch-Produkte herstellen, sondern das Verfahren technisch weiterentwickeln und eventuell gewinnbringend lizenzieren.

1939 sollte Friedrich Martin in einem Vortrag im Haus der Technik, Essen, sagen: „Aus den eben gemachten Darlegungen geht hervor, daß im allgemeinen das bei der sogenannten Normal- oder Mitteldrucksynthese erhaltene Kohlenwasserstoffgemisch, von Fischer „Kogasin“ genannt, kein Benzin ist, auch die in diesem Gemisch enthaltenen leichten Kohlenwasserstoffe sind motor-technisch gesehen kaum als Fahrbenzin direkt anzusprechen. So hat der von Franz Fischer angewandte Name „Benzinsynthese“ verschiedentlich Verwirrung hervorgerufen, weil er in dem Uneingeweihten die Vorstellung erweckt, daß die Synthese unmittelbar fertiges Benzin liefert“.

Noch vor Abschluss der Verhandlungen mit dem Mülheimer Kohlenforschungsinstitut über den Erwerb der Generallizenz begann die Ruhrchemie mit dem Bau einer industriellen Versuchsanlage. Martin schwächte damit seine Verhandlungsposition gegenüber dem Lizenzgeber nur unwesentlich, da in seinem Aufsichtsrat fast die gleichen Vertreter saßen wie im Verwaltungsrat des Lizenzgebers, der Studien- und Verwertungsgesellschaft mbH. Die Ruhrchemie befürchtete staatliche Zwangsmaßnahmen, wie sie im Oktober 1934 zur Gründung der Braunkohlen-Benzin AG führten, bei der die privaten Kapitaleigner keinen unternehmerischen Einfluss besaßen, sondern nur die finanziellen Mittel zum Bau von Treibstoffanlagen aufbringen mussten. Unter dem Mantel der Wirtschaftsankurbelung und Arbeitsbeschaffung wollte der NS-Staat eine kriegsrelevante Treibstoffautarkie erreichen.

Zur wissenschaftlich-technischen Betreuung ihres im Bau befindlichen Treibstoffwerkes warb die Ruhrchemie Otto Roelen vom KWI für Kohlenforschung kurzfristig zum 1. November 1934 mit einem Monatsgehalt von 900 RM ab. Roelen verließ offensichtlich gerne das Institut, das ihm keine Lebensstellung mit Pensionsberechtigung bieten konnte. Außerdem war er häufiger mit dem Institutsdirektor wegen seiner Dienstauffassung (Präsenzpflicht) zusammengestoßen. Dies sollte übrigens auch bei der Ruhrchemie zu einem Ärgernis mit der Unternehmensleitung werden. Mit zur Ruhrchemie gingen sein Assistent Dr. Walter Feißt und der Laborant Franz Hanisch, mit denen Otto Roelen auch weiterhin erfolgreich zusammenarbeiten sollte. Bei den überlieferten zahlreichen schriftlichen Arbeitsanweisungen aus



Außenansicht der ersten Kontaktkammer für die industrielle Fischer-Tropsch-Synthese. Nachdem zunächst ölgekühlte Öfen für den Durchsatz von 100 Nm<sup>3</sup>/h gebaut wurden, entwickelten dann u. a. Max Kelting und Heinrich Tramm von der Ruhrchemie AG zusammen mit den Mannesmannröhren-Werke AG einen druckwassergekühlten Lamellenofen, wie sich Otto Roelen selber erinnerte (Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr).

seiner Ruhrchemie-Zeit fällt auf, dass Otto Roelen seinen Mitarbeitern nicht nur sagte, was zu tun sei, sondern dass er ihnen auch erläuterte, warum sie es tun sollten und welche Ergebnisse er aufgrund seiner Vermutungen erwartete. Er begründete seine chemischen Vorstellungen durchaus ausführlich. Übrigens wurde sein Nachfolger am Kohlenforschungsinstitut als Leiter der Versuchsabteilung Helmut Pichler, der nach Ablauf entsprechender BASF-Patente die Fischer-Tropsch-Synthese bei Mitteldruck (5–20 bar) entwickelte.

Unter den zahlreichen am Institut mit der Fischer-Tropsch-Synthese befassten Chemikern hatte sich Friedrich Martin für Otto Roelen entschieden, der die längsten Erfahrungen mit der Fischer-Tropsch-Synthese besaß, zudem als Leiter der Versuchsanlage technisch-praktisch orientiert war. Friedrich Martin war sich des unternehmerischen Risikos beim Bau einer industriellen Fischer-Tropsch-Anlage voll bewusst, denn er stellte am 17. Oktober 1934 fest: „Es ist bis heute noch nicht ein kg Benzin nach dem Fischer-[Tropsch-]Verfahren in der Beschaffenheit hergestellt worden, in der wir es nach dem abgeschlossenen Vertrag mit dem Reich zur Verfügung zu stellen haben“. Deshalb gründete Martin nicht nur die Ruhrbenzin AG zur Ausgliederung des Risikos, sondern engagierte auch den mit der Synthese tech-

nisch erfahrendsten Chemiker. Mit Otto Roelen vereinbarte die Ruhrchemie AG am 23. Oktober 1934: „Sie übernehmen verantwortlich in der von uns gebauten Versuchsanlage zur Herstellung von Benzin nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren die Betriebsführung der Feinreinigung und der eigentlichen Synthese einschl. der Herstellung der Reinigungsmasse und der Katalysatoren sowie des Laboratoriums. [...] Sie haben ferner das Recht und die Pflicht, sich auch die übrigen Teile der Versuchsanlage und ihre Arbeitsweise anzusehen und gegebenenfalls entsprechende Vorschläge im Interesse der rationellen Gestaltung zu machen“. Otto Roelen konnte zum 1. Dezember 1934 die Versuchsanlage in Betrieb nehmen.

Um die Überführung der Fischer-Tropsch-Synthese in die industrielle Technik zu ermöglichen, beschäftigte sich Otto Roelen, von 1935–1945 Leiter des Forschungslaboratoriums der Ruhrchemie AG bzw. der am 28. Oktober 1935 als Schwesterunternehmen gegründeten Ruhrbenzin AG [3], mit Fragen der Gasentschwefelung, der Katalysatorzusammensetzung und -verformung sowie mit der volks- und betriebswirtschaftlich wichtigen Frage der Regenerierung der Katalysatoren. Obwohl die Ruhrchemie AG schon über ein großes Laboratorium verfügte, um die angewandte Stickstoff-Synthese (Casale-Verfahren) vor allem im Hinblick auf verkaufsfähige Produkte zu verbessern, musste die Forschung wesentlich erweitert werden, da das Fischer-Tropsch-Verfahren industriell umgesetzt werden sollte, die Ruhrchemie aber auch als zukünftiger Lizenzgeber die doch zahlreichen Lizenznehmer mit ihren ortsgebundenen Problemen betreuen wollte.

Einige Montanunternehmen sahen angesichts staatlicher Preisgarantien und der noch nicht überwundenen Weltwirtschaftskrise einen Absatzmarkt für ihre zum Teil schwer verkäuflichen Kohlen, andere fürchteten staatliche Zwangsmaßnahmen für die rheinisch-westfälische Montanindustrie, wie sie im Oktober 1934 vornehmlich für die mitteldeutsche Braunkohlenindustrie (Gründung Brabag) erlassen worden waren, bei der die Kapitaleigner keinen Einfluss auf die staatlich vorgegebene Geschäftspolitik besaßen. Die Angst vor staatlichen Zwangsmaßnahmen zum Bau von Treibstoffwerken führte nach Verkündung des Vierjahresplans 1936 bei weiteren westdeutschen Montanunternehmen zum Bau von Fischer-Tropsch-Anlagen.

Zwar war das IG Farben-Hydrierverfahren technisch ausgereifter als die Fischer-Tropsch-Synthese, jedoch mussten bei diesem Verfahren große, kapitalintensive Hochdruckanlagen für mehr als 125.000 t Jahreskapazität gebaut werden, während die Fischer-Tropsch-Synthese sich auch in wesentlich kleineren, vor allem aber nicht so kapitalintensiven Anlagen realisieren ließ. Als alleiniger Kapitalgeber hofften diese Montanunternehmen, auch die zukünftige Firmenpolitik zu bestimmen und aufgrund der staatlichen Preisgarantie mit dem erzeugten Benzin zudem Gewinne zu erwirtschaften.

Noch bevor die Holtener Versuchsanlage fertiggestellt war, verkaufte die Ruhrchemie erste Lizenzen. Seit Ende 1933 verhandel-

ten sowohl die Wintershall AG, als auch die Klöckner-Werke AG über eine Lizenz. Vierzehn Tage nach Abschluss des Generalizenzvertrags zwischen Studien- und Verwertungsgesellschaft und Ruhrchemie konnte letztere sowohl mit der Gewerkschaft Victor (hälftig Klöckner und Wintershall) als auch mit Wintershall selbst einen Lizenzvertrag abschließen. Die Gewerkschaft Victor, Castrop-Rauxel, wartete nicht die Ergebnisse der Ruhrchemie-Versuchsanlage ab, sondern begann sofort, ein eigenes Werk zu errichten. Ebenfalls ohne Unterstützung durch die Ruhrchemie – wohl aber mit Kenntnis der Ergebnisse bei Victor – baute auch die Gewerkschaft Rheinpreußen eine Fabrik, die notwendige Lizenz erwarb sie erst im September 1935. Gleichfalls ohne Lizenz hatte die Braunkohle-Benzin AG (Brabag) den Bau einer großen Anlage begonnen. Auf Intervention des Wirtschaftsbeauftragten des Führers, Wilhelm Keppler, wurde das dritte der vier Brabag-Werke (Ruhland bzw. Schwarzheide genannt) nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren errichtet. Es sollte Braunkohle vergasen, da Kokereigas zur Wassergaserzeugung nicht zur Verfügung stand. Die notwendige Fischer-Tropsch-Lizenz erwarb die Brabag erst im April/Juni 1936. Schon am 27. April 1936 war ihr Werk Ruhland angelaufen, während die Ruhrbenzin AG als drittes Fischer-Tropsch-Werk erst am 1. August 1936 ihren Betrieb aufnahm.

Ohne eine bestimmte Erfindung von Otto Roelen und seinen Mitarbeitern Dr. Walter Feißt und Dr. Heinrich Heckel hätten die in schneller Folge errichteten ersten Fischer-Tropsch-Werke Mitte der 1930er-Jahre stillgelegt werden müssen, denn zunächst gelang es nicht, die eingesetzten, devisenkostenden Kobalt-Katalysatoren zu regenerieren. Otto Roelen und Walter Feißt entwickelten ein Verfahren zur Herstellung von Kontakten unter Vorfällung



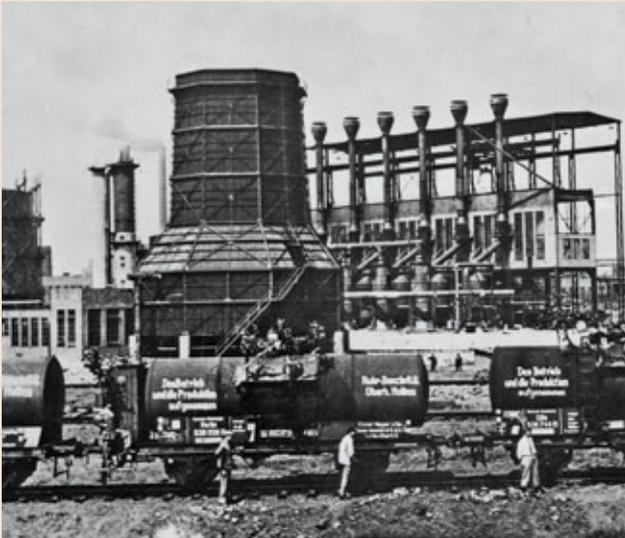
Bau der Fischer-Tropsch-Anlage auf dem Werk der Ruhrchemie AG 1938 (Foto: Albert Renger-Patzsch, Essen, LVR-Industriemuseum, Sammlung Ruhrchemie, rch 6771)

der Fremdstoffe, das von allen drei deutschen Fischer-Tropsch-Katalysatorfabriken angewandt wurde. Zusammen mit Dr. Heinrich Heckel entwickelte Otto Roelen ein Verfahren zur Herstellung von Kobalt-Magnesium-Katalysatoren (DRP 764643). Dieses Grundpatent für magnesiumhaltige Kobaltkatalysatoren (100 Co/ 5 ThO<sub>2</sub>/ 8 MgO/ 200 Kieselgur) wurde bis Kriegsende in allen deutschen Fischer-Tropsch-Werken und nach dem Krieg noch bei den Chemischen Werken Bergkamen ausgeübt. Bis zur Währungsreform 1948 stellte die Katalysatorfabrik 8915 „Ofenfüllungen“ mit einem Gesamtgewicht von annähernd 8.500 t Kobalt im Wert von 49,65 Mio. Reichsmark her.

Weitere Erfindungen von Otto Roelen, beispielsweise das „Verfahren zur Aufteilung wasserhaltiger Massen, die trotz hohen Wassergehalts von steifer Konsistenz sind und sich unter Druck in feste und flüssige Anteile entmischen, unter Durchpressung durch Lochplatten in dünne Stränge“ (DRP 718509 vom 30.09.1937, Ruhrchemie AG) und das „Verfahren zur Entfernung der in Koksofengas und anderen technischen Gasen vorhandenen organischen Schwefelverbindungen“ (DRP 929265 vom 05.02.1942, Ruhrchemie AG, Miterfinder Franz Hanisch), wurden nach dem Zweiten Weltkrieg auch bei der großindustriellen Realisierung der Synthese in Südafrika (Sasol) angewandt (Fadenkornpatent, gasdurchlässiges Metallband bei der Fadenkornherstellung, etc.). Zu den weiteren Verdiensten Roelens und seiner Mitarbeiter gehörte die Verlängerung der Lebensdauer (anfänglich nur 240 h) der Katalysatoren, die zudem in ihrer Leistung schwankten.

Der im staatlichen Vierjahresplan von 1936 vorgesehene Anteil der Fischer-Tropsch-Synthese an der nationalsozialistischen Treibstoffherzeugung wurde schon 1937 erheblich gekürzt, u. a. wegen technischer Unzulänglichkeiten der Synthese. Der Vorstandsvorsitzende Martin zog daraus die Konsequenz, die unternehmenseigene Forschungs- und Entwicklungspolitik zu modifizieren. Die Ruhrchemie verlegte sich auf die Herstellung höherwertiger Fischer-Tropsch-Spezialprodukte. Aus diesem Grund wurde die unternehmenseigene Forschung finanziell gut ausgestattet. Der Vorstandsvorsitzende Friedrich Martin, der ursprünglich eine Hochschulkarriere verfolgt hatte, forschte sogar selbst und ließ zahlreiche Ideen zum Patent anmelden. Die diversen Forschungsabteilungen der Ruhrchemie entwickelten eine Schmieröl-Synthese sowie verschiedene Verfahren zur Gewinnung hochoktaniger Treibstoffe (Flugbenzin-Synthese). Otto Roelens Hauptforschungsgebiet war die Fischer-Tropsch-Synthese, auch wenn ihm 1937 die Entdeckung der Oxo-Synthese oder 1941 die technisch-wirtschaftliche Methanisierung des Kohlenoxids gelang.

Obwohl Otto Roelen aufgrund des vertraglich vereinbarten Erfahrungsaustausches zwischen den einzelnen Fischer-Tropsch-Werken zu den bestinformiertesten Chemikern auf diesem Gebiet gehörte, wurde weder er als Vertreter des Generalizenznehmers noch Helmut Pichler, der nach Roelens Weggang im Mülheimer Kaiser-Wilhelm-Institut die Fischer-Tropsch-



Erste Kesselwaggons mit Fischer-Tropsch-Produkten verlassen die Werksanlagen der Ruhrbenzin AG in Oberhausen-Holten. Im Hintergrund rechts sind Wassergas-Generatoren zu sehen (1936) (LVR-Industriemuseum, Sammlung Ruhrchemie, rch 3712).

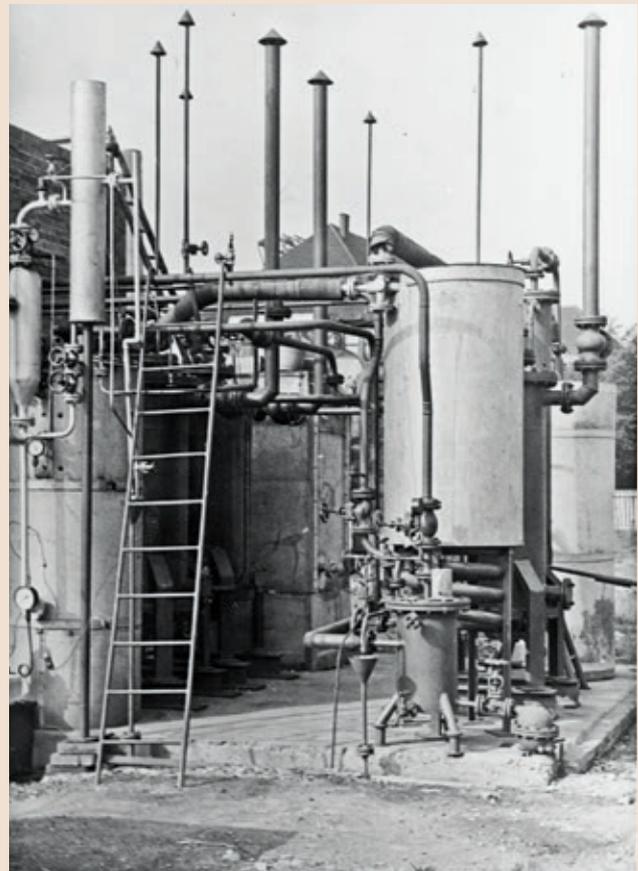
Arbeitsgruppe leitete, mit den sogenannten Reichsamtsversuchen im Fischer-Tropsch-Werk Schwarzheide beauftragt.

Während des Krieges versuchte das Reichsamt für Wirtschaftsausbau, eine Planungsbehörde des Vierjahresplans, die Fischer-Tropsch-Synthese trotz aller privatkapitalistischer Konkurrenz unter den verschiedenen Anwendern technisch und wirtschaftlich durch einen formalisierten Erfahrungsaustausch zu verbessern. Die Leitung der Reichsamtsversuche übernahm Herbert Kölbl von der Gewerkschaft Rheinpreußen am linken Niederrhein, ebenfalls ein ehemaliger Mitarbeiter von Franz Fischer, der jedoch bei einem kleinen selbstständigen Fischer-Tropsch-Werk arbeitete, das sich eine ungewöhnlich große Forschungsabteilung hielt und das nicht wie das KWI für Kohlenforschung und die Ruhrchemie AG an den grundlegenden Lizenzeinnahmen beteiligt war. Otto Roelen war zudem aufgrund seiner zahlreichen Projekte mit Arbeit überlastet und als Leiter des bisherigen Erfahrungsaustausches der Fischer-Tropsch-Werke von den Kollegen offensichtlich nicht besonders gelitten, sodass die gemeinschaftliche Entwicklung der Eisenkatalysatoren (Kobalt war im Krieg Mangelware und selbst gegen Devisen nicht zu beschaffen) während des Krieges in andere Hände gelegt wurde.

Ferner hatte Roelen 1941 erfolgreich versucht, das in Kokereigas enthaltene Kohlenoxid möglichst vollständig in Methan umzuwandeln, ohne dass dabei höhere Kohlenwasserstoffe entstanden. Dieses Verfahren brachte er für eine Arbeitsgemeinschaft Ruhrchemie und Ruhrgas in kurzer Zeit mit einfachen Mitteln in die industrielle Anwendung, nachdem zuvor andere Chemieunternehmen eine wirtschaftliche Umsetzung als aussichtslos bezeichnet hatten und obwohl die Umsetzung des Verfahrens noch Anfang 1943 von der AG für Kohlenwertstoff-Verbände energisch abgelehnt worden war. Ab 1944 führte der deutsche Treibstoffmangel zu zahlreichen Ersatzlösungen, vom Holzgasgenerator bis zu gasbetriebenen Autos, die schon in den Jahren zuvor entwickelt worden waren. Bei der „Methanisierung“ half 1944 auch Edmund

Geilenberg, Generalkommissar für Sofortmaßnahmen, mit seinen Notprogrammen und seinen diktatorischen Vollmachten in den beiden letzten Jahren der deutschen Kriegswirtschaft. Im November 1944 planten Ruhrgas und Ruhrchemie, 120 bis 150 Tankstellen mit Methanisierungsanlagen auszustatten, von denen 40 bis zum 1. Juli 1945 in Betrieb gehen sollten. Ferner sollten die Flugmotorenwerke ihre Einlaufprüfstände mit „methanisiertem Gas“ betreiben, und auch die Reichswerke AG für Berg- und Hüttenbetriebe „Hermann Göring“ wünschten die werkseigene Erzeugung von methanisiertem Gas. Der Bau der dafür notwendigen Katalysatorfabriken in Aussig und bei den Reichswerken Hermann Göring in Watenstedt wurde jedoch nicht parallel geplant; man verdrängte die damit verbundene nicht lösbare Frage, woher Nickel oder/und Kobalt als Katalysator in ausreichenden Quantitäten zu beschaffen seien.

Nach dem Ruhrchemie-Methanisierungsverfahren wurde 1942 auf einer Gastankstelle in Essen-Altenessen eine erste technische Anlage errichtet, die bei 4 bar 240 Nm<sup>3</sup>/h durchsetzte. Diese Anlage wurde 1944 bei einem Luftangriff zerstört. Eine weitere Anlage entstand 1943/44 mit gleicher Leistung bei der Adam Opel AG in Rüsselsheim. Trotz Bombenschäden und eines eigenmächtigen Abweichens des Betreibers vom vorgegebenen Schema der Altenessener Konstruktion konnte die Anlage noch vor Kriegsende in Betrieb genommen werden. Alle diese Anlagen arbeiteten auf Stadtgas-Basis, da Kokereigas nicht mehr in ausreichenden



Die zweite mit einfachen Mitteln gebaute Methanisierungsanlage nach dem von Otto Roelen entwickelten und der Ruhrchemie patentierten Verfahren wurde noch während des Krieges bei der Adam Opel AG in Rüsselsheim als Versuchsanlage errichtet, Vorderansicht, 1944. (LVR-Industriemuseum Sammlung Ruhrchemie rch 3664)

Mengen zur Verfügung stand. Mit ihren Planungen und ihrem Betrieb hatte sich Roelen während des Krieges auch zu befassen.

Nach 1945 wurden in Bochum auf der Zeche Carolinenglück (Bochumer Verein für Gußstahlfabrikation AG), in Düsseldorf bei den Stadtwerken und bei dem Chemieunternehmen Röhm & Haas GmbH (Plexiglas-Hersteller) in Darmstadt weitere, zum Teil schon vor dem Krieg geplante, Anlagen errichtet. Nach dem Krieg wurden auch in Tavaux, Frankreich, und in Südafrika (African Explosives and Chemical Industries Ltd.) Methanisierungsanlagen gebaut.

## Entdeckung der Oxo-Synthese und Bau einer ersten industriellen Anlage

Die bedeutendste Entdeckung, die bei der Ruhrchemie AG gemacht wurde, ist die im Dezember 1937 von Otto Roelen und Mitarbeitern – Otto Roelen nennt in einer 30 Jahre späteren Rückschau selbst für den Entdeckungsprozess Karl Büchner und Alfred Landgraf – gefundene Oxo-Synthese, eine Synthese zur Herstellung von Aldehyden aus Olefinen, Kohlenmonoxid und Wasserstoff, die noch heute zu den bedeutendsten industriellen homogenen Katalysen mit metallorganischen Katalysatoren zählt. Wie Roelen 1977 selbst beschrieb, handelte es sich um eine Zufallsentdeckung, die Jahre zuvor auch in anderen Laboratorien, u. a. 1930 im Laboratorium des Bureau of Mines (USA) und 1936 im Fischer-Tropsch-Treibstoffwerk der Gewerkschaft Rheinpreußen in Homberg, hätte gemacht werden können. Die Zufallsentdeckung wäre auch bei der Ruhrchemie nicht notwendigerweise gemacht worden. Das Unternehmen profitierte davon, dass es sich aufgrund der NS-Aufrüstungspolitik für den Bau einer Fischer-Tropsch-Anlage entschieden hatte und dass es als Generallizenznehmer intensiv auf dem Gebiet der Kohlenmonoxid-synthese forschte, um das Verfahren technisch zu verbessern. Aufgrund guter Beobachtungsgabe und der Bereitschaft, sich von tradierten Vorstellungen zu lösen, gelang es Otto Roelen, die Aldehydbildung bei modifizierten Fischer-Tropsch-Versuchen mit Ethylenzusatz zu beobachten und auf die Existenz einer eigenständigen Reaktion, unabhängig von der Fischer-Tropsch-Synthese, zu schließen. Da das Forschungslaboratorium der Ruhrbenzin nicht für Hochdruckarbeiten ausgerüstet war, verging 1938 ein halbes Jahr, bis ein kleiner Autoklav von 500 cm<sup>3</sup> beschafft war, und am 26. Juli 1938 ein erster Hochdruckversuch stattfinden konnte. Sowohl dieser Versuch als auch ein zweiter am 2. August 1938 bestätigten Roelens Vermutungen, eine eigenständige Aldehydsynthese entdeckt zu haben. Mit Priorität vom 20. September 1938 meldete die Patentabteilung der Ruhrchemie ein „Verfahren zur Herstellung von sauerstoffhaltigen Verbindungen“ (DBP 849548) zum Patent an, in dem die Anlagerung von Kohlenoxid und Wasserstoff an Olefin-Kohlenwasserstoffen in Gegenwart von (Kobalt-)Katalysatoren bei erhöhtem Druck beschrieben wurde. Die Patentabteilung der Ruhrchemie führte damals auch die bis heute gebräuchliche Kurzbezeichnung Oxo-Synthese ein, da bei Roelens Ethylenversuchen sowohl Propionaldehyd als auch

Diethylketon gefunden wurden und die Forscher annahmen, dass es gelingen würde, beliebige Olefine wahlweise in Aldehyde oder Ketone zu überführen – also generell in Oxo-Verbindungen. Die ursprüngliche Annahme ließ sich nicht bestätigen, weshalb es sich eigentlich nur um eine Aldehyd-Synthese (Hydroformylierung) handelt. Gegen das Warenzeichen Oxo erhob die 1912 gegründete Liebig-Gesellschaft, Köln, ein Hersteller von Nahrungs- und Genussmitteln (Liebig's Fleischextrakt) sowie pharmazeutischen Präparaten Einspruch; daraufhin verzichtete die für die industrielle Verwertung des Oxo-Verfahrens gegründete Oxo-Gesellschaft mbH 1941 auf die warenzeichenmäßige Benutzung im Zusammenhang mit Vertrieb von Waren auf dem Nahrungsmittelsektor. Für die Verwertung des Patents gründeten am 11. Dezember 1940 Ruhrchemie und IG Farbenindustrie die Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH.

Obwohl die Oxo-Synthese nicht ganz den ersten Erwartungen von Otto Roelen und Mitarbeitern entsprach, die heterogene Katalyse wurde zunächst diskontinuierlich im Rührautoklaven betrieben, war sie doch vom betriebswirtschaftlichen Standpunkt aus gesehen genau jenes Verfahren, welches Friedrich Martin zur Ergänzung der vorhandenen Kohlenwasserstoffbetriebe suchte. Bei der Fischer-Tropsch-Synthese fielen große Mengen Olefin-Kohlenwasserstoffe an, für die nicht nur die Ruhrchemie, sondern auch die anderen Fischer-Tropsch-Werke nach wirtschaftlichen Verwertungsmöglichkeiten suchten. Hierzu gehörten die Entwicklung einer Schmieröl-Synthese in Konkurrenz zum KWI für Kohlenforschung ebenso wie die Polymerisation von C<sub>3</sub>-C<sub>5</sub> Kohlenwasserstoffen zu hochoktanigem Flugbenzin. Weder der Vorstandsvorsitzende Friedrich Martin noch Otto Roelen als Entdecker überblickten sofort die Möglichkeiten der Oxo-Synthese. Erst nach weiteren Versuchen im Spätsommer 1939 wurden industrielle Anwendungsmöglichkeiten gesucht und erste Kontakte mit potentiellen Interessenten geknüpft.

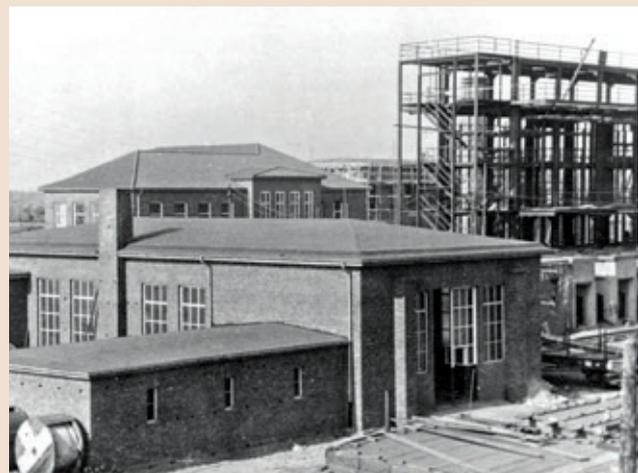
Ruhrgasol und Motorenmethan waren nur einige der bisher schon entwickelten industriellen Verwendungen für diese Kohlenwasserstoffe. Nach Entdeckung der Oxo-Synthese bestand zusätzlich die Möglichkeit, die in großen Mengen anfallenden und sehr billig bewerteten Olefin-Kohlenwasserstoffe wirtschaftlich in Aldehyde und Alkohole beliebiger Kettenlänge umzuwandeln. Die bei der Oxo-Synthese gewonnenen Produkte wie Aldehyde, Alkohole, Fettsäuren und Fettalkohole stellten in der Regel keine marktgängigen Erzeugnisse, sondern nur Zwischenprodukte dar. Beispielsweise wurden aus Fettalkoholen durch Sulfonieren Waschmittel (Fewa), aus Fettsäuren Seifen und aus Aldehyden Lösungsmittel gewonnen. Diese Anwendungsmöglichkeiten betrachtete die Ruhrchemie aber erst nach Kriegsbeginn ausführlicher, als der Mangel an technischen Fetten, Waschmitteln, Seifen u. a. mit infolge der alliierten Seeblockade und der umgestellten deutschen Kriegswirtschaft zu weiteren Reglementierungen führte.

Die Ruhrchemie sah sich vor die Notwendigkeit gestellt, lukrative Anwendungsmöglichkeiten, potenzielle Nachfrager abseits der

Großchemie und notwendige Verfahren der Weiterverarbeitung zu erkunden. Für die damals wichtigsten Weiterverarbeitungsprozesse bestand noch bis 1947 Patentschutz, und erprobte Außenseiterverfahren, d. h. Verfahren, die nicht den Marktführern IG Farbenindustrie AG oder Henkel & Cie. GmbH gehörten, waren nicht bekannt. Die Entwicklung neuer unabhängiger Arbeitsweisen würde dagegen erhebliche Zeit beanspruchen und Kosten verursachen, ohne schon den Absatz der neuen Produkte zu garantieren. Seit Oktober 1939 verhandelte die Ruhrchemie daher mit der in Essen ansässigen Th. Goldschmidt AG über die Gründung einer gemeinsamen Gesellschaft, um die Oxo-Produkte weiterzuverarbeiten, entsprechende Verfahren zu entwickeln, Anlagen zu errichten und zu betreiben und um die so gewonnenen Produkte zu vermarkten. Mit dem Essener Unternehmen arbeitete man schon seit 1929 auf dem Gebiet der Ethylenchemie zusammen. Die Th. Goldschmidt AG wies Ruhrchemie Mitte November 1939 erstmals auf die hervorragenden Eigenschaften der Alkohole zur Herstellung von Waschmitteln, auf mögliche Verwertungen in der Textil-, Leder-, Papier-, Lebensmittel-, Lack- und Kunstharzindustrie sowie für Kosmetika hin. Selbst zeigte Goldschmidt Interesse an Klebstoffen und Emulgatoren, zudem verfügten die Essener über Geschäftsbeziehungen zu verschiedensten Unternehmen mit Interesse an Oxo-Produkten. Ingeheim wurden Analysen über die Firmen Chemische Fabrik Stockhausen & Cie., Krefeld, sowie Chemische Fabrik Pfersee GmbH, Augsburg, erstellt.

Nahezu parallel nahm Friedrich Martin Verhandlungen mit dem führenden Waschmittelhersteller Henkel & Cie. GmbH auf und unterrichtete auch staatliche Stellen über die bei der Ruhrchemie entdeckte Synthese. In den Verhandlungen versuchte er offensichtlich das Optimum für die Ruhrchemie herauszuholen, informierte seine Verhandlungspartner über die Parallelverhandlungen zunächst nicht, kam mit immer neuen Verhandlungsthemen, auch durch sein Aufsichtsratsmitglied Gustav Dechamps beraten, ohne dass sein industrielles Konzept sichtbar wurde. Henkel sah eine preisgünstige Bezugsquelle für Waschmittelalkohole und wollte sich die Ausbeutung des Verfahrens allein sichern, ebenso wie die Th. Goldschmidt AG, die auch den Markt der Emulgatoren und Klebstoffe bearbeiten wollte. Da Henkel einen Monatsbedarf von 6.000 bis 8.000 t an Waschmittelalkoholen über das neue Verfahren abzudecken gedachte, entstand bei den staatlichen Stellen die Idee, im „befreiten“ Osten, in Oberschlesien oder im Sudetenland eine 100.000 t/a-Anlage im Anschluss an ein Fischer-Tropsch-Werk zu bauen. Doch schon Anfang 1940 musste die Ruhrchemie – nach Aufforderung durch das Reichsamt für Wirtschaftsausbau – Verhandlungen auch mit der IG Farbenindustrie AG aufnehmen. Der Generalbevollmächtigte für Sonderfragen der Chemischen Erzeugung im Reichsamt für Wirtschaftsausbau beziehungsweise ab 1939 sogar der Präsident des Reichsamts für Wirtschaftsausbau in der Vierjahresplanbehörde war Professor Carl Krauch, seit 1934 Vorstandsmitglied der IG Farbenindustrie AG, und ab 1940 als Nachfolger von Carl Bosch sogar der Vorsitzende ihres Aufsichtsrats.

Die ersten unmittelbar nach dem deutschen Überfall auf Polen geplanten Bauvorhaben der Vierjahresplanbehörde waren gigantisch. In dem nun nicht mehr militärisch bedrohten wiedervereinten Kohlerevier Oberschlesiens wollte das Reichsamt für Wirtschaftsausbau eine Fischer-Tropsch-Anlage mit einer Kapazität von ca. 120.000 t/a Primärbenzin errichten. An dieses Werk sollte sich eine Oxo-Anlage zur Verarbeitung der anfallenden ca. 50.000 t/a C10-C20-Olefine anschließen, obwohl die industrielle Durchführbarkeit des Verfahrens zu diesem Zeitpunkt überhaupt noch nicht bewiesen war. Das Oxo-Projekt sollte ein Gemeinschaftsunternehmen von Ruhrchemie AG, IG Farbenindustrie AG und Henkel & Cie. GmbH werden. Das Fischer-Tropsch-Projekt wurde aber schon im Sommer 1940 nicht mehr weiterverfolgt. Zu Recht hatte die IG Farbenindustrie darauf hingewiesen, dass die Synthese zwar technisch einfach, aber in der vorliegenden Form nicht ohne weiteres in die industrielle Produktion zu überführen sei (zu hohe Katalysatorverluste, nicht geeignete Stahllegierungen, ungeklärte Prozesswärmeabführung, diskontinuierlicher Prozess etc.). Diese Hinweise waren nicht ganz uneigennützig, da die IG Farbenindustrie mittels einer eigenen Synthese Waschmittelalkohole großindustriell in Leuna produzieren und mögliche Konkurrenz behindern oder gar kontrollieren wollte. Zu Recht wies sie zudem darauf hin, dass das Oxo-Hochdruckverfahren in der Nähe eines Hydrierwerks mit Hochdruckwerkstätten ausgeführt werden sollte, da der preiswerte Bezug der Olefinkohlenwasserstoffe nicht die einzige Voraussetzung zur wirtschaftlichen Durchführung der Synthese sei. Probleme der industriellen Hochdrucktechnik konnte zur damaligen Zeit die IG Farbenindustrie AG durchaus richtig einschätzen, auch wenn die Ruhrchemie mit dem Casale-Verfahren ebenfalls eine Hochdrucksynthese zur industriellen Erzeugung von Stickstoffverbindungen einsetzte.



Das fertig gestellte Verwaltungsgebäude der Oxo-Gesellschaft (Hintergrund) mit der im Bau befindlichen Destillationsanlage während des Krieges (LVR-Industriemuseum Sammlung Ruhrchemie rch 1541).

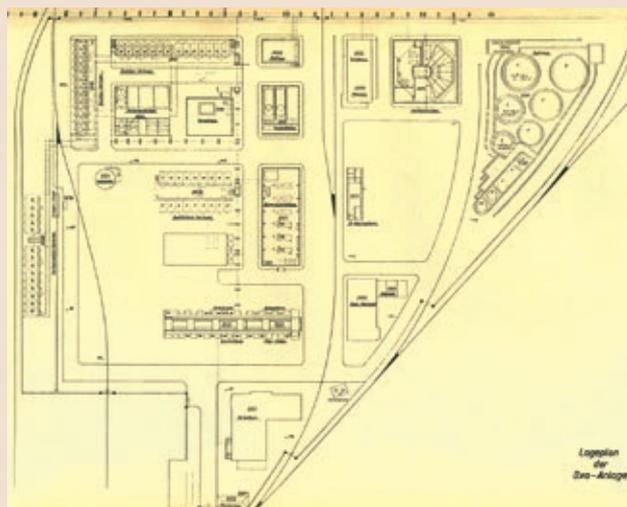
Zum Bau einer Oxo-Anlage in Holten errichteten am 30. Dezember 1940 die IG Farbenindustrie AG, Henkel & Cie. GmbH und Ruhrchemie AG zu gleichen Teilen die Oxo-Gesellschaft mbH. Ihr erster Geschäftsführer wurde Dr. Alfred Landgraf, der an den ersten Hochdruckversuchen beteiligt war und der das Verfahren technisch wei-

terentwickeln sollte. Schon am 20. November 1940 traf sich der mit Vertretern aller Anteilseigner besetzte Beirat der Oxo-Gesellschaft zur Planung einer ersten industriellen Anlage von 8–10.000 t/a. Diese Kapazität entsprach nicht den bei der Ruhrchemie anfallenden Mengen an Olefin-Kohlenwasserstoffen. Der Umbau der vorhandenen Mitteldruck-Fischer-Tropsch-Anlage hätte Vorprodukte für maximal 7.500 t/a liefern können. Die restlichen Mengen sollten von der Hoesch-Benzin GmbH in Dortmund bezogen werden, die ebenfalls eine Mitteldruck-Fischer-Tropsch-Anlage betrieb, deren Vertreter zwar im Aufsichtsrat der Ruhrchemie saß, aber noch nicht diesbezüglich angesprochen worden war. Die für die Hochdrucksynthese benötigten neun Doppelrohre (12 m lang, Durchmesser 400 mm, ausgelegt für 150 bar und 130 °C) sollten im besetzten Frankreich, bei Schneider & Cie. in Creusot, gefertigt werden. Auf einem Grundstück von nur 20.000 m<sup>2</sup> sollte die Anlage für etwa 7 Mio. RM im Anschluss an das Ruhrchemie-Werk errichtet werden, wobei man von einem jährlichen Katalysatorverbrauch in Höhe von 7,5 t ausging. Die Beschaffung der notwendigen Mengen Kobalt wurde ebenso ausgeklammert wie die Herstellung der Katalysatoren.

Die Bauarbeiten an der Oxo-Anlage wurden 1941 aufgenommen, schritten aber nicht besonders zügig voran, es mangelte an Baustahl, freien Baukapazitäten, Fach- und Fremdarbeitern. Sollte die Anlage ursprünglich schon Ende 1941, dann im Sommer 1942 angefahren werden, so verschob sich der Termin zunächst auf das Jahresende, dann auf Herbst 1943.

Mittlerweile hatten sich die geschätzten Baukosten auf 11 bis 12 Mio. RM erhöht, wovon etwa 1 Mio. RM auf zusätzliche Luftschutzmaßnahmen entfielen. Die Ruhrchemie baute im Auftrag der Oxo-Gesellschaft zunächst die Hilfsanlagen, das Tanklager, die Werkstätten, das Laboratorium und das Verwaltungsgebäude, nicht aber die eigentliche Syntheseinheit mit Destillation. Zum einen gab es Probleme mit dem Lieferanten Schneider & Cie. und den notwendigen Apparaturen (Hochdruckventile, etc.), zum anderen modifizierte man noch die Syntheseführung. Außerdem hatte die Ruhrchemie selbst 1942 Bauaufträge in Höhe von 90 Mio. RM für ihre Stickstoff- und Fischer-Tropsch-Anlagen ausgelöst, so dass die Oxo-Gesellschaft mit ihrem Bau hintenanstand. Das eigentliche Problem war, dass man einen Laborversuch direkt in die industrielle Produktion überführen wollte, nur über erste Laborerfahrungen (Anfang 1940: 50 kg/d), nicht aber über Erfahrungen mit einem Technikum oder einer protoindustriellen Anlage verfügte, also die Synthese gleich aus dem Labor um den Faktor 1.000 vergrößern wollte. Schon bei der Fischer-Tropsch-Synthese, bei der man zumindest über fast 10 Jahre Entwicklungsarbeit beim Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in der dortigen Versuchsanlage verfügte, hatte der Schritt in die industrielle Produktion nach 1934 über das 1.000 t/a-Technikum zu großen technischen Problemen geführt. Zahlreiche Modifikationen und schließlich die Anwendung von Mitteldruck waren notwendig, um die Produktausbeute und damit die Wirtschaftlichkeit des Fischer-Tropsch-Verfahrens zu verbessern. Die Synthese war weniger für die Benzinerzeugung geeignet als für die Herstellung von Chemierohstoffen. Zudem setzte der Vorstands-

vorsitzende Martin mittlerweile andere Prioritäten. Ursprünglich wollte Martin die Oxo-Synthese für die Weiterveredelung der eigenen Fischer-Tropsch-Primärprodukte einführen, um die Rentabilität der Kohlenwasserstoff-Betriebe zu garantieren. Mit kriegsbedingtem Vollbetrieb der Fischer-Tropsch-Anlage 1941 warf diese jedoch Gewinn ab, sodass Ruhrchemie ihr Hauptaugenmerk auf die technische Weiterentwicklung der Roelen'schen Entdeckung, nicht aber auf die industrielle Realisation legte. 1940/41 gab die Ruhrchemie 3,5 Millionen RM für diverse Forschungsprojekte aus. Ziel dieser Arbeiten war in der Regel die Veredelung der Primärkohlenwasserstoffe; so erforschten Ruhrchemie-Mitarbeiter in jenem Geschäftsjahr „die Verarbeitung von Propylen auf Butanol nach dem Oxo-Verfahren sowie die Veredelung des Hartparaffins durch Oxydation mit chemischen Mitteln auf hochmolekulare Fettsäuren, Wachse und Emulgatoren“. Im Januar 1942 wollte Otto Roelen Mitarbeiter seines Labors für die Bauarbeiten an der Oxo-Anlage nicht abgeben, „da es [= das Labor] wegen der Erstellung anderer Oxo-Synthesenanlagen voll arbeitsfähig bleiben muß“. Angesichts des eigenen Kapitalmangels wollte die Ruhrchemie Gewinne über die Lizenzierung der Verfahren, nicht aber durch die eigene industrielle Anwendung der Erfin-



Lageplan der Oxo-Anlagen in Oberhausen-Holten (LVR-Industriemuseum Sammlung Ruhrchemie).

dung erzielen, obwohl sie 1939/40 in den Verhandlungen mit Goldschmidt und Henkel immer wieder darauf verwiesen hatte, Produktionsquantitäten für eigene industrielle Zwecke haben zu wollen. Schon 1941 veräußerte sie jedoch die ihr zustehende potentielle Erzeugung (ein Drittel) gegen ein Baudarlehen an Henkel. Die Ruhrchemie AG verfügte nicht über genügend Kapital zum anteiligen Bau der Oxo-Anlage, weshalb sie auch nicht dessen Weiterbau forcierte, obwohl das Projekt in das staatliche Mineralöl-sicherungsprogramm mit hoher Priorität aufgenommen wurde. Da langfristige Bauvorhaben ab 1943 kaum noch staatliche Unterstützung erhielten, wies die IG Farbenindustrie AG (Otto Ambros) schon 1941 darauf hin, nur noch von einer (kriegsrelevanten) Versuchsanlage zu sprechen. Dieser Begriff wurde dann auch nach dem Krieg benutzt, um das Scheitern des industriellen Projekts als Versuchsanlage zu kaschieren.

Weil Ruhrchemie bewusst auf die Erforschung des zunächst noch diskontinuierlich betriebenen Oxo-Prozesses setzte, verwundert es nicht allzu sehr, dass bis Kriegsende die auf dem Reißbrett schließlich auf 15.000 t/a Waschmittelalkohole erweiterte Oxo-Anlage in Oberhausen-Holten nicht in Betrieb genommen wurde. Erst 1943 bis 1945, und nicht wie ursprünglich schon 1941 beabsichtigt, wurde die Holtener Mitteldruck-Fischer-Tropsch-Synthese auf die Erzeugung von Olefinkohlenwasserstoffen als Vorprodukte für die Oxo-Synthese umgerüstet.

Auch IG Farbenindustrie AG und Henkel & Cie. GmbH scheinen kein besonderes Interesse an einer baldigen Fertigstellung dieser Oxo-Anlage besessen zu haben. Schon im Januar 1941 wies Otto Ambros, IG Farbenindustrie AG, darauf hin, dass ein späterer Umbau auf eine kontinuierliche Fahrweise zu berücksichtigen sei. In Leuna errichtete die IG Farbenindustrie AG eine kleine Versuchsanlage von 80 t/m und nahm eigene Patente auf die Weiterentwicklung des Verfahrens. Sie entwickelte eine kontinuierliche Verfahrensweise, auf die 1944 zwei der neun Holtener Hochdruckeinheiten umgestellt wurden bei gleichzeitiger Erhöhung der Produktion auf 15.000 t/a, wofür Olefinkohlenwasserstoffe aus Oberschlesien (Schaffgotsch-Benzin) zu beziehen seien.

1944/45 trafen die alliierten Luftangriffe auch die Oxo-Anlage, besonders am 22. Januar 1945. Im November 1944 wurde erstmals die Verlagerung der beiden kontinuierlich zu betreibenden Syntheseeinheiten zur Deutsche Hydrierwerke AG in Rodleben an der Elbe besprochen. Hierfür sprach sich neben der Ruhrchemie insbesondere Henkel aus, der das dortige Unternehmen gehörte, und die seit 1940 dort die Forschung für die gesamte Henkel-Gruppe konzentrieren wollte. Da die Fischer-Tropsch-Anlage der Ruhrchemie im Herbst 1944 bei einem Luftangriff schwer getroffen, ihr Betrieb still lag und sie zum Teil demontiert worden war, fiel der Vormateriallieferant der Oxo-Gesellschaft aus, zumal auch die nahegelegene Hoesch-Benzin GmbH bombardiert worden war, weshalb eine Verlagerung in weniger luftkriegsgefährdete Gegenden notwendig erschien, um den Betrieb endlich aufzunehmen. Mangel an freien Transportkapazitäten der Reichsbahn sowie Bedenken der Rüstungskommission über die Kriegsrelevanz einer solchen Verlagerung verhinderten die von Dr. Landgraf befürwortete De- und Remontage der Oxo-Anlagen.

Die Holtener Anlage fiel bei Kriegsende fast unzerstört und vor allem nicht demontiert in alliierte Hände. Zu diesem Zeitpunkt hatte sie jedoch nur Erprobungen einzelner Betriebsteile, aber keinen industriellen Betrieb hinter sich. Auch eine bei Collevero, 54 km östlich von Rom gelegene Oxo-Anlage für den Sprengstoff- und Zementproduzenten Bombrini Parodi Delfino, ging bis Kriegsende ebenfalls nicht in Betrieb. Während keine Neuanlage fertig gestellt wurde, gelang es der IG Farbenindustrie AG schon 1942, in ihrem Chemiekomplex Leuna mittels Oxo-Synthese entsprechende Alkohole herzustellen. In der kleinen Versuchsanlage wurden 80 bis 100 t/m = 1.000 t/a Oxo-Alkohole zur Weiterverarbeitung für Weichmacher hergestellt. Für diese Produktion führte die IG Farbenindustrie AG Lizenzgebühren ab. Gleichzeitig entwickelte sie aber das Verfahren eigenständig weiter, unabhängig von Otto Roelen und der Ruhrchemie AG. Im IG

Farben-Werk Ludwigshafen beschäftigte sich vor allem Walter Reppe mit der Modifikation der Oxo-Synthese zur homogenen Katalyse mit Kobaltcarbonylen, weshalb im Januar/Februar 1944 die Entscheidung fiel, eine weitere der neun Holtener Hochdruckeinheiten „nach der von Ludwigshafen angegebenen Weise kontinuierlich mit flüssigen Kontakten“ zu betreiben. Sie wollte ihre Marktdominanz stärken und hatte – trotz Krieg – genügend Forscher an ihren verschiedenen Forschungsstandorten, während sich Otto Roelen mit seinen Mitarbeitern hauptsächlich auf die Fischer-Tropsch-Synthese konzentrierte, aber auch zahlreiche andere Projekte bearbeitete, darunter die schon erwähnte Methanisierung ebenso wie die Oxo-Synthese.

### **Kriegsende, Arrest in Wimbledon und Forschungen zum Ziegler'schen Polyethylen-Verfahren bei Normaldruck**

Das Kriegsende erlebte Otto Roelen am 9. April 1945 in Gebhardshagen bei Salzgitter, wohin Anfang 1945 große Teile der Ruhrchemie-Produktionsstätte und Belegschaft verlagert worden waren. Zunächst entzog er sich der Befragung durch westalliierte Spezialisten, indem er sich zu Freunden in die kleine ehemalige Hansestadt Werben, östlich von Stendal im Regierungsbezirk Magdeburg, absetzte, um auf dem Bauernhof eine Erkrankung auszukurieren. Nach dem Rückzug der US-amerikanischen Truppen auf ihr Besatzungsterritorium Ende Juni/Anfang Juli 1945 wollte Roelen nicht in der sowjetischen Besatzungszone bleiben, obwohl etliche Forscher in der Sowjetunion/DDR – trotz NSDAP-Parteimitgliedschaft und/oder hoher Ämter in der Rüstungswirtschaft – ab den 1950er-Jahren Karriere machen sollten. Roelens Knowhow war auch dort gefragt, lag doch in der sowjetischen Besatzungszone in der Niederlausitz das größte Fischer-Tropsch-Werk (Schwarzheide der Brabag) mit seinen großen Laboratorien, wo u. a. während des Krieges die Reichsamtversuche stattgefunden hatten.

Zunächst begab sich Roelen am 4. Juli als selbst zahlender Privatpatient in das Stadtkrankenhaus Seehausen/Altmark zur Kur, wo er bis zum 3./4. September 1945 blieb. Dann musste er sich „auf Veranlassung der russischen Militärbehörde nach Parishof, Wendemark [...] begeben, um dort zu arbeiten“. Im Kreis Osterburg bei Wittenberge, nahe der Zonengrenze, traf er am 7. September 1945 ein.

Offensichtlich hatten die sowjetischen Besatzer seine Bedeutung verkannt, sonst hätten sie ihn sicherlich nicht aus ihrer Besatzungszone ausreisen lassen. Dies dürfte vermutlich das einzige Mal gewesen sein, dass sich seine Publikationszurückhaltung für ihn auszahlte. Anfang Oktober 1945 kehrte Roelen nach Oberhausen zurück und meldete sich Mitte des Monats bei der Ruhrchemie. Bei der größtenteils kriegszerstörten Ruhrchemie bestand jedoch wenig Interesse an seiner Mitarbeit, zumal ihr verboten war, auf dem als kriegswichtig erachteten Gebiet der Kohlenwasserstoff-Synthese zu forschen. Otto Roelen sollte nur an zwei Tagen in der Woche das Unternehmen beraten.



Otto Roelen mit seiner geliebten Aktentasche vor dem Eingang zum Hauptgebäude der Ruhrchemie AG zur Zeit der Faragher Reports 1947 (LVR-Industriemuseum, Sammlung Ruhrchemie, rch 3368)

Mittlerweile hatte aber die britische Militärregierung die Bedeutung des Oxo-Verfahrens erkannt, weshalb sie am 4. November 1945 auf Anweisung des Ministry of Fuel and Power Otto Roelens Abreise nach England anordnete: „From the investigations of the Field Teams in Germany and from examination of captured documents it seemed probable that Dr. Otto Roelen had a more complete knowledge of the research side of the Fischer-Tropsch process than any other person in Germany. It was known that he had been associated with Franz Fischer in the discovery of the process at the Kaiser-Wilhelm-Institute at Mülheim, Ruhr, and had been in charge of the research laboratory at Holten from the time when the development of the process passed into the hands of the Ruhrchemie A.G. Among his known achievements were the development of the fine-purification process and the discovery of the ‚OXO‘ reaction“. Vom 5. November 1945 bis 12. August 1946 wurde Otto Roelen in Wimbledon bei London über seine Arbeiten befragt; er gab – wie die BIOS-Reports belegen – bereitwillig Auskunft über die technischen Entwicklungen sowohl der Fischer-Tropsch- als auch der Oxo-Synthese, auch wenn er sich nicht immer an alles erinnerte.

Trotz eingeschränkter Bewegungsfreiheit erleichterte die Internierung das Überleben bei regelmäßigem Essen in beheizten Räumen, außerdem stellte die Militärregierung ihm einige Vergünstigungen in Aussicht. Wegen seiner kooperativen Haltung

sollte er schon Anfang 1946 in die britische Besatzungszone reisen, um weitere Informationen für das Ministry of Fuel and Power zu sammeln. Ob er dies tatsächlich tat, ist nicht bekannt.

Nach seiner Rückkehr aus England musste er feststellen, dass seine Wohnung zwischenzeitlich beschlagnahmt worden war, die Möbel zum Teil gestohlen oder von der Arbeiterwohlfahrt weiterverwendet. Er meldete sich zwar sofort bei der Ruhrchemie, übernahm aber zunächst nur Arbeiten in der chemischen Recherche und keine Forschungsarbeiten für das Unternehmen und für die Militärregierung. Noch verboten die alliierten Besatzer westdeutschen Unternehmen Industrieforschung auf vermeintlich kriegswichtigen Gebieten. In dieser Zeit verfasste er den Beitrag „Kohlenoxyd und Wasserstoff“ in der für Deutschland bestimmten Ausgabe der FIAT Review of German Science, nahm aber auch ab 1948 an Tagungen teil, um über seine Erfahrungen mit der industriellen Fischer-Tropsch-Synthese und vor allem seiner Oxo-Synthese zu berichten. Dem US-Amerikaner Warren F. Faragher, Mitarbeiter sowohl der US-Regierung als auch bei der auf dem Mineralölsektor tätigen Houdry Process Company, Philadelphia, war Roelen bei dessen Industriespionage unter alliierterem Deckmantel nicht in dem Maße behilflich, wie er es hätte sein können, wenn er sich nur hätte erinnern wollen.



Besprechung über einen FIAT-Report zur Fischer-Tropsch-Synthese im Privathaus des ehemaligen Vorstandsvorsitzenden der Ruhrchemie Friedrich Martin in Mülheim/Ruhr. V. l.: Rosendahl, Ferdinand Weinrotter (KW1), Gehrke, Friedrich Martin, Otto Roelen, Herbert Koch (KW1), (Foto Atwell, FIAT) (LVR-Industriemuseum, Sammlung Ruhrchemie, rch 3382).

1946/47 wurde Otto Roelen, der nie der NSDAP angehört hatte, als unbelastet entnazifiziert und von der britischen Militärregierung in seiner bisherigen Stellung bestätigt. Eine vorläufige Genehmigung für Forschungsarbeiten erhielt die Ruhrchemie am 23. Juni 1947, sodass Roelen ab 1. Februar 1949 Direktionsassistent von Vorstandsmitglied Dr. August Hagemann bei der Ruhrchemie und ab 1. Oktober 1955 Prokurist und Leiter der Forschungslaboratorien und der Versuchsanlage wurde. Die einst von der NS-Regierung geförderten Fischer-Tropsch-Werke nahmen in Westdeutschland nur für einige Jahre oder gar nicht wieder ihre Produktion auf. Nur Südafrika baute in Sasolburg eine große Fischer-Tropsch-Anlage. Schon 1936 hatte die Anglo Transvaal Consolidated Investment Company Ltd., Südafrika, mit der Ruhrchemie einen Optionsvertrag abgeschlossen über den Bau einer

33.000 t/a-Anlage. Jedoch gelang es dem südafrikanischen Vertragspartner vor Kriegsbeginn nicht mehr, ein Konsortium zum Bau einer Fischer-Tropsch-Anlage zusammenzubringen. Wegen des hohen Aschegehalts der südafrikanischen Kohle sollte diese nicht hydriert, sondern vergast und anschließend mittels Fischer-Tropsch-Synthese in flüssige Treibstoffe umgewandelt werden. Für die Realisierung nach dem Krieg war wieder Ruhrchemie-Knowhow gefragt, zumal auch mit der Société des Produits Chimiques Courrières-Kuhlmann in Frankreich und mit Unternehmen in Indien und Belgisch Kongo Lizenzverhandlungen – in Arbeitsgemeinschaft mit der Lurgi Gesellschaft für Wärmetechnik mbH – geführt wurden, denn der Arbeitsgemeinschaft war es gelungen, die bisherige Leistungsfähigkeit der Syntheseöfen von 1,5 bis 2,5 t/d auf 50 t/d Primärprodukte Anfang 1950 zu steigern. Roelen arbeitete mittlerweile im dritten Jahrzehnt zur Fischer-Tropsch-Synthese, war aber auch für neue Themen offen.

Mit der Lizenznahme des Ziegler'schen Polyethylen-Verfahrens bei Normaldruck durch die Ruhrchemie 1954 wandte sich Roelen auch diesem Forschungsgebiet zu und leistete wieder Herausragendes, sowohl was die Syntheseführung als auch die technische Durchführung der Synthese anbetrifft. Schon am 25. Juni 1954 konnte die Ruhrchemie „Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von hochmolekularen Äthylen-Polymerisaten“ (DBP 1008000) anmelden; im Dezember des gleichen Jahres folgte eine Ergänzung (DBP 1021168 vom 19.12.1954). Nach diesen Verfahren ließ sich ein ultrahochmolekulares Polyethylen mit einem mittleren Molgewicht von 500.000 bzw. 1.000.000 erzeugen, für das der Markenname RCH 500® bzw. RCH 1000® geschützt ist und das noch heute auf dem Werksgelände der ehemaligen Ruhrchemie erzeugt wird, jedoch mittlerweile von der Ticona GmbH unter dem Markennamen GUR®. Das Ruhrchemie-Polyethylen wurde 1955 in Düsseldorf auf der Kunststoff-Messe K55 zum ersten Mal präsentiert. Dank Roelens Erfindung produzierte die Ruhrchemie ein Polyethylen für den Markt mit anderen Eigenschaften als die Farbwerke Hoechst AG, die ebenfalls beim Max-Planck-Institut für Kohlenforschung und ihrem Direktor Karl Ziegler Lizenzen auf dessen Erfindung genommen hatten. Der Bau einer industriellen Anlage



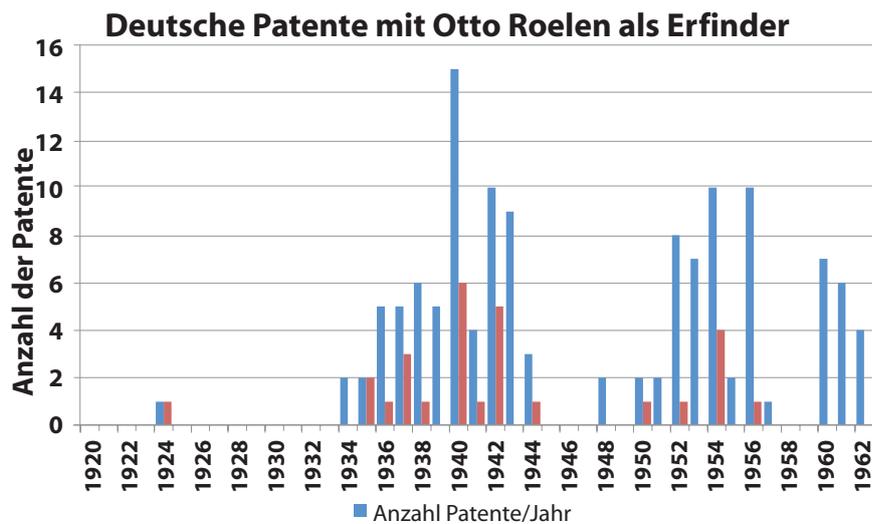
Kunststoffausstellung Düsseldorf 1955: Die Ruhrchemie präsentiert zum ersten Mal ihr hochmolekulares Polyethylen (LVR-Industriemuseum, Sammlung Ruhrchemie, rch 3882).

wurde in den 1950er-Jahren immer wieder verschoben. Ruhrchemie bzw. ihren Anteilseignern fehlte dazu das notwendige Kapital, obwohl bei der Ruhrchemie technisch interessante, weil einfache Apparate entwickelt wurden wie die Filterschnecke zur kontinuierlichen Filtration der Polyethylensuspension, oder die Transportschnecken, in denen Polyethylenpulver gewaschen bzw. mit Wasserdampf behandelt wurde, und nicht zu vergessen das sogenannte „Drallrohr“, in den das wasser- bzw. benzinfuchte Polyethylen mit Luft oder Inertgas bei verhältnismäßig geringem Aufwand getrocknet wurde. 1958 mußte Roelen infolge finanzieller Probleme des Unternehmens die in der Forschung beschäftigte Anzahl der Mitarbeiter von 283 auf 122 kürzen. Erst 1958 mit der Kapitalbeteiligung der Farbwerke Hoechst AG wurde auch in die industrielle Polyethylenerzeugung investiert.

Am 31. März trat Otto Roelen in den Ruhestand. Während seiner gesamten Berufstätigkeit war er erfinderisch tätig. Auch wenn einige seiner Patente zu keiner industriellen Anwendung führten, so erhielt Otto Roelen neben Gehalt bzw. Rente eine beachtliche Erfindervergütung, hatte doch sein Arbeitgeber Millionen Reichsmark bzw. Deutsche Mark mit seinen Erfindungen eingenommen. Dennoch wurde er kein Millionär, da die meisten Erfindungen nach 1945 im Ausland lizenzfrei verfügbar waren. Zudem handelte es sich um Dienstervfindungen. Weit über 110 deutsche Patentschriften nennen ihn als Erfinder oder Miterfinder. Mal betrug sein Erfinderanteil – ausnahmsweise – nur wenige Prozente, mal 50 oder gar 100 Prozent.

## Forschen ohne Labor: Der Pensionär und seine Ehrungen

„In Anerkennung seiner Verdienste um die Auffindung der sogenannten Oxo-Reaktion, mit deren Hilfe Aldehyde und Alkohole durch Anlagern von Kohlenoxyd und Wasserstoff an Olefine in Gegenwart von Kobalt-Katalysatoren im In- und Ausland in großtechnischem Maßstab gewonnen werden“ verlieh ihm die Gesellschaft Deutscher Chemiker 1963 die Adolf von Baeyer-Denkmedaille und die Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft ehrte ihn im gleichen Jahr mit der Verleihung der Wilhelm-Normann-Medaille. Zwanzig Jahre später verlieh ihm die RWTH Aachen die Ehrendoktorwürde. Schon Ende 1944 hatte ihn die Ruhrchemie als Anwärter für den Dr.-Fritz-Todt-Preis benannt, wie sie ihn Jahre zuvor für das Kriegsverdienstkreuz 2. bzw. 1. Klasse vorgeschlagen hatte. Da die Oxo-Synthese noch keine industrielle Bedeutung erlangt hatte, lehnte die Geschäftsstelle eine Ehrung ab, was Otto Roelen sicherlich nach Kriegsende äußerst genehm war. Trotz zahlreicher Ehrungen, die ihm zuteil wurden, erfüllte sich sein Wunsch nach einer Mitgliedschaft in der angesehenen Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina, Halle/Saale, nicht. Dies traf ihn persönlich, denn unter den Fischer-Tropsch-Chemikern vom Kohlenforschungsinstitut bestand eine persönliche Konkurrenz, und Herbert Kölbel, der vom Mülheimer Institut zur Fischer-Tropsch-Anlage Rheinpreußen gewechselt war, bevor er 1953 eine Professur für Technische Chemie



Die Statistik zeigt zwei Maxima im Abstand von mehr als zehn Jahren. 1940 nennen 15 Patente Otto Roelen als (Mit-)Erfinder, 1954 und 1956 – die Polyethylen-Synthese bei Normaldruck ist als Arbeitsgebiet neu hinzugekommen – tragen jeweils 10 Patentanmeldungen der Ruhrchemie seinen Namen.

an der TU Berlin erhielt und 1961–1963 deren Rektor war, wurde noch zu DDR-Zeiten (1966) in die „gesamtdeutsche“ Leopoldina aufgenommen.

Im Ruhestand beschäftigte sich Otto Roelen bis zu seinem Schlaganfall 1986 mit Erdstrahlen, Fastenkuren und anderen Gesundheitsfragen sowie mit philosophischen und psychologischen Fragen der chemischen Forschung, wobei er die Bedeutung der ‚gefühlsmäßigen Einstellung‘ für Entdeckungen und Erfindungen besonders herausarbeitete (Emotik, Unveröffentlichtes Typoskript, 1968). Früh wies er auf mögliche Ursachen von Zivilisationskrankheiten und deren langfristige Folgen für den menschlichen Organismus hin, wandte sich ökologischen Themen zu, hing aber auch der „Pendelkunde“ an und war als Agnostiker 1931 aus der evangelischen Kirche ausgetreten. Außerdem schrieb er die Erfindungsgeschichte sowohl der Oxo-Synthese als auch der Fischer-Tropsch-Reaktion nieder. Schon Ende der 1950er-Jahre hatte er für den „Ullmann“ die Geschichte

der Kohlenoxyd-Hydrierung aufgezeichnet. Mit der in Deutschland einsetzenden Renaissance der Kohleverflüssigung nach der Ölpreiskrise Anfang der 1970er-Jahre war Otto Roelen noch einmal ein gefragter Fachmann und Zeitzeuge, auch wenn „jüngere“ Mülheimer Kohlenforscher, wie der sieben Jahre jüngere Helmut Pichler, die Studien für das Bundeswirtschaftsministerium verfassten.

Am Ende seines Lebens stellte Otto Roelen noch einen Rekord auf, als der bekennende Jungeselle zum ersten Mal in seinem Leben mit 94 Jahren seine langjährige Bekannte Helga Christ heiratete. Otto Roelen verstarb am 30. Januar 1993 in Bad Honnef und wurde im Familiengrab in Wickrathberg bei Mönchengladbach-Beckrath beigesetzt. Zu seinem 100. Geburtstag wurde die Otto Roelen-Gedenkmünze von jenem Nachfolgeunternehmen der Ruhrchemie gestiftet, das noch heute dort forscht und mittels modifizierter effektiverer Verfahren Oxo-Aldehyde und Oxo-Alkohole produziert, wo Otto Roelen fast 80 Jahre zuvor seine Industrietätigkeit begann.

# DAS WERK RUHRCHEMIE

## Gründung der Ruhrchemie AG

Im Sommer 1926 wurde dem Rheinisch-Westfälischen Kohlen-Syndikat (RWKS) der Plan einer großräumigen gemeinschaftlichen Ferngasverteilung unterbreitet. Das zu gründende Gemeinschaftsunternehmen sollte jedoch nicht nur auf dem Gebiet der Gasversorgung tätig sein, sondern sich auch mit Fernheizung, Kohleschwelung, Kohlenstaubfeuerung, Synthesen von Stickstoffverbindungen und mit der Kohleverflüssigung beschäftigen und somit in die gesamte Palette der thermisch-chemischen Kohleveredelung einsteigen.

Wegen divergierender Interessen einiger Kartellmitglieder, die sich bereits eigenen Koksgasverbrauchern angegliedert hatten, wurde die „AG für Kohleverwertung“ auf die Unternehmensziele Gasfernversorgung und Fernheizung beschränkt. Deshalb änderten diese später ihren Firmennamen zutreffender in Ruhrgas AG. Eine zweite, kleinere Gruppe von RWKS-Mitgliedern sah in der Erzeugung von Stickstoffverbindungen mittels der chemischen Koksgasveredlung, einen zukunftsreichen Markt und suchte das technisch und ökonomisch praktikabelste synthetische Ammoniakgewinnungsverfahren. Das von Schutzrechten der BASF und damit vom Haber-Bosch-Verfahren unabhängige Syntheseverfahren des Italieners Luigi Casale, das schon bei mehreren Unternehmen großindustriell betrieben wurde, schien das richtige. Nicht alle Aktionäre der AG für Kohleverwertung wollten sich an der Entwicklung einer Konkurrenz zu eigenen Stickstoffaktivitäten beteiligen und so wurde am 28. Oktober 1927 die „Kohlechemie Aktiengesellschaft“ als Studiengesellschaft mit zunächst 500.000 RM Aktienkapital gegründet.

Innerhalb des RWKS gelang es nicht, sich mit der Gasverarbeitungs GmbH (Hibernia/Gewerkschaft Mont Cenis) zu verständigen, die ein eigenes Syntheseverfahren für Ammoniak entwickelt hatte und nun versuchte, dieses industriell zu nutzen. Deshalb wurde die inoffiziell bestehende Stickstoffabteilung der AG für Kohleverwertung noch Ende 1927 auf die Kohlechemie AG übertragen. Am 18. April 1928 änderte das Unternehmen seinen Namen in „Ruhrchemie Aktiengesellschaft“ (RCH), schien den Unternehmensgründern doch unter dem Namen Ruhr Chemical Corporation die notwendige Kapitalbeschaffung auch in den USA leichter möglich.

Ökonomisches Ziel dieser Firmengründung war es, einen Großabnehmer für das überschüssige Kokereigas zu erhalten. Das unternehmenspolitische Ziel hingegen sollte mit der Eigenerzeugung synthetischer Stickstoffverbindungen – und damit Düngemitteln – die Verhandlungsposition der Ruhrgebiets-Kokereien innerhalb des von der IG Farben dominierten Stickstoff-Syndikats stärken. Symbolhaft stellt dies eine Plastik von Josef G. Sommer im Verwaltungsbau der Ruhrchemie AG dar.

## Die Forschungsgeschichte der Ruhrchemie AG

Die erste Produktion der Ruhrchemie AG zur Herstellung von Ammoniak lief am 9. Mai 1929 mit einer Jahreskapazität von 65.000 t/a in der Endphase an. Das Produktspektrum umfasste den „Montansalpeter“, einer Mischung von Ammoniumnitrat und -sulfat mit 26% N („Ammonsulfatsalpeter“, ASS), sowie den „Kalkammonsalpeter“ („KAS“), welcher seit 1930 produziert wurde. Die Geschichte der „Stickstoffproduktion“ in Oberhausen endete 1990 mit der Einstellung der Erzeugung von Salpetersäure und Düngemitteln, nachdem bereits 1983 die Ammoniakherstellung aus ökonomischen Gründen aufgegeben worden war.

In der Forschungsabteilung beschäftigte man sich im Werk Ruhrchemie neben den Forschungen zu Düngemitteln auch mit der Nutzung und Veredlung des Kokereigas bzw. seiner Bestandteile zur Erzeugung von Chemierohstoffen wie Benzol oder Acetylen. Die Ruhrchemie trennte Koksgas nach dem Concordia-Linde-Bronn-Verfahren auf und setzte große Forschungskapazitäten zur Gasreinigung und Pyrolyse von Koksgas und Fraktionen der Koksgaserlegung ein.



Bild 1: Bergmann und Chemiker (1938, Relief: Josef G. Sommer; LVR-Industriemuseum, Sammlung Ruhrchemie, rch 5051) Chemie aus Kohle: Symbolische Darstellung des Weges der Kohle vom Bergmann (links) zum Chemiker (rechts)

Die Arbeiten begannen bereits 1929, als Prof. Franz Fischer der Ruhrchemie AG sein Verfahren der Benzolsynthese durch Methanpyrolyse (via Acetylen) angeboten hatte. Das Verfahren erwies sich recht bald als technisch nicht praktikabel. Im Rahmen dieser Arbeiten hatte die Ruhrchemie aber längere Zeit an einer Acetylsynthese durch Methanpyrolyse gearbeitet. Auf der Basis dieser Veredlungsprodukte (u.a. Acetylen, Blausäure, Butadien) als eigene Rohstoffe wollte die Ruhrchemie AG im Anschluss eigene Produktionen aufbauen, um mit einem zweiten Produktionsstandbein die Abhängigkeit vom Düngemittelmarkt zu reduzieren.

Die Regulierung des Stickstoffmarktes durch den nationalsozialistischen Staat im Sinne einer agrarfreundlichen Preispolitik verstärkte den ökonomischen Druck auf das Unternehmen. Der gleiche Staat forderte im Rahmen seiner Autarkiepolitik die Erzeugung heimischer flüssiger Treibstoffe und förderte diese durch garantierte Mindestpreise: Hierbei konzentrierte sich die Suche auf eine Vermarktung des bei der Kokereigaszerlegung und Wasserstoffgewinnung anfallenden Restgases Methan und auf die Methanisierung von Kohlenmonoxid mit Wasserstoff – beides Komponenten des von der Ruhrchemie AG bezogenen Koks-gases. Methan aus Koksgas wurde eine Zeit lang als „Ruhrgasol“ von der Ruhrchemie AG vertrieben.

Weiterhin entschied sich die Ruhrchemie AG für das bisher nur im Labormaßstab entwickelte Fischer-Tropsch-(FT)-Verfahren des Kaiser-Wilhelm-Instituts (KWI) für Kohlenforschung, wohl wissend, welche Forschungs- und Entwicklungsarbeit bis zur großindustriellen Synthese noch zu leisten war, und erwarb am 17. Oktober 1934 die weltweite Generallizenz des FT-Verfahrens.

Um die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für eine erste 1.000 t/a Anlage schnell voranzubringen, wurden mit Dr. Otto Roelen und Dr. Walter Feißt zwei wichtige Mitarbeiter der Mühlheimer Versuchsanlage des KWI für Kohlenforschung verpflichtet.

Zu den wichtigsten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten jener ersten Jahre gehörte die Entwicklung leistungsstarker Katalysatoren mit langer Lebensdauer. Die Katalysatoren waren ein Schwachpunkt der industriellen Synthese, da im KWI für Kohlenforschung kein Verfahren zur industriellen Herstellung von Kobaltkatalysatoren im Tonnenmaßstab entwickelt worden war. Durch den Erfindungsreichtum Roelens und anderer Ruhrchemie-Mitarbeiter konnte dieses Problem ebenso wie die Regenerierung der gebrauchten Katalysatoren gelöst werden. Um den Bedarf der geplanten FT-Werke zu decken, war es zudem notwendig, die anfängliche Lebensdauer der Katalysatoren von nur 240 Stunden deutlich zu steigern. In direktem Zusammenhang hiermit stand die Reinigung des Synthesegases von desaktivierenden Schwefelverbindungen.

Da der Ruhrchemie AG bzw. der zum Betrieb der FT-Anlage gegründeten Schwestergesellschaft Ruhrbenzin AG von Anfang an bewusst war, dass nicht die Benzinherstellung selbst, sondern eher Nebenprodukte und Spezialitäten zum Unternehmensgewinn bei-

tragen würden, forschte das Unternehmen sofort nach der Entscheidung für die FT-Synthese sowohl an der Weiterverarbeitung der FT-Primärprodukte zu Hochleistungsschmierölen und Fettsäuren als auch an hochoktanigem Flugbenzin, wollte aber auch die anfallenden Gase als Treib- und Heizmittel verkaufen.

Zu den großen technischen und ökonomischen Erfolgen der Ruhrchemie aus der Frühzeit ihrer Beschäftigung mit dem FT-Verfahren gehörte die Entwicklung einer eigenen, patentfähigen Schmierölsynthese und die Ausarbeitung einer Toluol-Synthese.

Bereits 1936 wurde der Bau einer Produktionsanlage für Polymerbenzine mit einer Oktanzahl von ca. 80 in Angriff genommen. Die Anlage sollte täglich etwa 40t Butan und Propan zu hochwertigen „benzolartigen Brennstoffen“ verarbeiten.

Die Entwicklungen auf dem Gebiet der FT-Synthese dienten zwei Unternehmenszielen: einmal wollte die Ruhrchemie AG eine rentable Treibstoffproduktion selbst aufnehmen, zum anderen den Syntheseprozess gewinnbringend vermarkten.

Seit Dezember 1937 beschäftigte man sich neben den Arbeiten zur FT-Synthese mit der von Roelen, im Rahmen der weiterführenden Optimierung der Ausbeuten für die FT-Synthese, zufällig gefundenen Oxo-Synthese. Während des Krieges konzentrierte Roelen seine Oxo-Forschung auf die Herstellung höherer Fettalkohole, die zu Detergentien und Seifen umgearbeitet werden sollten.

## **Forschungsaktivitäten nach dem Krieg**

Gegen Ende des Krieges wurden am 27. März 1945 den amerikanischen Truppen die Reste eines produzierenden und forschenden Unternehmens übergeben, welches die Zerstörung von Produktionsanlagen und Bauten sowie die Verlagerung eines Teils der Produktion und Forschung nach Mitteldeutschland hinter sich hatte. Wie in den meisten deutschen Industrieunternehmen begann auch in Holten der Wiederaufbau und, was die Forschung angeht, auch die Wiederezusammenführung von Belegschaft und Ausrüstung. Selbst nachdem dieses gelungen war, verhinderten die alliierten Produktionsverbote für Hydrier- und FT-Werke in Deutschland die Wiederaufnahme entsprechender Arbeiten. In dieser schwierigen Zeit sicherten Aushilfsarbeiten und Kleinproduktionen einen kargen Lebensunterhalt.

Die damalige Forschungs- und Entwicklungsabteilung des Werkes konzentrierte sich zu Lizenzierungszwecken auf die Ausarbeitung einer „FT-Hochlastsynthese“. Diese vor allem mit den Namen Roelen, Rottig und Schnur verbundene Entwicklung ist 1951 an die SASOL in Südafrika lizenziert worden und stellt dort die Basis für die Herstellung von Treibstoffen aus Kohle dar. Es ist heute als „ARGE-Verfahren Ruhrchemie/Lurgi“ bekannt. Im Jahr 1950 wurde eine Raffinerie geplant, 1954 mit Geldmitteln

der Gulf Oil Corp. gebaut und von 1955 bis 1964 mit einem max. Durchsatz von 556.000 t/a betrieben. Zusammen mit betriebsnahen Arbeiten zur Ammoniak- und Düngemittelproduktion wurde damit erstmals konsequent versucht, den Gedanken einer auf Nebenprodukten basierenden Petrochemie voran zu bringen. Es stellte sich allerdings recht bald heraus, dass die vorhandene Raffinerie zu klein und zu wenig flexibel war, um den schärfer werdenden Qualitätsanforderungen und Turbulenzen des sich weltweit erschließenden Marktes gewachsen zu sein.

Somit beschäftigte man sich am Standort immer mehr mit spezielleren Themen wie Insektiziden, Epoxidharzen, Polyethylenschäumen, Heterozyklen und anderen Themen wie der Brennstoffzelle, deren Entwicklung ihrer Zeit weit voraus war und die später an Siemens und VARTA abgegeben wurde.

Seit 1953 beschäftigte sich die Ruhrchemie AG auch mit Polyethylen (PE, zunächst Niederdruckpolyethylen genannt, später Polyethylen hoher Dichte, HDPE), initiiert durch das aus der Raffinerie zur Verfügung stehende Äthylen und durch die seit Franz Fischers Zeiten bestehende Verbindung mit dem Kaiser-Wilhelm- bzw. Max-Planck Institut für Kohlenforschung. Die Arbeiten von Karl Ziegler und seiner Miterfinder waren in Holten bekannt und wurden bereits im Januar 1954, zwei Monate nach der Patentanmeldung durch Karl Ziegler, im Aufsichtsrat diskutiert. Die Forschung der Ruhrchemie bekam allerdings keinen ausschließlichen Zugang zu den Mülheimer Ergebnissen, wie das beim FT-Verfahren noch der Fall gewesen war. In Konkurrenz zur Farbwerke Hoechst AG (FWH) baute die Ruhrchemie eine Versuchsanlage, die bereits im April 1954 den Chargenbetrieb aufnahm und auf deren Produkten der langjährige Prioritätsstreit mit der FWH zum ersten „technischen“ HDPE beruhte. Im Jahre 1955 präsentierte die Ruhrchemie AG auf der Kunststoffausstellung in Düsseldorf ihr erstes hochmolekulares Produkt „RCH-Polyäthylen 1000“ mit einem Molekulargewicht von 1 Million. Im gleichen Jahr baute man mittels einer Kapitalerhöhung eine PE-Anlage, womit die Ruhrchemie AG der erste Anbieter technischen HDPEs geworden wäre. Veränderungen im Aktionärskreis der Ruhrchemie AG, langwierige Verhandlungen mit den vorgesehenen HDPE-Partnern Gute-Hoffnungs-Hütte (GHH) und Rheinpreußen, drohende Konkurrenz durch andere HDPE-Aspiranten und der Eintritt der FWH als 25%-Aktionär der Ruhrchemie AG verzögerten bis 1958 den Baubeschluss der kommerziellen PE-Anlage mit 300 Monatstonnen. Auf diese Weise ist die Ruhrchemie AG trotz anerkannt progressiver Entwicklung und hervorragender PE-Qualität („weißes“ statt des damals üblichen gelben PE) um die Früchte ihrer frühen Entwicklung gebracht worden. Die RCH-Technologie wurde später Ausgangspunkt für die technische Produktion hochmolekularen Polyethylens („RCH Hostalen-GUR“).

Der Anschluss der Ruhrchemie AG an die NWO (Nord-West-Ölleitung), zu deren Gründern 1955 die Ruhrchemie AG gehörte, und an die Leitungsnetze für Ethylen, Wasserstoff und Ammoniak sowie der Bau von fremdlizenzierten Anlagen zur Erzeugung von

„Spaltgas“ aus Benzin oder von Synthesegas aus schwerem Heizöl bereitete konsequent den Weg von der kohle- zur petrochemischen Fabrik vor.

## Die Oxo-Synthese nach dem Krieg

Die Arbeiten zur Weiterentwicklung der Oxo-Synthese konzentrierten sich nach dem Krieg auf drei Ziele: die Inbetriebnahme der bereits während des Krieges erbauten, praktisch aber nicht mehr in Betrieb genommenen und dann teildemontierten ersten Oxo-Anlage in Batch-Fahrweise mit „heterogenen“ Katalysatoren, die Entwicklung eines kontinuierlichen Verfahrens mit Kreislaufführung des homogenen Oxo-Katalysators und auf die Ausweitung der Produktpalette. Die nach den Demontagen wieder ergänzte Oxo-Anlage wurde zur Hydroformylierung von C10- bis C18-Olefinschnitten der FT-Synthese eingesetzt. Da sämtliche ausländischen Patentrechte der Ruhrchemie (bzw. der „Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH“) nach dem Krieg verloren waren, konnten die US-amerikanischen und britischen Unternehmen eigene Oxo-Anlagen unter Nutzung des RCH-Knowhows erbauen.

Die Arbeiten zur kontinuierlichen Hydroformylierung führten ab 1953 zur Grundform des später oft lizenzierten RCH-Oxo-Verfahrens mit Hochdruck-(HD)-Reaktoren mit innenliegenden Kühlregistern, HD-Abscheidern, dem Hydratiser zur Katalysatorersetzung und dem Katalysatorrecycling.

1962 wurde mit der Hydroformylierung von Propylen, einem typisch petrochemischen Rohstoff, und der Herstellung von Oxo-Säuren begonnen; 1965 ging die Anlage für 2-Ethylhexanol in Betrieb, und Ende 1967 wurden Oxo-Kapazitäten von etwa 150.000 t/a betrieben. Sämtliche Aktivitäten gingen auf die innovative eigene Forschung zurück. Zusätzlich wurden 1967 etwa 25.000 t/a Niederdruckpolyethylen und etwa 125.000 t/a Düngemittel hergestellt. Trotz der Einstellung des Betriebes der Raffinerie zum Jahresende 1964 war damit eine gesunde Basis für die Ruhrchemie AG als Unternehmen der Petrochemie gelegt.

Das RCH-Oxo-Verfahren auf Basis Kobalt wies Mitte der sechziger Jahre den oben skizzierten Entwicklungsstand auf. Es war, auch mit den Begleit- und Folgeprozessen (2-Ethylhexanol, Hydrierung zu Butanolen, Spaltung von Höhersiedern), leistungs- und wettbewerbsfähig, wie die häufige Lizenznahme bewies. Zeitweilig wurden über 20% der weltweiten Oxo-Produktion nach dem RCH-Verfahren erzeugt.

Trotz weiterer Fortschritte und eines unerreicht hohen Standes des RCH-Oxo-Verfahrens auf der Basis von Kobalt, ließ es sich gegen Ende der siebziger Jahre nicht mehr leugnen, dass andere Verfahrensvarianten der Propylenhydroformylierung einen uneinholbaren Vorsprung gewonnen hatten. Wenn dieser Vorteil bei der großen Breite der RCH-Palette (von Aldehyden über Alkoholen bis zu Carbonsäuren umfassend) auch weniger gravierend war, so war doch abzusehen, dass die Herstellung von n-Butanal

und damit von 2-Ethylhexanol, den Hauptergebnisbringern der Ruhrchemie AG, längerfristig nicht mehr auf Verfahren mit Co-Katalysatoren basieren würde.

1981 ergab sich die Möglichkeit, über die Tochterfirma und den Lizenznehmer Oxochimie mit deren Mitbesitzer Rhône-Poulenc (RP) über die dort bearbeitete Methode der zweiphasigen Hydroformylierung ins Gespräch zu kommen. Hierbei bot die Ruhrchemie AG an, die Labormethode der RP mit dem eigenen, breiten Knowhow der Verfahrensbearbeitung von Laborverfahren in den technischen Maßstab zu überführen, selbst anzuwenden und gemeinsam mit RP als Ruhrchemie/Rhône-Poulenc-Verfahren zu lizenzieren.

Bei der Ruhrchemie AG wurden noch vor der Vertragsunterzeichnung im Herbst 1982 entsprechende Versuchsarbeiten im Oxo-Technikum begonnen und das Labor-Knowhow innerhalb von zwei Jahren mit dem außergewöhnlich hohen Scale-up-Faktor von 1:10.000 in den großtechnischen Maßstab übertragen. Bei der Neuartigkeit der Technologie konnte das mit den Namen Cornils, Bahrmann, Hibbel und Wiebus verbundene Verfahren bis in Details hinein patentrechtlich geschützt werden. Die erste Großanlage (nominell 100.000 t/a n-Butanal) ging im Juli 1984 bei der Ruhrchemie AG in Betrieb, die zweite entsprechende Anlage schon 1988. Das RCH/RP-Verfahren wurde 1997 erstmals in einer Lizenzanlage (Hanwha Chemical Corp., Korea) in Betrieb genommen, nachdem auf dem Gelände des Werkes Ruhrchemie inzwischen Kapazitäten von etwa 350.000 t/a installiert und weitere geplant waren.

Das Verfahren ist gegenüber der Kobalt-Technologie stark vereinfacht und stellt heutzutage die fortschrittlichste Lösung auf dem Gebiet der Hydroformylierung mit ligandenmodifizierten Rh-Katalysatoren dar.

Aus der Vielzahl von Grundverfahrensschritten und Reaktionen der Hydroformylierung war es möglich, in diesen Jahren folgende Prozesse voranzubringen:

- Veresterung von Oxo-Alkoholen mit Phthal- und anderen Säuren zu Weichmachern;
- Umsetzung von Oxo-Aldehyden zu Oxo-Carbonsäuren;
- Aldolisierung und Mischaldolisierung von Oxo-Aldehyden und anderen Aldehyden, u.a. zu Neopentylglykol oder zu 2-Ethylbutylverbindungen;
- Umsetzung von Oxo-Aldehyden oder -alkoholen zu Aminen (Verfahren der Ammonolyse oder der aminierenden Hydrierung) oder Nitrilen;
- Die Herstellung von Heterocyclen auf der Basis von Oxo-Produkten;
- Riechstoffe und Terpene, speziell mittels Methylenierung mit Formaldehyd;
- Kieselsäureester als Schmiermittel und Spreitungsmittel/Wasserverdunstungshemmer;
- Umsetzung von Isobutanal oder Isobuttersäure zu Methacrolein oder Methacrylsäure;

- Schmiermittel auf Basis von Estern, speziell auch für das Betreiben von Kühlanlagen mit H-FKW;
- Propandiol-1,3 durch Wasseranlagerung an Acrolein und die Hydrierung des erhaltenen Hydroxypropionaldehyds oder durch Hydroformylierung von Ethylenoxid.

Auch das in der Zeit von 1978 bis 1985 entwickelte und zur technischen Reife gebrachte „Texaco-Kohlevergasungsverfahren in der Version RCH/RAG“ soll erwähnt werden. Es sollte die Rohstoff-sicherung (Synthesegas) des Standorts mittels Kohle sichern.

## Die Eignerstruktur ab 1982

Nach der Übernahme durch die Hoechst AG im Jahr 1982 wurde das Unternehmen als Werk Ruhrchemie 1988 in die Konzernstruktur eingegliedert. Die folgende Zentralisierung der Forschung verringerte die Forschungsaktivitäten im Werk Ruhrchemie. Mit der neuen Unternehmensstruktur ab dem 1. Juli 1997 (Hoechst AG Holding) wurde die ehemalige Ruhrchemie AG Teil der Celanese Chemicals Europe GmbH und ab dem 1. Oktober 1999 Teil der neu gegründeten Celanese AG („Demerger“ der Hoechst AG in Aventis AG und Celanese AG). Die ehemalige Celanese AG (damals Celanese Corp.) mit Firmensitz in Dallas (Texas, USA) war 1987 von der Hoechst AG übernommen worden.

Im Oktober 2003 wurden Teile des Werkes Ruhrchemie durch ein Joint-Venture zwischen der Celanese AG und der Degussa AG (heute Evonik) in die European OXO GmbH (EOXO) umgewandelt. Die Bereiche der Oxo-Chemikalien in diese Neustrukturierung integriert.

Am 1. März 2007 wurde die OXEA gegründet. Advent International hatte zu diesem Zeitpunkt verschiedene Geschäftsbereiche der Celanese Corporation erworben – darunter ihr Oxo-Geschäft sowie die European OXO GmbH („EOXO“).

OXEA produziert an den Standorten Bay City und Bishop/USA, Oberhausen und Marl/D, Amsterdam/NL sowie zukünftig in Nanjing/China. OXEA ist mit über 1.400 Mitarbeitern einer der weltweit größten Hersteller von Oxo-Intermediates und Oxo-Derivaten wie Alkoholen, Polyolen, Carbonsäuren, Spezialitätenester und Aminen. Die Produkte werden in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens eingesetzt, wie beispielsweise zur Herstellung von hochwertigen Beschichtungen, Schmierstoffen, kosmetischen/pharmazeutischen Produkten, Aroma-/Duftstoffen, Druckfarben sowie Kunststoffen.

Mit Start der OXEA wurde eine Geschäftsstrategie implementiert, die dazu führt, dass die Aktivitäten der Globalen Technologie wieder ausgebaut wurden. Schwerpunkte der Arbeiten ist die Optimierung existierender Prozesse, aber auch die Entwicklung von neuen Produkten für OXEA. Ein Höhepunkt der konsequenten Umsetzung der Strategie ist der Bau zweier neuer Anlagen in Oberhausen, die beide Folgeprodukte der Hydroformylierung herstellen.

# LITERATUR

## Veröffentlichungen von Otto Roelen

- H. Tropsch, O. Roelen, Über die Verbrennung von Methan zu Formaldehyd, *Brennstoff-Chemie* **1924**, 5, 37-42; *Ges. Abh. Kennt. Kohle* **1929**, 8, 534-545.
- H. Tropsch, O. Roelen, Über die katalytische Zersetzung des Formaldehyds, *Ges. Abh. Kennt. Kohle* **1925**, 7, 15-36.
- H. Tropsch, O. Roelen, Über die Abscheidung von Paraformaldehyd aus formaldehydhaltigen Gasen, *Ges. Abh. Kennt. Kohle* **1925**, 7, 175-177.
- O. Roelen, Über die Verbrennung von Methan zu Formaldehyd, *Ges. Abh. Kennt. Kohle* **1925**, 7, 111-115.
- O. Roelen, Über die Beherrschung der Temperatur bei exothermen Gasreaktionen, *Brennstoff-Chemie* **1930**, 11, 68-70; *Ges. Abh. Kennt. Kohle* **1932**, 10, 577-583.
- O. Roelen, A. Hintermaier, Über die Veränderung des Schüttgewichtes eines Benzinkontaktes, *Ges. Abh. Kennt. Kohle* **1930**, 9, 517-518.
- O. Roelen, Über die Bestimmung, Umwandlung und Entfernung des organisch gebundenen Gasschwefels, *Brennstoff-Chemie* **1931**, 12, 305-312; *Ges. Abh. Kennt. Kohle* **1934**, 11, 466-480.
- F. Fischer, O. Roelen, W. Feißt, Über den nunmehr erreichten technischen Stand der Benzinsynthese, *Brennstoff-Chemie* **1932**, 13, 461-468; *Ges. Abh. Kennt. Kohle* **1934**, 11, 501-516.
- O. Roelen, W. Feißt, Verbesserte Methoden zur Ermittlung des Gasschwefels, *Brennstoff-Chemie* **1934**, 15, 187-192; *Ges. Abh. Kennt. Kohle* **1937**, 12, 230-241.
- O. Roelen, Über die Mischbarkeit und Lagerbeständigkeit von Dieselkraftstoffen, *Öl und Kohle* **1938**, 14, 1077-1079.
- F. Fischer, O. Roelen, W. Feißt, The synthesis of gasoline by the Fischer-Tropsch process, *Petroleum Refinery* **1943**, 22, 429-436.
- O. Roelen, Kohlenoxyd und Wasserstoff, Präparative Organische Chemie Teil 1, in *Naturforschung und Medizin in Deutschland 1939-1946*, Hrsg.: K. Ziegler, Bd. 36, **1948**, S. 155-170 (Für Deutschland bestimmte Ausgabe der FIAT Review of German Science), Dieterich'sche Verlagsbuchhandlung, Wiesbaden.
- O. Hecht, H. Kroper, O. Roelen, P. Kurtz, O. Bayer, O. Nicodemus, Aliphatic compounds, *FIAT Rev. German Sci.* **1939-1946**, Preparative Org. Chem., Pt. I (**1948**), 1-209.
- O. Roelen, Eine neue Synthese von Aldehyden und deren Derivaten, ausgehend von Olefinen, Kohlenoxyd und Wasserstoff, *Angewandte Chemie* **1948**, 60, 62.
- GdCh-Ortsverband Braunschweig + 60 Teilnehmer der Industrie, Aussprache über Probleme der aliphatischen Chemie, insbesondere der synthetischen Kohlenwasserstoffe, *Angewandte Chemie* **1948**, 60, 211.
- O. Roelen, Über Aldehyd-Synthesen, *Angewandte Chemie* **1948**, 60, 213.
- O. Roelen, Kobalt- und Nickel-Katalysatoren für die Kohlenoxydhydrierung, *Angewandte Chemie* **1949**, 61, 448.
- O. Roelen, P. Royen, Mechanismus der Kohlen säurebildung an Kontakten der Fischer-Tropsch-Synthese, *Angewandte Chemie* **1950**, 62, 194.
- O. Roelen, Über die Aldehyd-Reaktion von Olefinen mit Kohlenoxyd und Wasserstoff und verwandte Umsetzungen, *Angewandte Chemie* **1951**, 63, 482-483.
- O. Roelen, D. W. Beery, The Oxyl Process, *Encyclopedia of Chemical Technology*, Vol. 9, **1952**, S. 713-717, The Interscience Encyclopedia, Inc., New York.
- H. Pichler, O. Roelen, Kohlenoxyd-Hydrierung: Technik der Kohlenoxydhydrierung: Mitteldrucksynthese, *Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie*, 3. Aufl., Bd. 9, **1957**, S. 707-708, Urban & Schwarzenberg, München-Berlin.
- O. Roelen, Kohlenoxyd-Hydrierung: Technik der Kohlenoxydhydrierung: Synthese an Kobaltkatalysatoren (Festbett-Verfahren), *Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie*, 3. Aufl., Bd. 9, **1957**, S. 704-707, Urban & Schwarzenberg, München-Berlin.
- O. Roelen, Kohlenoxyd-Hydrierung: Geschichtliches, *Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie*, 3. Aufl., Bd. 9, **1957**, S. 685-690, Urban & Schwarzenberg, München-Berlin.
- O. Roelen, Behandlung der Luftwege mit angereicherten Meersalz-Aerosolen, *Zentralblatt für Biologische Aerosolforschung* **1962**, 10, 532-533.
- O. Roelen, Über schleichende Infektionen, *Vitalstoffe Zivilisationskrankheiten* **1963**, 182-184.
- O. Roelen, Die Entdeckung der Synthese von Aldehyden aus Olefinen, Kohlenoxyd und Wasserstoff - ein Beitrag zur Psychologie der naturwissenschaftlichen Forschung, *Chem. Exp. Didakt.* **1977**, 3, 119-124.
- O. Roelen, Stöchiometrische Berechnungen zur Fischer-Tropsch-Synthese, *Erdöl & Kohle, Erdgas, Petrochemie* **1977**, 30, 456-461.
- O. Roelen, Die Entdeckung der Fischer-Tropsch Synthese, *Erdöl & Kohle, Erdgas, Petrochemie* **1978**, 31, 524-529.
- O. Roelen, Wissenschaftsgläubigkeit und Wissenschaftsfeindlichkeit, *Blicklichter, Otto-Pankok-Schule, Mülheim*, **1979**.
- F. Fischer, O. Roelen (Studien und Verwertungs GmbH), Verfahren zur katalytischen Reduktion des Kohlenoxyds zu mehrgliedrigen Kohlenwasserstoffen, DE672731 (Priorität 03.02.1934, erteilt am 16.02.1939).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Wärmeaustauschvorrichtung für die Durchführung katalytischer Gasreaktionen, DE675182 (Priorität 27.08.1935, erteilt am 13.04.1939).
- O. Roelen, P. Schaller (Ruhrchemie AG), Verfahren zum Entkalken von Kobaltlösungen, DE683691 (Priorität 21.09.1938, erteilt am 26.10.1939).
- O. Roelen, P. Schaller (Ruhrchemie AG), Dieseltreibstoffe, DE683927 (Priorität 05.03.1936, erteilt am 26.10.1939).
- O. Roelen, W. Feißt (Ruhrchemie AG), Verfahren zur katalytischen Überführung von Oxyden des Kohlenstoffs mittels Wasserstoff in höhere Kohlenwasserstoffe, DE701846 (Priorität 11.12.1935, erteilt am 24.12.1940).
- O. Roelen, W. Feißt (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Regenerierung eines für die katalytische Umwandlung von Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemischen benutzten, auf einer Trägersubstanz aufgebrachtens Katalysators, DE705311 (Priorität 02.04.1936, erteilt am 20.03.1941).
- O. Roelen, F. Hanisch (Ruhrchemie AG), Verfahren zum Aufarbeiten ausgebrauchter Kobaltkatalysatoren, DE717693 (Priorität 26.09.1937, erteilt am 05.02.1942).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Aufteilung wasserhaltiger Massen, die trotz hohen Wassergehaltes von steifer Konsistenz sind und sich unter Druck in feste und flüssige Anteile entmischen, unter Durchpressung durch Lochplatten in dünne Stränge, DE718509 (Priorität 30.09.1937, erteilt am 19.02.1942).
- O. Roelen, H. Heckel, F. Hanisch (Ruhrchemie AG), Verfahren zum Regenerieren von zur katalytischen Umwandlung von Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemischen, insbesondere zur Benzinsynthese, benutzten Katalysatoren, DE722706 (Priorität 08.11.1938, erteilt am 04.06.1942).
- O. Roelen, K. Lochmann (Ruhrchemie AG), Kältebeständige Mischungen von Milchsäureäthylester und Benzinen, DE727750 (Priorität 19.04.1939, erteilt am 08.10.1942).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Kontaktmassen für die Benzinsynthese, DE729060 (Priorität 23.07.1937, erteilt am 12.11.1942).
- F. Martin, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Wachsen, DE736702 (Priorität 18.01.1940, erteilt am 20.05.1943).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung körniger Stückchen aus stark wasserhaltigen Massen, insbesondere zur Gewinnung von Benzinsynthese-Katalysatoren, DE741998 (Priorität 02.10.1937, erteilt am 07.10.1943).
- (F. Martin, O. Roelen) (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Sulfonierungserzeugnissen aus höhermolekularen Alkoholen, DE747633 (Priorität 28.12.1938, erteilt am 24.02.1944).
- (O. Roelen, H. Heckel, F. Hanisch) (Ruhrchemie AG), Verfahren zur katalytischen Überführung von Oxyden des Kohlenstoffs mittels Wasserstoffs in höhere Kohlenwasserstoffe, DE748287 (Priorität 01.01.1936, erteilt am 06.04.1944).
- O. Roelen, H. Heckel, F. Hanisch (Ruhrchemie AG), Verfahren zur katalytischen Überführung von Oxyden des Kohlenstoffs mittels Wasserstoffs in höhere Kohlenwasserstoffe, DE748374 (Priorität 08.11.1938, erteilt am 13.04.1944).
- (O. Roelen, W. Feißt) (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung eines fuer die katalytische Umwandlung von Kohlenoxydwasserstoffgemischen geeigneten Katalysators, DE763967 (Priorität 02.04.1936, erteilt am 11.01.1945).
- K. Büchner, O. Roelen, W. Schuff (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Gewinnung von Carbonsäure-Alkaliverbindungen, DE763983 (Priorität 17.01.1943, erteilt am 09.04.1953).
- H. Heckel, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Kobalt-Magnesium-Katalysatoren für die Umsetzung von Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemischen, DE764643 (Priorität 28.09.1937, erteilt am 18.01.1945).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Sulfonierungserzeugnissen, ausgehend von ungesättigten Kohlenwasserstoffen, DE765130 (Priorität 14.07.1940, erteilt am 24.09.1953).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Oxoverbindungen bzw. deren sauerstoffhaltigen Umwandlungsverbindungen aus olefinischen Primärprodukten der Kohlenoxydhydrierung, DE765444 (Priorität 10.08.1940, erteilt am 09.10.1952).
- O. Roelen, H. Heckel (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung eisenhaltiger Kohlenoxydhydrierungskatalysatoren, DE765511 (Priorität 04.05.1940, erteilt am 01.02.1945).
- O. Roelen, K. Büchner (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Trennung isomerer Fettsäuregemische, DE766091 (Priorität 05.05.1942, erteilt am 08.02.1945).
- O. Roelen, K. Büchner (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Fettsäure-Metallverbindungen, DE766155 (Priorität 09.10.1941, erteilt am 29.04.1954).
- O. Roelen, H. Heckel, P. Schenk (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Kohlenwasserstoffen durch katalytische Hydrierung des Kohlenoxyds, DE767128 (Priorität 14.09.1940, erteilt am 23.08.1951).
- O. Roelen, W. Feist (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Reduktion von durch Fällung hergestellten Kobalt- und Nickelkatalysatoren für die Umsetzung der Oxyde des Kohlenstoffs mit Wasserstoff, DE767888 (Priorität 02.10.1938, erteilt am 15.04.1954).
- O. Roelen, J. Hansen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Sulfonierungserzeugnissen bzw. deren Salzen aus Aldehyden, DE843851 (Priorität 22.08.1940, erteilt am 21.05.1952).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von sauerstoffhaltigen Verbindungen, DE849548 (Priorität 20.09.1938, erteilt am 17.07.1952).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Temperatursteuerung exothermer Umsetzungen mit Hilfe eines wärmeübertragenden flüssigen Mediums, DE855241 (Priorität 25.09.1942, erteilt am 11.09.1952).

- O. Roelen, H. Heckel (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung calciumoxydhaltiger Eisenkatalysatoren für die Kohlenoxydhydrierung, DE863187 (Priorität 10.12.1939, erteilt am 27.11.1952).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur katalytischen Hydrierung von Kohlenoxyd, DE866785 (Priorität 14.10.1948, erteilt am 31.12.1952).
- O. Roelen, H. Heckel (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Methan aus Gemischen der Oxyde des Kohlenstoffs mit Wasserstoff, DE867846 (Priorität 05.02.1942, erteilt am 08.01.1953).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff durch katalytische Umsetzung kohlenoxydhaltiger Gase, DE868596 (Priorität 18.05.1950, erteilt am 15.01.1953).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur korrosionsfreien Hochverdichtung von Kohlendgasen, DE878692 (Priorität 01.09.1942, erteilt am 23.04.1953).
- O. Roelen, K. Büchner (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Reinigung von Aldehyden und Ketonen, DE879985 (Priorität 12.05.1940, erteilt am 30.04.1953).
- H. Fritzsche, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung sauerstoffhaltiger Kohlenstoffverbindungen durch katalytische Wassergasanlagerung an Olefine, DE879986 (Priorität 12.01.1943, erteilt am 30.04.1953).
- O. Roelen (Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH), Verfahren zur Herstellung von Fettsäuren, DE881791 (Priorität 20.01.1940, erteilt am 21.05.1953).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur abriebarmen Zerkleinerung fadenartig ausgeformter Massen, insbesondere bei der Herstellung von Katalysatoren, DE882243 (Priorität 11.08.1942, erteilt am 21.05.1953).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Abführung der bei der Kohlenoxydhydrierung entstehenden Wärmemengen, DE885699 (Priorität 09.01.1940, erteilt am 25.06.1953).
- H. Tramm, O. Roelen, F. Dahm (Ruhrchemie AG), Verfahren zur katalytischen Herstellung von ungesättigten, gasförmigen Kohlenwasserstoffen durch Reduktion von Kohlenoxyd mit Wasserstoff, DE885845 (Priorität 21.02.1939, erteilt am 25.06.1953).
- K. Büchner, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung und Abtrennung von Natronseifen aus aldehydhaltigen Kohlenwasserstoff-Gemischen, DE886198 (Priorität 05.08.1941, erteilt am 01.07.1953).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Alkalisalzen höhermolekularer Fettsäuren, DE887498 (Priorität 11.03.1941, erteilt am 09.07.1953).
- K. Büchner, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung aliphatischer Carbonsäuren mit niedrigen Erstarrungspunkten, DE887500 (Priorität 11.02.1944, erteilt am 09.07.1953).
- H. Fritzsche, O. Roelen (Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH), Verfahren zur katalytischen Anlagerung von Wassergas an Olefine, DE888097 (Priorität 14.01.1943, erteilt am 16.07.1953).
- O. Roelen, K. Büchner (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Abtrennung verzweigt-kettiger Fettsäuren aus Gemischen isomerer und homologer Fettsäuren, DE888845 (Priorität 17.05.1942, erteilt am 23.07.1953).
- O. Roelen, A. Landgraf (Chemische Verwertungsgesellschaft), Verfahren zur Gewinnung reiner sauerstoffhaltiger Derivate aliphatischer Kohlenwasserstoffe, vornehmlich Aldehyde und Ketone, DE889891 (Priorität 28.01.1940, erteilt am 06.08.1953).
- F. Hanisch, H. Heckel, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Überführung des in Koksofengas und anderen technischen Gasen in organischer Bindung enthaltenen Schwefels in leicht absorbierbare Form, DE891315 (Priorität 05.02.1942, erteilt am 13.08.1953).
- K. Büchner, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung synthetischer Seifen, DE894598 (Priorität 16.02.1944, erteilt am 17.09.1953).
- O. Roelen, J. Hansen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Kondensation von Aldehyden, DE896194 (Priorität 20.08.1940, erteilt am 01.10.1953).
- H. Heckel, O. Roelen, W. Rottig, K. Schenk (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Methanisierungskatalysatoren, DE897547 (Priorität 02.10.1948, erteilt am 15.10.1953).
- H. Heckel, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur katalytischen Hydrierung von Kohlenoxyd, DE902006 (Priorität 22.05.1943, erteilt am 03.12.1953).
- K. Büchner, H. Fritzsche, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Entfernung geringer Mengen von Alkoholen und ähnlichen sauerstoffhaltigen Verbindungen aus primären Kohlenwasserstoffgemischen, DE902294 (Priorität 31.07.1941, erteilt am 03.12.1953).
- H. Heckel, F. Martin, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Eisenkatalysatoren zur Gewinnung vorwiegend olefinischer und sauerstoffhaltiger Produkte bei der Kohlenoxydhydrierung, DE902851 (Priorität 20.03.1943, erteilt am 10.12.1953).
- O. Roelen, J. Hansen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Abtrennung von Kohlenwasserstoffen aus deren Gemischen mit hochmolekularen sauerstoffhaltigen Verbindungen, DE903210 (Priorität 22.08.1940, erteilt am 17.12.1953).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Hochzündfähige Treibstoffe, DE907138 (Priorität 30.05.1942, erteilt am 11.02.1954).
- R. Lüben, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur synthetischen Gewinnung von hochsiedenden viskosen Kohlenwasserstoffgemischen, DE911491 (Priorität 21.08.1951, erteilt am 08.04.1954).
- O. Roelen, K. Büchner (Ruhrchemie AG), Verfahren zum Entalkoholisieren von Kohlenwasserstoff-Alkohol-Gemischen, DE913808 (Priorität 06.07.1943, erteilt am 13.05.1954).
- K. Büchner, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Gewinnung olefinreicher Kohlenwasserstoffgemische, DE914493 (Priorität 17.01.1943, erteilt am 26.05.1954).
- H.-W. Gross, H. Tramm, O. Roelen (Metallgesellschaft AG), Verfahren zur Entgiftung CO-haltiger Gase, DE918161 (Priorität 17.06.1952, erteilt am 12.08.1954).
- O. Roelen, P. Royen (Metallgesellschaft AG), Verfahren zur Entgiftung von kohlenoxyd- und wasserstoffhaltigen Gasen, DE918223 (Priorität 26.05.1950, erteilt am 12.08.1954).
- O. Roelen (Chemische Verwertungsgesellschaft), Verfahren zur Herstellung hochmolekularer Alkohole, DE923009 (Priorität 21.08.1940, erteilt am 16.12.1954).
- O. Roelen, H. Bassfeld (Ruhrchemie AG), Dielektrikum für Kondensatoren, DE925600 (Priorität 16.07.1952, erteilt am 24.02.1955).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Harzen, DE927117 (Priorität 19.05.1944, erteilt am 31.03.1955).
- K. Büchner, O. Roelen, J. Meis (Chemische Verwertungsgesellschaft), Verfahren zur Herstellung von Dialdehyden oder deren Umwandlungsprodukten aus Diolefinen, DE928645 (Priorität 01.01.1952, erteilt am 12.05.1955).
- O. Roelen, F. Hanisch (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Entfernung der im Koksofengas und anderen technischen Gasen vorhandenen organischen Schwefelverbindungen, DE929265 (Priorität 05.02.1942, erteilt am 26.05.1955).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Aufarbeitung von Katalysatoren für die Benzin-Synthese, DE929305 (Priorität 07.10.1936, erteilt am 26.05.1955).
- A. Landgraf, O. Roelen (Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH), Verfahren zur Gewinnung alkoholartiger Verbindungen aus sauerstoffhaltigen Kohlenstoffverbindungen, die durch katalytische Anlagerung von Kohlenoxyd und Wasserstoff an ungesättigte Kohlenstoffverbindungen entstehen, DE931405 (Priorität 23.04.1939, erteilt am 14.07.1955).
- A. Landgraf, O. Roelen (Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH), Verfahren zur Herstellung von Alkoholen aus ungesättigten Kohlenwasserstoffverbindungen, DE931406 (Priorität 23.04.1939, erteilt am 14.07.1955).
- O. Roelen, R. Lüben (Ruhrchemie AG), Verfahren zur synthetischen Gewinnung von hochsiedenden viskosen Kohlenwasserstoffgemischen, DE931463 (Priorität 26.08.1951, erteilt am 14.07.1955).
- O. Roelen (Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH), Verfahren zur Herstellung von sauerstoffhaltigen Polymerisationsprodukten aus Produkten der katalytischen Wassergasanlagerung an ungesättigte Kohlenstoffverbindungen, DE931466 (Priorität 30.01.1940, erteilt am 14.07.1955).
- O. Roelen, W. Rottig, F. Hanisch (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Entfernung des in Gasen vorhandenen Schwefels, DE932032 (Priorität 23.09.1952, erteilt am 26.07.1955).
- O. Roelen (Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH), Verfahren zur Gewinnung reiner Alkohole aus olefinischen Kohlenwasserstoff-Gemischen, DE932550 (Priorität 31.01.1942, erteilt am 11.08.1955).
- O. Roelen, F. Martin (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von als Lösungs- und Weichmachungsmittel dienenden Äthern, DE933389 (Priorität 18.01.1940, erteilt am 25.08.1955).
- O. Roelen, K. Büchner, H. Feichtinger, J. Meis, H. Tummes (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Estern und bzw. oder Polyesterern der Tricyclodekanreihe, DE934889 (Priorität 02.08.1952, erteilt am 13.10.1955).
- K. Schenk, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zum Tränken von Katalysatoren mit Paraffin, DE937047 (Priorität 25.04.1954, erteilt am 01.12.1955).
- K. Büchner, O. Roelen, J. Meis (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Tricyclodecan-[5,2,1,0]-ol(-8), DE937289 (Priorität 15.01.1953, erteilt am 08.12.1955).
- K. Büchner, J. Meis, O. Roelen, H. Langwald (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Estern und bzw. oder Polyesterern aus 8-Oxytricyclodecan-4, DE938787 (Priorität 02.08.1953, erteilt am 12.01.1956).
- O. Roelen, H. Tramm (Ruhrchemie AG), Sterilisierfähige Verpackung für feste oder flüssige Verbrauchsgüter, DE939315 (Priorität 05.04.1953, erteilt am 19.01.1956).
- K. Büchner, J. Meis, O. Roelen (Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH), Verfahren zur Herstellung von Tricyclodekanaldehyden bzw. Tricyclodekanmethylenen aus Dicyclopentadien, DE943885 (Priorität 01.06.1952, erteilt am 09.05.1956).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Wachsstoffe aus kondensierte Fünfferringe enthaltenden Kohlenwasserstoffen oder deren Abkömmlingen, DE946836 (Priorität 02.12.1952, erteilt am 19.07.1956).
- F. Martin, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verwendung von aus Produkten der Oxosynthese erhaltenen Estern als Weichmachungsmittel, DE947706 (Priorität 18.01.1940, erteilt am 02.08.1956).
- O. Roelen, K. Schenk (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Kohlenoxydhydrierung unter Beladung der Katalysatormasse mit Kohlenwasserstoffen, DE952799 (Priorität 25.11.1954, erteilt am 31.10.1956).
- O. Roelen, H. Göthel (Ruhrchemie AG), Elastische Kalanderwalze zur Papierbearbeitung sowie Verfahren zu ihrer Herstellung, DE954934 (Priorität 08.08.1954, erteilt am 06.12.1956).
- K. Büchner, O. Roelen, H. Schwarz (Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH), Verfahren zur Trennung von isomeren Menthandicarbonsäuren, DE956506 (Priorität 07.08.1953, erteilt am 27.12.1956).
- O. Roelen, F. Hanisch (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Gewinnung von Kohlenwasserstoffen durch katalytische Kohlenoxydhydrierung, DE966593 (Priorität 02.02.1943, erteilt am 08.08.1957).
- H. Noeske, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Sulfochlorierung von Polyäthylenen, DE970578 (Priorität 04.03.1955, erteilt am 18.09.1958).
- H. Kolling, O. Roelen, N. Geiser (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Polyäthylen, DE973540 (Priorität 03.12.1954, erteilt am 03.03.1960).
- H. Tramm, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Sterilisierfähige Verpackung für feste oder flüssige Verbrauchsgüter, insbesondere für Lebensmittel, DE976058 (Priorität 22.03.1952, erteilt am 10.01.1963).
- K. Büchner, J. Meis, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von 8-Ketotricyclodecan(-4) aus 8-Oxytricyclodecan(-4), DE1000021 (Priorität 31.07.1953, erteilt am 13.06.1957).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Polyäthylen, DE1000601 (Priorität 30.12.1954, Offenlegung am 10.01.1957, erteilt am 27.06.1957).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von hochmolekularen Äthylen-Polymerisaten, DE1008000 (Priorität 25.06.1954, erteilt am 17.10.1957).
- H. Tramm, O. Roelen, F.W.S. Danulat (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Kohlenwasserstoffen und sauerstoffhaltigen Verbindungen durch Hydrierung von Kohlenoxyd unter gleichzeitiger Gewinnung von Stadtgas, DE1009607 (Priorität 16.01.1952, erteilt am 14.11.1957).

- K. Büchner, O. Roelen, J. Meis (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von reinstem Tricyclodekan aus Dicyclopentadien, DE1011418 (Priorität 07.05.1953, erteilt am 12.12.1957).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von hochmolekularen Äthylenpolymerisaten, DE1021168 (Priorität 27.10.1954, erteilt am 26.06.1958).
- K. Büchner, J. Meis, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Durchführung der Oxosynthese, DE1032241 (Priorität 01.09.1956, erteilt am 27.11.1958).
- K. Büchner, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Dialkoholen, DE1033195 (Priorität 14.09.1956, erteilt am 11.12.1958).
- O. Roelen, K. Büchner, J. Meis (Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen mbH), Verfahren zur Anlagerung von Kohlenoxyd und Wasserstoff an olefinische Verbindungen, DE1034167 (Priorität 18.12.1956, erteilt am 24.12.1958).
- K. Büchner, J. Meis, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von als Schmiermittel, Weichmacher oder Polyester geeigneten Estern des Di-(tricyclo-[5,2,1,02,6]-8,8'-äther-4,4'-dimethylols bzw. der Di-(tricyclo-[5,2,1,02,6]-decylo)-8,8'-äther-4,4'-dicarbonsäure, DE1036849 (Priorität 17.11.1956, offenbart am 21.08.1958, erteilt am 05.02.1959).
- K. Büchner, J. Meis, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Dialkoholen, DE1041940 (Priorität 19.09.1956, erteilt am 16.04.1959).
- F. Schaub, W. v. Hoffmann, O. Roelen, W. Drope (Ruhrchemie AG), Vorrichtung zum Erwärmen oder Kühlen, insbesondere Trocknen, feinteiliger Feststoffe, DE1066955 (Priorität 19.03.1955, erteilt am 27.06.1958).
- K. Büchner, J. Meis, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Alkoholen durch Hydrierung von Aldehydcarbonsäuren, DE1083248 (Priorität 18.09.1957, erteilt am 01.12.1960).
- K. Büchner, O. Roelen, J. Meis, H. Langwald (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Gewinnung von Heptadecandecarbonsäure-1,7, DE1109661 (Priorität 03.09.1956, offenbart am 29.06.1961).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Formkörpern aus plastifiziertem Polyäthylen, DE1124225 (Priorität 05.11.1956, erteilt am 13.09.1962).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Gewinnung von Acrolein und Methacrolein, DE1134979 (Priorität 01.07.1960, erteilt am 14.03.1963).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Gewinnung von Acrolein und Methacrolein, DE1134980 (Priorität 06.07.1960, erteilt am 14.03.1963).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Gewinnung von Acrolein und Acrylsäurenitril und ihren Homologen aus Gasen, DE1138753 (Priorität 17.01.1961, erteilt am 16.05.1963).
- H. Göthel, E. Jacob, H. Kolling, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung poröser Körper aus hochmolekularen thermoplastischen Kunstharzen, DE1139972 (Priorität 21.07.1954, erteilt am 08.09.1966).
- H.-J. Tomuschat, H. Feichtinger, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von Orthokieselsäureestern, DE1142855 (Priorität 21.04.1961, erteilt am 22.08.1963).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung aliphatischer, ungesättigter Aldehyde mit 3-6 C-Atomen, insbesondere Acrolein, DE1146046 (Priorität 09.07.1960, offenbart am 28.03.1963).
- H. Tramm, O. Roelen, H. Göthel, H. Kolling (Ruhrchemie AG), Herstellung von Rohren oder Formteilen aus Polyäthylen, DE1153523 (Priorität 12.06.1954, erteilt am 14.03.1968).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Gewinnung von Acrolein bzw. seinen Homologen aus Reaktionsgasen der katalytischen Oxydation von Olefinen, DE1155109 (Priorität 04.11.1961, erteilt am 16.04.1964).
- O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung von porösen Kunststoffkörpern, DE1156554 (Priorität 14.08.1954, offenbart am 31.10.1963).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Gewinnung von Acrolein bzw. Methacrolein und Nebenprodukten aus den bei der katalytischen Oxydation von Propen bzw. Isobuten mit Sauerstoff enthaltenen Reaktionsprodukten, DE1160837 (Priorität 22.11.1961, erteilt am 13.01.1966).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Katalytische Oxydation von aliphatischen Monoolefinen, DE1160858 (Priorität 05.08.1961, erteilt am 23.07.1964).
- H. Feichtinger, H. Noeske, H.-J. Tomuschat, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Orthokieselsäureestern, DE1180359 (Priorität 15.05.1962, offenbart am 29.10.1964).
- K. Büchner, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Esterschmiermittel auf der Basis von Dicarbonsäureestern, DE1234904 (Priorität 21.04.1962, erteilt am 24.08.1967).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung ungesättigter aliphatischer Carbonsäurenitrile mit 3 oder 4 Kohlenstoffatomen aus den entsprechenden Olefinen, DE1241439 (Priorität 26.04.1960, erteilt am 30.11.1967).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung aliphatischer, ungesättigter Carbonsäurenitrile mit 3 oder 4 Kohlenstoffatomen durch Umsetzung der entsprechenden Olefine mit Ammoniak und Sauerstoff, DE1249257 (Priorität 26.04.1960, erteilt am 21.03.1968).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Herstellung aliphatischer ungesättigter Carbonsäurenitrile mit 3 oder 4 Kohlenstoffatomen aus den entsprechenden Olefinen, DE1249258 (Priorität 26.04.1960, erteilt am 21.03.1968).
- K. Beck, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zum Herstellen von Webstuhlpickern aus Polyäthylen, DE1266481 (Priorität 21.06.1956, offenbart am 18.04.1968).
- H. Feichtinger, H. Noeske, H.-J. Tomuschat, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Polykieselsäureestern, DE1270821 (Priorität 22.06.1962, erteilt am 19.06.1969).
- W. Rottig, O. Roelen (Ruhrchemie AG), Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Polyolefinen, DE1420719 (Priorität 19.11.1956, offenbart am 10.10.1968).
- J. Meis, O. Roelen, H. Tummes, K. Büchner (Ruhrchemie AG), Verwendung von Diestern zweierwertiger aliphatischer Alkohole als Schmiermittel, DE1444881 (Priorität 09.05.1962, offenbart am 10.07.1969).
- K. Büchner, O. Roelen, J. Meis (Ruhrchemie AG), Innerlich weichgemachte Polymerisate, DE1520632 (Priorität 16.03.1961, offenbart am 17.07.1969).
- O. Roelen, W. Rottig (Ruhrchemie AG), Verfahren zur Gewinnung ungesättigter aliphatischer Nitrile aus Gasen, DE1793565 (Priorität 28.11.1960, offenbart am 08.02.1973).

#### Ausgewählte Veröffentlichungen zu Otto Roelen und seiner Chemie

B. Cornils, W. A. Herrmann, M. Rasch, Otto Roelen als Wegbereiter der industriellen homogenen Katalyse, *Angew. Chem.* **1994**, *106*, 2219–2238; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1994**, *33*, 2144–2163.

B. Cornils, W. A. Herrmann, C. W. Kohlpaintner, Otto Roelen: Vater der metallorganischen, homogenen Katalyse, *Nachr. Chem. Tech. Lab.* **1993**, *41*, 544–550.

#### Ausgewählte Veröffentlichungen zur Hydroformylierung

J. Pospech, I. Fleischer, R. Franke, S. Buchholz, M. Beller, Alternative Metals for Homogeneous Catalyzed Hydroformylation Reactions, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, *52*, 2852–2872.

R. Franke, D. Selent, A. Börner, Applied Hydroformylation, *Chem. Rev.* **2012**, *112*, 5675–5732.

A. C. B. Neves, M. J. F. Calvete, T. M. V. D. Pino e Melo, M. M. Pereira, Immobilized Catalysts for Hydroformylation Reactions: A Versatile Tool for Aldehyde Synthesis, *Eur. J. Org. Chem.* **2012**, *32*, 6309–6320.

E. Wiebus, K. Schmid, B. Cornils, Hydroformylation, Science of Synthesis: Water in Organic Synthesis (Ed. S. Kobayashi), Thieme Verlag, **2012**, Kap. 7.1, 807–829.

F. Hebrard, P. Kalck, Cobalt-Catalyzed Hydroformylation of Alkenes: Generation and Recycling of the Carbonyl Species, and Catalytic Cycle, *Chem. Rev.* **2009**, *109*, 4272–4282.

J. Kosin, C. R. Landis, Ligands for practical rhodium-catalyzed asymmetric hydroformylation, *Acc. Chem. Res.* **2007**, *40*, 1251–1259.

E. Wiebus, B. Cornils, Biphasic Systems: Water-Organic, *Catalyst Separation, Recovery and Recycling* (Ed. D. Cole-Hamilton, R. Tooze), Springer, **2006**, Kap. 5, 105–143.

H. Bahrmann, K. Bergrath, H. J. Kleiner, P. Lappe, C. Naumann, D. Peters, D. Regnat, BINAS - Synthesis and use of a new ligand for propylene hydroformylation, *J. Organomet. Chem.* **1996**, *520*, 97–100.

M. Beller, B. Cornils, C. D. Frohning, C. W. Kohlpaintner, Progress in Hydroformylation and Carbonylation, *J. Mol. Cat. A - Chem.* **1995**, *104*, 17–85.

F. Agbossou, J. F. Carpentier, A. Mortreaux, Asymmetric Hydroformylation, *Chem. Rev.* **1995**, *95*, 2485–2506.

G. Consiglio, P. Pino, Asymmetric Hydroformylation, *Top. Curr. Chem.* **1982**, *105*, 77–123.

## ANMERKUNGEN

[1] Nach der sich zunächst Kohlenoxid an Bestandteile des Katalysators anlagert unter Bildung von Formiat. Die Zersetzungsprodukte der Formiate werden anschließend – insbesondere in Gegenwart von Eisen und Kobalt – zu mehrgliedrigen Verbindungen kondensiert und hydriert. Eine wissenschaftliche Aufklärung ihrer Synthese gelang Fischer und Mitarbeitern jedoch nicht, vielmehr bemerkten sie in ihrer ersten Veröffentlichung zur Synthol-Synthese: „Wir möchten deshalb diesen Abschnitt über die Theorie der Syntholbildung damit schließen, daß wir einstweilen dem Aufbau durch Kohlenoxydanlagerung an die Alkohole den Vorzug unter den möglichen Erklärungsweisen geben, ohne zu behaupten, daß wir ihm schon endgültig bewiesen haben.“ Siehe Franz Fischer, Hans Tropsch: Über die Herstellung synthetischer Ölgemische (Synthol) durch Aufbau aus Kohlenoxyd und Wasserstoff, in: *Brennstoff-Chemie* 4 (1923), S. 284. Zur Erklärung ihres Synthol-Verfahrens nahmen sie an, „daß sich aus Kohlenoxyd und Wasserstoff am Eisenkontakt Formaldehyd bildet, der sich durch die Anwesenheit des Alkalis in der Richtung zersetzt, daß 1 Molekül Kohlenoxyd entstehen“. Siehe Hans Tropsch, Otto Roelen: Über die katalytische Zersetzung des Formaldehyds, in: *Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle* 7 (1925), S. 15–36, hier S. 15.

[2] Otto Roelen: I. Über die katalytische Zersetzung des Formaldehyds bei höheren Temperaturen. II. Über die teilweise Verbrennung von Methan zu Formaldehyd mit Luft, Diss. TH Stuttgart 1924, Exemplar vorhanden in: MPI-Archiv, Bibliothek.

[3] Im Folgenden wird von Ruhrchemie AG gesprochen, auch wenn im Einzelfall die Ruhrbenzin AG gemeint sein sollte, da die Geschäftspolitik der Ruhrbenzin AG sich an den Interessen der Ruhrchemie AG orientierte, zumal Aufsichtsrat und Vorstand in beiden Unternehmen mit fast den gleichen Personen besetzt waren.

Erteilt auf Grund des Ersten Überleitungsgesetzes vom 8. Juli 1949

(WIGBl. S. 175)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



AUSGEGEBEN AM  
15. SEPTEMBER 1952

DEUTSCHES PATENTAMT

# PATENTSCHRIFT

Nr. 849 548

KLASSE 12 0 GRUPPE 7 03

R 2333 W d / 120

Dr. Otto Roelen, Oberhausen-Holten  
ist als Erfinder genannt worden

Chemische Verwertungsgesellschaft Oberhausen m. b. H.,  
Oberhausen-Holten

## Verfahren zur Herstellung von sauerstoffhaltigen Verbindungen

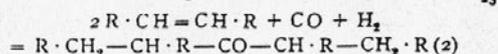
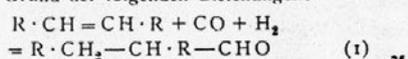
Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 20. September 1938 an  
Der Zeitraum vom 8. Mai 1945 bis einschließlich 7. Mai 1950 wird auf die Patentdauer nicht angerechnet  
(Ges. v. 15. 7. 51)

Patentanmeldung bekanntgemacht am 18. Oktober 1951  
Patenterteilung bekanntgemacht am 17. Juli 1952

Bei der Gewinnung flüssiger Kohlenwasserstoffe aus gasförmigen Olefinen, wie z. B. Äthylen, ist es bekannt, dem Ausgangsmaterial Wassergas zuzusetzen, um die Ausbeute an höheren Kohlenwasserstoffen zu verbessern. Zur Ausführung dieser Umsetzung hat man Temperaturen von etwa 500° und Umsetzungskontakte verwendet, die aus reiner Kieselsäure bestanden. Die Reaktionsprodukte bestanden zur Hälfte aus gesättigten Kohlenwasserstoffen und zur anderen Hälfte aus sauerstoffhaltigen Verbindungen, wie z. B. höheren Alkoholen und Ketonen, neben ungesättigten Kohlenwasserstoffen.

Es wurde nun gefunden, daß ungesättigte Kohlenwasserstoffe und andere Doppelbindungen enthaltende Kohlenstoffverbindungen unter Anwendung

von Druck und Katalysatoren bereits bei mäßig erhöhter Temperatur durch Anlagerung von Kohlenoxyd und Wasserstoff in sauerstoffhaltige Verbindungen übergeführt werden können, welche im nachfolgenden allgemein als Oxoverbindungen bezeichnet sind. Die Umsetzung verläuft bei etwa 50 bis 200° glatt auf Grund der folgenden Gleichungen:



In diesen Umsetzungsgleichungen bedeutet R ein Radikal oder ein Wasserstoffatom.

Die mit Priorität vom 20. September 1938 angemeldete Patentschrift über die Oxo-Synthese

## IMPRESSUM

Diese Broschüre und der Textbeitrag „Das Werk Ruhrchemie“ (Auszüge aus einem Artikel von Boy Cornils und Manfred Rasch, in: 75 Jahre Oxo-Synthese, Hrsg. OXEA GmbH Oberhausen 2013) entstand unter Federführung von Dr. Guido D. Frey, OXEA GmbH, Oberhausen. Die Textpassage „Otto Roelen – Leben und Forschen“ wurde von Prof. Dr. Manfred Rasch, Leiter des ThyssenKrupp Konzernarchives zusammengestellt und ist auch in Teilen aus „75 Jahre Oxo-Synthese“ entnommen. Die Abbildungen wurden vom Archiv des LVR-Industriemuseums Oberhausen, Sammlung Ruhrchemie, vom Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr sowie vom ThyssenKrupp Konzernarchiv zur Verfügung gestellt.

Herausgeber: Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), Varrentrappstraße 42, 60486 Frankfurt am Main, www.gdch.de

Redaktion: Dr. Guido D. Frey, OXEA; Barbara Köhler, GDCh

Herstellung und Druck: h.reuffurth gmbh, Mülheim am Main

© Gesellschaft Deutscher Chemiker, Frankfurt am Main, www.gdch.de

ISBN: 978-3-936028-81-2

**Bisher wurden mit der Gedenktafel „Historische Stätte der Chemie“  
folgende Wirkungsstätten und Wissenschaftler ausgezeichnet:**

**2013**

Chemisches Laboratorium Fresenius Wiesbaden

**2012**

Wirkungsstätte von Dr. F. von Heyden in Radebeul

**2011**

Wirkungsstätte von Robert Bunsen in Heidelberg

**2010**

Industrie- und Filmmuseum Wolfen

**2009**

Wirkungsstätte von Ernst Beckmann in Leipzig

**2008**

Wirkungsstätte von Karl Ziegler in Mülheim an der Ruhr

**2006**

Wirkungsstätte von Hans Meerwein in Marburg

**2005**

Wirkungsstätte von Wilhelm Ostwald in Großbothen bei Leipzig

**2004**

Wirkungsstätte von Clemens Winkler in Freiberg/Sachsen

**2003**

Wirkungsstätte von Justus von Liebig in Gießen

**2002**

Wirkungsstätte von Fritz Straßmann in Mainz

**1999**

Wirkungsstätte von Hermann Staudinger in Freiburg/Breisgau

**Diese Broschüre ist erhältlich bei:**

Gesellschaft Deutscher Chemiker  
Varrentrappstr. 40 – 42  
D-60486 Frankfurt am Main

[www.gdch.de/historischestaetten](http://www.gdch.de/historischestaetten)



GESELLSCHAFT  
DEUTSCHER CHEMIKER