Studies 9

Elisabeth Vaupel (Hrsg.)

Ersatzstoffe im Zeitalter der Weltkriege

Geschichte, Bedeutung, Perspektiven

Ersatzstoffe im Zeitalter der Weltkriege
Geschichte, Bedeutung, Perspektiven

Deutsches Museum Studies
Herausgegeben von Eva Bunge, Frank Dittmann, Ulf Hashagen,
Marisa Pamplona Bartsch, Matthias Röschner, Helmuth Trischler

Band 9

Elisabeth Vaupel, Prof. Dr., war von 1989 bis 2004 Leiterin der Abteilung Chemie des Deutschen Museums und ist seit 2004 wissenschaftliche Mitarbeiterin am dortigen Forschungsinstitut. 1974–1982 Studium der Diplom-Chemie, Diplom-Biologie und Geschichte an den Universitäten Mainz, Freiburg und München, 1982 Dipl.-Chemikerin, 1987 Promotion, 2003 Habilitation. Veröffentlichungen zur Chemiegeschichte des 19. und 20. Jahrhunderts.

Elisabeth Vaupel (Hrsg.)

Ersatzstoffe im Zeitalter der Weltkriege

Geschichte, Bedeutung, Perspektiven

Deutsches Museum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet unter http://dnb.de abrufbar.

Diese Veröffentlichung – ausgenommen Zitate und Abbildungen – ist lizenziert unter
Creative Commons CC BY-SA 3.0 DE. Siehe Abbildungsverzeichnis für Bildnachweise.

Elisabeth Vaupel: »Ersatzstoffe im Zeitalter der Weltkriege«
© Deutsches Museum Verlag, 2021
Alle Rechte vorbehalten
Redaktion: Dr. Andrea Lucas
Satz, Layout, Umschlaggestaltung: Jutta Esser
Motive Umschlag: Abb. S. 43, 49, 68, 267; Bildnachweise siehe Abbildungsverzeichnis
Druck und Bindung: Steininger Druck, Eichenried
ISSN 2365-9149
ISBN 978-3-948808-02-0
URN nbn:de:bvb:210-dm-studies9-0

Inhalt

7 Vorwort

9 Einführung
Elisabeth Vaupel
Ersatzstoffe – Geschichte, Bedeutung, Perspektiven

Ersatz für metallische und nichtmetallische Werkstoffe

83 *Helmut Maier*
Unbequeme Newcomer? Legierungen der Nichteisenmetalle (Al, Cu, Zn) vom Ersten Weltkrieg bis in die 1970er Jahre

135 *Andreas Zilt*
»Die Mangannot verlangt ganze Arbeit!« Manganersatzverfahren und Sparstrategien der deutschen Stahlindustrie

167 *Peter Morris*
Substitutes for Natural Rubber in the First World War

Ersatz für Grundchemikalien und Chemieprodukte

183 *Manfred Rasch*
Flüssige Treib- und Schmierstoffe. Substitutionsmöglichkeiten für Deutschlands Industrie und Militär während des Ersten Weltkriegs

237 *Sandro Fehr*
Ersatz für den Chilesalpeter. Die Versorgung mit Stickstoffverbindungen während des Ersten Weltkriegs

Ersatz für Genuss-, Nahrungs- und Futtermittel

261 *Claus Priesner*
Coffarom – Versuche zur Erzeugung eines synthetischen Kaffeearomas durch Tadeus Reichstein, Hermann Staudinger und die Firma Haarmann & Reimer

301 *Ulrike Thoms*
Die Verwertung von Tierkadavern zur Herstellung von Tierersatzfutter

Anhang

327 Abbildungsverzeichnis
329 Personenregister
331 Sach- und Körperschaftsregister
347 Autorinnen und Autoren

Abb. 1 Plakat des österreichischen Malers und Plakatkünstlers Alfred Offner (1879–1947) für die 1918 in Wien gezeigte Ersatzmittel-Ausstellung EMA.

Vorwort

Die Diskussion um die sichere Versorgung mit wichtigen Rohstoffen hat in Wirtschaft, Politik und Öffentlichkeit derzeit Hochkonjunktur. Für die Bundesrepublik Deutschland lässt sich die Aktualität des Themas unter anderem an der vom Bundeswirtschaftsministerium initiierten Gründung der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) im Jahr 2010 ablesen. Zu deren Aufgaben gehört es, Politik und Wirtschaft in Fragen der Rohstoffsicherheit zu beraten und internationale Netzwerke aufzubauen, damit sich deutsche Unternehmen ihren Anteil am verfügbaren »Rohstoffkuchen« auf der Erde sichern können. Auslöser für die Gründung der DERA waren die Veränderungen auf den globalen Rohstoffmärkten und das Wissen, dass ein hochtechnisiertes, aber rohstoffarmes Land wie die Bundesrepublik in hohem Maße von der Verfügbarkeit bestimmter Mineralien, Erze und Energierohstoffe abhängig ist. Um die Energie- und Verkehrswende sowie die Digitalisierung voranzubringen, gewinnen neue Hightech-Rohstoffe, die bisher nur eine untergeordnete Rolle spielten, erheblich an Bedeutung, etwa das zur Batterieherstellung unverzichtbare Lithium oder die für viele moderne Technologien wichtigen Seltenen Erden. Ähnliche Maßnahmen wie in der Bundesrepublik wurden auch auf EU-Ebene ergriffen. So veröffentlichte die EU-Kommission 2010 erstmals eine »List of critical raw materials« (CRM), auf der nicht nur die für die Digitalisierung unverzichtbaren Seltenen Erden, sondern auch Substanzen wie Antimon, Beryllium, Kobalt, Magnesium, Niob, Tantal, Wolfram, ferner die »elektronischen« Elemente Germanium, Indium und Gallium, einige Metalle der Platingruppe sowie Industrieminerale wie Graphit und Flussspat standen. Die Liste umfasst heute 27 als »kritisch« eingestufte Rohstoffe. Dazu zählen seit 2017 auch – oder, besser gesagt, wieder – Stoffe wie Naturkautschuk, Phosphat und Borat, deren schlechte Verfügbarkeit bereits Anfang des 20. Jahrhunderts Besorgnis erregte und die Suche nach Lösungsmöglichkeiten initiierte.

Phasen, in denen die deutsche Wirtschaft ihre Abhängigkeit von ausländischen Rohstoffen zu spüren bekam, gab es im Verlauf der Geschichte immer wieder, im 20. Jahrhundert etwa während der Erdölpreiskrisen der 1970er Jahre, vor allem aber während der Weltkriege. Viele Maßnahmen, die damals zur Entschärfung der Situation ergriffen wurden, haben bis heute Bedeutung: sparsamer Umgang mit und effizientere Nutzung von knappen Stoffen, verstärkte Bemühungen um Sekundärverwendung und Recycling, Ausweichen auf Substanzen, die sich chemisch oder biotechnologisch aus verfügbaren Stoffen herstellen lassen und schließlich die Verwendung von Ersatz. Mit der letztgenannten Strategie, der Suche nach und der Nutzung von Alternativsubstanzen und -materialien, beschäftigt sich dieser Sammelband.

Zweifellos ist es der Aktualität der Rohstoff- und damit indirekt auch der Ersatzstoffthematik geschuldet, dass sich die historische Forschung seit Längerem mit den in der Vergangenheit genutzten Strategien zur Bewältigung vermeintlicher oder tatsächlicher Rohstoffkrisen beschäftigt. Viele Arbeiten konzentrieren sich auf die Zeit der beiden Weltkriege und der nationalsozialistischen Autarkiepolitik, in der das Problem des Rohstoffmangels beziehungsweise der politisch geforderten Beschränkung auf die Nutzung

heimischer Stoffe für das ressourcenarme Deutsche Reich einschneidende Konsequenzen hatte. In diesem Band werden ausschließlich Ersatzstoffe behandelt, die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts unter den Bedingungen einer auf Autarkie ausgerichteten Wirtschaftspolitik genutzt wurden. Da er auf den Vorträgen eines im Deutschen Museum abgehaltenen Workshops mit dem Arbeitstitel »Ersatzstoffe im und nach dem Ersten Weltkrieg. Rohstoffmangel als Impulsgeber für Innovationen?« basiert, beschränkt er sich auf Entwicklungen im Deutschen Reich, obwohl das Thema Ersatzstoffe keineswegs nur im Zeitalter der Weltkriege und nicht nur in der deutschen Geschichte relevant war.

Die Krisen- und Umbruchphase, in der wir uns gegenwärtig befinden, verleiht dem Thema Ersatzstoffe besondere Aktualität. Im Zeitalter globaler Umweltprobleme wird die Auffindung und Nutzung von Ersatzstoffen, die aus heimischen, erneuerbaren und nachhaltigen Ressourcen und besonders aus Abfallstoffen hergestellt werden können, angesichts der limitierten Rohstoffvorkommen auf unserem Planeten, der wachsenden Weltbevölkerung und des menschenverursachten Klimawandels mit großer Sicherheit weiter an Bedeutung gewinnen. Heute wird wieder in vielen Bereichen über Ersatz für bestimmte Stoffe und Verfahren geforscht – man denke etwa an die Fleischersatzstoffe, die den ständig steigenden, klimaschädlichen Fleischkonsum reduzieren sollen oder die Suche nach klimafreundlichen Alternativen für die derzeit genutzten Treibstoffe Benzin und Diesel.

Wie und unter welchen Bedingungen wurden Ersatzstoffe zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt und welche langfristigen Folgewirkungen ergaben sich daraus? Wenn dieser Band diese und ähnliche Fragen zumindest ansatzweise beantworten und bewirken würde, der Geschichte der Ersatzstoffe auch auf internationaler Ebene mehr Aufmerksamkeit zu verleihen, hätte er sein Ziel erreicht.

Helmuth Trischler und zwei anonyme Gutachter haben sich sehr viel Zeit genommen, um die hier präsentierten Aufsätze kritisch gegenzulesen und Ergänzungen beziehungsweise Nachbesserungen einzufordern. Für die damit verbundenen Mühen und den enormen Zeitaufwand, sei ihnen herzlich gedankt. Ganz besonderer Dank gebührt last but not least Andrea Lucas für ihr ungemein sorgfältiges und gründliches Lektorat.

Elisabeth Vaupel

Einführung

Ersatzstoffe – Geschichte, Bedeutung, Perspektiven

Elisabeth Vaupel

Auf dem Plakat einer 1918 in Wien gezeigten Ausstellung, die bei der Bevölkerung Verständnis für die im Ersten Weltkrieg verwendeten Ersatzstoffe wecken sollte, ist ein alter Chemiker zu sehen (Abb. 1, Seite 6).[1] Gottgleich von einem Strahlenkranz umgeben, schwebt er auf einer Wolke über einer Felseninsel, die von mehreren feindlichen Schiffen von allen Außenkontakten abgeschirmt wird. Seine mit einfachsten Mitteln gemachten Erfindungen – er braucht nur Reagenzglas und Petroleumbrenner – werden in den mit Volldampf auf der Insel arbeitenden Fabriken in die Technik umgesetzt. Die Darstellung suggeriert, dass es dank des Erfindungsreichtums der Wissenschaftler und dank einer potenten Industrie gelingen kann, eine vom feindlichen Ausland verhängte Wirtschaftsblockade zu überstehen. Zugleich illustriert das Plakat die besondere Rolle der Chemiker und der chemischen Industrie bei der Entwicklung und Produktion von Ersatzstoffen.

Ein zweites Plakat der gleichen Ausstellung zeigt die Perspektive der Ersatzstoffnutzerinnen und -nutzer (Abb. 2). Dargestellt ist ein barfüßiger junger Mann, der freudestrahlend auf den Betrachter zurutscht. Angesichts der Treib- und Transmissionsriemen im Hintergrund soll er wohl einen in ärmlichen Verhältnissen lebenden Fabrikarbeiter darstellen. In der Hand hält er neu gekaufte oder frisch besohlte Stiefel und Schuhe, die offenkundig mit hervorragenden Leder- beziehungsweise Sohlenersatzmaterialien hergestellt oder repariert wurden.

Beide Abbildungen hatten mit der Realität wenig gemein: Die Bevölkerung war mit den im Ersten Weltkrieg verfügbaren Ersatzstoffen bekanntlich nicht zufrieden. Und die an ihrer Entwicklung beteiligten Naturwissenschaftler und Ingenieure fragten sich, ob sie mehr als kurzlebige Notlösungen gefunden hatten.[2] Mit eben dieser Frage beschäftigt sich auch der vorliegende Sammelband, der als Reaktion auf einen Aufsatz des Münchner Technikhistorikers Ulrich Wengenroth zustandekam. Dieser sieht in der Herstellung von Ersatzstoffen ein zentrales Merkmal einer spezifisch deutschen Innovationskultur, die in der zweiten Hälfte des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts sehr erfolgreich war,

1 Zu Ausstellungen über Ersatzstoffe siehe Luxbacher, Wertarbeit, 2006. Gegen Kriegsende wurden zudem mehrere Fachausstellungen über spezielle Ersatzstoffe veranstaltet, beispielsweise die von der Reichsbekleidungsstelle organisierte »Deutsche Faserstoffausstellung«, die1917/18 als Wanderausstellung u.a. in Berlin, Düsseldorf, Leipzig und weiteren Großstädten zu sehen war, ferner die Ausstellung »Papierstoffgewebe«, die 1917 in Breslau und 1918 in Wien gezeigt wurde, oder die Ausstellung »Sparsame Baustoffe«, die 1918 in Berlin stattfand. In den letzen beiden Kriegsjahren wurde es offensichtlich als besonders wichtig erachtet, durch das Medium der Ausstellung Akzeptanz für die unbeliebten Ersatzstoffe zu schaffen und vielleicht auch ein wenig Stolz zu wecken, dass man die Kriegsjahre dank diverser Ersatzlösungen bislang überstanden hatte.

2 Was wird aus den Ersatzstoffen, 1919, S. 49–51; S. 85–87; S. 109–112.

Abb. 2 Plakat des österreichischen Malers und Illustrators Fritz Gareis (1872–1925) für eine spezielle Sektion der 1918 in Wien gezeigten Ersatzmittel-Ausstellung EMA.

in den Autarkiephasen des Deutschen Reichs aber politisch überhöht und nach dem Zweiten Weltkrieg aufgrund der langfristigen Folgewirkungen einmal gewählter Strategien schließlich gar zur Fortschrittsbremse wurde. Weil sich der deutsche Staat vor allem während der im »Dritten Reich« verfolgten Wirtschaftspolitik bewusst in die »Waffenschmiede in der Wagenburg« zurückgezogen und wegen der Rüstungsrelevanz der verfolgten Ersatzstoffprojekte alle Wirtschaftlichkeitsüberlegungen außer Acht gelassen habe, sei die damalige Ersatzstoffwirtschaft eine »Flucht in einen selbstgebauten Käfig« gewesen, die wegen zu langen Festhaltens an einst erfolgreichen Lösungen letztlich in eine Sackgasse und folglich zum »Abschied aus der technisch-wissenschaftlichen Spitzengruppe« geführt habe.[3] Wengenroths These, im Deutschen Reich habe sich die Fähigkeit,

3 Wengenroth, Flucht, 2002, S. 53; Trischler, Sicherheitssystem, 2002. Zum übergreifenden Thema der Innovationsforschung vgl. Wengenroth, Innovationssystem, 2001; Hof/Wengenroth, Innovationsforschung, 2010. Das Konzept des »Nationalen Innovationssystems« geht davon aus, dass Staaten aufgrund ihrer geographischen, geologischen, strategischen und machtpolitischen Gegebenheiten oder Intentionen langlebige Denktraditionen und institutionelle Strukturen entwickelt haben, um ihre Ziele zu erreichen. Solche Systeme sind ausgesprochen resistent gegen Veränderungen. Die etablierten Strukturen werden nur durch äußere Zwänge aufgebrochen. Zum Bericht über die Tagung »Ersatzstoffwirtschaft als innovative Lösungen für Ressourcenkonflikte im Ersten und Zweiten Weltkrieg?« auf dem Historikertag 2012 vgl. H-Soz-Kult, 7.11.2012, www.hsozkult.de/conferencereport/id/tagungsberichte-4480 (30.7.2020).

mit hohem Aufwand »aus ungeeigneten Ressourcen Zweitklassiges« herzustellen, überdurchschnittlich gut entwickelt, wird nicht belegt; ebensowenig wird klar, welche Kriterien er anlegte, um zu diesem Urteil zu gelangen. Vermutlich rekurrierte er dabei auf die zeitgenössischen Klagen über schlechte Kriegsersatzstoffe aus dem Konsumgüterbereich, etwa die unbeliebten Textil-, Nahrungsmittel- und Schuhersatzstoffe; vielleicht dachte er auch an die hilflos wirkenden Versuche, die Rohstoffknappheit während des Ersten Weltkriegs durch die Sammlung von ausgekämmtem Frauenhaar, Kaninchenfellen, Obstkernen oder Brennnesseln zu beheben. Im Bereich der Industriegüter mag er die im »Dritten Reich« verfolgte, unwirtschaftliche und sogar zu toxischen Produkten führende Fett-Synthese aus Kohle oder die Benzin-Synthese durch Kohlehydrierung im Blick gehabt haben. In der Tat scheiterte das Projekt »Fett aus Kohle«;[4] auch das deutsche, durch Kohlehydrierung gewonnene Synthesebenzin konnte qualitativ nicht mit dem amerikanischen, durch Erdöl-Cracking gewonnenen Vergleichsprodukt mithalten.[5] Nach dem in den 1950er Jahren vollzogenen Wechsel von der Kohle- zur Petrochemie entpuppte sich die jahrelange Arbeit an beiden Projekten als Fehlinvestition, so dass diese Beispiele Wengenroths These zu stützen scheinen.[6] Die Verallgemeinerung, dass im Deutschen Reich in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts »zweitklassige«, keine längerfristigen Perspektiven eröffnende Ersatzstrategien verfolgt wurden und die damaligen Ersatzstoffentwicklungen »Bremsen im Modernisierungswettlauf« gewesen seien, wäre allerdings zu prüfen.[7] Da Knappheit seit jeher ein wichtiges Motiv technischer Innovation ist, darf bezweifelt werden, dass sie in den Phasen autarkistischer Wirtschaftspolitik nur bremsend und hindernd gewirkt haben soll.[8]

Bisher ist erst die Geschichte weniger Ersatzstoffe erforscht, in erster Linie solcher, die – wie Synthesekautschuk,[9] Zellwolle,[10] Kunststoffe,[11] die synthetischen Treibstoffe[12] und die sogenannten »deutschen« Metalle[13] –, im »Dritten Reich« instrumentalisiert wurden, um die Erfolge der deutschen Autarkie- und Rohstoffpolitik zu belegen.[14] Ein

4 Vgl. dazu Pelzer-Reith/Reith, Fett, 2002; Reith, Butter, 2007.

5 Zur mangelnden Klopffestigkeit des deutschen Synthesebenzins vgl. Birkenfeld, Treibstoff, 1964, S. 70–74.

6 Vgl. Stokes, Oil, 1994. Man beachte aber Neufeldt, Chronologie, 2003, S. 168–169, zur Kohlenwasserstoff-Synthese nach Fischer-Tropsch und ihrer Weiternutzung in Südafrika; zur Kohlehydrierung nach Bergius und dem wiederauflebenden Interesse an diesem Verfahren nach der Erdölpreiskrise 1973, ebd., S. 149 und S. 327–328. Unter besonderen Voraussetzungen waren die beiden Verfahren also auch nach dem Zweiten Weltkrieg interessant, wenn auch nur als Nischentechnologie.

7 Wengenroth, Flucht, 2002, S. 54. Die Verallgemeinerung wurde allerdings bereits von Sudrow, Schuh, 2010, und Thoms, Wertlosem, 2016, widerlegt.

8 Lackner, Notwendigkeit, 1998; Ludwig, Lösungen, 1995.

9 Streb, Technologiepolitik, 2002; Streb, Technologiepolitik, 2003; Streb, Wissenstransfer, 2004; Erker, Wettbewerb, 2005; Erker, Zulieferer, 2020.

10 Blöcher, Zellwolle, 1999; Bluma, l'ersatz, 2004; Scherner, Staat, 2002.

11 Erker, Vierjahresplanchemie, 2010; Westermann, Plastik, 2007.

12 Birkenfeld, Treibstoff, 1964; siehe auch den Aufsatz von Manfred Rasch in diesem Band.

13 Maier, New Age Metal, 1997; Maier, Ideologie, 2002.

14 Siehe etwa Lübke, Rohstoffwunder, 1939; Zischka, Erfinder, 1942.

Anliegen dieses Sammelbandes ist es, Arbeiten über bislang nur oberflächlich oder noch gar nicht behandelte, im Schatten der Paradebeispiele stehende Ersatzstoffe anzuregen.

Bei der Diskussion über den »Nutzen«, d. h. das Innovationspotential und die langfristigen Folgen jeglicher Ersatzstoffentwicklung muss bedacht werden, dass ein Versorgungsengpass mit der bloßen Auffindung eines bestimmten Substituts noch nicht behoben ist. Bevor industriell hergestellte Ersatzstoffe – besonders im Fall von Werkstoffen – genutzt werden können, müssen die bekannten Produktionsverfahren in der Regel auf die Verarbeitung des alternativen Materials umgestellt und umgerüstet werden. Oft ist sogar die völlige Neukonstruktion der eingesetzten Maschinen oder Apparaturen und ebenso eine Neukonzeption (neues Design, neue Inhaltsstoffe) der hergestellten Produkte erforderlich.[15] Die Entwicklung brauchbarer Ersatzstoffe ist daher ein ausgesprochen zeitaufwendiges, viele Einzelschritte erforderndes Unterfangen, das jahre-, häufig sogar jahrzehntelange Arbeit in Anspruch nimmt. Schnelle Erfolge und Durchbrüche sind eher die Ausnahme als die Regel.[16] Zudem setzt die Entwicklung von Ersatzstoffen immer geeignete politische, institutionelle und finanzielle Rahmenbedingungen voraus. Obwohl Wissenschaft und Politik bekanntlich nicht als getrennte Sphären betrachtet werden können, sondern Ressourcen füreinander sind, deren Konstellationen sich laufend verschieben, wird das komplexe Zusammenspiel zwischen Staat, Militär, Wirtschaft, Forschungsinstituten und Hochschulen, wissenschaftlich-technischen Vereinen und Einzelpersonen, die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts im Deutschen Reich mit der Entwicklung von Ersatzstoffen befasst waren, in dieser Einführung nur gestreift.[17] Hier geht es in erster Linie darum, den Blick auf neue, hoffentlich bald auch aus internationaler Perspektive betrachtete Fallbeispiele aus dem Bereich der chemischen Ersatzstoffforschung zu lenken. Nicht Institutionen und Forschungsorganisationen, sondern Stoffe und ihre vielschichtigen Wirkungsgeschichten sollen im Vordergrund stehen.

Was sind Ersatzstoffe?

Die Geschichtswissenschaften haben sich noch nicht auf eine verbindliche Definition des vielbenutzten, allerdings keineswegs eindeutigen Begriffs »Ersatzstoff« verständigt. Diesem einleitenden Aufsatz wird eine vom Ingenieur und Volkswirt Otto Goebel (1872–1955) im Jahr 1930 verwendete Definition zugrundegelegt, aber für deren Erwei-

15 Vgl. dazu Gritz, Mersol, 2013, S. 97. Eine Rezepturänderung bei der Waschmittelproduktion während des »Dritten Reichs« hatte mehrere Änderungen entlang der Produktionsstrecke zur Folge.

16 Auf die von Wengenroth nicht bedachten Zeitdimensionen, die naturwissenschaftlich-technische Forschung und damit auch Ersatzstoffforschung in den meisten Fällen erfordert, bevor nutzbare Ergebnisse erzielt werden, machen Flachowsky/Hachtmann/Schmaltz, Ressourcenmobilisierung, 2016, S. 20, aufmerksam.

17 Vgl. Ash, Wissenschaft, 2002, S. 32–51; allgemein Szöllösi-Janze, Wissenschaftler, 2000, S. 46–64. Eine gute Zusammenfassung der Verstetigung des schon vor 1914 entwickelten »politisch-militärisch-industriell-wissenschaftlichen Komplexes« findet sich bei Flachowsky, Heeresverwaltung, 2009, S. 134–135; Flachowsky, Krisenmanagement, 2010.

terung plädiert. Als Mitglied einer 1915 vom Preußischen Kriegsministerium installierten, mit der Bewertung der wirtschaftlichen Kriegsmaßnahmen beauftragten wissenschaftlichen Kommission war Goebel zweifellos ein Experte auf dem Gebiet der Ersatzstoffe. In einer seiner einschlägigen Veröffentlichungen schrieb er: »Unter Ersatzstoffwesen im kriegswirtschaftlichen Sinne verstehe ich die Ersetzung bisher üblicher Herstellungsstoffe oder Verfahren durch neuartige oder bisher ungewohnte.«[18] Völlig zu Recht berücksichtigte Goebel Stoffe und Verfahren, obwohl letztere, zumindest wenn der Begriff Ersatzstoff wörtlich verstanden wird, ausgeschlossen scheinen. Bei der Entwicklung neuer Synthesen beziehungsweise neuer Verfahren zur Herstellung dringend benötigter Substanzen, die nicht mehr auf den herkömmlichen Wegen zugänglich waren, handelte es sich in der Tat um wichtige Neuerungen, die bei der Diskussion über Ersatzstoffe mitbetrachtet werden müssen.[19] An Goebels Definition ist jedoch zu kritisieren, dass sein aus der Perspektive des Ingenieurs formulierter Stoffbegriff weiter gefasst werden müsste, damit auch chemische Aspekte berücksichtigt werden. Deshalb wird vorgeschlagen, folgende Unterkategorien von Ersatzstoffen zu unterscheiden, auch wenn die eindeutige Zuordnung in Einzelfällen schwierig sein mag:

- alternative *Rohstoffe* (z. B. die Aufarbeitung von Gips statt sulfidischer Erze zur Schwefelgewinnung)
- alternative *Werkstoffe* (z. B. die Verwendung von Aluminiumlegierungen anstelle von Kupfer)
- alternative *Basischemikalien* (z. B. die Verwendung von Ethylenglykol anstelle von Glycerin) und
- alternative *Produkte* (z. B. die Verwendung von Margarine statt Butter)

In der Technik- und Wirtschaftsgeschichte wurde der Begriff »Ersatzstoff« bisher ausschließlich im Sinne von Roh- oder Werkstoff verstanden. Vermutlich orientierten sich die Historikerinnen und Historiker an der nicht ganz glücklich gewählten Namensgebung des 1936 gegründeten »Amts für deutsche Roh- und Werkstoffe«, das im »Dritten Reich« maßgeblich für die Organisation der Ersatzstoffforschung zuständig war. Zweifellos spielten Ersatzstoffe aus den beiden genannten Katagorien quantitativ und hinsichtlich ihrer Relevanz für die Rüstungsproduktion eine besonders wichtige Rolle. Es leuchtet jedoch ein, dass Margarine, Ei-Ersatzmittel oder Kunsthonig weder Roh- noch Werkstoffe sind, sondern eine eigene Kategorie von Ersatzstoffen ausmachen. Auch Grundchemikalien wie Glycerin, Essigsäure, Schwefelsäure, Butadien, Carbid, Aceton, Phenol, Benzol, Ammoniak oder Methanol sind keine Rohstoffe im engeren Sinn. Anders als natürlich vorkommende Rohstoffe wie Erdöl, Bauxit, Eisenerze oder Guano müssen sie erst aus Steinkohlenteer, Holz, Luft, Abfallfetten und anderen Ressourcen

18 Goebel, Rohstoffwirtschaft, 1930, S. 30 und S. 120–121.

19 Prominentes Beispiel für die Bedeutung der Entwicklung neuer Verfahren ist die Haber-Bosch-Synthese, siehe den Aufsatz von Sandro Fehr in diesem Band. Zu kriegsbedingten Verfahrensänderungen vgl. auch den Aufsatz von Manfred Rasch in diesem Band.

isoliert oder synthetisiert werden; sie sind auch keine Werkstoffe (Materialien), weil sie nicht mechanisch be- und verarbeitet werden. Als Hilfs- oder Ausgangsstoffe der chemischen Industrie dienen sie vielmehr dazu, komplex zusammengesetzte, für verschiedene Branchen unverzichtbare Werkstoffe (z. B. Kunststoffe, Synthesekautschuk, synthetische Korunde) oder Chemieprodukte (z. B Sprengstoffe, Farbstoffe, Arzneimittel) synthetisch zu gewinnen. Um den Basischemikalien und Fertigprodukten mehr Beachtung zu verschaffen, werden im Folgenden bewusst etliche Fallbeispiele aus diesen beiden Kategorien vorgestellt.[20]

Ersatzstoffe sollen oder müssen den ursprünglich genutzten »Originalstoffen« hinsichtlich bestimmter, für den konkreten Anwendungszweck wichtiger funktionaler Eigenschaften oder Eigenschaftskombinationen insoweit ähneln, dass sie die »Originale« mehr oder minder gut substituieren können. Da der Begriff »Ersatzstoff« ein riesiges Spektrum unterschiedlicher Stoffe mit ganz verschiedenen Funktionseigenschaften bezeichnet, muss die Definition zwangsläufig unbestimmt und offen bleiben, damit sie Allgemeingültigkeit besitzen kann. Bei einem Nahrungsmittelersatzstoff ist beispielsweise der Kaloriengehalt eine wichtige Funktionseigenschaft, ferner der Gehalt an essentiellen Nährstoffen wie Fetten, Zuckern oder Proteinen, die überdies in der richtigen Menge, im richtigen Verhältnis zueinander und in physiologisch nutzbarer Form vorhanden sein müssen. Zudem sollte ein geeigneter Nahrungsmittelersatz gut schmecken, ein angenehmes Mundgefühl haben und vielleicht auch noch gut haltbar sein. Ein Ersatzstoff für ein Schmiermittel muss dagegen völlig andere Funktionseigenschaften aufweisen, beispielsweise eine geeignete, von der jeweiligen Betriebstemperatur und dem jeweiligen Betriebsdruck abhängige Viskosität besitzen, er darf aber weder schäumen, noch sollte er Korrosionsprozesse befördern. Auch eine gute Oxidationsbeständigkeit ist essentiell. Wichtige Parameter wären bei diesem Beispiel also Dichte, Flammpunkt, Viskosität, etc., die im Fall eines Nahrungsmittelersatzstoffs hingegen keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen. Bei der Suche nach einem geeigneten Ersatzstoff muss also immer festgelegt werden, welche der jeweils in Betracht kommenden Funktionseigenschaften für einen bestimmten Anwendungszweck unverzichtbar sind.

Ersatzstoffe werden seit jeher verwendet, um Kosten zu sparen und Produktionsprozesse zu optimieren. Sie kommen zum Einsatz, wenn es aus (wirtschafts)politischen Gründen nicht mehr möglich ist, die »Originale« weiter zu nutzen oder sie nach den gewohnten Verfahren herzustellen. Schwierigkeiten bei der Beschaffung eines bestimmten Stoffs und dadurch bedingte Preissteigerungen, Veränderungen der politisch-ökonomischen Gegebenheiten und neue wissenschaftliche Erkenntnisse stimulieren die Suche

20 Auf dem Gebiet der Basischemikalien ist bisher nur die Geschichte der Ammoniak-Synthese gut erforscht, vgl. den Aufsatz von Sandro Fehr in diesem Band, bei Fertigprodukten trifft dies für die Geschichte des Ersatzkaffees und der Margarine zu. In der materialreichen Darstellung von Maier, Chemiker, 2015, wird jedoch mehrfach deutlich, wieviele Chemiker an Ersatzstoffthemen im weitesten Sinne arbeiteten, siehe z. B. die Tabellen auf S. 303, S. 534, S. 539, S. 600–601. Die meisten dort aufgeführten Themen sind bisher noch nicht näher untersucht worden.

nach einigermaßen akzeptablen Substituten für die bisher verwendeten Rohstoffe, Materialien, Grundchemikalien und Fertigwaren bis heute.

Der in diesem Sammelband verwendete Ersatzstoffbegriff ist an die Nebenbedingung geknüpft, dass der übliche Beschaffungs- oder Herstellungsweg für einen bestimmten Stoff durch *externe Faktoren*, in der Regel durch *politische* Ereignisse, »gestört« wurde und die entstandenen Lücken anderweitig gefüllt werden mussten. In Goebels Definition wird nur die Zwangslage eines Kriegs berücksichtigt. Allerdings kommen auch andere Zwangslagen in Betracht, beispielsweise Wirtschaftsblockaden, die Errichtung von Zollschranken oder das Streben von Staaten oder Regionen nach Autarkie im Sinne der Versorgung mit eigenen wirtschaftlichen Gütern unter Vermeidung von Importen. Auch umwelt-, gesundheits- und/oder klimapolitische Zwänge sind möglich – man denke etwa an den Fall besonders besorgniserregender Stoffe, die aufgrund juristischer Auflagen »zwangsweise« durch weniger problematische Stoffe ersetzt werden müssen.[21] Die Nebenbedingung der politischen Zwangslage im weitgefassten Wortsinn ist unverzichtbar, um die hier in den Blick genommenen Ersatzstoffe und -verfahren vom »normalen« Ersatz traditionell verwendeter Stoffe durch billigere oder solche mit besseren Eigenschaften abzugrenzen.

Ersatzstoffe in der Zeit des Merkantilismus

Unter der Prämisse einer *politischen* Zwangslage ist die erste »Hochzeit« einer massiven Verwendung von Ersatzstoffen in der Zeit des Merkantilismus (16.–18. Jahrhundert) zu konstatieren. Aus den im Zeitalter der europäischen Expansion entdeckten Regionen gelangten viele bislang unbekannte Stoffe und typische Kolonialwaren erstmals nach Europa. Um eine günstige Außenhandelsbilanz vorzuweisen, zielte die damalige Wirtschaftspolitik darauf ab, sich vom Import ausländischer Rohstoffe und Fertigwaren möglichst unabhängig zu machen; angestrebt wurde eine weitgehende Selbstversorgung bei gleichzeitig hoher Warenausfuhr. Diese Ziele versuchte man durch Ein- und Ausfuhrverbote sowie Zölle durchzusetzen. Importgüter wie Tee, Kaffee, Kakao, Tabak, Gewürze, Rohrzucker, Chinarinde, Farbdrogen, Tropenhölzer, Gerbstoffe, Gummi arabicum oder Lackrohstoffe sollten durch Surrogate aus dem Inland ersetzt werden.[22] Der Begriff leitet sich vom lateinischen Verb subrogare/surrogare ab, das ursprünglich »jemanden an die Stelle eines anderen durchs Volk wählen lassen« bedeutete.[23] Surrogate, verstanden als

21 So fordert das europäische Chemikaliengesetz Reach beispielsweise, Chrom-(VI)-Verbindungen wegen ihrer Mutagenität und Karzinogenität zu ersetzen. Bislang wurde aber noch keine gleichwertige Alternative gefunden, vgl. Boehnke, Werkstoffe, 2020; Homburg/Vaupel, Hazardous Chemicals, 2019, Einleitung und das Stichwort »substitute« im Schlagwortregister.

22 Wirtschaftsgeschichtliche Darstellungen über die Zeit des Merkantilismus gehen auf den Aspekt der Surrogatherstellung aber kaum ein, vgl. Blaich, Epoche, 1973; Gerhard, Handelshemmnisse, 1987; Walter, Handelshemmnisse, 1987; Gömmel, Entwicklung, 1998. Vgl. aber Vaupel, Hochkonjunktur, 2006.

23 Georges, Handwörterbuch, 1962. Interessant an der Ethymologie des Begriffs ist, dass Surrogate ursprünglich Ersatzmittel für das gemeine Volk, also nicht für die Oberschicht, waren.

»Ersatzmittel für ähnliche Stoffe«,[24] sollten nicht nur ein ähnliches Aussehen, sondern auch ähnliche Verwendbarkeit und Wirkung wie die bisher verwendeten »Originale« aufweisen. In der Zeit des Merkantilismus wurden einige Surrogate entwickelt, die sich Anfang des 19. Jahrhunderts als Produkte mit einem neuen Eigenschaftsprofil auf dem Markt etablierten. Ein bekanntes Beispiel sind die diversen, im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts auftauchenden, aus einheimischen Pflanzen (z. B. Zichorie, Getreide) hergestellten Ersatzkaffees.

Der hohe Preis des Bohnenkaffees und das Bedürfnis der Bevölkerung nach einem warmen Heißgetränk, das kaffeeähnlich aussehen, aber nicht unbedingt auch so schmecken musste, führten im 19. Jahrhundert zur weiten Verbreitung der Ersatzkaffees, die vor allem von weniger betuchten Käuferschichten konsumiert wurden. Da sie häufig bereits geröstet und gemahlen in den Handel kamen, war die Gefahr der Verfälschung mit Streckmitteln wie Asche, Sand oder gemahlenen Rosskastanien groß. Solche betrügerischen Praktiken brachten die Surrogate schon früh in Verruf.

Kontinentalsperre und Hungersnöte im 19. Jahrhundert

Zu einem zweiten Höhepunkt der Nutzung von Ersatzstoffen infolge einer politischen Zwangslage kam es in den Jahren 1806 bis 1814, während der von Napoleon gegen Großbritannien verhängten Kontinentalsperre, die den Abbruch der Handelsbeziehungen zwischen dem europäischen Festland und Großbritannien zum Ziel hatte.[25] Um England wirtschaftlich zu schaden und zur Anerkennung der politischen Verhältnisse in Europa zu zwingen, ließ Napoleon den Kontinent vom Bezug britischer Waren und Rohstoffe abschneiden, etwa vom Import indischen Salpeters, ägyptischer Baumwolle, britischer Schafswolle oder britischer Metalle. Auch in Großbritannien hergestellte Produkte wie Steingut, Eisenwaren oder Textilstoffe gelangten nicht mehr auf den Kontinent. Das galt gleichermaßen für britische Qualitätserzeugnisse wie optisches Glas (Flint), das damals auf dem Kontinent noch nicht hergestellt werden konnte.[26] Da man sich auf dem Festland um Ersatz für diese nur noch zu hohen Preisen erhältlichen Rohstoffe und Waren bemühen musste, regte die Kontinentalsperre viele Wissenschaftler und Technologen in Frankreich und Deutschland dazu an, nach geeigneten Substituten für die ausbleibenden beziehungsweise zu teuer gewordenen Materialien zu suchen oder Verfahren zu entwickeln, um bisherige Importprodukte selbst herzustellen und sich von britischen Importen unabhängig zu machen.

Während der Kontinentalsperre erlebten etliche bereits in der Zeit des Merkantilismus entwickelte Ersatzstoffe eine neue Blüte, etwa die zahlreichen Kaffeesurrogate.[27]

24 Römpp, Chemie Lexikon, 1962, S. 4956.

25 Vgl. Saalfeld, Kontinentalsperre, 1987; Crouzet, L'Économie, 1987; Crouzet, La guerre, 2008.

26 Zur durch die Kontinentalsperre angeregten Herstellung von Flintglas in Deutschland siehe Hendrich, Versuche, 1984.

27 Vgl. Rossfeld, Mittel, 2002, S. 226–255.

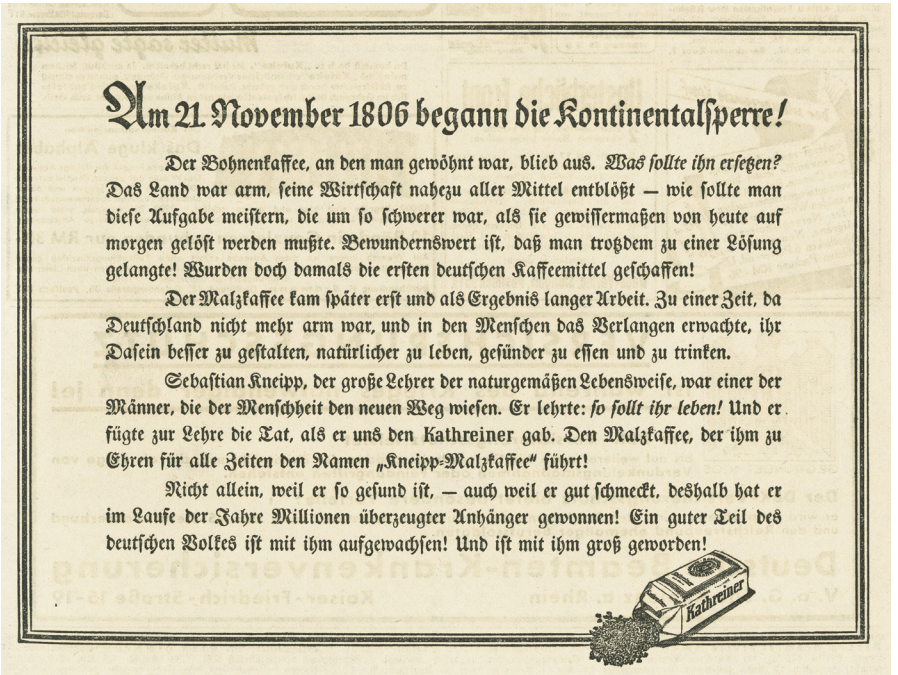


Abb. 3 Werbung des Ersatzkaffee-Herstellers Kathreiner aus dem Jahr 1940, die auf die Kontinentalsperre Bezug nimmt.

Dass man die Zeit der Kontinentalsperre nicht zuletzt dank der Verfügbarkeit etlicher Ersatzmittel überstanden hatte, war den Deutschen zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch gut in Erinnerung. Auf dieses Wissen rekurrierte die Annonce des Ersatzkaffee-Herstellers Kathreiner aus dem Jahr 1940 (Abb. 3).

Sie ermunterte die Leser, auf die nach Kriegsausbruch angeordnete Kaffeebeschlagnahmung, mit der noch vorhandener Bohnenkaffee aus dem Verkehr gezogen wurde,[28] wie zu Napoleons Zeiten zu reagieren: durch Konsum von Ersatzkaffee.

Kurz nach Aufhebung der Kontinentalsperre folgte ein weiterer »Störfall«, der die Nutzung von Ersatzlebensmitteln erforderlich machte: die Hungersnot von 1816/17, die durch den Ausbruch des indonesischen Vulkans Tambora (1815) ausgelöst worden war. Die sich um den Erdball verteilenden Aschewolken führten zu einem »Jahr ohne Sommer« und folglich zu schweren Missernten. In Deutschland wurde unter anderem das knapp gewordene Brotgetreide mit pflanzlichen »Verlängerungsmitteln« gestreckt, etwa Erbsen, Esskastanien, Runkelrüben, Holzmehl, Baumrinde oder Stroh.[29] Dieses Beispiel

28 Vgl. Becker, Kaffee-Konzentration, 2002, S. 288–290.
29 Vgl. Behringer, Tambora, 2015, S. 85–98.

zeigt, dass auch Naturkatastrophen (Vulkanausbrüche) oder klimatische Zwangslagen (andauernde Extremwetterlagen, Desertifikation) eine (zeitweilige) Ersatzstoffnutzung erforderlich machen können.

Die Hochkonjunktur der Surrogate zu Beginn des 19. Jahrhunderts schildert der deutsche Arzt und Schriftsteller Justinus Kerner (1786–1862), der die »Franzosenzeit« und die Hungersnot nach dem Tambora-Ausbruch als junger Erwachsener miterlebt hatte, in seinem »Bilderbuch aus meiner Knabenzeit« wie folgt:

> Es war dazumal die Zeit der Surrogate […]. Für alle Kolonialwaren hatte er [ein Chemiker namens Staudenmayer, E.V.] Surrogate erschaffen, den Fremden zeigte er sie vor und wartete ihnen damit auf. Man speiste bei ihm vortrefflichen Zucker, der aber nicht aus dem Zuckerohr genommen war; man trank bei ihm ausgezeichneten Kaffee, allein es war nicht die gewöhnliche Kaffeebohne; Zimt und Nelken vom besten Arom teilte er aus, allein sie waren sein Fabrikat; auch ein Surrogat für Chinarinde hatte er erfunden, das in den Spitälern […] mit dem besten Erfolge angewendet wurde […].[30]

Surrogate aus nachwachsenden Rohstoffen

Die in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts verwendeten Surrogate ähnelten den gewohnten »Originalen« hinsichtlich bestimmter, für einen speziellen Anwendungszweck als wesentlich erachteter Funktionseigenschaften wie Farbe, Konsistenz, Duft, Geschmack, physiologische Wirkung oder mechanische Stabilität. Meist wurden sie aus pflanzlichen, also nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. In einigen Fällen suchte man bereits gezielt nach Ersatzstoffen, betrieb also in gewissem Umfang Ersatzstoffforschung.[31] Ein Beispiel ist die Zuckergewinnung aus heimischen Kartoffeln, die 1811 in ersten Ansätzen vom Apotheker Constantin Kirchhoff (1764–1833) entwickelt worden war. Sein Verfahren wurde, unterstützt vom Sachsen-Weimarischen Staatsminister Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832), 1812 in Tiefurt bei Weimar erprobt.[32] Die technisch noch unausgereifte Stärkezuckergewinnung verfolgte man nach Aufhebung der Kontinentalsperre allerdings vorerst nicht weiter. Solche Diskontinuitäten sind in der Geschichte der Ersatzstoffe und -verfahren häufig zu beobachten. Wenn die Probleme zu komplex wurden oder der wirtschaftspolitische Druck nachließ, d. h. wenn das zu ersetzende Original wieder zu akzeptablen Preisen verfügbar war, unterbrach man die weitere Beschäftigung mit dem betreffenden Ersatzstoff oder dem Ersatzverfahren zeit-

30 Kerner, Bilderbuch, 1849, S. 349.

31 In Deutschland machten sich während und nach der Kontinentalsperre vor allem folgende Chemiker und Pharmazeuten um die Entwicklung von Ersatzstoffen verdient: Wilhelm August Lampadius (1772–1842), Johann Wolfgang Döbereiner (1780–1849), Sigismund Friedrich Hermbstädt (1760–1833) und Karl Wilhelm Gottlob Kastner (1783–1857). Zur Kastners Ersatzstoffforschung bes. Kirschke, Lehrer, 2001, S. 234–243.

32 Seidemann, Herzog, 1964; Seidemann, Herstellung, 1965; Vaupel, Hochkonjunktur, 2006, S. 313–314.

weise oder stellte sie ganz ein.[33] Die Rückkehr zur Nutzung der gewohnten »Originale« oder Verfahren schien vordergründig einfacher und bequemer zu sein. Erst wenn sich eine neue Zwangslage abzeichnete, nahm man die Arbeiten wieder auf – so auch im Fall der Stärkezuckergewinnung, die Jahrzehnte nach der Aufhebung der Kontinentalsperre wieder aufblühte.[34]

Größeren und dauerhafteren Erfolg als die Zuckergewinnung aus Kartoffeln hatte die Nutzung eines anderen Rohstoffs: der Zuckerrübe.[35] In ersten Ansätzen war sie bereits vor der Kontinentalsperre erprobt worden.[36] Diese gab aber den entscheidenden Impuls, den bis Anfang des 19. Jahrhunderts genutzten Rohstoff der Zuckergewinnung, das Zuckerrohr, durch einen inländischen Rohstoff, die Zuckerrübe, zu ersetzen. Der Rübenzucker war eines jener Surrogate, die sich – nicht zuletzt dank der Förderung des Zuckerrübenanbaus durch die Politik – langfristig auf dem Markt etablierten und kein kurzlebiger Notbehelf waren.[37]

Im Prinzip stand den Zeitgenossen mit dem Rübenzucker ein ernährungsphysiologisch gleichwertiger Ersatz für den Rohrzucker zur Verfügung: Der süßende Inhaltsstoff war in beiden Produkten der gleiche, nämlich Saccharose. Dennoch wurde der Rübenzucker zunächst »nur« als Surrogat bezeichnet, als ähnlicher, im Vergleich zum Rohrzucker jedoch etwas minderwertiger Ersatz. In der Tat unterscheidet sich der Geschmack beider Zuckervarietäten geringfügig, weil bei der Aufarbeitung der Zuckerrüben andere Begleitstoffe mitextrahiert wurden als beim Zuckerrohr. Wegen dieses Unterschieds sind beide Varietäten bis heute als eigenständige Produkte in den Regalen unserer Supermärkte zu finden. Kulturelle, emotionale und psychologische Faktoren sowie die Neigung der Nutzerinnen und Nutzer, die Qualitäten eines Ersatzstoffs an denen des vertrauten »Originals« zu messen, spielen bei dessen Beurteilung immer eine große Rolle. Das gilt vor allem für das Gebiet der Nahrungsmittel, wo Gewohnheiten besonders wirkmächtig sind.[38]

Der Zwang, wegen der Kontinentalsperre verstärkt auf die Nutzung heimischer Pflanzenrohstoffe auszuweichen, trug zweifellos zum Aufblühen der Naturstoffchemie im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts bei; die Kontinentalsperre wurde nicht nur im Deut-

33 Im Aufsatz von Manfred Rasch in diesem Band wird eine zeitweilige Unterbrechung von Ersatzstoffforschung, deren Fortführung wegen militärischer Erfolge eine zeitlang unnötig schien, sowohl bei der Kohlehydrierung nach Bergius als auch beim Fischer'schen Schwelverfahren geschildert.

34 Wichelhaus, Stärkezucker, 1913, S. 24–29.

35 Auch die Nutzung von heimischem Holz als Ausgangsmaterial der Zuckergewinnung geriet damals ins Visier der Wissenschaft. Die während der Kontinentalsperre in ersten Ansätzen entwickelte, im 19. Jahrhundert verbesserte Holzverzuckerung wurde während des Ersten Weltkriegs bereits industriell genutzt; sie lohnte sich wegen des großen Holzverbrauchs und des hohen Energieaufwands allerdings nur unter Kriegsbedingungen, wenn Versorgungssicherheit höhere Priorität als Wirtschaftlichkeit besaß, vgl. Beck, Bergius, 1982, S. 12.

36 Bruhns, Jahre, 1997, S. 10; Kuster, Rohrzucker, 1998.

37 Bruhns, Jahre, 1997, S. 22–23.

38 Die Wirkmächtigkeit alter Gewohnheiten wird in diesem Band besonders in den Aufsätzen von Helmut Maier und Andreas Zilt thematisiert.

schen Reich, sondern auch in Frankreich zu einem wichtigen Impulsgeber chemischer Forschung. Da die Chemie um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert aber erst im Begriff war, sich von einer überwiegend analytisch zu einer auch synthetisch arbeitenden Wissenschaft zu entwickeln, war es damals in der Regel noch nicht möglich, Ersatzstoffe durch chemische Synthese zu gewinnen. Die bis in die 1860er Jahre verwendeten Surrogate waren daher üblicherweise Substanzen oder Substanzgemische, die aus den drei Reichen der Natur stammten, vor allem aus dem Pflanzenreich.[39]

Nahrungsmittelsurrogate im 19. Jahrhundert

Bei der Entwicklung von Nahrungsmittelsurrogaten spielte der Chemiker Justus von Liebig (1803–1873) eine zentrale Rolle. Dass er sich in den 1840er Jahren mit Problemen der menschlichen Ernährung und Agrikulturchemie beschäftigte, war nicht nur dem Einfluss seines Lehrers Karl Kastner (1783–1857), sondern gleichermaßen den damals häufigen Hungersnöten geschuldet.[40] Unter dem Eindruck der Hungersnot von 1846/47 hatte sich Liebig unter anderem mit dem Fleischextrakt beschäftigt, der aus dem eingedickten Fleischsaft südamerikanischer Rinder hergestellt und seit 1863 industriell produziert wurde. Liebig war fest davon überzeugt, dadurch die Nahrungsmittelversorgung der ärmeren Bevölkerung entscheidend zu verbessern. Seine Behauptung, dass der Fleischextrakt den Nährwert von Fleisch habe, wurde allerdings schon von den Zeitgenossen in Frage gestellt. Zu Recht waren sie der Meinung, dass dieser lediglich ein Genuss-, aber kein vollwertiges Ersatznahrungsmittel sei.[41] Andere, in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelte, ursprünglich ebenfalls als Ersatz für den Proteinlieferanten Fleisch konzipierte Nahrungsmittelsurrogate waren die aus eiweißhaltigen Hülsenfrüchten (vor allem Erbsen) zubereiteten Fertigsuppen, die Firmen wie Knorr und Maggi in den 1870er beziehungsweise 1880er Jahren auf den Markt brachten.[42] Wegen ihrer leichten Transportierbarkeit und unkomplizierten Zubereitung wurden diese ursprünglichen Ersatzprodukte große Erfolge.

Im Jahr 1868 grassierte eine Hungersnot in Ostpreußen, die Liebig dazu anregte, sich mit der Chemie des Mehls und des Brotbackens zu beschäftigen. Da damals in Deutschland vor allem Sauerteigbrot gegessen, also mit Hefe statt mit dem von Liebigs amerikanischem Schüler Eben Norton Horsford (1818–1893) im Jahr 1856 erfundenen Backpulver gebacken wurde, wies Liebig darauf hin, dass bei der herkömmlichen Sauerteiggärung ein Teil des Mehls durch die Gärung verloren ging.[43] Um mehr Menschen mit

39 Vgl. hierzu Luxbacher, Mobilisierung, 2001, S. 307–333. Auch im Ersten Weltkrieg wurden, noch ganz in der Tradition des langen 19. Jahrhunderts, zur Herstellung verschiedenster Ersatzstoffe, die vom Seifen-, Harz- und Gerbstoff- bis zum Faserstoffersatz reichten, häufig pflanzliche Rohstoffe verwendet, vgl. Diels, Ersatzstoffe, 1918.

40 Zu Kastners Arbeiten über Brot-Surrogate vgl. Kirschke, Lehrer, 2001, S. 240–243.

41 Teuteberg, Rolle, 1990, S. 23–37.

42 Ebd., 1990, S. 51–78.

43 Brock, Liebig, 1999, S. 194–203.

derselben Menge Mehl ernähren zu können, sei es sinnvoll, die Hefe durch Backpulver zu ersetzen. Backpulver als Hefeersatz setzte sich in Deutschland allerdings erst im 20. Jahrhundert durch.

Vor dem Hintergrund der hohen Säuglingssterblichkeit versuchte Liebig zudem, eine als Muttermilchersatz konzipierte »Suppe für Kinder« aus Kuhmilch, Weizen- und Malzmehl zu kreieren. Die daraufhin entstehende Industrie für Säuglingsnahrung wurde zunächst vor allem von Persönlichkeiten wie Henri Nestlé (1839–1890) dominiert. Ein weiteres, seit 1866 industriell hergestelltes Nahrungsmittelsurrogat war die Kondensmilch. Auch sie wurde ursprünglich als Muttermilchersatz für Kleinkinder, bald darauf auch als haltbarer Frischmilchersatz für die Gesamtbevölkerung beworben.[44] Wegen ihres unterschiedlichen Fett- und Vitamingehalts war sie allerdings kein vollwertiges Ersatzprodukt.

Ein weiteres, ökonomisch besonders wichtiges Ersatznahrungsmittel war schließlich die Kunstbutter oder Margarine. Durch Aussetzung einer Prämie hatte Napoleon III. im Jahr 1866 die Suche nach einem Speisefett zur Versorgung von Armee, Marine und der ärmeren Bevölkerung gezielt stimuliert. Das Ersatzfett sollte butterähnlich, aber billiger und haltbarer als Butter sein. Auch wenn die daraufhin von dem französischen Chemiker und Pharmazeuten Hippolyte Mège-Mouriès (1817–1880) entwickelte, aus Abfallschlachtfetten gewonnene »beurre artificiel« nur wenig mit der seit 1905/06 industriell produzierten, durch katalytische Hydrierung (Härtung) pflanzlicher Öle hergestellten Margarine gemein hat, zeigt die Karriere der Kunstbutter einmal mehr, dass sich einige ursprünglich als Ersatz entwickelte Produkte im Laufe der Zeit vom minderwertigen Surrogat zum Markenartikel entwickeln konnten.[45] Festzuhalten bleibt, dass »Ersatz« nicht zwangsläufig »minderwertig« bedeuten muß; »Ersatz« ist lediglich etwas »anderes« mit ähnlichen Eigenschaften beziehungsweise Eigenschaftskombinationen. Die Nutzerinnen und Nutzer definieren, welche davon für sie wichtig und unverzichtbar sind.

Kunstprodukte

Auch andere in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelte Surrogate, wie etwa die durch chemische, gelegentlich auch physikalische Manipulationen und »Kunstgriffe« hergestellten Stoffe Kunstleder, Kunstdarm, Kunsthorn, Kunstholz, Kunstkork, Kunstseide, Kunststein, Kunstmarmor, Kunstkopal, Kunstwachs, Kunstwein, Kunstlimonade, Kunstrum, Kunstaroma, Kunsthonig, Kunstspeisefett, Kunstbutter, Kunstgewürz, Kunstdünger, Kunstkohle oder Kunstwolle, konnten sich langfristig auf dem Markt etablieren (Abb. 4). Die Zeitgenossen, die die in rasantem Tempo stattfindende Industrialisierung

44 Fischer, Kondensmilch, 2001, S. 281, S. 283. Die Versorgung der städtischen Bevölkerung mit der physiologisch wertvollen, ungekühlt und unpasteurisiert jedoch leicht verderblichen Frischmilch war im 19. Jahrhundert ein großes Problem.

45 Pelzer/Reith, Margarine, 2001, S. 17–22.

Abb. 4 Margarine-Reklame, ca. 1910. Die aus pflanzlichen Ölen hergestellte Margarine galt zunächst als Ersatz für die aus tierischen Fetten hergestellte Butter.

mit all ihren sozialen Verwerfungen miterlebten, reagierten auf die Flut immer neuer Kunstprodukte allerdings mit Verunsicherung: Kunsthorn (Galalith) etwa, ein chemisch gehärteter Caseinkunststoff, hatte naturgemäß etwas andere Eigenschaften als das aus Proteinen bestehende Rinderhorn;[46] Kunstseide, eine chemisch modifizierte pflanzliche Cellulose, andere als die aus tierischen Proteinen aufgebaute Naturseide und so weiter.

Die oft enttäuschenden Erfahrungen mit den neuen Kunstprodukten verstärkten die bereits existierenden Vorbehalte gegenüber den Surrogaten. Die mit beiden Begriffen verbundene Assoziation von Fälschung und Minderwertigkeit wird unter anderem in folgendem Spottvers aus dem Jahr 1878 deutlich: »Kunstproduct und Surrogat, lieben wir ja alle, das geliebte Publikum, geht in jede Falle.«[47] Unter dem Druck ökonomischer Not wurden die Kunstprodukte bestenfalls von den unteren sozialen Schichten als akzeptabel empfunden und bekamen wegen ihres im Vergleich zum »Original« niedrigeren Preises bald den Ruch von »Arme-Leute-Produkten«. Während die Hersteller betonten, dass das jeweilige Kunstprodukt das gewohnte Original angeblich vollwertig ersetzte,

46 Zur Geschichte des Galaliths vgl. Lattermann, Spitteler, 2017.
47 Vorstand des Allgemeinen Vereins, Liederbuch, 1878, S. 33.

mussten die Nutzerinnen und Nutzer immer wieder feststellen, dass sie falschen Versprechungen und Halbwahrheiten aufgesessen waren. Margarine war zwar ebenso nahrhaft wie Butter, konnte diese geschmacklich aber keineswegs vollwertig ersetzen; Kleidung aus Kunstwolle, die aus Lumpen (Altwolle) hergestellt wurde und wegen der durch den Amerikanischen Bürgerkrieg ausgelösten Baumwollnot[48] und später wegen des im Ersten Weltkrieg herrschenden Textilfasermangels Jahrzehnte lang viel verwendet wurde, unterschied sich äußerlich zwar tatsächlich kaum von Kleidung aus neuer Wolle. Infolge des faserzerstörenden Herstellungsprozesses, bei dem die recycelten Lumpen vor der Weiterverarbeitung maschinell zerrissen wurden, war sie allerdings weniger haltbar und deshalb in der Tat ein minderwertiges Ersatzprodukt.[49]

Die Synthese »künstlicher« Stoffe

Infolge des zu Beginn des 19. Jahrhunderts einsetzenden Aufschwungs der wissenschaftlichen Chemie und der stürmischen Entwicklung der chemischen Industrie konnten immer mehr Ersatzstoffe synthetisch hergestellt werden.

Eine wichtige *anorganische* Ersatzstoff-Synthese war die schon Ende des 18. Jahrhunderts entwickelte Soda-Synthese nach Leblanc. Da die natürlich vorkommende Soda (Natriumcarbonat Na_2CO_3), die aus Soda-Seen oder durch Veraschung von Pflanzen und Algen gewonnen wurde, den steigenden Bedarf der Seifen- und Glasfabrikation nicht mehr decken konnte, war – katalysiert durch den wegen des Amerikanischen Unabhängigkeitskriegs zeitweise unterbrochenen Import nordamerikanischer Pottasche (Kaliumcarbonat K_2CO_3) – gezielt nach einer solchen Synthese gesucht worden. Um potentielle Erfinder anzuspornen, hatte die Französische Akademie der Wissenschaften 1781 einen Preis ausgesetzt, der wegen mangelnder Tauglichkeit der eingereichten Vorschläge aber nie vergeben wurde. Erst 1787 gelang es dem Privatgelehrten Nicolas Leblanc (1742–1806) eine praktikable Synthese zu entwickeln, die technisch genutzt wurde, bis die Produktion in den Wirren der Französischen Revolution eingestellt werden musste.[50] Die Suche nach der Soda-Synthese wurde durch eine wirtschaftliche Zwangslage stimuliert. Unruhen in Spanien, Frankreichs Hauptlieferanten für Natursoda, gaben schließlich den entscheidenden Impuls, die Leblanc-Synthese ab 1809/10 industriell zu nutzen.[51] Die bislang importierte Natursoda wurde zu Beginn des 19. Jahrhunderts schnell durch die

48 Zur sogenannten Baumwollnot und ihren Folgen vgl. Beckert, King Cotton, 2014, S. 232–257.

49 Kamp, Kunstwolle, 2009, S. 44–45.

50 Vgl. Smith, Origins, 1979, S. 198–199.

51 Zum Import der durch Veraschung von Strandpflanzen erhaltenen, spanischen Barilla vgl. ebd., S. 193–194. Die Leblanc-Soda-Synthese war die Basis zur Entstehung der anorganisch-chemischen Industrie im 19. Jahrhundert. Mit ihr entwickelte sich die Fabrikation der Schwefel- und der Salpetersäure, die für die Synthese benötigt wurden. Als Nebenprodukt der Leblanc-Synthese wiederum entstand Salzsäure, wodurch die Entstehung der Chlorindustrie initiiert wurde. 1806 entstanden zwei Soda-Fabriken in Frankreich. Wesentliche Verbesserungen erfuhr die Sodaherstellung in England, wo sie ab 1823 in großem Stil betrieben wurde.

chemisch (fast) identische, »künstliche« Leblanc-Soda ersetzt.[52] Der Entwicklungsstand der organischen Chemie und die Verfügbarkeit des Steinkohlenteers, einer reichen Quelle aromatischer Verbindungen, eröffneten den Chemikern seit Mitte des 19. Jahrhunderts immer bessere Möglichkeiten, auch organische Substanzen auf dem Syntheseweg zu erhalten. Die ersten organischen Synthesen waren meist Zufallsentdeckungen; mit zunehmender Stoffkenntnis konnten sie allerdings immer gezielter durchgeführt werden. Die Chemiker lernten, die Inhaltsstoffe des Steinkohlenteers in eine Vielzahl »künstlicher« organischer Substanzen umzuwandeln, die mit den bisher verwendeten Naturstoffen (fast) identisch waren und sie ersetzen konnten. Als erstes wurden einige Naturfarbstoffe durch ihre synthetischen Pendants substituiert. Ein Paradebeispiel ist die Synthese des blauen Textilfarbstoffs Indigo. Dass in Deutschland, anders als in Großbritannien oder Frankreich, jahrzehntelang nach einer solchen Synthese gesucht wurde, war dem Bestreben geschuldet, sich dadurch von der Einfuhr des pflanzlichen Indigos aus Britisch-Indien unabhängig zu machen.[53] Deutschen Chemikern gelang es zudem, einige im 19. Jahrhundert viel verwendete Naturarzneimittel durch ihre synthetischen Äquivalente zu ersetzen – so im Fall des fiebersenkenden Weidenrindenextrakts, der durch den wichtigsten Wirkstoff dieses Vielstoffgemischs, die synthetische Salicylsäure, d. h. durch eine Einzelsubstanz, substituiert wurde.[54] Ein weiterer erfolgreicher Versuch, einen wichtigen Naturstoff durch ein Syntheseprodukt zu ersetzen, war die 1874 geglückte Synthese des Vanillins. Dieser Hauptaromastoff der Vanille sollte den Import der vor allem in französischen Kolonien kultivierten Naturvanille überflüssig machen (Abb. 5).[55]

Das Streben nach wirtschaftlicher Selbstversorgung durch Entwicklung synthetisch hergestellter (Ersatz)Substanzen bestimmte die Geschichte der deutschen chemischen Industrie schon lange vor dem Ersten Weltkrieg.[56] Üblicherweise nutzten die Chemiker die erarbeiteten Naturstoff-Synthesen dann als »Sprungbrett«, um durch Derivatisierung und Variation der Reaktionsbedingungen Substanzen zu schaffen, die nicht mehr in der Natur vorkamen, also »künstlich« waren. Diese »Sprungbrett«-Option machte die Synthesechemie zum Land der (fast) unbegrenzten Möglichkeiten – genau das zeigt die Darstellung des Chemikers als »Schöpfergott« auf dem eingangs vorgestellten Ausstellungs-

52 Vgl. Smith, Origins, 1979, S. 260–262. Das in Klammern gesetzte »fast« verweist darauf, dass die natürliche und die »künstlich«, also synthetisch hergestellte Soda zwar die gleiche Summenformel besitzen und damit formal betrachtet identische Verbindungen sind; tatsächlich handelte es sich wegen der jeweils verschiedenen Verunreinigungen aber um zwei Stoffe mit etwas unterschiedlichen Eigenschaften. Ähnlich verhielt es sich beim Rohr- und Rübenzucker, die theoretisch zwar beide aus Saccharose bestanden, wegen ihrer spezifischen Verunreinigungen aber einen unterschiedlichen Geschmack besaßen. Dies hatte zur Folge, dass der Rübenzucker zunächst nur als minderwertiger Ersatz des Rohrzuckers betrachtet wurde.

53 Reinhardt, Farbe Blau, 1993, S. 20–24.

54 Kleemann/Offermanns, Klostermedizin, 2012; Lang, Salicylsäure, 2016.

55 Vaupel, Ersatz, 2017, S. 46. Das Vanillin ist nur eine von vielen Komponenten des komplex zusammengesetzten Vanillearomas und konnte das Naturaroma daher nicht vollwertig ersetzen. Das Vanillin gibt die Charakteristika des Naturaromas näherungsweise jedoch relativ gut wieder.

56 Vgl. Marsch, Wissenschaft, 2000.

VANILLIN

VANILLIN, das aromatische Princip der Vanille.

Das **VANILLIN** bildet den riechenden und wirksamen Bestandteil (ca. 2%) der Vanilleschoten. Es findet sich ferner in sehr kleinen Mengen in gewissen Rohrzuckern und in der Siam-Benzoe. Künstlich entsteht es durch Zerlegung des Coniferins, durch Oxydation des Eugenols etc.

Anwendung des Vanillins.

Man hat in dem **VANILLIN** durchaus kein Surrogat für Vanille, wie man in den ersten Jahren zu behaupten versuchte, sondern einen vollständigen Ersatz für die wirksamen und wertvollen Bestandteile in der Vanille zu suchen. Die Vorteile bei der Vanillinverwertung sind nicht gering. — Die feinsten Vanillesorten enthalten sehr selten über 2% ihres Gewichtes an **VANILLIN,** so dass die übrigen mindestens 98% nur Ballast sind. Bei den verschiedenen Sorten Vanille schwankt der Gehalt zwischen 0,5—2,5% und es kommt vor, dass eine Vanille von nur 0,5—1% Gehalt noch ein ganz gutes, gesundes Aussehen hat, so dass dann der Parfumwert gegen früher verwandte Sorten erst ausprobiert werden muss, während bei chemisch reinem **VANILLIN** ein gleiches Quantum auch immer die gleiche Wirkung hervorbringt. — Die Vanille ist ausserdem, wie bekannt, leicht dem Verderben ausgesetzt; sie schimmelt leicht, nimmt einen unangenehmen Geruch an und wird fast wertlos. — Das **VANILLIN** aber kann, ohne eine Veränderung zu erleiden, jahrelang aufbewahrt werden. Der aber bei weitem ins Gewicht fallende Vorteil bei Anwendung des **VANILLINS** liegt im Preise. Unter den heutigen Verhältnissen, bei niedrigem Preise der Vanille, zahlt man immer noch für ein gleich wirksames Quantum **VANILLIN** nur 1/5—1/4 des Preises der Vanille.

HAARMANN & REIMER

VANILLIN-FABRIK

Holzminden a. W., Deutschland.

Abb. 5 Anzeige der Vanillin-Fabrik Haarmann & Reimer in Holzminden/Weser vom Mai 1895, in der behauptet wird, dass das Vanillin kein Vanillesurrogat, sondern ein vollwertiger Ersatz der Naturvanille sei.

plakat. Allerdings gab es immer wieder Fälle, bei denen die Chemiker die Komplexität der Aufgaben unterschätzten. Bei den ersten erfolgreichen organischen Synthesen hatten sie Glück: Vanillin, Salicylsäure, Indigo und andere im 19. Jahrhundert synthetisierte Naturstoffe sind relativ einfache Verbindungen, die sich leicht »nachbauen« lassen. Andere in diesem Zeitraum in Angriff genommene Syntheseversuche, etwa des Morphins[57] oder Chinins,[58] die die importabhängigen Rohstoffe Opium beziehungsweise Chinarinde ersetzen sollten, scheiterten jedoch, weil die Struktur der Wirkstoffe damals noch unbekannt war. Als beide Synthesen im 20. Jahrhundert realisiert werden konnten, erforderten sie so viele Einzelschritte, dass sie nur akademisches Interesse besaßen und nie genutzt wurden. Ein anderes Beispiel für unterschätzten Zeitaufwand ist die Kautschuk-Synthese, an der im Deutschen Reich, wenn auch mit Unterbrechungen, ab 1906 gearbeitet wurde, bevor 1936 mit dem Buna ein praxistaugliches Produkt entwickelt werden konnte.[59]

Um eine organische Synthese zu entwickeln, müssen die chemische Zusammensetzung der zu synthetisierenden Substanz und in der Regel auch ihre räumliche Struktur bekannt sein. Nur dann verfügen die Chemiker über alle Informationen, um die gewünschte Verbindung im Labor »nachzubauen«. Die Konzeption einer Synthese setzt viel Wissen voraus, das im Deutschen Reich dank des guten Universitätssystems und der schon vor dem Ersten Weltkrieg gegründeten Kaiser-Wilhelm-Institute aber verfügbar war oder in vertretbarer Zeit erarbeitet werden konnte.[60] Eine Laborsynthese muss dann noch in den industriellen Maßstab »übersetzt« werden. Die Entwicklung eines technischen Verfahrens erfordert jedoch mehr als ein bloßes »scaling-up«. Welche Probleme dabei mitunter zu lösen waren, zeigte sich bei der Überführung von Fritz Habers (1852–1931) Ammoniak-Synthese in industrielle Dimensionen. Ohne die Beiträge des Chemikers Alwin Mittasch (1869–1953), der einen aus heimischen Rohstoffen herstellbaren, kostengünstigen Katalysator fand,[61] ohne die für den Bau einer Industrieanlage erforderlichen apparatetechnischen Entwicklungen des Chemieingenieurs Carl Bosch (1874–1940), wäre die Großproduktion des synthetischen Ammoniaks nicht gelungen. Die Aufgaben, die von den ersten Laborversuchen bis zur Produktion einer chemischen Substanz im Industriemaßstab bewältigt werden müssen, sind sehr komplex. Dies gilt gleichermaßen für die Entwicklung neuer Materialien, die immer auch die zeitaufwendige Erarbeitung geeigneter Verarbeitungsverfahren nach sich zieht.

57 Eiden, Morphin, 2004, S. 55.

58 Eiden, Ausflug, 1998; Eiden, Ausflug, 1999a, 1999b.

59 Vgl. dazu den Beitrag von Peter Morris in diesem Band.

60 Vierhaus/Brocke, Forschung, 1990; Brocke/Laitko, Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, 1996.

61 Wie im Aufsatz von Sandro Fehr geschildert, wurden bei der Ammoniak-Synthese bereits systematisch verbesserte Katalysatoren genutzt. Deutschland hatte und hat in der industriell genutzten Katalysatortechnik seit Ende des 19. Jahrhunderts eine führende Position inne. Ob dies nicht zumindest partiell eine Folge der jahrelangen Ersatzstoffwirtschaft in diesem Land sein könnte, bliebe zu prüfen. Effiziente Katalysatoren sind in Mangelwirtschaften jedenfalls besonders unverzichtbar. Aus diesem Grund hatte auch die Katalyseforschung in der ehemaligen DDR ein anerkannt hohes Niveau.

Patentlösung Kohlechemie

Deutschland war und ist wegen seiner natürlichen geologischen Gegebenheiten ein relativ rohstoffarmes Land. Lediglich Steine und Erden (Ton, Sand, Kies, Gips, Kalk, Mergel, Kaolin), verschiedene Salze (Steinsalz, Kali- und Magnesiumsalze), Wasser sowie die Energie- und Chemierohstoffe Stein- und Braunkohle waren (und sind) in ausreichendem Maß im Land vorhanden. Bei allen anderen Rohstoffen bestand (und besteht) dagegen teilweise oder völlige Importabhängigkeit. Mit den heimischen Kohlevorkommen stand zugleich auch der Steinkohlenteer zur Verfügung, der zur Gewinnung etlicher Basischemikalien, besonders aromatischer Verbindungen, unersetzlich war. Die deutsche chemische Industrie hatte sich bereits im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts auf die Nutzung dieses Teers konzentriert. Als während des Ersten Weltkriegs und des »Dritten Reichs« aus politischen Gründen verstärkt inländische Rohstoffe verwendet werden mussten, schien die Veredlung von Steinkohlenteerinhaltsstoffen zu volkswirtschaftlich wichtigen Chemieprodukten deshalb das Mittel der Wahl zu sein.[62]

Ein Land wie das Deutsche Reich, das im Gegensatz zu Großbritannien und Frankreich nur kurzzeitig Kolonien besaß, die sich ausbeuten ließen, dafür aber über reiche Kohlelagerstätten, gut ausgebildete Chemiker und eine hoch entwickelte chemische Industrie verfügte, konnte sich durch die Synthese »kritischer« Substanzen aus Steinkohlenteerinhaltsstoffen in der Tat von einigen Rohstoffengpässen »befreien« und zumindest partiell zum »Selbstversorger« werden (Abb. 6).

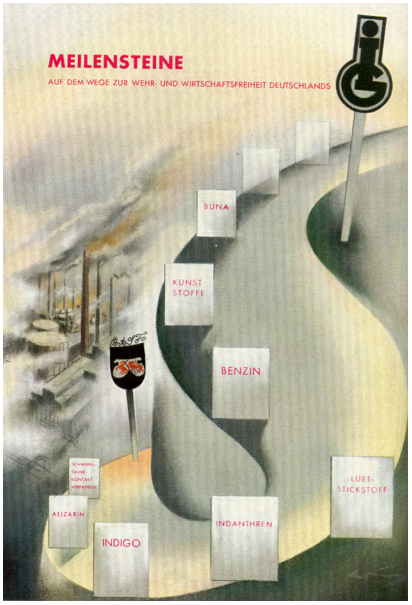


Abb. 6 Diese Anzeige der BASF aus dem Jahr 1937 verweist auf die seit der Firmengründung verfolgte Strategie, das Reich mittels technischer, von deutscher Kohle ausgehender Synthesen von der Einfuhr ausländischer Rohstoffe unabhängig zu machen.

62 Marsch, Wissenschaft, 2000; Offermanns/Retzlaff/Schalke, Erdöl, 2020; Offermanns/Retzlaff, Rohstoff, 2020.

Sofern praktikable technische Verfahren erarbeitet waren und die für die Synthesen erforderlichen Ausgangs- und Hilfsstoffe (Lösungsmittel, Salze, Katalysatoren etc.) sowie die benötigten Energiequellen zur Verfügung standen, ließen sich in der Tat etliche Rohstoffe, die andere Länder aus ihren Kolonien importierten oder aus eigenen Vorkommen bezogen, durch die Herstellung von Syntheseprodukten in gewissem Umfang ersetzen.

Surrogate aus Abfallstoffen

Die seit der Zeit des Merkantilismus vorhandenen Vorbehalte gegenüber den Surrogaten erhielten durch die oft enttäuschenden Erfahrungen mit den Kunst- und Syntheseprodukten in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts neue Nahrung. Die Begriffe des Surrogats, des Kunstprodukts und der »künstlich« beziehungsweise synthetisch hergestellten Substanz (bzw. Werkstoffs) begannen sich zu überlagern, zu verschwimmen und zum Synonym für schlechte Qualität zu werden. 1893 gab der Chemiker Theodor Koller (1840–?) in seinem Buch »Die Surrogate« einen Überblick über die Ersatzstoffe seiner Zeit, deren wachsende Bedeutung er folgendermaßen erklärte:

> Der Wert der Surrogatfabrikation speciell für den Fabrikanten erhöht sich noch dadurch, dass dieselbe […] viele Abfallstoffe der verschiedenen Betriebe in ihren Arbeitskreis zieht und eine ebenso rationelle als lohnende Verarbeitung derselben lehrt. Dadurch ist nicht nur eine vollständige Ausnützung aller Fabrikationsmaterialien ermöglicht […], sondern man beseitigt hierdurch manche […] Abfallstoffe.[63]

Die zunehmende Nutzung von Surrogaten im ausgehenden 19. Jahrhundert war zweifellos dem Umstand geschuldet, dass in der Phase der Hochindustrialisierung viele neue Industriebranchen entstanden waren, etwa Lederwarenfabriken, Leimfabriken, Großbrauereien, Schlachthöfe, Düngemittelfabriken, Nahrungsmittelfabriken, Seifen- und Kerzenfabriken und Papierfabriken, die Abfallstoffe in bisher unbekannten Dimensionen produzierten, etwa Lederreste, Hefereste, Holzmehl, Schalenreste, Schlachtblut, Wachse usw. Dass zumindest einige dieser Abfälle schon im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts als Wertstoffe betrachtet wurden, zeigt sich nicht zuletzt daran, dass es auf der Pariser Weltausstellung von 1867 erstmals eine Sektion Abfallverwertung gab, die bei späteren Ausstellungen beibehalten wurde. Im Zentrum dieser Sektionen standen Industrieabfälle, die in großen Mengen anfielen und gesundheitliche oder ökologische Probleme verursachten. Zur Produktion von Surrogaten wurden Ende des 19. Jahrhunderts aber auch viele Abfallstoffe und Nebenprodukte verwendet, die nur in kleineren Mengen anfielen. Dadurch bot sich eine sinnvolle und zugleich gewinnbringende »Senke« für

63 Koller, Surrogate, 1893, S. V. Der Zusammenhang zwischen Surrogatherstellung und Abfallverwertung wird auch in einem anderen, mehrfach aufgelegten Werk Kollers deutlich, vgl. Koller, Handbuch, 1880; Koller, Handbuch, 1900; Koller, Handbuch, 1921.

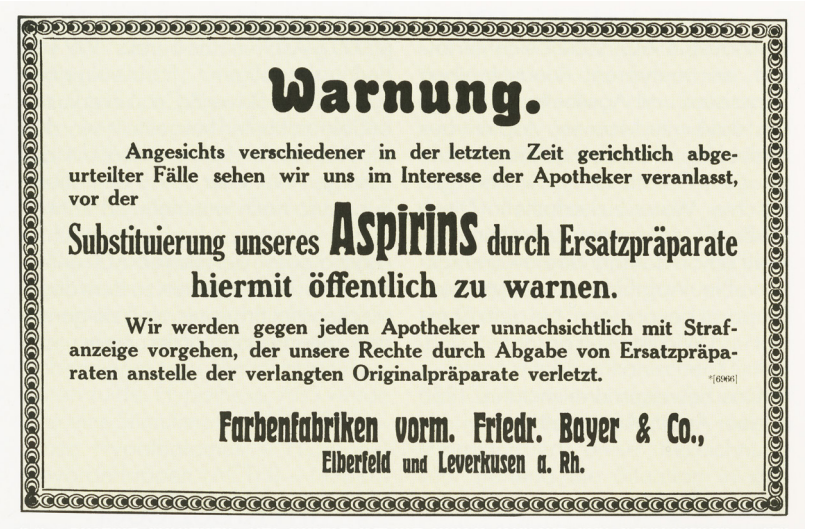


Abb. 7 An die Apotheker gerichtete Warnung der Bayer-Werke, das Markenprodukt Aspirin nicht durch chemisch (fast) identische Generika zu substituieren. Obwohl die Konkurrenzprodukte ebenfalls Acetylsalicylsäure als Wirkstoff enthielten, wurden sie als »Ersatzpräparate« abgewertet, 1911.

Gerbereiabfälle, Tierhaare, Abfälle der Papierfabrikation, Melasse, Korkabfälle, Aschen, Hochofenschlacken, Glasstaub, Sägespäne und ähnliche Reststoffe. Die Möglichkeit der Abfallverwertung erklärt den günstigen Preis der Surrogate, zementierte allerdings auch ihr schlechtes Image. Wegen des anhaltenden Bevölkerungswachstums und des zunehmenden Anteils derer, die sich die teuren »Originale« nicht leisten konnten, fanden sie im 19. Jahrhundert trotzdem einen großen Markt.

Anfang des 20. Jahrhunderts begann der Begriff »Surrogat«, der immer die Konnotation von »Minderwertigkeit«, »Imitation« und »Fälschung« besaß, zunehmend aus der Alltagssprache zu verschwinden und durch die Begriffe »Ersatzstoff« oder »Ersatzmittel« substituiert zu werden. Nach 1920 wurde das Wort »Surrogat« kaum mehr verwendet. Dieser Wechsel in der Terminologie spiegelt wider, dass sich durch die Entwicklung der Chemie immer bessere Möglichkeiten eröffneten, einen gewünschten Stoff in (fast) identischer Form synthetisch zu gewinnen und Ersatzprodukte herzustellen, die im Gegensatz zu den im 19. Jahrhundert hergestellten Surrogaten (fast) die gleichen Eigenschaften wie das »Original« besaßen und damit ein (fast) vollwertiger Ersatz waren. Wenn Markenproduktfabrikanten jedoch Konflikte mit den Herstellern von Nachahmerprodukten hatten, diskreditierten sie die chemisch (fast) identischen Generika gerne als »Ersatz« und verwiesen darauf, selber das angeblich bessere »Original« herzustellen (Abb. 7). Durch solche Praktiken übertrug sich die Konnotation der Minderwertigkeit, die dem Begriff »Surrogat« seit jeher anhing, auf den Begriff »Ersatz«.

Ersatzstoffe im Ersten Weltkrieg

Vor Ausbruch des Ersten Weltkriegs hatte sich bereits viel Erfahrungswissen über die Herstellung verschiedenster Surrogate angesammelt, das ab 1914 mobilisiert werden konnte.[64] Während des Kriegs und in den frühen Nachkriegsjahren erlebte die Produktion und Nutzung von Ersatzstoffen im Deutschen Reich und im verbündeten Österreich-Ungarn nie zuvor gekannte Dimensionen. Ersatzstoffe wurden damals nicht nur von den ärmeren Bevölkerungsschichten verwendet, sondern notgedrungen von jedermann. Ganze Industriebranchen produzierten und nutzen sie.[65] Diese Hochkonjunkturphase der Ersatzstoffe steht im Fokus dieses Sammelbandes. Etliche Aufsätze gehen freilich zeitlich darüber hinaus und verfolgen die Geschichte eines Ersatzstoffs bis 1945, dem Ende der zweiten aufrüstungs- und kriegsbedingten Autarkiephase im Deutschland des 20. Jahrhunderts. Die Leitfrage der hier vorgelegten Forschungsbeiträge ist, welche langfristigen Folgen die Ersatzstoffforschung und -nutzung im Deutschen Reich hatte. Waren die Ersatzstoffe, die dort während des Ersten Weltkriegs und der nationalsozialistischen Diktatur genutzt und entwickelt wurden, tatsächlich nur Behelfslösungen, die, so Wengenroths These, nach der Etablierung wirtschaftlicher »Normalbedingungen« wieder verschwanden? Oder gingen von den damals entwickelten Ersatzstoffen zumindest in Einzelfällen längerfristig wirksame Impulse aus und wenn ja, welche? Gerieten bisher kaum beachtete Rohstoffe, Neben- oder Abfallprodukte ins Visier, deren Potential erstmals umfassender eruiert wurde? Wurden neue Forschungsgebiete erschlossen? Führte die damalige Ersatzstoffforschung gar zu Produkt- oder Verfahrensinnovationen, die sich langfristig etablieren und behaupten konnten?

Da die kriegsbedingte Umlenkung der etablierten Stoffströme nicht nur Auswirkungen auf die deutsche Wirtschaft, sondern gleichermaßen auf die der Alliierten hatte, kamen Ersatzstoffe auch in anderen Ländern zum Einsatz.[66] Im ressourcenarmen Deutschen Reich, das durch die unmittelbar nach Kriegsbeginn verhängte britische Seeblockade von den internationalen Märkten abgeschnitten wurde, spielten sie jedoch eine besonders wichtige Rolle. Hier waren schon vor Kriegsausbruch staatliche, wirtschaftliche und wissenschaftliche Strukturen geschaffen worden, die sich dazu eigneten, die Import-

64 Ein Vergleich zwischen vielen im Ersten Weltkrieg als Lack-, Farbstoff-, Textil-, etc. oder Lebensmittelersatz genutzten Stoffen und den in den einschlägigen Handbüchern der Materialwaren- und Rohstoffkunde aus dem 19. Jahrhundert genannten Mitteln zeigt diese Kontinuitäten sehr deutlich, vgl. z. B. Blumenbach, Handbuch, 1846.

65 Zur Ersatzstoffnutzung in Österreich-Ungarn vgl. Weitensfelder, Kriegsware, 2013, S. 172–179; Weitensfelder, Metalle, 2014.

66 Dieser wichtige Aspekt konnte im vorliegenden Sammelband leider nicht verfolgt werden. Vgl. aber z. B Homburg, Fronts, 2006, S. 131. Die niederländische Farb- und Sprengstoffindustrie nutzte während des Ersten Weltkriegs das für sie leicht zugängliche, aus Niederländisch-Indonesien importierte Borneo-Öl als Rohstoffquelle zur Gewinnung aromatischer Verbindungen. Zur Wirkung des Ersten Weltkriegs auf die chemische Industrie in den Niederlanden im Allgemeinen vgl. Homburg, Wereldoorlog, 2000. Auch im Zweiten Weltkrieg wurden außerhalb des Deutschen Reichs Ersatzstoffe verwendet, vgl. z. B das Kapitel über Lederaustauschstoffe im Ausland, Fischer, Lederaustauschstoffe, 1942, S. 166–168.

Abb. 8 Die Broschüre aus dem Jahr 1912 forderte die Autofahrer dazu auf, Benzol aus deutscher Kohle statt Benzin aus importiertem Erdöl zu tanken.

abhängigkeit des Landes durch Entwicklung von Ersatzstoffen und materialsparenden Technologien zu verringern.[67] Denn an der Wende zum 20. Jahrhundert hatten die zunehmenden internationalen Spannungen wiederholt Überlegungen initiiert, wie sich das Reich von importabhängigen Rohstoffen (Kautschuk, Erdöl, Baumwolle, Graukalk, Asbest, Häuten, Gerbstoffen etc.) unabhängiger machen könnte (Abb. 8).

Mit eben diesen Fragen beschäftigten sich auch prominente Wissenschaftler in Deutschland. Zusammen mit Kollegen, Industriellen und der preußischen Ministerialbürokratie entwickelte der einflussreiche Berliner Ordinarius und Chemie-Nobelpreisträger Emil Fischer (1852–1919) das Projekt einer staatlich-industriell mischfinanzierten,

67 Bruch/Kaderas, Wissenschaften, 2002; Flachowsky, Notgemeinschaft, 2008.

außeruniversitären Forschungseinrichtung.[68] Diese Aktivitäten führten 1911 zur Gründung der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft mit folgenden vor, während und unmittelbar nach dem Ersten Weltkrieg gegründeten, im weitesten Sinne chemisch arbeitenden Kaiser-Wilhelm-Instituten (KWI): dem KWI für Chemie (1911), dem KWI für physikalische Chemie und Elektrochemie (1911), dem KWI für Kohlenforschung (1912), dem KWI für experimentelle Therapie (1912, 1922 erweitert zum KWI für experimentelle Therapie und Biochemie, das 1925 in zwei Institute getrennt wurde), dem KWI für Eisenforschung (1917), dem KWI für Faserstoffchemie (1920), dem KWI für Metallforschung (1921), dem KWI für Lederforschung (1921) und dem KWI für Silikatforschung (1926). Die Arbeiten im KWI für Kohlenforschung, in dem über die Gewinnung von Brenn- und Schmierstoffen aus heimischer Braun- und Steinkohle gearbeitet wurde, waren im Ersten Weltkrieg in besonderem Maße auf Ersatzstoffforschung ausgerichtet.[69]

Vor Kriegsausbruch waren sich nur wenige Experten darüber im Klaren, wie groß die Importabhängigkeit des Landes war und in welchem Ausmaß die »Eigenproduktion« des Deutschen Reichs lediglich eine »Veredelung eingeführter Rohstoffe« darsrellte.[70] Weil allgemein von einer kurzen Kriegsdauer ausgegangen wurde, waren keine Rohstoffvorräte angelegt worden, so dass die britische Seeblockade bereits in den ersten Kriegswochen Wirkung zeigte. Der Industrielle Walther Rathenau (1867–1922) machte als erster auf die Folgen des Rohstoffmangels aufmerksam; daraufhin wurde er von August 1914 bis März 1915 mit Aufbau und Leitung der Kriegsrohstoffabteilung (KRA) im Preußischen Kriegsministerium betraut, die die zentrale Rohstoffbewirtschaftung organisieren sollte. Für alle wichtigen Rohstoffe wurden Kriegsrohstoffgesellschaften gegründet, etwa eine Kriegschemikalien-Aktiengesellschaft, eine Kriegsmetall-Aktiengesellschaft, eine Kriegsleder-Aktiengesellschaft usw. Nur sie durften Rohstoffe kaufen beziehungsweise requirieren und an Unternehmen abgeben.[71] Ein anderer Weg der Rohstoffsicherung bestand darin, dass Staat und Industrie Verträge über den Bau neuer Produktionsanlagen für kriegswichtige Stoffe abschlossen, in denen der Staat dem jeweiligen Unternehmen Kredit-, Abnahme- und Preisgarantien zusicherte. Da der Staat Ersatz für importabhängige Rohstoffe benötigte und die Firmen wegen der kriegsbedingt wegbrechenden Exporte wiederum den Staat als Abnehmer brauchten, waren sie für beide Partner von Vorteil. Das Abkommen zwischen der Reichsregierung und der BASF über den Bau eines neuen Ammoniakwerks im mitteldeutschen Merseburg, in dem Ammoniak und die kriegswichtige Salpetersäure hergestellt wurden, ist das bekannteste Beispiel für eine solche win-win-Situation.

Aus Pflichtgefühl und Patriotismus stellten viele Naturwissenschaftler und Ingenieure ihre Fachkenntnisse und Kompetenzen schon kurz nach Kriegsbeginn in den Dienst des Vaterlands. Angesichts der angespannten Rohstoffsituation machten sie auf Kompen-

68 Zu Emil Fischers Kriegstätigkeit vgl. bes. Flachowsky, Heeresverwaltung, 2009, S. 107–119.

69 Vgl. Rasch, Geschichte, 1989, S. 63–96.

70 Goebel, Rohstoffversorgung, 1917, S. 3.

71 Zu den Maßnahmen der Kriegsrohstoffabteilung vgl. Goebel, Rohstoffwirtschaft, 1930; Burchardt, Rathenau, 1970.

sationsmöglichkeiten aufmerksam und erarbeiteten Ersatzstrategien. Durch Selbstmobilisierung gelangten namhafte Chemiker wie Emil Fischer, Walther Nernst (1864–1941), Fritz Haber (1868–1934), Carl Engler (1842–1925) oder Hans Bunte (1848–1925) in kriegswichtige Berater- und Managerpositionen, in denen sie eng mit Industrie und Militär kooperierten.[72] Umgekehrt bemühten sich Industrie, Staat und Militär darum, die Natur- und Technikwissenschaften zur Lösung kriegs- und rüstungswirtschaftlicher Probleme zu nutzen. Während des Ersten Weltkriegs wurden zahlreiche Ausschüsse, Gremien und Arbeitsgemeinschaften gegründet. Um einen effizienten Erfahrungsaustausch zu ermöglichen, waren sie mit Zivilisten und Militärs aus verschiedenen Disziplinen und Institutionen besetzt, die gemeinsam an der Lösung kriegs- und rüstungsrelevanter Aufgaben arbeiten sollten. Das sogenannte Hindenburg-Programm von 1916, das eine Vervielfachung der deutschen Rüstungsproduktion anstrebte, führte zu einer Intensivierung der Forschungsanstrengungen. Während des Ersten Weltkriegs verfestigte sich die ansatzweise schon vor 1914 praktizierte Kooperation von Militär, Industrie, Staat und Wissenschaft. Auch die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft stellte sich mit ihren Instituten weitgehend in den Dienst kriegsrelevanter Forschung.

Stoffflüsse

Der »Rohstoff-Stammbaum« der wichtigsten chemischen Industrien aus dem »Lehrbuch der Chemischen Technologie« von Hermann Ost (1852–1931) (Abb. 9, Abb. 10) zeigt, dass es in der Regel mehrere Möglichkeiten gibt, um bestimmte Substanzen oder Materialien zu synthetisieren – die Stoffströme in der chemischen Industrie können also in gewissem Umfang »umgelenkt« werden.[73]

Allerdings stößt diese Flexibilität an ihre Grenzen, wenn viele unverzichtbare Rohstoffe, Substanzen oder Materialien gleichzeitig nicht oder nicht mehr in genügendem Umfang zur Verfügung stehen. Genau diese Situation trat während des Ersten Weltkriegs im Deutschen Reich ein, das bei den meisten Metallen (Kupfer, Blei, Zinn, Mangan, Nickel, Wolfram, Chrom, Vanadium, Molybdän, Antimon, Quecksilber, Platin), Energierohstoffen (Erdöl), Nahrungsmitteln (Getreide, Ölsaaten, Fleisch, etc.), vielen organischen Rohstoffen (Kautschuk, Häuten, Därmen, Gerbstoffen, pflanzlichen Ölen, Baumwolle, Wolle, Seide, Flachs, Jute, Hanf, Sisal, etc.), aber auch bei etlichen anorganischen Rohstoffen (Asbest, Phosphat, Glimmer, Graphit, Flußspat, Schwefel, etc.) teilweise oder vollständig von Importen abhängig war.

Der Rohstoffmangel hatte unliebsame Dominoeffekte zur Folge: Wurden knappe Stoffe durch reichlicher vorhandene ersetzt, entstanden zwangsläufig an anderer Stelle Engpässe, die ihrerseits geschlossen werden mussten. Letztlich erforderte die Kriegswirt-

72 Zum Aufstieg des modernen Wissenschaftsmanagers im Ersten Weltkrieg, der als Mediator zwischen Industrie, Staat und Militär agierte, vgl. Flachowsky, Krisenmanagement, 2010, und die dort angegebene Literatur. Zur Rolle von Hans Bunte und Carl Engler s. auch den Aufsatz von Manfred Rasch in diesem Band.

73 Ost, Lehrbuch, 1914, S. 4, und die nachfolgende Tafel.

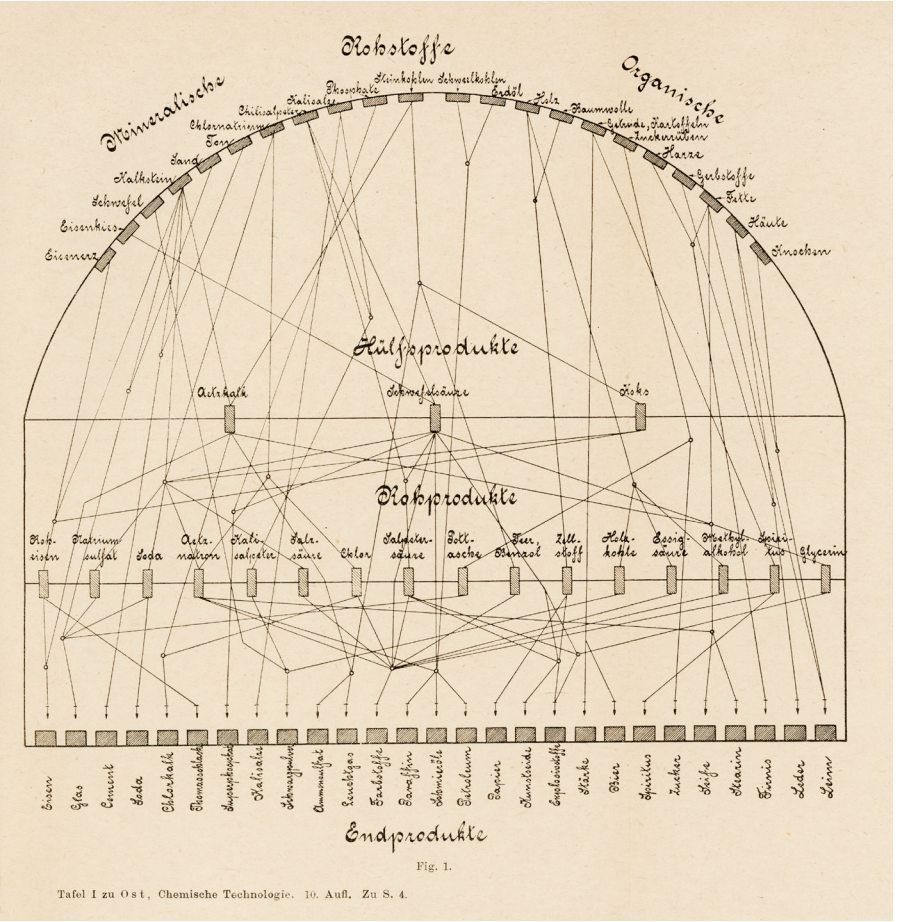


Fig. 1.

Tafel I zu Ost, Chemische Technologie. 10. Aufl. Zu S. 4.

Abb. 9 Hermann Osts Rohstoff-Stammbaum zeigt, dass aus einer begrenzten Zahl anorganischer und organischer Rohstoffe verschiedene Endprodukte hergestellt werden können, wobei jedes auf mehreren Wegen erhalten werden kann, 1914. In der Online-Version dieser Ausgabe ist die Beschriftung dieser Grafik gut lesbar.

schaft also die Neujustierung aller Material- und Energierohstoffströme. Die Konkurrenz mehrerer Branchen um die gleichen Rohstoffe soll an einigen Beispielen illustriert werden: Der während des Ersten Weltkriegs auftretende Baumwollmangel traf keineswegs nur die Textilindustrie. Da die Produktion von Schieß- und Sprengstoffen, von photographischen Filmen und Celluloid ebenfalls Cellulose (bzw. Nitrocellulose) benötigte, wurden auch diese Industrien in Mitleidenschaft gezogen. Zwar ließ sich die hochreine Baumwollcellulose in gewissen Grenzen durch Zellstoff aus heimischem Holz substituieren, wegen der vielen im Zellstoff enthaltenen Verunreinigungen (Harze, Gummi,

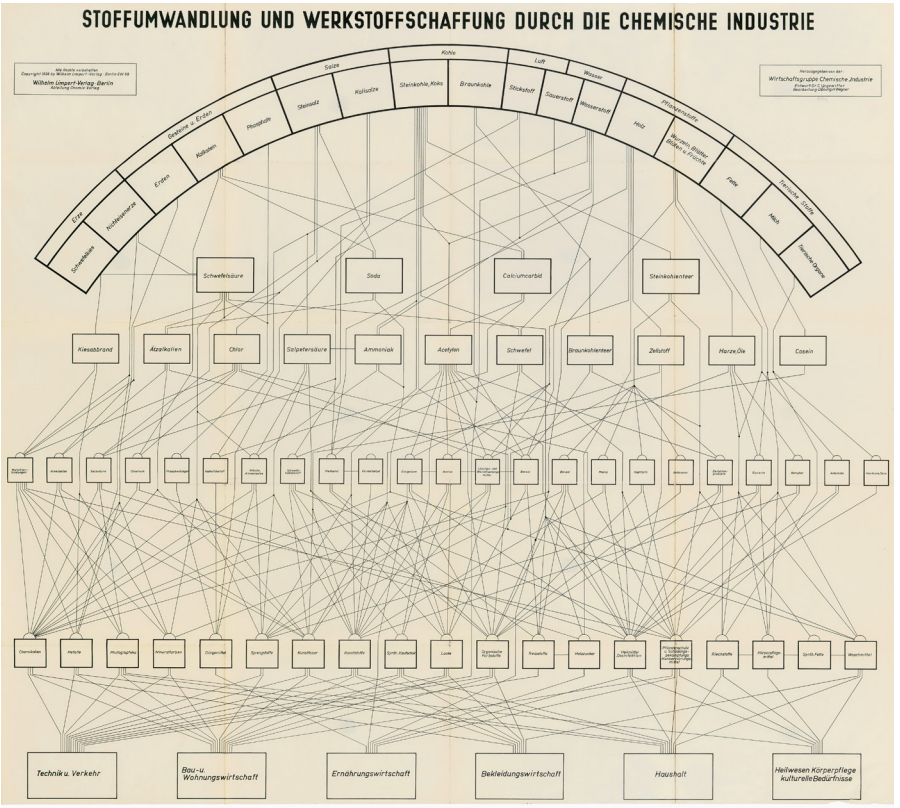


Abb. 10 Osts Rohstoff-Stammbaum wurde im »Dritten Reich« zu einer vielfach abgebildeten Bildikone. Sie transportierte die Botschaft, dass mit Hilfe chemischer Reaktionen letztlich alle Substanzen aus wenigen Rohstoffen hergestellt werden können. In der Online-Version dieser Ausgabe ist die Beschriftung dieser Grafik gut lesbar.

Fette, Lignin, etc.) entstanden dadurch allerdings neue Probleme, die ihrerseits gelöst werden mussten.[74]

Gleichermaßen beeinträchtigte der eklatante Fettmangel nicht nur die Nahrungsmittelversorgung, sondern verknappte auch das kriegswichtige Glycerin, von dessen Verfügbarkeit die Produktion von Schieß- und Sprengstoffen auf Nitroglycerin-Basis abhing. Da Glycerin zudem zur Herstellung von Arzneimitteln und Seifen benötigt wurde, hatte der Fettmangel auch für die pharmazeutische und die Seifen- und Waschmittelindustrie erhebliche Konsequenzen.

74 Während des Ersten Weltkriegs wurde in Deutschland zur Herstellung von Nitrocellulose ausschließlich Holzzellstoff verwendet, vgl. Bonwitt, Celluloid, 1933, S. 26. Dies wurde erst 1924, nach der Inflation, aufgegeben.

Ähnlich komplexe Folgen hatte der Kupfermangel, der sich nicht nur in der Elektrotechnik und auf die Herstellung wichtiger Legierungen, sondern auch im Pflanzenschutz auswirkte. Eine damals viel verwendete Gruppe von Pestiziden, etwa die Kupfervitriolkalkbrühe, war nämlich kupferhaltig. Die Erkenntnis, dass die deutsche Landwirtschaft dringend Insektizide benötigte, die sich aus heimischen Rohstoffen herstellen ließen, stimulierte die Suche nach neuen Wirkstoffen.[75] Dies führte einerseits zur Nutzung der im Reich leicht verfügbaren Chlor- und Arsenverbindungen im Pflanzenschutz, andererseits zum Versuch, die Wirkstoffe einiger bislang importierter pflanzlicher Insektizide – vor allem von Pyrethrum und Derris[76] – synthetisch herzustellen. Der spätere Chemie-Nobelpreisträger Hermann Staudinger (1881–1965) hatte schon 1910/11 begonnen, die Wirkstoffe des aus einer Chrysanthemen-Art (Pyrethrum) gewonnenen Insektenpulvers zu bestimmen, das das Deutsche Reich bislang vor allem aus Japan importiert hatte.[77] Seinen Plan, erst die Struktur der insektiziden Stoffe zu ermitteln und sie dann zu synthetisieren, konnte Staudinger aber nur teilweise realisieren, da sich schon die Strukturaufklärung als unerwartet schwierig erwies. Er gab das Thema daher in den 1920er Jahren auf. Doch schon ein Jahrzehnt später wurde es von US-amerikanischen und britischen Wissenschaftlern wiederaufgegriffen und weiterverfolgt. Staudingers Projekt zeigt, dass die Suche nach Ersatz durchaus neue, zukunftsfähige Forschungsgebiete eröffnen konnte. Da die Komplexität der Probleme und damit der Zeitaufwand jedoch völlig unterschätzt worden waren, kam das erste synthetische Pyrethroid, das Allethrin, erst 1950 auf den Markt.[78]

Fallbeispiel Textilfasermangel

Infolge des Fasermangels war im Ersten Weltkrieg die Textilversorgung von Bevölkerung und Armee nicht mehr gesichert. An dieser Mangelsituation lässt sich gut zeigen, dass wegen der unzulänglichen Kriegsvorbereitung im Wesentlichen minderwertige Ersatzstoffe aus dem langen 19. Jahrhundert genutzt werden mussten.

1. Die wichtigste Strategie zur Kompensation des Textilfasermangels bestand im Rückgriff auf ein schon seit Ende des 19. Jahrhunderts bekanntes Surrogat, dem aus heimischer Holzcellulose produzierten Papiergarn (Abb. 11, Abb. 12). Dieses war vor dem Ersten Weltkrieg nur für gewerbliche Zwecke verwendet worden, beispiels-

75 Erschwerend wirkte, dass zur Schädlingsbekämpfung neben Kupfersulfat auch der importabhängige Schwefel benötigt wurde, der jedoch für militärische Zwecke (Schießpulverherstellung) requiriert worden war.

76 Unter Derris versteht man die gemahlenen Wurzeln einiger tropischer Schmetterlingsblütler, die wegen ihres Gehalts an giftigem Rotenon und anderen Rotenoiden als Schädlingsbekämpfungsmittel verwendet wurden. Das von den Eingeborenen Malaysias seit altersher zum Fischfang verwendete Rotenon ist eine kompliziert gebaute Verbindung, deren Konstitution vom nachmaligen Chemie-Nobelpreisträger Adolf Butenandt (1903–1995) im Rahmen seiner 1927 beim Chemie-Nobelpreisträger Adolf Windaus (1876–1959) abgeschlossenen Dissertation ermittelt wurde. Die Konstitutionsermittlung war die Voraussetzung für die Synthese des Wirkstoffs.

77 Staudinger, Arbeitserinnerungen, 1961, S. 55–59.

78 Roth/Vaupel, Pyrethrum, 2017, S. 175, S. 177.

Beilage der „Kunststoffe".

Zeitschrift für Erzeugung und Verwendung veredelter oder chemisch hergestellter Stoffe.

Mit Unterstützung hervorragender Fachleute herausgegeben von Dr. Rich. Escales, München O. 8, Trogerstraße 15.

Bezugspreis jährlich für das Deutsche Reich und Österreich-Ungarn Mk. 20.–, fürs Ausland Mk. 22.–.

Verlag: J. F. Lehmann, München, Paul-Heysestraße 26.

Papiergarne, hergestellt nach Jagenberg'schem Spinn-Verfahren auf Spezial-Maschinen der Firma
Ferd. Emil Jagenberg, Maschinenfabrik, Düsseldorf

lüstriert lüstriert

Papiergewebe, hergestellt aus Papiergarn

Taffet Panama Saccolin (siehe Rückseite des Gewebes) Köper geprägt

Wandbespann-Stoffe
geliefert von der Firma Carl Reininghaus, mechanische Weberei, Pattscheid

Abb. 11 Verschiedene Papiergarn-Muster aus dem Jahr 1914.

Abb. 12 Proben von cellonierten, das heißt mit Celluloseacetatlacken überzogenen Papiergeweben aus der Zeit des Ersten Weltkriegs. Die Objekte zeigen, dass auch Schuhsohlen, Bindfäden, Schnürsenkel oder Treibriemen aus dem für diese Zwecke ungeeigneten Material hergestellt werden sollten, das hier als Leder-, Hanf-, Jute- und Baumwollersatz diente.

weise zur Herstellung von Säcken.[79] Dass das schlecht waschbare, kratzige Material nun auch zur Produktion von Bekleidung und Heimtextilien genutzt wurde, stieß bei der Bevölkerung auf Ablehnung. Die Aversion gegen diesen minderwertigen Ersatzstoff war so groß, dass Papiergarn und -gewebe in Deutschland nach Kriegsende, zumindest in der Bekleidungsindustrie, lange keine Marktchancen mehr hatten (Abb. 13).[80]

Für die seit 1917 hergestellten Lloyd-Loom-Möbel in Korb-Optik wird das feste, aber flexible Papiergarn wegen seiner Materialeigenschaften und seines Preises allerdings bis heute verwendet. Der Hersteller, der US-Amerikaner Marshall Burns Lloyd (1858–1927), war nach dem Kriegseintritt der USA dazu übergegangen, Papiergarn statt des nicht mehr importierten Rattans oder Bambusses zu verwenden. Nach Kriegsende blieb er bei dem für diesen speziellen Anwendungszweck gut brauchbaren, kostengünstigen Material. Dessen einziger Nachteil bestand in einer möglichen Schimmelbildung, die durch Aufbringung einer Imprägnierung allerdings gebannt werden konnte. Die Papiergarnbespannung der Lloyd-Loom-Möbel ist damit ein Beispiel für die Weiterverwendung eines unzulänglichen, in einem speziellen Bereich jedoch durchaus zweckmäßigen Ersatzstoffs.[81]

2. Auch die zweite Strategie, die Verwendung einheimischer Faserstoffe, stellte einen Rückgriff auf bereits im 19. Jahrhundert genutzte inländische Faserpflanzen wie Brennnesseln, Hopfenranken, Rohrkolbenschilf, Ginster oder Torf dar. Besonders wichtig waren die als »deutsche Baumwolle« titulierten Brennnesseln, die von Kindern und Frauen gesammelt und bei eigens eingerichteten Nessel-Sammelstellen abgegeben werden sollten. Quantitativ spielte die Verwendung einheimischer Ersatzfasern aber nur eine untergeordnete Rolle (Abb. 14).[82]
3. Das Recycling von Altfasern, besonders die Nutzung der aus Alttextilien und Lumpen gewonnenen Reißwolle, war ebenfalls ein Rückgriff auf einen Ersatzstoff aus dem 19. Jahrhundert.
4. Die größten Erwartungen waren mit der vierten, zukunftsweisenden Strategie verknüpft, dem Ausbau der im Deutschen Reich ab 1899 betriebenen Kunstseideproduktion, d. h. der Herstellung halbsynthetischer Fasern aus heimischer Holzcellulose.[83] Wegen der mangelhaften Versorgung mit Rohstoffen, Basischemikalien

79 Vgl. Schmidt-Bachem, Unterhosen, 2007; Rohn, Papiergarn, 1918, S. 97. Ebd. sind zwischen S. 96/97 und S. 112/113 Proben von Papiertextilien eingebunden, so dass deren Qualität haptisch geprüft werden kann; Schmidt-Bachem, Papier, 2011, S. 637–661.

80 Schmidt-Bachem, Papier, 2011, S. 657.

81 Curtis, Loom, 1999, S. 7. Bemerkenswert ist, dass Möbel mit Papiergarnbespannung heute zum Luxussegment gehören. Insofern hat die Nutzung des einstigen Kriegsersatzstoffs Papiergarn in diesem speziellen Anwendungsgebiet eine ähnlich erstaunliche Entwicklung genommen wie im Fall der weiter unten thematisierten, heute zu Life-style-Produkten aufgewerteten Ei-Ersatzmittel.

82 Blumenbach, Handbuch, 1846, S. 148–149; Johannsen, Faserstoffe, 1948, S. 83–89.

83 Holzcellulose ist im Gegensatz zur langfaserigen (langstapeligen) Baumwollcellulose kurzfaserig, so dass sie nicht wie Baumwollcellulose verarbeitet werden kann.

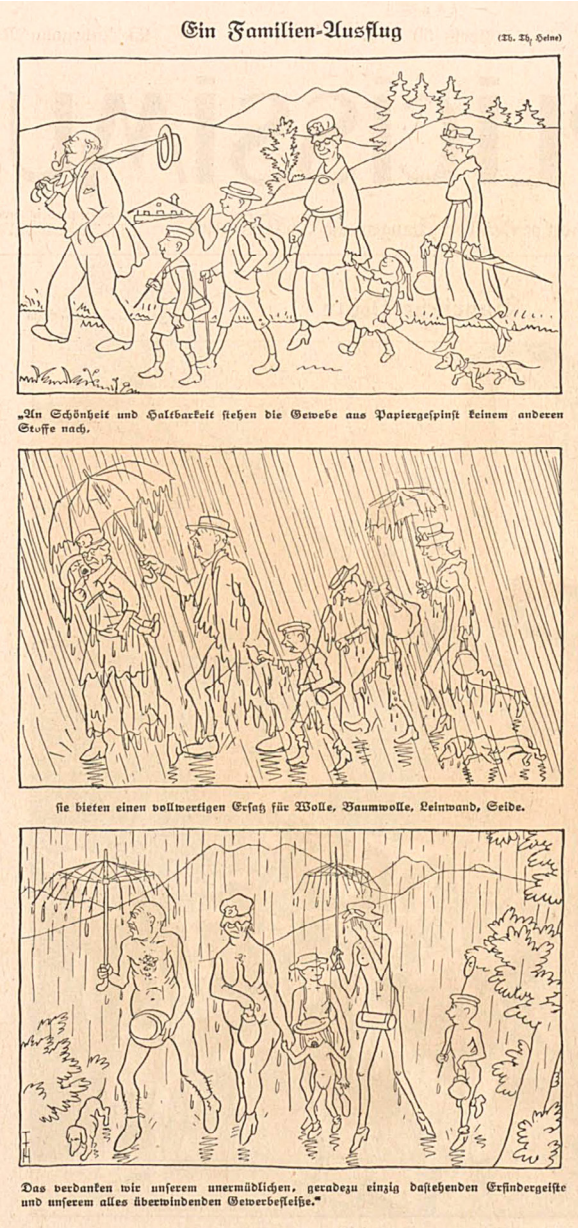


Abb. 13 Die Karikatur aus der Satirezeitschrift »Simplicissimus« (1918) thematisiert, dass Papierkleidung nicht nur unbequem, sondern auch nicht wasserfest und damit schlecht waschbar war.

Abb. 14 Aufruf zur Sammlung von Brennnesseln als Ersatz-Textilfaser, 1918.

Abb. 15 Werbung für die Wiedergewinnung teurer Lösungsmittel, 1919.

und Kohle wurde allerdings weitaus weniger Kunstseide produziert als geplant, so dass ihr Anteil an der deutschen Faserproduktion im Ersten Weltkrieg gering blieb.[84] Auch eine aus der unmittelbaren Vorkriegszeit datierende Innovation konnte trotz aller Anstrengungen kaum genutzt werden: die Herstellung der Stapelfaser, einer auf Baumwoll- oder Wollfaserlänge zerschnittenen Endlosfaser aus Viskose, die sich zu einem lockeren, wärmenden Garn verspinnen ließ.[85] Erst in den frühen 1930er Jahren erreichten die Verfahrensentwicklungen dank intensivierter Forschungsanstrengungen ein Stadium, das die großtechnische Herstellung der Zellwolle erlaubte.[86]

84 Zachmann, Entwicklung, 1985, S. 66.

85 Zart, Geschichte, 1935. Die erste Zellwolle wurde in den Jahren 1919 bis 1921 bei der Köln-Rottweil AG in der früheren Pulverfabrik Premnitz entwickelt und in die Textiltechnik eingeführt.

86 Vgl. dazu Plumpe, IG Farbenindustrie, 1990, S. 306–318; Bluma, l'ersatz, 2004, S. 126. Zur Stapelfaser vgl. auch Hottenroth, Kunstseide, 1931, S. 24.

5. Der Textilfasermangel im Ersten Weltkrieg führte zudem zur langfristig folgenreichen Erkenntnis, die einschlägige Forschung zu intensivieren. Im Jahr 1917 wurde vorgeschlagen, ein der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft unterstelltes Forschungsinstitut für Faserstoffe ins Leben zu rufen, das sich mit Grundlagenforschung beschäftigen und anwendungsbezogene Faserforschung unterstützen sollte.[87] Das KWI für Faserstoffchemie wurde allerdings erst 1920 gegründet und 1934 wieder geschlossen.[88]

Nur die beiden letztgenannten Ansätze, die Weiterentwicklung der im Ersten Weltkrieg erst ansatzweise nutzbaren, innovativen Stapelfaser sowie die Intensivierung der Faserstoff- und Polymerforschung waren, wie sich Ende der 1920er und zu Beginn der 1930er Jahre zeigte, zukunftstauglich. Um die große Importabhängigkeit auf dem Gebiet der Textilrohstoffe zu verringern und einen ähnlichen Mangel wie im Ersten Weltkrieg zu vermeiden, forcierte die NS-Regierung den Ausbau der Kunstfaserindustrie mit staatlichen Mitteln.[89] Im Jahr 1938 wurde das KWI für Bastfaserforschung gegründet, so dass die für die nationalsozialistische Autarkiepolitik wichtige Textilforschung eine neue institutionelle Basis erhielt.

Die im Ersten Weltkrieg beschrittenen Wege zur Linderung des damaligen Rohstoffmangels lassen sich also auf folgende Kurzformel bringen: Nutzung einheimischer Rohstoffe; Auslotung von Einsparmöglichkeiten; verstärktes Recycling; Ausweichen auf Ersatz; Lenkung des Verbraucherverhaltens; Verwendungsverbote.

Selbstverständlich gab es schon vor dem Ersten Weltkrieg Bemühungen um Materialeinsparung oder die Wiederverwertung bereits genutzter Stoffe. Durch den kriegsbedingten Rohstoffmangel erhielten sie allerdings deutliche Impulse. Dies soll an einem Beispiel illustriert werden: Bei der Wiedergewinnung wertvoller Lösungsmittel, die nicht nur im Deutschen Reich, sondern auch im Ausland forciert wurde, wirkte der Krieg als Fortschrittsmotor. In den französischen Pulverfabriken wurden von Oktober 1917 bis November 1918 mehrere Millionen Liter Ether und Ethanol durch Auswaschen der Abluft wiedergewonnen. Im Deutschen Reich ließ sich die Firma Bayer in Leverkusen 1916 ein Verfahren patentieren, mit dem das kriegswichtige Aceton durch Adsorption an Aktivkohle und anschließende Austreibung der Dämpfe wiedergewonnen werden konnte.[90] Diese Technologien wurden nach Kriegsende optimiert, weil sie die Produktionskosten senkten (Abb. 15).[91]

87 Zachmann, Industrieentwicklung, 1984, S. 52; Löser, Gründungsgeschichte, 1991, S. 74–75; Löser, Gründungsgeschichte, 1996.

88 Heim, Kalorien, 2003, S. 84–91; Luxbacher, Roh- und Werkstoffe, 2004, S. 6.

89 Plumpe, IG Farbenindustrie, 1990, S. 312–318.

90 Vgl. hierzu Hausbrand, Wiedergewinnung, 1923, S. 81–82; Herbert, Wiedergewinnung, 1932, S. 499–504. Speziell zum Bayer-Verfahren vgl. Reisemann, Dämpfegewinnung, 1934, S. 27–49.

91 Siehe besonders den Aufsatz von Andreas Zilt in diesem Band. Dort werden Strategien zur Einsparung von Mangan vorgestellt, die nach Ende des Ersten Weltkriegs beibehalten wurden.

Wenig wirklich neue Ersatzstoffe

Nur in Ausnahmefällen wurden Ersatzstoffe erst während des Kriegs ganz neu und in brauchbarer Qualität entwickelt. Ein Beispiel dafür ist die Synthese des Kunstpfeffers. Dieser bestand aus einer synthetisch hergestellten, dem Scharfstoff des importabhängigen Pfeffers strukturell ähnlich gebauten Verbindung, die aus heimischer Kohle hergestellt und auf indifferent schmeckende Matrixmaterialien aufgebracht wurde (Abb. 16).

Da der Scharfstoff des Pfeffers eine relativ einfach gebaute Verbindung ist, konnte eine homologe Substanz in kurzer Zeit synthetisiert werden.[92] Die Herstellung des Kunstpfeffers war ein kurzlebiger Notbehelf, der nur im »Dritten Reich« nochmals Bedeutung erlangte, um Devisen für den Import ausländischen Pfeffers zu sparen. Als nach Ende des Zweiten Weltkriegs wieder das qualitativ bessere Naturprodukt importiert werden konnte, spielte er zumindest in Westdeutschland keine Rolle mehr. Die Geschichte des Ersatzpfeffers bestätigt Wengenroths Behauptung, dass die Nutzung heimischer Rohstoffe zur Entwicklung »zweitklassiger« Ersatzstoffe geführt habe. Doch obwohl weder vom Kunstpfeffer noch von den anderen Kunstgewürzen nennenswerte Impulse für die chemische Forschung beziehungsweise die Entwicklung innovativer Produkte ausgingen, hatte die zeitweilige Nutzung dieser Ersatzprodukte langfristige Konsequenzen. Die deutschen Verbraucher gewöhnten sich wegen der kriegsbedingt verwendeten Kunstgewürze und des Verzehrs etlicher künstlich aromatisierter Ersatzlebensmittel an den Geschmack synthetischer Fruchtaromen und anderer künstlicher Geschmacksstoffe (Abb. 17). Erst in den späten 1950er Jahren begannen sie solche Zusatzstoffe kritisch zu hinterfragen.[93]

Ein weiteres Beispiel für eine der seltenen, tatsächlich erst während des Ersten Weltkriegs konzipierten Ersatzstoff-Synthesen ist die des Ethylenglykols (meist als Glykol abgekürzt), eines zweiwertigen Alkohols, der chemisch ähnlich gebaut ist wie der dreiwertige Alkohol Glycerin.[94] Wegen dieser Ähnlichkeit sollte das Glykol das wegen des Fettmangels nur noch eingeschränkt verfügbare, zur Herstellung von Nitroglycerin (Dynamit) unverzichtbare Glycerin ersetzen. Die Überführung der von Friedrich Bergius (1884–1949) entwickelten, im Labormaßstab funktionierenden Glykol-Synthese in die Technik war wegen des kriegsbedingten Material- und Arbeitskräftemangels schwierig.[95]

92 Allerdings floss auch bei der Konzeption dieser Synthese bereits in der Vorkriegszeit erarbeitetes Vorwissen ein. Die chemische Konstitution des Pfefferscharfstoffs, des Piperins, war nämlich bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts bekannt, so dass eine Leitstruktur zur Herstellung einer homolog gebauten Substanz vorhanden war.

93 Stoff, Gift, 2015.

94 Die Bezeichnung »Glykol« setzt sich aus Glycerin und Alkohol zusammen. Durch diese Bezeichnung sollte die Zwischenstellung dieses zweiwertigen Alkohols zwischen dem dreiwertigen Alkohol Glycerin und dem einwertigen Alkohol Ethanol ausgedrückt werden.

95 Bergius war von 1914 bis 1919 bei der Firma Th. Goldschmidt in Essen angestellt. Laborsynthesen für Ethylenglykol waren schon seit Mitte des 19. Jahrhundert bekannt, eine industrielle Synthese gab es vor dem Ersten Weltkrieg aber noch nicht, vermutlich weil der Bedarf an der Chemikalie, die vor dem Krieg nur zur Herstellung wissenschaftlicher Präparate und Arzneimittel verwendet wurde, zu unbedeutend war. Erst im und durch den Ersten Weltkrieg stieg der Glykolbedarf signifikant an. Bergius' Synthese ging vom Ethylen aus und ist damit ein Beleg für den durch den Ersten Weltkrieg katalysierten Aufstieg der industriellen aliphatischen Chemie, vgl. Cohn, Äthylalkohol, 1915, S. 9–10; Cohn, Äthylenalkohol, 1928, S. 754–755.

Abb. 16 Tütchen mit Pfeffer-Ersatz aus der Zeit des »Dritten Reichs«, August 1944.

Deutsches Reich. Runderlaß des Reichs- und Preußischen Ministers des Innern, betr. Verwendung von **Vanillin** und **Aethylvanillin** bei der Herstellung von Lebensmitteln.

Vom 20. Mai 1935. (IV b 4874/35.)

1. Im Rundschreiben v. 26. 7. 1934 — II 3015/17. 7 a[3]) (RdErl. v. 20. 11. 1934 — IV b 3984/34, MBliV. S. 1467) zur Durchf. der VO. über Speiseeis v. 15. 7. 1933[4]) (RGBl. I S. 510) hatte ich es, da auf die Einfuhr von Vanille aus wirtschaftlichen Gründen weitgehend verzichtet werden muß, für vorübergehend tragbar erklärt, daß zur Herstellung von Kremeis, Fruchteis, Rahmeis und Eiskrem an Stelle von natürlicher Vanille der künstliche Geschmackstoff Vanillin oder der entsprechende Aethyläther verwendet wird.

2. Da auch weiterhin aus wirtschaftlichen Gründen ein weitgehender Ersatz der Vanille durch künstliche Aromastoffe erforderlich sein wird, und zwar nicht nur für die Herstellung der genannten Speiseeissorten, sondern auch für die Herstellung von Lebensmitteln anderer Art, ist eine einheitliche Regelung der Frage für den gesamten Lebensmittelverkehr erforderlich geworden. Die Verwendung der genannten künstlichen Aromastoffe an Stelle von Vanille ist nicht zu beanstanden. Je nach der Art des verwendeten Aromastoffes muß jedoch das Lebensmittel als »mit Vanillin« oder »mit Aethylvanillin« hergestellt oder ohne unterschiedliche Bezeichnung der beiden künstlichen Aromastoffe durch die Angabe »mit Vanille-Geschmack« oder »mit Vanille-Aroma« kenntlich gemacht werden. Bezeichnungen wie »Vanille-Speiseeis«, »Vanille-Puddingpulver« usw. sind nur für Lebensmittel zulässig, die Vanille enthalten.

3. In Abänderung des eingangs genannten RdSchr. ersuche ich, die mit der Überwachung des Lebensmittelverkehrs betrauten Behörden und Anstalten entsprechend anzuweisen.

Abb. 17 Runderlass des Reichs- und Preußischen Ministers des Innern betr. Verwendung von Vanillin und Äthylvanillin bei der Lebensmittelherstellung. Er sollte den Import der teuren Naturvanille weitgehend überflüssig machen, 20.5.1935.

Die bei der Firma Th. Goldschmidt in Essen gebaute Anlage konnte erst ab 1918 produzieren und auch das nur mit Unterbrechungen.[96] Nach Kriegsende wurde die Synthese aber weitergenutzt. Wegen der zunehmenden Motorisierung war das Glykol, das sich in vielen Fällen anstelle des Glycerins verwenden ließ und als Gefrierschutzmittel für Automobile diente, zu einer gefragten Chemikalie geworden, die die Firma Th. Goldschmidt unter dem Namen Tegoglykol und die IG Farbenindustrie unter dem Namen Glysantin in den Handel brachte.[97] Glykol wird zur Herstellung von Frostschutzmitteln bis heute verwendet. Von einem »zweitklassigen«, aus »ungeeigneten Ressourcen« hergestellten Ersatz kann also nicht die Rede sein.

Zufallsentdeckungen

Auch gescheiterte Projekte, die nie zur Produktion eines bestimmten Ersatzstoffs führten, konnten »nützliche« Folgen haben. Wegen des Mangels an der Schlüsselchemikalie Glycerin wurde während des Ersten Weltkriegs nicht nur nach einem Ersatz*stoff* wie dem Glykol gesucht, sondern auch nach einer Glycerin-Synthese, also nach einem geeigneten Herstellungs*verfahren*. Obwohl dieses Ziel nicht erreicht wurde, waren die Bemühungen keineswegs nutzlos. So arbeitete unter anderem der BASF-Chemiker Fritz Günther (1877–1957) an der Entwicklung einer Glycerin-Synthese.[98] Da die geplante Reaktion misslang, wählte er einen Umweg, bei dem eine bisher unbekannte Verbindung entstand. Da sie wasserlöslich war und schäumte, schien sie ein brauchbarer Seifenersatz zu sein und wurde deshalb patentiert. Bei der Suche nach einer Glycerin-Synthese hatte Günther zufällig das Nekal entdeckt, das erste synthetische Tensid, das ab 1928 eine Schlüsselverbindung bei der Herstellung synthetischer Wasch- und Textilhilfsmittel wurde.[99]

Während des Ersten Weltkriegs wurde zwar keine Glycerin-Synthese gefunden, aber ein biotechnologisches Gewinnungsverfahren zur Praxisreife entwickelt. Schon 1911 war der deutsche Biochemiker Carl Neuberg (1877–1956) der von Louis Pasteur (1822–1895) beschriebenen Beobachtung nachgegangen, dass bei der alkoholischen Gärung immer auch kleine Mengen Glycerin entstehen. Neubergs Entdeckung, dass sich die Glycerin-Bildung durch Zusatz gewisser Chemikalien steigern ließ, wurde zur Grundlage einer

96 Beck, Bergius, 1982, S. 11–12.

97 Cohn, Äthylenalkohol, 1928, S. 754-755.

98 Die Suche nach einer Glycerin-Synthese beschäftigte die Chemiker Jahrzehnte lang. Die erste technisch praktikable Synthese, die 1948 bei Shell Chemical in den USA entwickelt wurde, ging vom Propylen aus, basierte also auf einem petrochemischen Verfahren, vgl. Schweisheimer, Glycerin, 1955.

99 Zum ersten Waschmittel ohne Fettbasis, vgl. Gritz, Mersol, 2013, S. 63. Die Fett- und Seifenknappheit während des Ersten Weltkriegs stimulierte also die Erfindung der ersten synthetischen Waschmittel. Der Name Nekal leitet sich von »netzt kalt« ab, vgl. Nüsslein, Erfindung, 1967, S. 1205; Kling, Waschmittel, 1968, S. 393. Die Suche nach alternativen Waschrohstoffen führte 1941 zudem zur Entwicklung der Arylsulfonsäure, die allerdings erst in der Nachkriegszeit als Standardwaschrohstoff genutzt wurde und insofern die langfristigen Folgewirkungen von Ersatzstoffforschung belegt, vgl. Gritz, Mersol, 2013, S. 137–138.

während des Kriegs im Deutschen Reich aufgebauten Gärungsindustrie.[100] Nach dem sogenannten Protolverfahren wurde Zucker enzymatisch zu Glycerin umgesetzt. Die gesamte Glyceringewinnung in Deutschland und Österreich-Ungarn basierte von 1916 bis 1918 auf diesem unwirtschaftlichen Verfahren, das lediglich von 1935 bis 1945 nochmals genutzt wurde.[101] Auch das Beispiel der biotechnologischen Glyceringewinnung scheint Wengenroths Behauptung zu bestätigen: Wirtschaftlichkeitsüberlegungen spielten angesichts der Kriegssituation keine Rolle. Mit viel Aufwand wurde eine unter Friedensbedingungen unrentable, nur kurzzeitig verwendete Alternative entwickelt. Diese Erfahrung hatte Konsequenzen: Die Unwirtschaftlichkeit der biotechnologischen Glyceringewinnung trug zur folgenschweren Skepsis deutscher Chemiker gegenüber biotechnologischen Verfahren bei.

Pfadabhängigkeiten

Bei der britischen Munitionsproduktion war im Ersten Weltkrieg weniger die Verfügbarkeit des Glycerins kritisch, sondern vor allem die des damals noch durch Holzverkohlung gewonnenen Acetons, das als Quell- und Lösungsmittel bei der Schieß- und Sprengstofffabrikation aus Cellulosederivaten in großem Umfang benötigt wurde.[102] Ein waldarmes Land wie Großbritannien stellte das Aceton in Friedenszeiten aus Calciumacetat (Graukalk) her, das aus waldreichen Ländern wie Österreich-Ungarn, den USA oder Kanada importiert wurde. Als diese Importe nach Kriegsbeginn ausfielen beziehungsweise unsicher wurden, begannen die Briten ab 1915/16 unter Acetonmangel zu leiden. Zur Entschärfung der Krise entwickelte der Chemiker Chaim Weizmann (1874–1952) ein Verfahren zur Produktionsreife, mit dem er sich schon seit 1910 beschäftigt hatte: die biotechnologische Umsetzung von Kohlehydraten, die aus britischen Rosskastanien gewonnen wurden, zu Aceton und Butanol – vorausschauende Bemühungen um die Entwicklung von Ersatz auf der Basis heimischer Rohstoffe gab es also keineswegs nur im Deutschen Reich. Ab 1916 wurde das Weizmann-Verfahren in Großbritannien, Indien und Kanada in großem Umfang genutzt und nach 1918 jahrzehntelang weiterverwendet, wenn auch in erster Linie zur Gewinnung von Butanol (und weniger von Aceton).[103] Als Dank für seine kriegswichtige Leistung wurde dem zionistischen Aktivisten Weizmann vom damaligen britischen Außenminister 1917 in der sogenannten Balfour-Declaration die Schaffung einer Heimstätte für das jüdische Volk in Palästina zugesagt.[104] Bei ihrer biotechnologischen Aceton- beziehungsweise Butanolgewinnung hatten die Briten, die

100 Bud, Leben, 1995, S. 48; Marschall, Schatten, 2000, S. 76–84. Der Name Protol leitet sich von Propantriol ab, der wissenschaftlichen Bezeichnung für den dreiwertigen Alkohol Glycerin.

101 Die Verfügbarkeit des Glycerins hatte für die Rüstungswirtschaft im Zweiten Weltkrieg wegen der Entwicklung neuer Sprengstoffe nicht mehr die gleiche Bedeutung wie im Ersten Weltkrieg.

102 Cohn, Aceton, 1928, S. 106, S. 114; Bud, Leben, 1995, S. 48, S. 57–59.

103 Vgl. hierzu Bunch, Biotechnology, 2014.

104 Kauffman/Mayo, Weizmann, 1994.

sich – anders als die Deutschen – wegen der Verfügbarkeit kolonialer Agrarrohstoffe nach dem Ersten Weltkrieg weiter für mikrobiologische Verfahren interessierten, gelernt, unter sterilen Bedingungen mit Reinkulturen der eingesetzten Bakterienstämme zu arbeiten. Dies kam ihnen in den 1940er Jahren vermutlich bei der Herstellung des Penicillins zugute.[105]

Während des Ersten Weltkriegs wurde auch im Deutschen Reich darauf geachtet, keine Engpässe bei der Acetonversorgung aufkommen zu lassen,[106] zumal dieses Lösungsmittel dort nicht nur zur Quellung der Nitrocellulose, sondern ebenso zur Produktion des Synthesekautschuks benötigt wurde.[107] Da auch hierzulande aus den USA importierter Graukalk genutzt wurde, hatte sich Carl Duisberg (1861–1935) schon vor Kriegsausbruch mit der krisenanfälligen Acetonversorgung beschäftigt und ein biotechnologisches Gewinnungsverfahren prüfen lassen.[108] Da dieses aber nur schlechte Ausbeuten lieferte, entschied er sich für die effizientere chemische Synthese.[109] Ein entsprechendes Verfahren wurde der Firma Bayer 1916 patentiert.[110] Die Sicherstellung der Acetonversorgung war von derart zentraler Bedeutung, dass vor Kriegsausbruch nicht nur bei Bayer, sondern auch in anderen Firmen nach Synthesemöglichkeiten gesucht worden war, seit 1909 beispielsweise bei der Hoechst AG, der Aktiengesellschaft für Stickstoffdünger in Knapsack bei Köln und der Firma Dr. Alexander Wacker.[111] Diese Firmen entwickelten während des Kriegs mit staatlicher Unterstützung Verfahren, die ab 1916/17 in großem Maßstab genutzt wurden.[112] Die Synthesen gingen vom Acetylen aus, das seinerseits aus den heimischen Rohstoffen Kohle und Kalk hergestellt wurde; über die Zwischenstufe des Acetaldehyds wurde es zu Essigsäure und schließlich zu Aceton umgesetzt. Das Verfahren war zwar energieintensiv, machte aber die zuvor aus Holz gewonnenen Industriechemikalien Aceton und Essigsäure erstmals auf dem Syntheseweg aus heimischer Kohle zugänglich.[113] Endverbraucher kamen mit beiden Sub-

105 Hastings, Gärungschemie, 1955, S. 708–710; Bud, Leben, 1995, S. 58; Demain/Solomon, Mikrobiologie, 1984, S. 12–13. Der Grund für die größere Offenheit der Briten gegenüber biotechnologischen Verfahren war, dass es in ihrem Kolonialreich genug agrarische Rohstoffe gab, aus denen sich mit Hilfe von Mikroorganismen Chemikalien gewinnen ließen. Diese Voraussetzung war im Deutschen Reich, das Agrarprodukte einführen musste, nicht gegeben. Es setzte daher auf die chemische Synthese, weil dies den Rohstoffgegebenheiten des Landes besser entsprach, vgl. dazu Hastings, Gärungschemie, 1955; Wieland, Pfadabhängigkeit, 2012.

106 Luxbacher, Entwicklung, 1991/92, S. 254–256; Cohn, Aceton, 1928, S. 106–107.

107 Smolka, Wacker, 1990, S. 257.

108 Marschall, Schatten, 2000, S. 101.

109 Cohn, Aceton, 1928, S. 113.

110 Pechtold, Aceton, 1953, S. 38.

111 Vgl. dazu Bugge, Industrie, 1927, wo die Literatur über die bis dahin verfügbaren Aceton-Synthesen nachgewiesen ist; Pechtold, Aceton, 1953.

112 Dieses Beispiel zeigt, dass es immer sinnvoll ist, mehrere Verfahren zur Gewinnung einer bestimmten Substanz zu kennen. Unter veränderten ökonomischen Bedingungen kann ein bislang unrentables Verfahren schnell zu einer nützlichen Alternative werden. Vgl. Mugdan, Acetaldehyd, 1928, S. 97, und Schema S. 99; Freiesleben, Wandel, 1964, S. 28–30.

113 Es wurde also ein materialintensives durch ein energieintensives Verfahren ersetzt.

stanzen, die keine »zweitklassigen« Ersatzstoffe waren (hier war ja mit Hilfe eines innovativen Verfahrens »Gleiches durch Gleiches« ersetzt worden), nicht in Kontakt, so dass dieser Erfolg nur in der Fachwelt bemerkt wurde. In den beiden letzten Kriegsjahren stabilisierte die neue Synthese nicht nur die deutsche Aceton- und damit auch die Schießpulverproduktion, sondern sicherte auch die Verfügbarkeit der zur Kunstseide- und Acetylcelluloseherstellung benötigten Essigsäure. Dieses Beispiel verdeutlicht die Katalysatorfunktion des Ersten Weltkriegs: Die Kriegssituation sorgte sowohl im Deutschen Reich (vom Acetylen ausgehende Synthese) als auch in Großbritannien (biotechnologisches Verfahren) für bemerkenswerte Verfahrensinnovationen, deren wissenschaftliche Grundlagen allerdings schon vor Kriegsausbruch gelegt worden waren.[114] Den unterschiedlichen Pfaden zur Lösung des gleichen Problems war es geschuldet, dass die Briten während des Ersten Weltkriegs Erfahrungen in der industriellen Mikrobiologie sammeln und ihre biotechnologische Butanol-Aceton-Gärung bis Anfang der 1950er Jahre weiternutzen konnten. Die Deutschen dagegen hatten sich aus guten Gründen gegen ein biotechnologisches Verfahren entschieden und stattdessen eine der Rohstoffsituation ihres Landes besser entsprechende, vom Acetylen ausgehende Synthese entwickelt, von der sie ebenso lange profitierten wie die Briten von ihrem Gärverfahren. Dass sich die Deutschen durch diese seinerzeit vernünftige Entscheidung langfristig von der industriellen Nutzung der hierzulande lange als »Verlierer-Technologie« betrachteten Biotechnologie abkoppelten, während sich die Briten im gleichen Zeitraum nützliche Kenntnisse für Zukunftsentwicklungen erarbeiteten, war damals nicht absehbar, zählt jedoch zu den langfristigen Folgen der während und wegen des Ersten Weltkriegs getroffenen Entscheidungen im Zusammenhang mit der Suche nach Ersatzstrategien.[115] Die deutsche chemische Industrie, besonders die Kunstfaser- und Kunststoffindustrie, profitierte jedenfalls jahrzehntelang von der im und wegen des Ersten Weltkriegs zur industriellen Reife ent-

114 Im und wegen des Ersten Weltkriegs wandte sich die deutsche chemische Industrie, die mit der Synthese von aromatischen Substanzen (der Herstellung von Farbstoffen, Arzneimitteln, Riechstoffen) groß geworden war, erstmals großtechnisch durchgeführten Synthesen aliphatischer Substanzen zu. Diese gingen oft von gasförmigen Verbindungen wie dem Acetylen aus. Die unter hohen Drücken und Temperaturen und unter Anwendung von Katalysatoren durchgeführten Synthesen profitierten vom Know-how, das bei der Entwicklung der Haber-Bosch-Synthese angefallen war. In großem Umfang wurden aliphatische Verbindungen allerdings erst nach dem Ersten Weltkrieg industriell hergestellt. Ein Meilenstein der industriellen Aliphatenchemie war neben der Aceton-Synthese die 1923/24 gelungene Methanol-Synthese, vgl. Plumpe, IG Farbenindustrie, 1990, S. 244–252. Vor allem aber war es den 1928/29 begonnenen Arbeiten des BASF-Chemikers Walter Reppe (1892–1969) über die katalytischen Reaktionen des Acetylens unter hohem Druck zu verdanken, dass seit den 1930er Jahren viele aliphatische Verbindungen in technischen Dimensionen hergestellt werden konnten. Dies war eine wichtige Voraussetzung für die Synthese von Kautschuk, Treibstoffen, Fetten und Kunstfasern, die in der Autarkiewirtschaft des »Dritten Reichs« eine so zentrale Rolle spielten. Dass während des »Dritten Reichs« bessere Ersatzstoffe als während des Ersten Weltkriegs hergestellt wurden, war also nicht nur den seit 1934 forcierten Kriegsvorbereitungen und der Tätgkeit des Reichsamts für Wirtschaftsausbau geschuldet, sondern auch dem zwischenzeitlich erreichten Entwicklungsstand der technischen Chemie.

115 Marschall, Biotechnologie, 1999; Marschall, Schatten, 2000, S. 105–106.

wickelten, innovativen Essigsäure- beziehungsweise Aceton-Synthese,[116] die im Zuge der Umstellung auf petrochemische Verfahren erst ab Anfang der 1950er Jahre nicht mehr genutzt wurde. Wengenroths These von der »Flucht in den Käfig« wird der im Deutschen Reich entwickelten Essigsäure- beziehungsweise Aceton-Synthese nicht gerecht. Bezogen auf die Probleme, die es während des Ersten Weltkriegs zu lösen galt, müsste man sogar von einer »Befreiung aus dem Käfig« sprechen. Der abermalige Erfolg der Synthesechemie trug allerdings dazu bei, dass deutsche Chemiker biotechnologische Verfahren nicht besonders schätzten. Diese wurden nur dann als Alternative betrachtet, wenn eine chemische Synthese zu kompliziert war. Die in Deutschland übliche Bevorzugung chemischer Synthesen machte blind für das Potential biologischer Synthesen, was langfristig zu einem Innovationshemmnis wurde. Deutschland musste seine Defizite auf dem Gebiet der Biotechnologie in den 1970er Jahren mühsam wiederaufholen.[117]

Zivile Folgenutzung

Im Ersten Weltkrieg wurden im Deutschen Reich trotz der reichen deutschen Kohlevorkommen auch gewisse Steinkohleteerinhaltsstoffe wie das Toluol knapp. Die Nachfrage nach dieser Verbindung, die während des Kriegs fast ausschließlich zur Synthese des Explosivstoffs Trinitrotoluol (TNT) verwendet wurde, schnellte derart in die Höhe, dass zusätzlich alternative Explosivstoffe produziert werden mussten, deren Synthese weder das knappe Toluol noch die knappe Salpetersäure erforderten.[118] Solche Substanzen waren bereits vor 1914 entwickelt worden, hatten sich gegenüber dem TNT aus diversen Gründen aber nicht durchsetzen können. Um trotz der Toluol- und Salpetersäure-Knappheit eine ausreichende Verfügbarkeit von Sprengstoffen zu gewährleisten, wurden sie nach Kriegsbeginn als Ersatz genutzt. Die Produktion von Chlorat- und Perchlorat-Sprengstoffen, deren Herstellung auf der Verfügbarkeit des in Deutschland reichlich vorhandenen Chlors basierte, wurde im Ersten Weltkrieg massiv ausgebaut.[119] Als die leicht entzündlichen Verbindungen nach 1918 nicht mehr für militärische Zwecke benötigt wurden, musste ein neuer, ziviler Markt für sie gefunden werden: die Produktion von

116 Vor dem Ersten Weltkrieg war Acetylcellulose wesentlich teurer als Nitrocellulose und konnte sich deswegen nicht in größerem Umfang auf dem Markt durchsetzen. Im Ersten Weltkrieg wurde die Herstellung von Acetylcellulose jedoch massiv ausgebaut, um den Bedarf an Flugzeug- und Zeppelinspannlacken auf Celluloseacetatbasis zu decken. Nach Einführung des Ganzmetallflugzeugs waren Spannlacke allerdings kaum mehr gefragt; die Acetylcellulose-Hersteller mussten sich folglich einen neuen Markt suchen, den sie in der Herstellung von Kunstseide (Acetatseide) fanden. Diese wurde wegen der Verfügbarkeit der preiswerten, synthetisch hergestellten Essigsäure nach Kriegsende erstmals profitabel, vgl. Bonwitt, Celluloid, 1933, S. 519–521. Zum Einfluss des Ersten Weltkriegs auf die Entwicklung der Acetatseideproduktion vgl. Hottenroth, Kunstseide, 1931, S. 23–24.

117 Marsch, Wissenschaft, 2000; Marschall, Schatten, 2000; Wengenroth, Flucht, 2002.

118 Zum Toluol-Mangel im Ersten Weltkrieg vgl. auch den Aufsatz von Manfred Rasch in diesem Band. Wegen der trotz Nutzung der Haber-Bosch-Synthese immer knappen Salpetersäure wäre ein Ausweichen auf Ammonsalpeter-Sprengstoffe keine Lösung der problematischen Sprengstoffversorgung gewesen.

119 Brunswig, Explosivstoffe, 1929, S. 711, S. 790.

Abb. 18 Die Werbung für das wetterfeste, aber giftige Bleiweiß nutzt die pejorative Bedeutung des Wortes »Ersatz«, um alternative Weißpigmente wie das Zinkweiß als minderwertig zu diskreditieren, 1931.

Zündmassen für die Streichholzindustrie und die Feuerwerkerei.[120] Zum wichtigsten Abnehmer des Natriumchlorats avancierte jedoch die Reichsbahn (und später die Bundesbahn), die die Verbindung jahrzehntelang in großen Mengen als Totalherbizid verwendete, um Bahndämme und Gleise von Unkraut frei zu halten. Die bis in die frühen 1990er Jahre in Deutschland übliche Verwendung dieses problematischen Unkrautvernichtungsmittels war die Folge der zivilen Weiternutzung eines im Ersten Weltkrieg für militärische Zwecke produzierten Ersatzstoffs.[121]

»Ersatz«: Ein negativ besetzter Begriff und spätere Umdeutungen

Auffallend viele Ersatzstoffe kamen im Ersten Weltkrieg zur Sicherung der Nahrungsmittelversorgung auf den Markt.[122] Anfang 1917 gab es angeblich circa 1200 Ersatzlebensmittel, im August 1917 schon etwa 5000 und im Mai 1918 rund 10 000.[123] Diese Zahlen müssen jedoch richtig interpretiert werden. Häufig handelte es sich bei den amtlich zuge-

120 Hackenholz, Elektrochemische Werke, 2004, S. 131, S. 153, S. 182, S. 290–291.

121 Kurth, Unkrautbekämpfung, 1960, S. 91–94. Natriumchlorat war der Wirkstoff der in Deutschland produzierten Herbizide Florex, Hapelit, Hedit, Herbamort, Unkraut-Ex, Plantex, Rapid-Ex, Rasikal, Sinzit, Talpan, Unkraut-Vertilger, Unkrauttod und anderen mehr. In der BRD waren natriumchlorathaltige Herbizide bis 1992 zugelassen. In der EU ist ihre Anwendung seit 2010 verboten.

122 Vgl. dazu Brenner, Wruken, 2005; Brenner, Maisgespenst, 2013. Zu Ersatzlebensmitteln in der Zeit des »Dritten Reichs« vgl. Keller, Küche, 2015.

123 Stadthagen, Genehmigungspflicht, 1918, S. 10.

Abb. 19 Werbung für ein Salatdressing aus der Zeit des Ersten Weltkriegs, das wegen des damals herrschenden Fettmangels kein Öl enthielt, 1918.

Abb. 20 Modernes Salatdressing ohne Ölgehalt, das in erster Linie für Kundinnen und Kunden geschaffen wurde, die figurbewusst leben oder abnehmen wollen, 2010er Jahre.

lassenen Ersatzlebensmitteln nämlich nur um Spielarten längst bekannter Produkte, etwa einen weiteren Hefeextrakt, Ei-Ersatz oder Ersatzkaffee. Nur selten wurden völlig neue Ersatzlebensmittel wie die im Ersten Weltkrieg erstmals hergestellten Kunstgewürze entwickelt. Die meist miserablen Produkte trugen erheblich dazu bei, dass die seit langem negativ konnotierten Begriffe Surrogat und Ersatzstoff endgültig in Verruf gerieten und das Wort »Ersatz« nicht nur in Deutschland, sondern auch im Ausland einen ausgesprochen schlechten Klang bekam (Abb. 18). Es war so verpönt, dass in der NS-Zeit Euphemismen wie »Sortenwandel«, »Austauschmittel«, »Neustoff« oder »deutscher Roh- und Werkstoff« kreiert wurden, nur um das Reizwort »Ersatz« zu umgehen.

Am Beispiel der während des Kriegs besonders übel beleumundeten Salatöl-Ersatzmittel, die meist aus ölfreiem, mit Kräutern versetztem und dem Geliermittel Pektin verdicktem Wasser bestanden (Abb. 19), lässt sich allerdings ein interessantes Phänomen beobachten. Ähnlich zusammengesetzte Salatdressings werden als Diätlebensmittel mittlerweile wieder in den Supermärkten angeboten (Abb. 20). Im Bestreben, schlank zu bleiben oder zu werden, zahlen heutige Verbraucherinnen und Verbraucher viel Geld für diese fast kalorienfreien Produkte, die während des Ersten Weltkriegs gerade wegen ihres nicht vorhandenen Nährwerts in die Kritik geraten waren.[124]

124 Die Zusammensetzung heutiger Diät-Salatdressings unterscheidet sich im Detail geringfügig von dem im Ersten Weltkrieg verwendeten Salatöl-Ersatz, beispielsweise hinsichtlich der verwendeten Verdickungsmittel oder Aromastoffe. Das Prinzip des Rezepts wurde allerdings beibehalten.

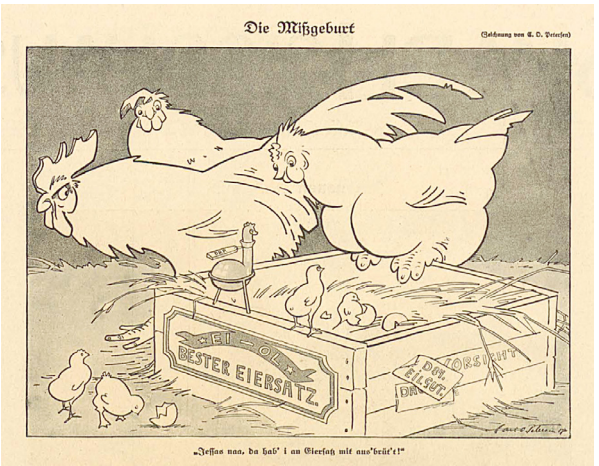


Abb. 21 Karikatur aus der Zeit des Ersten Weltkriegs zur schlechten Qualität der Ei-Ersatzmittel, die in verschiedener chemischer Zusammensetzung auf den Markt kamen, 1917.

Abb. 22 Karikatur von Fritz Hübner (1886–1974) aus der Zeit des Ersten Weltkriegs, die die schlechte Qualität der Ei-Ersatzmittel thematisiert, 1917.

Das Wiederauftauchen einstiger Ersatznahrungsmittel fällt ebenso beim schon seit Ende des 19. Jahrhunderts bekannten, während des Ersten Weltkriegs mit bitterem Spott kommentierten Ei-Ersatzes aus Lupinenprotein auf (Abb. 21, Abb. 22). Auch er wird in ähnlicher Zusammensetzung heute wieder angeboten, sogar unter der einst verpönten Bezeichnung »Ersatz« (Abb. 23).[125]

125 Eine ähnliche Entwicklung ist bei den Süßmitteln zu konstatieren. Der Umstand, dass Zucker mittlerweile aus Gesundheitsgründen verpönt ist, verhalf den kalorienarmen künstlichen Süßungsmitteln zu ihrer Karriere vom billigen Zuckerersatzstoff zum bevorzugten Süßstoff in Ländern, in denen viele Menschen an Adipositas leiden, vgl. dazu Merki, Zucker, 1993.

Abb. 23 Vorder- und Rückseite eines modernen Ei-Ersatzmittels. Der Inhalt eines Päckchens soll drei Eier ersetzen.

Die einstige Negativkonnotation des Wortes »Ersatz« ist mittlerweile weitgehend in Vergessenheit geraten. Die auf alle tierischen Inhaltsstoffe verzichtenden Veganer assoziieren mit dem Begriff absichtlichen, bewussten Verzicht, während er in vergangenen Kriegszeiten von außen aufoktroyierten Mangel bedeutete. An diesen und ähnlichen Beispielen, etwa den veganen Brotaufstrichen, die den in Kriegszeiten nicht mehr erhältlichen Wurstaufschnitt ersetzten, lassen sich interessante Kontinuitäten, aber auch Brüche und kulturelle Umdeutungen aufzeigen.[126] Auch Kartoffel-, Karotten-, Kleie- oder Lupinenmehlbrot ist in Deutschland seit geraumer Zeit wieder »in«, obwohl diese wegen ihres Ballaststoffgehalts als besonders wertvoll gepriesenen Brotvarietäten aus chemischer und lebensmitteltechnologischer Perspektive im Prinzip »aufgehübschte«, geschickt vermarktete Spielarten des einstigen Kriegsbrots sind.[127] Solche diachronen Umdeutungen, die hier nur angerissen werden können, zeigen einmal mehr, dass die Akzeptanz von »Ersatz«-Stoffen kulturell codiert ist und komplexen gesellschaftlichen Veränderungs-

126 Die Kontinuitäten betreffen lediglich die prinzipielle Rezeptur. Einige Inhaltsstoffe wurden dem heutigen Rohstoffangebot und den Erkenntnissen der modernen Ernährungswissenschaft angepasst. Auch Getreidekaffees, die in früheren Kriegs- und Notzeiten konsumierten Ersatzprodukte, sind heute in Reformhäusern, Naturkostläden und Bio-Supermärkten erhältlich und werden von Verbraucherinnen und Verbrauchern, die sich bewusst ernähren oder Bohnenkaffee wegen seiner vermeintlichen Schädlichkeit meiden wollen, als Gesundheitskaffees konsumiert, sind also ähnlich wie die Ei-Ersatzmittel mittlerweile Lifestyle-Produkte geworden, vgl. Mähnert, Kaffee, 2002, S. 69–77.

127 Vgl. dazu Neumann, Brote, 1920. Nach einer Verordnung vom 1.12.1914 musste das Kriegs-, Kartoffel- oder K-Brot mindestens 5 Gewichtsprozent Kartoffelerzeugnisse auf 95 Gewichtsprozent Roggenmehl enthalten. Die Verordnungen wurden im weiteren Kriegsverlauf entsprechend der Verfügbarkeit von Brotgetreide mehrfach verschärft.

prozessen unterliegt. Einst verpönte Stoffe und Waren können im Lauf der Zeit zu nachgefragten Lifestyle-Produkten mutieren.

Ersatzstoffe ab 1933

Angesichts der traumatischen Erfahrungen des Ersten Weltkriegs, der hohen Reparationszahlungen, von Inflation und Arbeitslosigkeit, hatte sich in einigen Branchen, besonders der Chemieindustrie, die Vorstellung verfestigt, dass sich die Wirtschaft auch nach Kriegsende weitgehend auf die Nutzung inländischer Rohstoffe stützen und von Auslandsimporten möglichst unabhängig machen solle.[128] Um »Rohstofffreiheit« zu erreichen, sollten mehr Abfallstoffe genutzt und Rohstoffe möglichst sparsam eingesetzt werden. Ab 1934 ergriff der NS-Staat wirtschafts- und technologiepolitische Maßnahmen, um dem Ziel der Autarkie möglichst nahezukommen und einen blockadesicheren »Wehrstaat« zu errichten. Damit das Deutsche Reich nicht ein weiteres Mal so unvorbereitet von einer Wirtschaftsblockade überrascht würde wie im Ersten Weltkrieg, etablierte das NS-Regime lange vor Ausbruch des Zweiten Weltkriegs Strukturen, um ähnliche Zwangslagen wie 1914 zu verhindern. Wie in anderen Bereichen auch, knüpfte das NS-Regime an bereits Bestehendes an. So wurde versucht, die bereits im Ersten Weltkrieg genutzte Verbindung von wissenschaftlicher, industrieller und militärischer Forschung abermals für kriegswichtige Projekte zu mobilisieren und die damals praktizierte Zusammenarbeit zwischen Zivilisten und Militärs, Natur- und Technikwissenschaftlern zu optimieren. Die Institute der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, die schon im Ersten Weltkrieg an wehrtechnischen Aufgaben gearbeitet hatten, bildeten im Nationalsozialismus den Kern für den erneuten Aufschwung militärisch relevanter Forschung.[129] Schon ab 1933/34 wurden die ersten Arbeiten an kriegsrelevanten (Ersatzstoff)Forschungsprojekten aufgenommen. Da man aus den Erfahrungen während des Ersten Weltkriegs gelernt hatte, wurde der große Zeitbedarf solcher Vorhaben jedoch von vorneherein einkalkuliert und entsprechend langfristig geplant.[130]

Bei der Realisierung des Ziels, weitgehende wirtschaftliche Unabhängigkeit vom Ausland zu erreichen, kamen dem Bergbau, der Stahl- sowie der chemischen Industrie Schlüsselrollen zu.[131] In der Januarausgabe des Jahres 1934 sensibilisierte die Chemiker-

128 Die Frage der *self sufficiency* wird in der Forschung derzeit noch kontrovers diskutiert. Günther Luxbacher zeigt, dass die Wirtschaftspolitik der Weimarer Republik von 1924 bis ca. 1929 auf Freihandel ausgelegt war. Der industrialisierten Welt sollte zwecks Vergrößerung der Exportchancen deutscher Produkte demonstriert werden, dass für deren Herstellung keine Ersatzstoffe mehr verwendet wurden, vgl. Luxbacher, Wertarbeit, 2006, S. 6–11; Luxbacher, Werkstoffe, 2018. Die Chemieindustrie war dagegen schon vor 1914 bestrebt, bestimmte importabhängige Substanzen (z. B Naturharze) durch Syntheseprodukte (z. B Kunstharze) zu ersetzen.

129 Trischler, Räumlichkeit, 1996, S. 101.

130 Vgl. dazu bes. Trischler, Sicherheitssystem, 2002; Maier, Gemeinschaftsforschung, 2007; Flachowsky, Heeresverwaltung, 2009; zum Fallbeispiel der Tonerdeproduktion aus deutschen Rohstoffen auch Scherner, Förderung, 2016.

131 Vgl. bes. Maier, Chemiker, 2015, S. 287–321.

Zeitung ihre Leser mit dem Slogan »Chemiker an die Front!« für das im Rahmen der nationalsozialistischen Autarkie- und Aufrüsungspolitik zentrale Thema der Rohstoffversorgung. In einer Artikelserie wurden etliche Ersatzprojekte vorgestellt, an denen die chemische Industrie arbeitete, etwa die Kohlehydrierung,[132] die Kunstlederherstellung[133] oder die Herstellung seifenfreier Waschmittel.[134] Ebenso wurden einige weniger bekannte Synthesen vorgestellt, die es dem Deutschen Reich schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts ermöglicht hatten, sich vom Import gewisser Schlüsselsubstanzen unabhängig zu machen: etwa die Synthesen des in der Kunststoffindustrie als Weichmacher genutzten Camphers und der für diverse Branchen wichtigen Citronensäure; ferner zwei technisch wichtige Mineral-Synthesen, nämlich die Synthese der als Lagerstein genutzten Korunde[135] und des Graphits.

Die 1934 in der Chemiker-Zeitung eingerichtete Rubrik »Die Chemie im Dienste der nationalen Rohstoffversorgung« begann mit einem Aufsatz über »Zukunftsfragen der Textilindustrie«, der zeigt, welche Bedeutung in der NS-Zeit der Kunstfaserforschung und -herstellung beigemessen wurde und welche Konsequenzen aus den traumatischen Erfahrungen des Ersten Weltkriegs gezogen wurden.[136] Zur Behebung des Faserstoffmangels (und anderer Rohstoffengpässe) wurde in der NS-Zeit eine ähnliche »Fächertaktik« wie schon im Ersten Weltkrieg verfolgt. Anders als in den Jahren 1914 bis 1918, als im Wesentlichen auf Ersatzlösungen aus dem langen 19. Jahrhundert zurückgegriffen wurde, lag der Schwerpunkt nun eindeutig auf der Mobilisierung der (chemischen) Forschung und flankierenden staatlichen Maßnahmen, die die Überführung autarkiepolitisch aussichtsreicher Forschungsergebnisse in die industrielle Praxis ermöglichen sollten. Im großen Stil wurden halbsynthetische Fasern auf Cellulosebasis produziert, die aus dem in Deutschland nachwachsenden Rohstoff Holz bzw. daraus hergestelltem Zellstoff gewonnen wurden.[137] Aus propagandistischen Gründen durfte die neue Faser allerdings nicht mit dem verpönten Wort »Ersatz« belegt, sondern musste als »deutscher Werkstoff« bezeichnet werden.[138] Eine weitere, durch den Aufschwung der makromolekularen Chemie möglich gewordene Strategie bestand in der Produktion vollsynthetischer Textilfasern aus deutscher Kohle, etwa des 1938 von Paul Schlack (1897–1987) entwickelten Perlons.[139]

132 Pier, Bedeutung, 1934, S. 14–15.
133 Münzinger, Fortschritte, 1934, S. 293–295.
134 Kling, Bedeutung, 1934, S. 557–559.
135 Vgl. dazu Vaupel, Edelsteine, 2015.
136 Zart, Zukunftsfragen, 1934, S. 549–551; Plumpe, IG Farbenindustrie, 1990, S. 312–318.
137 Zu einer ganz anderen Nutzung des heimischen Rohstoffs Holz, nämlich der Holzvergasung, vgl. Eckermann, Fahren, 2008.
138 Bluma, l'ersatz, 2004.
139 Während des Zweiten Weltkriegs wurde Fallschirmseide aus Perlon hergestellt, die wesentlich fester als die bislang zu diesem Zweck verwendete Naturseide war. Als militärisch wichtiges Material kam Perlongewebe zudem bei den Schläuchen von Flugzeugreifen zum Einsatz, ferner diente Perlon zur Herstellung von Schiffstauen und Bürsten zur Reinigung von Waffen. Mit Perlonfäden wurden die Socken der Wehrmachtssoldaten verstärkt und die Wunden Kriegsverletzter genäht. Vgl. Plumpe, IG Farbenindustrie, 1990, S. 323; Tschimmel, Retorte, 1999, S. 27–28.

Durch Schaffung geeigneter institutioneller und rechtlicher Rahmenbedingungen versuchte der NS-Staat, die angestrebte Autarkiepolitik durchzusetzen. Schon ab 1934 wurden einzelne importabhängige Rohstoffe kontingentiert und knappe Ressourcen bevorzugt rüstungsrelevanten Industriezweigen zur Verfügung gestellt. Der Staat bestimmte, welche Branchen und Unternehmen Devisen und Rohstoffzuteilungen erhielten. Was nicht verfügbar war, musste, sofern das möglich war, synthetisch hergestellt werden. Um Autarkie zu erreichen, wurden auch unwirtschaftliche heimische Vorkommen genutzt. Unrentable Produktionsverfahren, wie das erwähnte Protolverfahren zur Glyceringewinnung, wurden reaktiviert, weil sie auf der Nutzung heimischer Rohstoffe basierten. Im Jahr 1936 verkündete Hitler schließlich den Vierjahresplan, mit dem die deutsche Wirtschaft innerhalb von vier Jahren »kriegsfähig« gemacht werden sollte. Das wichtigste Organ der Vierjahresplanbehörde war das »Amt für deutsche Roh- und Werkstoffe«, das 1938 zur »Reichsstelle« und 1939 zum »Reichsamt für Wirtschaftsausbau« aufgewertet wurde.[140] Diese Behörde sollte nicht nur die Herstellung »deutscher Werkstoffe« in die Wege leiten, sondern vor allem die Ersatzstoffforschung und -entwicklung in den Unternehmen und wissenschaftlichen Instituten organisieren. Da die Umsetzung des Vierjahresplans besonders auf die chemische Industrie angewiesen war, wurde der BASF-Chemiker Carl Krauch (1887–1968) zum Koordinator der Ersatzstoffforschung bestimmt. Im Jahr 1939 übernahm er die Leitung des gesamten Reichsamts. Krauch etablierte ein System von Vierjahresplaninstituten, das denen der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft vergleichbar war, und installierte etliche, mit Kooperationspartnern aus Behörden, Kaiser-Wilhelm-Instituten, Universitäten, Industrielabors sowie staatlichen und halbstaatlichen Versuchsanstalten besetzte Arbeitsgemeinschaften, in denen über rohstoff- und rüstungsrelevante Themen gearbeitet werden sollte. Über die Mittelvergabe und durch Optimierung des Erfahrungsaustauschs zwischen den verschiedenen Partnern versuchte das Reichsamt, möglichst günstige Rahmenbedingungen für erfolgreiche Ersatzstoffforschung zu schaffen und Projekte zu initiieren, die für die Umsetzung des Vierjahresplans relevant waren. Besonders bemühte sich Krauch um den Ausbau Kunststoff erzeugender und verarbeitender Betriebe.

Kunststoffe: Ersatzstoffe, die zu neuen Werkstoffen werden

Bereits 1906/07 war mit dem Bakelit der erste vollsynthetische Kunststoff auf den Markt gekommen (Abb. 24). Das neue Material wurde anfangs als Ersatz für importabhängige Materialien wie Gummi oder Naturharze beworben und schon während des Ersten Weltkriegs für militärische Zwecke genutzt, z. B. zum Bau von Feldtelefonen. Aber erst in den 1930er Jahren, besonders nach der Verkündung des Vierjahresplans, begann die umfassendere Verwendung vollsynthetischer Kunststoffe wie PVC, Polyacryl oder Polystyrol.[141] Kunstharze und Kunststoffe dienten zunehmend als Ersatz für Metall, Gummi,

140 Flachowsky, Reichsamt, 2015.
141 Schuller, Geschichte, 1994.

Abb. 24 Bakelit wurde vom Hersteller zunächst als Ersatz für importabhängige Rohstoffe wie Hartgummi, Schellack und natürliche Harze beworben, 1919.

Abb. 25 Reklame für Pressstoffe auf Kunstharzbasis, die Metalle ersetzen sollten, 1942.

Leder, Elfenbein und viele andere knappe Werkstoffe[142] (Abb. 25); sie wurden ebenso als Ersatz für die traditionell verwendeten, importabhängigen Lackrohstoffe wie Sandarak, Schellack oder Kopal verwendet (Abb. 26).[143]

Gleichermaßen ersetzten Kunststoffe und Kunstharze die bisher aus natürlichen Ausgangsmaterialien (Knochen, Leder, Fischeiweiß, Kartoffelstärke etc.) gewonnenen Leime. Ob Kunststoffe und Kunstharze als Werkstoff, Lack oder Klebstoff verwendet wurden, war nur eine Frage der Konzentration und der zugesetzten Additive, vor allem der Weich-

142 Maier, Chemiker, 2015, S. 287-321.

143 Der Mangel an Kolophonium, Kopalen, Schellack und anderen Naturharzen, die das Deutsche Reich vor 1914 importierte, führte während des Ersten Weltkriegs zum Aufstieg der bereits Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelten Kunstharze auf Phenol-Formaldehyd-Basis. Diese hatten sich vor 1914 wegen anfänglicher Mängel, vor allem ihres unangenehmen Phenol-Geruchs, nicht durchsetzen können. Kriegsbedingt erhielten sie während und wegen des Ersten Weltkriegs erstmals eine Marktchance. Nach 1923 avancierten sie zu allgemein üblichen Werkstoffen, vgl. Schwenk, Jahre, 1983, S. 60–64.

Abb. 26 Reklame für Lacke auf Kunstharzbasis, die Öllacke strecken oder ersetzen sollten, 1940.

Sparstoff	Austauschstoff–Beispiele
Kautschuk	Polyvinylchlorid (Igelit), Polystyrol, Buna
Baumwolle	Kunstseide, Zellwolle, Papier
Naturseide	Kunstseide
Glimmer	Triacetatfolie, Glasfasererzeugnisse, Hartpapier, keramische Isolierstoffe
Asbest	
Öllacke	Kunstharzlacke
Isolieröl	Chlorkohlenwasserstoffe, z.B. Chlophen

Abb. 27 Beispiele für Ersatzstoffe, die im »Dritten Reich« genutzt wurden, um knappe Isolierstoffe in der Elektrotechnik einzusparen. Einige der damals propagierten Ausweichlösungen bewährten sich und konnten sich deshalb langfristig in speziellen Anwendungsbereichen behaupten.

macher.[144] Aus Kunststoffen und Kunstharzen ließen sich, wenn ihnen zur Stabilisierung Holz- oder Korkspäne zugesetzt wurden, Vorläufer der ersten Verbundwerkstoffe herstellen.[145] Wenn Kunststoffe auf textile Gewebe kaschiert wurden, ergaben sie einen brauchbaren Lederersatz, das Kunstleder.[146] Etliche während des »Dritten Reichs« eingeführte Kunststoffanwendungen wurden nach dem Krieg weitergenutzt, wenn auch gelegentlich erst nach einer zeitweiligen Unterbrechung (Abb. 27).[147]

144 Unter dem Begriff »Kunststoff« wurden anfangs nicht nur plastische Massen verstanden, sondern alle »künstlich« modifizierten Stoffe, die auf chemischem Weg aus organischen Verbindungen (Kohle, Cellulose, Casein, Kautschuk, Schellack, Blut, etc.) gewonnen wurden. Der Untertitel der ab 1911 erscheinenden Zeitschrift »Kunststoffe« verdeutlicht die enge Verbindung zwischen Kunststoffen, Klebstoffen, Lacken und Firnissen einerseits und Ersatzstoffen andererseits. Er lautete: »Zeitschrift für Erzeugung und Verwendung veredelter oder chemisch hergestellter Stoffe mit besonderer Berücksichtigung von Kunstseide und anderen Kunstfasern, von vulkanisiertem, devulkanisiertem (wiedergewonnenem) und künstlichem Kautschuk, Guttapercha usw. sowie Ersatzstoffen, von Zellhorn (Zelluloid) und ähnlichen Zellstofferzeugnissen, von künstlichem Leder, Ledertuchen (Linoleum), von Kunstharzen, Kasein-Erzeugnissen usw.« Zur Verwendung der Phenol-Formaldehyd-Harze als Klebstoff vgl. Cura, Hautleim, 2010, S. 122–130.

145 Haka, Visionäre, 2017, S. 81, S. 83.

146 Sudrow, Schuh, 2010, S. 318.

147 Vgl. dazu Bürgel, Austausch-Werkstoffe, 1937, S. 132–135.

Ein Beispiel ist die im »Dritten Reich« erprobte Verwendung von PVC (Igelit) als Tubenmaterial anstelle des importabhängigen Zinns.[148] Diese Idee griff die Verpackungsindustrie in den 1960er Jahren wieder auf, nachdem das zunächst noch relativ teure PVC durch den Übergang zur Petrochemie so billig geworden war, dass man mit dem Material nicht mehr sparen musste. Dies begünstigte die Herstellung von Einwegverpackungen.[149] Erwähnenswert sind weiterhin die während des »Dritten Reichs« unternommenen Anstrengungen zur Einsparung des knappen Zinns. Sie führten dazu, dass die Innenflächen von Transportbehältnissen aus Weißblech, die mit aggressiven Substanzen gefüllt waren (Spritfässer, Benzinkanister, Konservendosen), seit den 1940er Jahren mit Kunstharzlacken lackiert wurden.[150] Dieses Verfahren wurde nach Kriegsende beibehalten.[151] Neben der Kostenersparnis galt es vor allem bei Lebensmittelkonserven als Vorteil, dass deren oft säurehaltiger Inhalt nicht mehr direkt mit dem oft bleihaltigen Metall in Kontakt kam. Die Nachteile dieses Verfahrens wurden erst Ende des 20. Jahrhunderts offenbar, als die endokrine Wirkung gewisser Weichmacher (vor allem Bisphenol A) erkannt und deutlich wurde, dass selbige freigesetzt werden und den Konserveninhalt kontaminieren können.[152] In der Zeit des »Dritten Reichs« wurde es in der Fleisch- und Wurstwarenindustrie zudem üblich, zusätzlich zu den traditionell verwendeten, größtenteils importabhängigen Naturdärmen zwecks Devisenersparnis »Kunstdärme« in Form naht-

148 Ketterl, Ausweichtube, 1944, S. 320–322.

149 Die vor den 1930er Jahren benutzen Zinntuben zur Verpackung von medizinischen und kosmetischen Cremes und anderen pastösen Verbrauchsmaterialien (Klebstoffen, Künstlerfarben, etc.) wurden im »Dritten Reich« zwecks Zinnersparnis durch Tuben aus den devisensparenden »Heimstoffen« Aluminium oder PVC ersetzt. PVC setzte sich aus Kostengründen jedoch erst in den 1960er Jahren in großem Umfang als Material für Einwegverpackungen durch. Auch Aluminiumdosen wurden erst seit 1958 wieder in großem Umfang als Getränkeverpackung verwendet. Vgl. u.a. Korrosionsschutz, 1943, S. 93–94; Protscher, Weißblech, 1940, S. 59–88.

150 Als Weißblech werden Eisen- oder Stahlbleche bezeichnet, die mit einer dünnen Zinnschicht überzogen sind und deshalb hell glänzen. Weißblech war und ist wegen seiner Korrosionsbeständigkeit und seiner einfachen Verarbeitung ein wichtiges Material für die Konservenindustrie, die im Krieg u.a. zur Versorgung der Streitkräfte große Bedeutung besaß. Bis in die 1930er Jahre wurde die Zinnschicht der Konservendosen durch Feuerverzinnung (Eintauchen des Blechs in geschmolzenes Zinn) aufgetragen. Infolge der Bemühungen um Zinneinsparung gewann die galvanische Verzinnung an Bedeutung, die das Aufbringen dünnerer Zinnschichten ermöglichte, vgl. Protscher, Weißblech, 1940, S. 59–69. Die Innenlackierung von Weißblechdosen mit Kunstharzen wurde in den 1930er Jahren zunächst skeptisch beurteilt, vgl. hierzu ebd., S. 86–87. In den 1940er Jahren entschied man sich dann aber doch für diese Methode der Zinnersparnis, vgl. Schramm, 1960, S. 361; Schwenk, Jahre, 1983, S. 64. Spiekermann, Kost, 2018, S. 462–465, geht zwar auf die Bedeutung der Konservendose, aber nicht auf die Innovation der Innenlackierung ein. Die Entwicklung geeigneter Kunststoffschutzschichten für Reaktorinnenwände spielte im »Dritten Reich« auch in der chemischen Industrie eine wichtige Rolle, vgl. hierzu Gritz, Mersol, 2013, S. 107 und S. 139.

151 Hoffmann, Verpackung, 1948, S. 2–3; Martens, Schwarzblechdosen, 1949; Hölscher, Oberflächenbeschaffenheit, 1950; Papst, Feinblech, 1950; Anzenhofer, Entwicklung, 1950, S. 106; Kotte, Kunststoff-Innenüberzüge, 1952.

152 LaKind, Can Coatings, 2013; Geueke, Dossier, 2016, und die Literatur zu S. 2. Die beste Quelle sind einschlägige verpackungstechnische Fachzeitschriften.

Abb. 28 Im »Dritten Reich« setzte sich die Nutzung von Cellophan-Schlauchfolien in der Wurstfabrikation durch. Durch die Verwendung des »Kunstdarms« konnten Devisen für den Import von Naturdärmen gespart werden, 1938.

Abb. 29 Die Reklame für nahtlose Schlauchfolien aus Cellophan, die Naturdärme in der Wurstfabrikation ersetzen sollten, nimmt auf die Negativkonnotation des Wortes »Ersatz« Bezug und fordert dazu auf, die Neuerung als Fortschritt zu betrachten, 1937.

loser Schläuche aus halbsynthetischer Zellglasfolie (Cellulosehydrat-Folie, Glashaut) zu verwenden.[153] Das bewährte sich und wird bei der Wurstfabrikation bis heute genutzt, auch wenn dazu mittlerweile andere Kunststoffe, etwa Polyethylen, verwendet werden (Abb. 28, Abb. 29).[154]

153 Folien aus Cellophan (Cellulosehydrat) waren zwar schon seit 1908 bekannt, wegen ihrer aufwändigen Herstellung aber so teuer, dass ihre Anwendung zunächst limitiert war. Das Aufblühen der Cellophanverpackung im »Dritten Reich« war eine Folge der damals intensiv bearbeiteten Cellulosechemie. Zur Herstellung der nahtlosen Cellophanfolienschläuche, die in der Wurstfabrikation verwendet wurden, presste man die Cellulosehydrat-Lösung durch eine speziell geformte Austrittsdüse und fällte sie in einem Fällbad aus.

154 Decken, Versorgung, 1935, S. 106.

Dass die Anwendung von Kunststoffen als Ersatz für knappe, einfuhrabhängige Materialien in vielen Bereichen zu langfristig genutzten Innovationen und keineswegs in eine Sackgasse führte, zeigte sich im »Dritten Reich« auch bei der Schuhproduktion, etwa bei der bis heute üblichen Verwendung von Synthesekautschuk- oder PVC-Sohlen anstelle der lange üblichen Ledersohlen.[155] Die Kunststoffe profilierten sich zunehmend als neue, eigenständige Werkstoffe, die mehr als bloßer Ersatz waren. Trotz aller NS-Propaganda eroberten sie sich allerdings erst in der Nachkriegszeit einen gleichberechtigten Platz neben den traditionellen Materialien.

Zu den Aufsätzen dieses Bandes

Die Aufsätze dieses Sammelbandes bilden die Breite der Ersatzstoffthematik nur ansatzweise ab. Um Dopplungen zu vermeiden, behandeln sie Stoffe, die an dieser Stelle absichtlich nicht oder nur peripher angesprochen werden. In Abhängigkeit vom Typ des jeweils behandelten Stoffs sind sie in drei Gruppen eingeteilt. In der ersten Sektion geht es um den Ersatz klassischer metallischer und nichtmetallischer Werkstoffe.

Helmut Maier geht der Frage nach, ob und in welchem Umfang die während der Weltkriege verwendeten Nichteisenmetall-Legierungen, die knappe Metalle wie das im Deutschen Reich zu 90 % importabhängige Kupfer ersetzen sollten, zu langfristigen Impulsgebern der Werkstoffinnovation wurden. Vor dem Ersten Weltkrieg hatte sich die Metallwirtschaft stets sehr reserviert gegenüber Versuchen gezeigt, das im Deutschen Reich besonders beliebte Kupfer durch andere Werkstoffe zu ersetzen. Diese Haltung war nach Verhängung der britischen Seeblockade nicht länger aufrechtzuerhalten. Die bisher vernachlässigte Legierungsforschung blühte auf, neue Forschungsinstitute wie das 1921 gegründete Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung wurden errichtet. Einige während des Ersten Weltkriegs entwickelte Zinklegierungen erwiesen sich als brauchbarer Ersatz, auch wenn sich nur wenige, etwa das Bahnmetall, das Lurgimetall und das Silumin, dauerhaft auf dem Markt behaupten konnten. In der Zwischenkriegszeit beschäftigte sich die Forschung mit Problemen, die bei der Herstellung und Verarbeitung von Legierungen aufgefallen waren, etwa dem Einfluss von Verunreinigungen auf die Legierungsqualitäten oder den Ursachen von Korrosionserscheinungen. Dies trug dazu bei, dass etliche Probleme, die im Ersten Weltkrieg bei der Herstellung und Nutzung von Legierungen aufgetreten waren und ihnen den Ruf schlechter Notlösungen eingetragen hatten, im »Dritten Reich« vermieden werden konnten. Die Legierungsforschung hatte dem im Ersten Weltkrieg auftretenden Metallmangel also etliche Anregungen zu ver-

155 Sudrow, Schuh, 2010, S. 555, S. 559–560, S. 697, S. 700–703, S. 750–753. Vgl. auch Fischer, Lederaustauschstoffe, 1942, S. 71–72. Dort findet sich ein interessanter Hinweis auf die Preisrelationen: PVC war während des Kriegs teurer als Buna bzw. Gummi und dieses wiederum teurer als Leder. Der hohe Preis erklärt, warum die massenhafte Verwendung von Kunststoffen erst in den 1950er Jahren einsetzte, nach der Umstellung der chemischen Industrie von Kohle- auf Petrochemie. Dies führte zu einer deutlichen Verbilligung der Kunststoffe.

danken. Die »Flucht in den Käfig« war hier keine Sackgasse, sondern wirkte zumindest partiell stimulierend.

Andreas Zilt beschäftigt sich mit den im Deutschen Reich verfolgten Strategien, den Mangel an Manganerzen zu kompensieren. Seit den 1870er Jahren wurde Mangan in der Stahlindustrie entweder in Form einer als Spiegeleisen bezeichneten Eisen-Mangan-Legierung (mit 5 bis 30 % Mangangehalt) oder in Form einer im Hochofen erschmolzenen Eisen-Mangan-Legierung namens Ferromangan (mit 30 bis 80 % Mangangehalt) eingesetzt. Durch den Zusatz dieser Manganlegierungen wurden Sauerstoff und Schwefel, die das Eisen beziehungsweise den Stahl brüchig gemacht hätten, in der Schlacke gebunden; zudem war Mangan ein wichtiges, die Stahlqualitäten verbesserndes Legierungsmetall (Manganstahl). Bei den Bemühungen diverser militärischer und ziviler Institutionen um die Behebung der »Manganlücke« wurde zum Ersten erkannt, dass bei der Eisen- und Stahlherstellung sowie der Produktion von Rüstungsgütern niedrigere Mangangehalte als bisher akzeptabel waren. Zum Zweiten wurden manganfreie Desoxidationsmittel gesucht und im Aluminium, Calciumcarbid und Ferrosilicium auch gefunden. Zum Dritten wurde der Abbau minderwertiger, heimischer Manganerze forciert. Als besonders effektiv erwies sich jedoch die vierte Strategie, die Aufarbeitung manganreicher Schlacken.

Der Erste Weltkrieg löste einen Modernisierungsschub in der bis dahin weitgehend empirisch geprägten Eisenhüttenkunde aus und beschleunigte die Verwissenschaftlichung der Werkstoff- und Verfahrenstechnik, was sich nicht zuletzt an der Gründung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Eisenforschung im Jahr 1917 zeigte. Im »Dritten Reich« stand die Versorgung der deutschen Stahlindustrie mit importabhängigen Erzen und Legierungsmetallen schon vor Kriegsbeginn auf der Agenda. Spätestens ab 1936 befassten sich Stahlunternehmen und Fachgesellschaften mit der Wiedergewinnung wichtiger Legierungsmetalle, der Verhüttung eisenarmer heimischer Erze und den Ersatzmöglichkeiten für gewisse Legierungsmetalle. Am wichtigsten war jedoch die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit ausländischen Erzen. Als langfristige Folge blieb die Erkenntnis, dass Aluminium und Ferrosilicium als Desoxidationsmittel verwendet werden können und zur Herstellung guter Eisen- und Stahlqualitäten wesentlich geringere Mangangehalte ausreichen als die im 19. Jahrhundert eingesetzten. Die »Flucht in den Käfig« eröffnete neue und langfristig wirksame Lösungen. Zwar wurden keine neuen »Superwerkstoffe« entwickelt, aber doch etliche, nicht unerhebliche Verbesserungen gefunden.

Peter Morris Beitrag, der sich mit Ersatzstoffen für den Naturkautschuk beschäftigt, zeigt die Bedeutung zweier bereits vor 1914 entwickelter Kautschuk-Ersatzstoffe während des Ersten Weltkriegs: des aus Altkautschuk gewonnenen Regeneratkautschuks, der seit den Anfängen der Kautschukindustrie in den 1850er Jahren hergestellt wurde, sowie des seit 1879/1880 bekannten, aus Leinöl hergestellten Faktis (Ölkautschuk). Der 1909 von der Firma Bayer als Reaktion auf den zunehmenden Bedarf an Autoreifen entwickelte Methylkautschuk spielte erst ab 1917 eine marginale Rolle als Ersatz. Zwei Jahre später wurde seine Produktion schon wieder eingestellt, weil er mit dem nun wieder verfügbaren Naturprodukt weder preislich noch qualitativ konkurrieren konnte. Angesichts der zunehmenden Motorisierung und britischer Bestrebungen, den Naturkautschukmarkt zu

kontrollieren, griff die IG Farbenindustrie die Arbeiten an der Kautschuk-Synthese 1926 wieder auf. Im Jahr 1936, zeitgleich mit der Verkündung des Vierjahresplans, wurden der Öffentlichkeit die ersten aus dem Synthesekautschuk Buna gefertigten Fahrzeugreifen präsentiert. Die Produktion des neuen Werkstoffs in technischen Dimensionen setzte 1937/38 ein. Die Rolle des Ersten Weltkriegs als Impulsgeber bei der Entwicklung von Kautschuk-Ersatzstoffen wird von Morris relativiert. Langfristig führte die Entwicklung des Synthesekautschuks, die im Übrigen nicht nur im Deutschen Reich, sondern auch in anderen Ländern vorangetrieben wurde, weder in eine Sackgasse noch zu »zweitklassigem« Ersatz.

In der zweiten Gruppe von Aufsätzen geht es um Ersatzmöglichkeiten für wichtige Rohstoffe. Manfred Rasch stellt verschiedene Verfahren vor, aliphatische Kohlenwasserstoffe aus heimischer Kohle statt aus ausländischem Erdöl zu gewinnen. Da die Erdölimporte aus den USA nach Kriegsausbruch fast vollständig zum Erliegen kamen und auch die rumänischen Erdölfelder verlorengingen, wurde ab 1916 im Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung das schon vor Kriegsausbruch bekannte Verfahren der Tieftemperaturverkokung der Kohle weiterentwickelt. Man setzte also auf die Nutzung eines aus dem langen 19. Jahrhundert stammenden Verfahrens. Es war unter Friedensbedingungen allerdings unrentabel und wurde nur bis 1929 verwendet, im »Dritten Reich« notbedingt aber nochmals kurzzeitig reaktiviert. Das zweite Verfahren, dessen Realisierung im Ersten Weltkrieg in Angriff genommen wurde, war die von dem Chemiker Friedrich Bergius entwickelte, allerdings noch nicht praxistaugliche Hochdruckhydrierung der Kohle. Diese konnte erst ab 1927 genutzt werden, nachdem die BASF die Entwicklung übernommen und ihr Know-how auf dem Gebiet der katalytischen Hochdruckhydrierung eingebracht hatte. Im Zweiten Weltkrieg wurden mittels dieses mit erheblichem finanziellem Aufwand entwickelten Verfahrens große Mengen »deutscher Kraftstoffe« aus »deutscher Kohle« produziert, die allerdings nicht reichten, um den tatsächlichen Treibstoffbedarf zu decken. Unter Friedensbedingungen war das Verfahren unwirtschaftlich, so dass es Wengenroths These von der »Flucht in den Käfig« in der Tat stützt. Raschs Aufsatz stellt noch weitere Lösungsansätze zur Behebung des Treib- und Schmierstoffmangels vor. Die während des Ersten Weltkriegs entwickelte katalytische Hydrierung des aus heimischem Steinkohlenteer gewonnenen Naphthalins ergab zwar keinen nutzbaren Treibstoff, doch immerhin die bis heute verwendeten Lösungsmittel Tetralin und Dekalin. Weiterhin wurden durch das Verfahren der Voltolisierung, d. h. die Einwirkung von Glimmentladungen auf fette Öle, gut brauchbare Schmierstoffe produziert. Auch wenn es sich in den beiden Fällen um Nischenverfahren und Nischenprodukte handelte, gab es durchaus längerfristig genutzte Lösungen und im Fall der Voltolöle auch qualitativ gute Ersatzstoffe, die vor allem als Streckmittel eingesetzt wurden.[156] Raschs Aufsatz verdeutlicht die

156 Dies verweist einmal mehr auf die Bedeutung der technisch wichtigen Streck- und Füllmittel, deren Entwicklung durch den während der Weltkriege herrschenden Rohstoffmangel enorme Impulse erhielt.

Unzulänglichkeiten und die Vergeblichkeit etlicher in Angriff genommener Ersatzprojekte. Dennoch relativiert er Wengenroths These zumindest am Beispiel des Tetralins. Dieses zeigt nämlich, dass ein Ersatzstoff manchmal erst zu einem späteren Zeitpunkt und in einem ganz anderen Anwendungsbereich als dem ursprünglich avisierten Bedeutung erlangen kann.

Sandro Fehrs Aufsatz ist dem importabhängigen *dual-use*-Rohstoff Chilesalpeter gewidmet, der als Düngemittel in der Landwirtschaft und als Ausgangsstoff zur Herstellung von Explosivstoffen doppelt unverzichtbar war. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts hatten Experten davor gewarnt, dass die Salpetervorräte bald nicht mehr reichen würden, um die Lebensmittelversorgung der Weltbevölkerung zu sichern. Deshalb waren schon vor Kriegsausbruch mehrere Verfahren entwickelt worden, um den ubiquitär vorhandenen, aber reaktionsträgen Luftstickstoff in Form nutzbarer Stickstoffverbindungen zu »fixieren«. Dies gelang zum einen mit dem zwischen 1903 und 1907 entwickelten, energieintensiven Lichtbogenverfahren, das sich aber nur für Länder mit billiger Wasserkraft lohnte, zum Zweiten mit dem ebenfalls energieintensiven Kalkstickstoffverfahren, das sich aber nur für Länder mit reichen Kalk- und Kohlevorkommen eignete, sowie zum dritten mit dem Haber-Bosch-Verfahren, das bei Ausbruch des Ersten Weltkriegs aber noch nicht in industriellen Dimensionen genutzt werden konnte. Durch die britische Blockade erhöhte sich der Stickstoffbedarf der Landwirtschaft, gleichzeitg stieg der Bedarf an Schieß- und Sprengstoffen. Die bereits im 19. Jahrhundert entwickelten Chlorat- und Perchloratsprengstoffe waren nur eingeschränkt als Ersatz brauchbar. Um Hungersnöte und eine Munitionskrise zu verhindern, wurde im Deutschen Reich mit staatlicher Hilfe die Nutzung des bereits etablierten Kalkstickstoffverfahrens forciert, etwa durch den Bau der »Reichsstickstoffwerke« in Piesteritz; darüber hinaus trieb man die Übersetzung des Haber-Bosch-Verfahrens in technische Dimensionen sowie die Weiteroxidation des so gewonnenen Ammoniaks zu Salpetersäure voran. Dabei wirkte die Kriegssituation als Beschleunigungsfaktor. Nach Kriegsende setzte sich das bis heute genutzte Haber-Bosch-Verfahren weltweit durch. Der Aufsatz unterstreicht die Katalysatorfunktion des Ersten Weltkriegs in wehrwirtschaftlich wichtigen Produktionsbereichen, verdeutlicht aber auch die Bedeutung der bereits vor Kriegsausbruch erarbeiteten Ersatzstrategien.

Die dritte Gruppe von Aufsätzen beschäftigt sich mit Ersatzstoffen für Nahrungsmittel und Tierfutter. Claus Priesner analysiert die zwischen 1922 und 1931 von den späteren Chemie-Nobelpreisträgern Hermann Staudinger und Tadeus Reichstein (1897–1996) angestellten Versuche, das Aroma des Bohnenkaffees zu entschlüsseln und durch ein Syntheseprodukt zu imitieren. Diese Arbeiten wurden vermutlich durch den gestiegenen Konsum diverser Ersatzkaffees während des Ersten Weltkriegs stimuliert. Da um das Jahr 1900 bohnenkaffeehaltige »Kaffeegewürze« auf den Markt gekommen waren, die den Ersatzkaffees zugesetzt wurden, um ihnen ein volleres Aroma und eine intensivere Farbe zu verleihen, interessierte sich eine Holding von Ersatzkaffee- und Kaffeegewürzherstellern für das Projekt und finanzierte es. Das Kaffeearoma entsteht erst beim Rösten und ist ein komplexes Gemisch unterschiedlichster Substanzen, deren Isolierung und Charak-

terisierung Schwierigkeiten bereitete. Dennoch konnten etliche Schlüsselkomponenten ermittelt werden, darunter das für den Aromaeindruck wichtige Furfurylmercaptan. Ferner wurden Synthesen wichtiger Verbindungen entwickelt, die sich zu einem künstlichen Kaffeearoma zusammenmischen ließen. Um dieses im Industriemaßstab zu produzieren, kooperierten die beiden Chemiker ab 1928 mit dem renommierten Duft- und Geschmacksstoffhersteller Haarmann & Reimer in Holzminden/Weser. »Coffarom« wurde von ca. 1930 bis in die frühen 1960er Jahre hergestellt und zur Aromatisierung von Mocca-Schokolade, Likören und Süßwaren verwendet, aber nicht als »Kaffeegewürz«. Auch wenn Staudinger und Reichsteins Projekt damit in gewisser Weise gescheitert war, hatten sie mit ihren Arbeiten doch ein völlig neues Arbeitsgebiet erschlossen, zahlreiche für die künftige Aromaforschung wichtige Einzelentdeckungen gemacht und die bis dahin relativ groben Analysemethoden verfeinert. Der Aufsatz zeigt die befruchtende Wirkung von Ersatzstoffforschung, die sich mitunter auf ganz anderen Gebieten als den ursprünglich intendierten manifestiert.

Das Deutsche Reich musste nicht nur einen erheblichen Teil der Nahrungsmittel für die Bevölkerung, sondern auch der Futtermittel für die Tiere importieren. Mit letzteren beschäftigt sich der Aufsatz von Ulrike Thoms. Im Jahr 1916 wurde der »Kriegsausschuss für Ersatzfutter« gegründet, der die Tierfutterproduktion aus heimischen Ausgangs- und Abfallstoffen organisieren sollte, etwa aus Futterhefe, Heidekraut, chemisch aufgeschlossenem Stroh oder Holz und schließlich durch Nutzung tierischer Abfälle (Kadavern, Leimleder). Tierkadaver waren schon Ende des 19. Jahrhunderts verarbeitet und als Düngemittel beziehungsweise Tierfutter verwendet worden. Obwohl der Wert des Tierkörpermehls als Futtermittel zunächst kritisch gesehen wurde, bürgerte sich die Nutzung dieser Abfallstoffe ein und wurde 1911 durch das »Tierkadaverbeseitigungsgesetz« legalisiert. Der Erste Weltkrieg beförderte die Entwicklung neuer und die Verbesserung vorhandener Verfahren der Kadaververwertung zum Zweck der Futtermittelherstellung. Angesichts der Autarkiepolitik des »Dritten Reichs« erhielt die Futtermittelherstellung aus Kadavern nach 1933 verstärkte Aufmerksamkeit. In den 1950er und 1960er Jahren wurden Produktion und Absatz von Tiermehl weitergesteigert. Erst in den 1970er Jahren geriet die Tierkörperverwertungsindustrie durch die zunehmenden Importe billigen Fischmehls und Sojaschrots sowie die Aktivitäten der Umwelt- und Tierschutzbewegung allmählich unter Druck, der 1984 infolge des Auftretens der ersten BSE-Fälle zunahm. 2001 trat ein absolutes Verfütterungsverbot von Fleischmehl an Wiederkäuer in Kraft. Der Aufsatz zeigt zum einen die Kontinuitäten einer Praxis, die sich ansatzweise schon vor dem Ersten Weltkrieg etabliert hatte, und zum andern die Katalysatorwirkung des Ersten Weltkriegs, der Futtermitteln aus tierischen Abfällen und damit einem Ersatzprodukt zu allgemeiner Akzeptanz verhalf.

Ergebnisse und Ausblick

Auch wenn die hier präsentierten Beiträge ganz verschiedene Typen von Ersatzstoffen behandeln, fallen in der Gesamtschau doch einige Gemeinsamkeiten auf. Eine wichtige,

allerdings nicht neue Erkenntnis ist, dass im Deutschen Reich schon lange vor Ausbruch des Ersten Weltkriegs wesentliche Grundlagen für eine Politik der wirtschaftlichen Selbstversorgung und damit für die Ersatzstoffwirtschaft während der Weltkriege gelegt worden waren, ohne dass diese auf eine gezielte Autarkiepolitik oder eine wirtschaftlich-technische Strategie der Kriegsvorbereitung schließen lassen. Ferner fallen einige Schlüsseldaten ins Auge: die Verschärfung der Ersatzstoffwirtschaft infolge des Hindenburg-Programms im Jahr 1916 sowie das Verschwinden vieler Ersatzstoffe nach der Währungsreform und der Wiedereinbindung des Deutschen Reichs in den internationalen Handel im Jahr 1923/24. Sobald die qualitativ besseren »Originale« wieder auf dem Weltmarkt erhältlich waren, stellten viele Produzenten die Herstellung und Nutzung von Ersatzstoffen ein, weil sie im Vergleich zu den gewohnten Substanzen und Materialien in der Regel nicht konkurrenzfähig waren. Aufgrund der Autarkiepolitik des NS-Regimes erlebten etliche der im Ersten Weltkrieg verwendeten Ersatzstoffe ab 1934 ein Revival. Dank der in der Zwischenkriegszeit und vor allem nach der Machtübernahme der Nationalsozialisten intensivierten Forschungsanstrengungen waren sie qualitativ wesentlich besser als im Ersten Weltkrieg, so z. B im Fall des Synthesekautschuks oder der Viskosefaser.[157] Ein weiteres Schlüsseldatum stellt die Verkündung des Vierjahresplans im Jahr 1936 dar, der der Ersatzstoffproduktion und -nutzung deutliche Impulse gab. Ersatzstoffe spielten bis zur Währungsreform im Jahr 1948 eine wichtige Rolle, in der Mangelwirtschaft der ehemaligen sowjetischen Besatzungszone auch weit über das Gründungsdatum der DDR hinaus.[158]

Als nach Ausbruch des Ersten Weltkriegs verstärkt auf die Nutzung von Ersatzstoffen und Ersatzverfahren ausgewichen werden musste, griff man im Deutschen Reich notgedrungen vielfach auf Surrogate zurück, die bereits im 19. Jahrhundert entwickelt worden waren, etwa die Reißwolle, das Papiergarn, die Ei-Ersatzmittel, den Kunsthonig und andere mehr.[159] Des weiteren wurden etliche im 19. Jahrhundert entwickelte, wegen ihrer schlechten Ausbeuten und Energiebilanzen zu Beginn des 20. Jahrhunderts nicht mehr genutzte Verfahren zur Kompensation des Rohstoffmangels reaktiviert, so zum Beispiel im Fall der Schwefelgewinnung aus heimischem Gips ($CaSO_4$) oder Schwerspat ($BaSO_4$).[160] Zudem hatte sich besonders die deutsche chemische Industrie seit ihren

157 Vgl. aber Erker, Rolle, 2000.

158 Vgl. dazu Fraunholz/Hänseroth, Pfade, 2012.

159 Die Ernährungskatastrophe im Hungerwinter 1916/17 wurde weniger durch Rohstoffmangel ausgelöst, sondern vor allem durch die Unfähigkeit der Regierung, die Nahrungsmittelverwaltung effizient zu organisieren, vgl. Roerkohl, Hungerblockade, 1991, S. 317; Herwig, World War, 1997, S. 272–283.

160 In den Jahren 1916 bis 1920 wurde von der Deutschen Claus-Schwefel-Gesellschaft in Bernburg und der Sulfur GmbH in Walbek trotz der Unwirtschaftlichkeit der Verfahren Schwefel aus den erwähnten heimischen Rohstoffen gewonnen. Zum Problem der Schwefelgewinnung aus Gips vgl. Hönigsberger/Kaselitz/Ullmann, Schwefel, 1922, S. 133, S. 135, S. 141; Stensland, Ersatzstoffproduktion, 2009a, S. 182–183; Stensland, Schwefelbedarf, 2009b. Der Schwefelmangel während des Ersten Weltkriegs hatte unter anderem zur Folge, dass schwefelhaltige Farben wie z. B Ultramarinblau nicht mehr hergestellt werden konnten und Schwefel auch im Pflanzenschutz fehlte.

Anfängen darum bemüht, etliche importabhängige Schlüsselsubstanzen synthetisch zugänglich zu machen. Die Grundlagen vieler Verfahren, die während des Ersten Weltkriegs weiterentwickelt wurden, etwa die Kohlehydrierung, Kautschuk-Synthese, Ammoniak-Synthese, Kunstfaserherstellung, Gerbstoff-Synthese oder die Kadaververwertung zum Zweck der Futtermittelherstellung, waren bereits vor Kriegsausbruch gelegt worden. Weiterhin hatte die seit Ende des 19. Jahrhunderts wachsende Sorge vor einer politisch bedingten Verknappung wichtiger Rohstoffe (z. B Pyrethrum, Graukalk, Naturkautschuk) und die Angst vor der Endlichkeit unverzichtbarer Ressourcen (z. B Erdöl, Chilesalpeter) dazu geführt, dass sich vorausschauende Chemiker und Chemieindustrielle schon in den 1890er und 1900er Jahren mit der Frage beschäftigt hatten, wie solchen Szenarien vorgebeugt und Versorgungssicherheit geschaffen werden könnte. Etliche daraufhin in Angriff genommene »Ersatzstoff-Synthesen«, sei es die Synthese der Pyrethrine oder die Kohlehydrierung, waren im Ersten Weltkrieg aber noch nicht einsatzfähig, weil die Komplexität der Aufgaben unterschätzt worden war. Folglich konnten damals im Wesentlichen nur solche Verfahren weiterentwickelt und genutzt werden, die, wie das Haber-Bosch-Verfahren oder die Aceton-Synthese, schon in der Vorkriegszeit im halbtechnischen Maßstab funktionierten oder die zumindest hinsichtlich ihrer Grundkonzeption erarbeitet waren. So waren alle im Ersten Weltkrieg verwendeten Kautschuk-Ersatzstoffe schon vor Kriegsausbruch bekannt. Erst im Zweiten Weltkrieg konnten der Synthesekautschuk und andere Syntheseprodukte wie das Hydrierbenzin in großem Umfang genutzt werden, weil Forschung und Industrieproduktion durch staatliche Maßnahmen bereits einige Jahre vor Kriegsbeginn auf die Nutzung von Ersatzstoffen eingestellt worden waren. Auch die im Ersten Weltkrieg eingesetzten, seit 1911 bekannten synthetischen Gerbstoffe zeigten zwischen 1914 und 1918 lediglich ihre Defizite. Erst nach der Verkündung des Vierjahresplans wurden sie mit Unterstützung des Reichsamts für Wirtschaftsausbau soweit verbessert, dass sie genutzt werden konnten. Ein ähnlicher Verlauf zeigte sich bei den Textilfaser-Ersatzstoffen. Auch hier musste während des Ersten Weltkriegs noch größtenteils mit den unbefriedigenden, aus dem langen 19. Jahrhundert stammenden Ersatzstoffen vorliebgenommen werden. Da für die erst kurz vor Kriegsausbruch entwickelte innovative Stapelfaser noch keine geeigneten Verarbeitungsverfahren verfügbar waren, konnte die Kunstfaserindustrie den Textilfasermangel während des Ersten Weltkriegs noch nicht als Innovationsmotor nutzen. Angesichts fallender Baumwollpreise verloren die meisten Hersteller nach Kriegsende das Interesse an der neuen Faser. Ihr Durchbruch gelang im Deutschen Reich erst in den späten 1920er Jahren, in erster Linie dank der Bemühungen der IG Farbenindustrie, die ihre Chance einmal mehr in der Entwicklung von Chemieprodukten sah, die zur Selbstversorgung des Deutschen Reichs beitragen konnten.[161] Die Autarkiebestrebungen in den 1930er Jahren, besonders das 1934 von der NS-Regierung verkündete Faserstoffprogramm und die staatliche Förderung der Kunstfaserindustie, beschleunigten die Entwicklung der Zellwolle zur

161 Bluma, l'ersatz, 2004, S. 127; Petzina, IG Farben, 1968.

Marktreife.[162] Folglich kam es während des »Dritten Reichs« zu keinem gravierenden Textilfasermangel.

Auch wenn der Erste Weltkrieg im Fall des Synthesekautschuks, der synthetischen Gerbstoffe, der Viskosefaser und anderer Ersatzstoffe nicht als Innovationsbeschleuniger wirkte, sorgte der Bedarf an kriegsrelevanten Gütern und Grundchemikalien in anderen Fällen durchaus dafür, dass einige noch nicht im Industriemaßstab nutzbare Verfahren während und wegen des Kriegs mit großem Tempo in die Praxis überführt wurden. Paradebeispiele für diesen Verlauf sind die Überführung der Haber-Bosch- sowie der erwähnten Aceton-Synthese in die Technik. Der Erste Weltkrieg führte in vielen Bereichen zu einem Modernisierungsschub.[163]

Bei der Analyse der Strategien zur Behebung eines bestimmten Rohstoffengpasses wäre es zu kurz gegriffen, sich nur auf die Betrachtung bestimmter Ersatzstoffe oder –verfahren zu beschränken. Das Ausloten von Sparmöglichkeiten ist nicht von der Ersatzstoffentwicklung zu trennen, sondern, ebenso wie die Altstoff- und Abfallverwertung, eine alternative Möglichkeit zur Lösung des gleichen Problems.[164] Viele in den Phasen autarkistischer Wirtschaftspolitik entwickelte Sparstrategien, etwa die Nutzung geeigneter Füll- und Streckmittel in den verschiedensten Produktionsbereichen, konnten nach Kriegsende, von der Öffentlichkeit unbemerkt, weitergenutzt werden, weil sie Kostenersparnisse ermöglichten.[165] Wie wichtig gute Füll- und Streckmittel in verschiedensten Anwendungsgebieten waren, lässt die Formulierung vieler Anzeigentexte (Abb. 31) und Preisausschreiben erkennen (Abb. 30).[166] Ausgelöst durch die Zwangslage der Rohstoffknappheit kam es auf diesem Gebiet in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu etlichen kleineren, aber dennoch bemerkenswerten Innovationen, die in der industriellen Praxis bis heute wichtig sind.

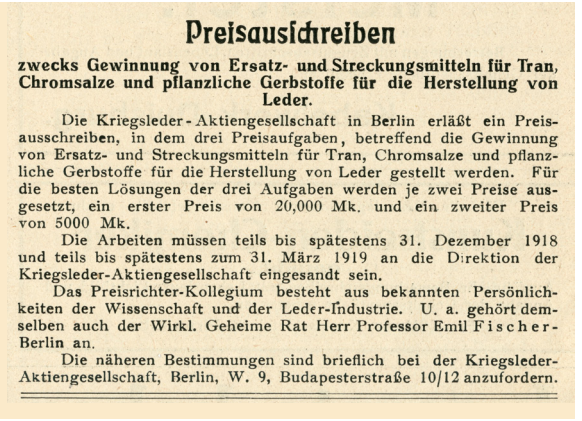
162 Scherner, Staat, 2002; Scherner, Beginnings, 2008.

163 Vgl. dazu den Aufsatz von Andreas Zilt in diesem Band.

164 Vgl. dazu Köstering, Pioniere, 1997; Weber, »Total« Recycling, 2013; Weber, Ökonomie, 2015; Weber, Reste, 2020.

165 In der Lebensmittelindustrie wurde während des Ersten Weltkriegs viel Erfahrungswissen über Streck- und Verdickungsmittel wie Alginate und Pektin gesammelt, die zur Stabilisierung dünnflüssiger Produkte genutzt wurden. Auch Probleme, die ungeeignete Streckmittel verursachten, waren lehrreich. So erwies sich der während des Ersten Weltkriegs bis zu einem gewissen Prozentsatz erlaubte Zusatz wasserunlöslicher Minerale (Ton, Kreide, Kaolin) zur Streckung der Kriegsseifen als fatal, weil sie die Wasserrohre verstopften und die Fasern schädigten. Durch solche Erfahrungen lernte die Seifenindustrie, die vor 1914 kaum mineralische Füllstoffe verwendet hatte, dass sie ihre Produkte nur mit feingeschlämmten Kaolinen oder wasserhaltigen Silikaten strecken konnte, vgl. Goldschmidt, Seife, 1922, S. 345 und S. 354; Stadlinger, Merkblatt, 1917, S. 179; Bauschinger, Praxis, 1937. Über brauchbare Seifenstreckmittel wurde auch im »Dritten Reich« geforscht und dabei 1935 die Waschwirklung der Methylcellulose (Tylose) entdeckt, deren Zusatz die gefürchtete »Vergrauung« der Wäsche verhinderte, vgl. dazu Gritz, Mersol, 2013, S. 131–132 und S. 154.

166 Die Bedeutung der Streckmittel wird in diesem Band besonders im Aufsatz von Manfred Rasch thematisiert.



Preisausschreiben

zwecks Gewinnung von Ersatz- und Streckungsmitteln für Tran, Chromsalze und pflanzliche Gerbstoffe für die Herstellung von Leder.

Die Kriegsleder-Aktiengesellschaft in Berlin erläßt ein Preisausschreiben, in dem drei Preisaufgaben, betreffend die Gewinnung von Ersatz- und Streckungsmitteln für Tran, Chromsalze und pflanzliche Gerbstoffe für die Herstellung von Leder gestellt werden. Für die besten Lösungen der drei Aufgaben werden je zwei Preise ausgesetzt, ein erster Preis von 20,000 Mk. und ein zweiter Preis von 5000 Mk.

Die Arbeiten müssen teils bis spätestens 31. Dezember 1918 und teils bis spätestens zum 31. März 1919 an die Direktion der Kriegsleder-Aktiengesellschaft eingesandt sein.

Das Preisrichter-Kollegium besteht aus bekannten Persönlichkeiten der Wissenschaft und der Leder-Industrie. U. a. gehört demselben auch der Wirkl. Geheime Rat Herr Professor Emil Fischer-Berlin an.

Die näheren Bestimmungen sind brieflich bei der Kriegsleder-Aktiengesellschaft, Berlin, W. 9, Budapesterstraße 10/12 anzufordern.

Abb. 30 Preisausschreiben der Kriegsleder AG aus dem Jahr 1918 zur Auffindung von Streckmitteln für diverse von Gerbereien benötigte Stoffe.

Abb. 31 Das im deutschen Terpentin-Ersatz »Sangajol« verwendete, aus den USA importierte Terpentinöl wurde »gestreckt«, indem es zur Hälfte durch Schwerbenzin ersetzt wurde. Dieses war ähnlich flüchtig wie das Terpentinöl, roch aber unangenehm.

Ein durch den Rohstoffmangel im Ersten Weltkrieg ausgelöster, langfristig wirksamer Lerneffekt lag zudem in der Erkenntnis, dass sich Ersatzstoffe nur dann zielgerichtet entwickeln lassen, wenn grundlegende naturwissenschaftlich-technische Phänomene und Prozesse wissenschaftlich verstanden werden. Die Herausforderung, in kurzer Zeit Ersatz zu beschaffen, beförderte daher die Verwissenschaftlichung etlicher bis 1914 weitgehend empirisch arbeitender Disziplinen, so im Fall der Werkstoff- und Verfahrenstechnik, der Metallkunde, der Textil- oder Gerbereichemie. Die Entwicklung funktionsfähiger synthetischer Gerbstoffe setzte notwendigerweise ein Verständnis des Gerbprozesses voraus, die Entwicklung von Kunstfasern Kenntnisse der Struktur wichtiger Naturfasern und so weiter. Nur wenn bekannt war, welche konkrete Funktion ein Gerbstoff beim Gerben hatte, konnte zielgerichtet nach Stoffen mit entsprechenden Eigenschaften gesucht werden; nur wenn man den chemischen und räumlichen Aufbau der Makromoleküle kannte, aus denen die natürlichen Textilfasern aufgebaut waren, konnten synthetische Homologe konzipiert werden und so weiter. Fehlte dieses Wissen, so musste es erarbeitet werden, was an den einschlägigen Kaiser-Wilhelm-Instituten und anderen Forschungsinstituten in vielen Fällen auch tatsächlich geschah. Viele, teils schon während des Ersten Weltkriegs, teils erst nach Kriegsende ergriffene Initiativen zielten darauf ab, neue Forschungsinstitutionen zu errichten, um die Defizite, die kriegsbedingt sichtbar geworden

waren, auf konstruktive Weise zu beseitigen und sich für die künftigen Erfordernisse zu wappnen.[167] Der Erste Weltkrieg sorgte dafür, dass die Bedeutung naturwissenschaftlich-technischer Grundlagenforschung deutlicher als je zuvor erkannt wurde.[168]

Auch wenn Ersatzstoffforschung oft nicht zur Entwicklung einer konkret nutzbaren Substanz oder eines Materials führte, lieferte sie doch immer wieder wertvolle Erkenntnisse, weil sie auf verschiedenen Ebenen Defizite offenlegte: sie zwang dazu, verkrustete Gewohnheiten in Frage zu stellen, alte, nicht hinterfragte Denkmuster aufzugeben, sich ernsthaft mit Alternativen zu beschäftigen, nach nutzbaren Roh- und Abfallstoffvorkommen im eigenen Land zu suchen sowie adäquate Infrastrukturen für die Forschung zu schaffen. Ersatzstoffforschung war auf vielfältige Weise stimulierend, selbst wenn das angestrebte Ziel nicht erreicht wurde. So gaben die Arbeiten über den Synthesekautschuk der Entwicklung von Weichmachern, Antioxidationsmitteln, Streck- und Füllstoffen sowie anderen von der Kautschukindustrie benötigten Additiven wichtige Impulse.[169] Welche nicht intendierten Perspektiven sich eröffnen konnten, zeigt die Erweiterung des Methodenarsenals der analytischen Chemie bei der Erforschung des Kaffeearomas.[170] Die Geschichte des Emulgier- und Netzmittels Nekal, das zufällig bei der vergeblichen Suche nach einer Glycerin-Synthese gefunden wurde, ist ein weiteres Beispiel für nicht intendierte Nebeneffekte im Kontext von Ersatzstoffforschung. Da in Industrielabors und Kriegsausschüssen betriebene Ersatzstoffforschung häufig nicht veröffentlicht wurde, ist die Auswertung archivalischer Quellen bei der historischen Forschung über Ersatzstoffe besonders wichtig und zielführend.[171]

So mancher Vorschlag zur Produktion und Nutzung möglicher Ersatzstoffe wurde wegen kulturell geprägter Vorlieben, eingeschliffener Traditionen, unkritisch übernommener Einstellungen und nationaler Technikstile nicht in die Praxis umgesetzt, so dass auch die Geschichte nicht realisierter Ersatzprojekte aufschlussreich sein kann.[172] Ein gutes Beispiel ist in diesem Zusammenhang die während des Ersten Weltkriegs viel diskutierte Nutzung von Schlachtblut für Nahrungszwecke. Schlachtblut wurde im Deutschen Reich wegen seiner leichten Verderblichkeit und mangels sinnvoller Verwendungsmöglichkeiten vor dem Ersten Weltkrieg größtenteils kanalisiert, lediglich die Kunststofffabrikation (Knopfindustrie) verwertete geringe Mengen. Angesichts des kriegs-

167 Manfred Rasch spricht in seinem Aufsatz beispielsweise die Initiativen zur Gründung von Braunkohleforschungsinstituten und von Professuren für Braunkohleforschung an.

168 Vgl.Trischler, Sicherheitssystem, 2002.

169 Vgl. den Aufsatz von Peter Morris in diesem Band.

170 Vgl. den Aufsatz von Claus Priesner in diesem Band.

171 Dies zeigen die Aufsätze von Claus Priesner, Andreas Zilt, Manfred Rasch und Ulrike Thoms in diesem Band besonders deutlich.

172 Vgl. hierzu die Aufsätze von Helmut Maier und Andreas Zilt in diesem Band, in denen geschildert wird, wie eingeschliffene Traditionen durch den Ersten Weltkrieg aufgebrochen wurden, so dass die Deutschen ihre Vorliebe für Kupfer aufgaben und stattdessen Legierungen akzeptierten beziehungsweise durch Versuchsreihen herausfanden, dass bei der Produktion von Granaten auch mit einem geringeren Mangangehalt als zuvor üblich gearbeitet werden konnte.

bedingten Nahrungsmittelmangels geriet das Schlachtblut allerdings ins Visier der Physiologen; sie empfahlen, den proteinreichen Rohstoff als Eiweißersatz für die menschliche Ernährung zu nutzen. Dieser sinnvolle Vorschlag wurde geprüft und innovative Lebensmittel wie Blutbrot, Blutkekse etc. wurden entwickelt. Letztlich verwarf man die Idee jedoch, weil die Produkte nicht der Esskultur und den Nahrungsgewohnheiten der Deutschen entsprachen.[173] Schlachtblut wurde im Ersten Weltkrieg daher nur zu Blutwurst und zu Tierfutter verarbeitet, dem Menschen also im Wesentlichen über den Umweg durch einen Tiermagen als Nahrung zugeführt. Nur beim Tierfutter warf man tradierte Vorstellungen über »artgerechte« Ernährung bedenkenlos über Bord. Während des Kriegs setzte sich die in Ansätzen bereits vor dem Krieg praktizierte Nutzung von Kadavermehl endgültig durch.[174] Die durch den Krieg katalysierte Wahrnehmung des Schlachtbluts als nutzbare Rohstoffquelle bewirkte jedoch, dass dieses vor 1914 kaum beachtete und genutzte Abfallprodukt der Schlachthöfe nach Kriegsende zunehmend in der Pharma-, Düngemittel- und vor allem der Kunststoffindustrie zum Einsatz kam.

Nach den Weltkriegen wurde das Alltagsleben der Deutschen noch lange von den Phasen vergangener Ersatzstoffnutzung geprägt. Die unkritische, bis in die späten 1950er Jahre übliche Verwendung künstlicher Aromastoffe war eine der vielen Folgen dieser Praxis,[175] die bis zum Ausbruch der BSE-Krise in der Mitte der 1980er Jahre gängige Nutzung von Kadavermehl zur Tierernährung eine andere.[176] Einige Ersatzstoffe lebten nach Kriegsende in neuen Funktionen weiter, so im Fall der bis in die frühen 1990er Jahre üblichen Verwendung des einstigen Sprengstoff-Ersatzstoffs Natriumchlorat als Herbizid auf Deutschlands Bahngleisen oder der während des Zweiten Weltkriegs zur Kompensation des Waschmittelmangels entwickelten Mersolate, die nach 1948 in der Bundesrepublik zwar nicht mehr zur Textilpflege, aber doch als Spezialreiniger weitergenutzt wurden.[177] Andere Ersatzstoffe erleben ein Revival als life-style-Produkt, wie die mit Papiergarn bespannten Lloyd-Loom-Möbel oder die veganen Ei-Ersatzmittel zeigen.

Die Ersatzstoffnutzung während des Ersten Weltkriegs prägte zudem die Industriestruktur Mitteldeutschlands nachhaltig. Dieses Gebiet lag außerhalb der Reichweite feindlicher Flugzeuge und wurde deshalb vielfach zum Standort neugebauter, großer Fabriken, die verschiedenste Ersatzstoffe herstellten.[178]

Mittlerweile hat das Wort »Ersatz« seine einstige Konnotation von »Fälschung« und »Minderwertigkeit« weitgehend verloren. Heute ist kaum mehr bekannt, dass viele gängige Alltagsprodukte – Rübenzucker, Margarine, Kondensmilch, Kunststoffe und andere

173 Block, Blut, 1915; Hofmeister, Verwendung, 1915; Kobert, Benutzung, 1917; Turck, Schlachtbut-Verwertung, 1928.

174 Vgl. den Aufsatz von Ulrike Thoms in diesem Band und Thoms, Wertvolles, 2016.

175 Vgl. Stoff, Gift, 2015.

176 Vgl. den Aufsatz von Ulrike Thoms in diesem Band.

177 Gritz, Mersol, 2013, S. 160 und S. 189–191.

178 Das zeigt beispielsweise die Gründung des Ammoniakwerks in Leuna bei Merseburg, der Reichsstickstoffwerke in Piesteritz, der Deutschen Hydrierwerke in Rodleben oder der in Premnitz angesiedelten Chemieindustrie, die in den Aufsätzen von Sandro Fehr und Manfred Rasch in diesem Band angesprochen werden.

mehr – ihre Karriere ursprünglich als Ersatzstoff begonnen hatten. Gerade Kunststoffe und Kunstharze galten nach dem Zweiten Weltkrieg noch lange als minderwertiger Ersatz für »edle« Materialien wie Porzellan, Glas, Bernstein oder Edelhölzer. Dass sie neuartige Werkstoffe mit einem ganz spezifischen Eigenschaftsprofil waren, die neue Verarbeitungsmethoden erforderten und deshalb auch neuartige Anwendungs- und Designmöglichkeiten eröffneten, wurde der deutschen Bevölkerung erst in den 1960er Jahren bewusst.[179]

Wengenroths These, die Deutschen hätten in den Zeiten autarkistischer Wirtschaftspolitik mit viel Aufwand aus »ungeeigneten Rohstoffen Zweitklassiges« entwickelt, muss differenziert werden.[180] Es ist zwar nicht zu leugnen, dass Aufwand und Wirkung von Ersatzstoffforschung vielfach in einem ungünstigen Verhältnis zueinander standen und, bedingt durch die rüstungswirtschaftlichen Interessen, viel Geld in die Entwicklung von Produkten und Verfahren gesteckt wurde, die vor allem unter Kriegsbedingungen Bedeutung hatten. Dennoch trug Ersatzstoffforschung durch ihre stimulierende Wirkung auf die Grundlagenforschung, die Impulse, die sie Nachbardisziplinen gab, und ihre unbeabsichtigten Nebeneffekte dazu bei, die Stoffkenntnisse zu erweitern, neue Untersuchungsmethoden zu erarbeiten und inländische Roh-, Neben- und Abfallstoffe, die zuvor nur wenig beachtet worden waren, als potentielle Ressourcen wahrzunehmen und sich ernsthaft mit ihren Nutzungsmöglichkeiten zu beschäftigen. Bei der Suche nach Ersatzstoffen und Ersatzverfahren wurde nach dem »Serendipitätsprinzip« wiederholt etwas ganz anderes als das Gesuchte gefunden, das deswegen aber nicht nutz- oder belanglos war. Die Versuche, minderwertige Erz- und Mineralvorkommen zu verwenden, Schlacken und Abraumhalden als Rohstoffpool einzusetzen und massenhaft anfallende Produktionsabfälle wie Schlachtblut, Lignin oder Sulfitablauge zu verwerten, mögen als Mobilisierung »ungeeigneter Ressourcen« betrachtet werden. In Anbetracht der Tatsache, dass die Kriterien für die Nutzungswürdigkeit von Ressourcen und die Klassifizierung von Stoffen als Abfall oder Wertstoff einem steten Wandel unterliegen, waren sie bezüglich ihrer Grundidee aus heutiger Sicht aber durchaus innovativ und keineswegs eine »Fortschrittsbremse«. Da der Druck, vermeintlich »ungeeignete Ressourcen« zu verwenden, nach Ende des Zweiten Weltkriegs jedoch nachließ, wandte man sich, wie so oft in der Geschichte der Ersatzstoffe, Jahrzehnte lang wieder den gewohnten Ressourcen zu. Nach einer langen Phase der Ausbeutung reicher Lagerstätten sind wir heute aber immer mehr auf die Nutzung minderwertiger Rohstoffquellen angewiesen, etwa von Erzen, die aufgrund des fortgeschrittenen Abbaus der Minen einen wesentlich geringeren Metallgehalt als früher haben. Zunehmende Umweltprobleme zwingen zudem dazu, die Verwertungs-

179 Westermann, Plastik, 2007. Eine vergleichbare Entwicklung vom ursprünglich als minderwertig geltenden Ersatz zum allseits akzeptierten Neustoff hatten zuvor auch andere Ersatzstoffe durchgemacht, beispielsweise der Rübenzucker und die Margarine.

180 Vgl. hierzu Sudrow, Schuh, 2010, und Thoms, Wertvolles, 2016, die Wengenroths Pauschalaussage bereits widerlegt haben.

möglichkeiten problematischer Abfallstoffe, beispielsweise von Kunststoffabfällen,[181] zu erforschen, auch wenn sie im Vergleich zu den jahrzehntelang genutzten Primärrohstoffen »zweitklasssige« und unbequeme Ausgangsmaterialien sind.

Das Thema Ersatzstoffe wird im Zusammenhang mit Zwangslagen, die durch Umweltprobleme, Klimawandel und zunehmende Ressourcenverknappung bereits entstanden sind und noch entstehen werden, weiter aktuell bleiben.[182] Im Anthropozän, in dem für zahlreiche Stoffe und Ressourcen die planetaren Grenzen erreicht, ja bereits überschritten worden sind, verknüpfen sich die Zeitschichten von Geschichte, Gegenwart und Zukunft auf ganz neue Weise. Bei der Entwicklung von Ersatzstoffen und Ersatzverfahren wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts etliche Strategien erprobt, die künftig, wenn auch in völlig anderen (wirtschafts)politischen Kontexten, wieder verstärkt Bedeutung erhalten werden. Um Ernährungs-, Energie- und Umweltkrisen sowie Ressourcenkonflikte zu vermeiden, wird eine neue Balance zwischen der Bereitstellung unverzichtbarer Materialien und deren Nachhaltigkeit gefunden werden müssen. Rohstoff- und Energieströme müssen so gelenkt werden, dass vermehrt regional verfügbare, erneuerbare Ressourcen und lokal anfallende Abfallstoffe genutzt, Sparmöglichkeiten ausgelotet und umweltbelastende, material- und energieverschwendende, klimaschädliche Technologien ersetzt werden. Produktströme müssen so konzipiert werden, dass die Utopie einer Kreislaufwirtschaft zumindest näherungsweise erreicht wird. Die heutigen Anforderungen ähneln denen, die in vergangenen Phasen merkantilistisch oder autarkistisch ausgerichteter Wirtschaftspolitik zu berücksichtigen waren, nur partiell, und zwar nicht nur, weil rüstungswirtschaftliche Interessen keine Rolle mehr spielen. Weitaus wichtiger ist, dass mittlerweile neue Kriterien hinzugekommen und als unverzichtbar erkannt worden sind, die bei der Suche nach Ersatz in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts noch keine Rolle spielten, nämlich Nachhaltigkeit, ökologische Verträglichkeit und Treibhausgasneutralität. So ist Braunkohle in der Bundesrepublik zwar ein heimischer, regional verfügbarer Rohstoff und Energieträger, trotzdem wird man ihn aus ökologischen und klimapolitischen Gründen nicht mehr nutzen. »Ersatz« bedeutet hier nicht weniger als die grundlegende Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft weit über die vieldiskutierte Energiewende als Umstieg von fossilen auf regenerative Energieträger hinaus.

181 Ironischerweise begann der Aufstieg der Kunststoffe in der Zeit des »Dritten Reichs«, weil sie vielfach als Ersatz für knappe Werkstoffe, besonders Metalle, eingesetzt wurden. Das einstige Ersatzmaterial muss heute selbst ersetzt werden, weil umweltfreundlichere und nachhaltigere Werkstoffe gefragt sind. Dass Ersatzstoffe irgendwann selbst ersetzt werden müssen, ist in ihrer Geschichte immer wieder zu beobachten, besonders im Fall problematischer Chemikalien. Für den gar nicht so seltenen Fall des Ersatzes einer problematischen Chemikalie durch eine andere, die sich später ebenfalls als schädlich erweist, hat sich der Terminus »regrettable substitutes« eingebürgert.

182 Vgl. Welzer, Klimakriege, 2008.

Literatur

– Korrosionsschutz durch ölfreie Lacküberzüge. In: Lack- und Farben-Zeitschrift, Mai 1943, S. 93–94.
– Was wird aus den Ersatzstoffen im Frieden? In: Zeitschrift für Abfallverwertung und Ersatzstoffwesen 1919, Nr. 6, S. 49-51; Nr. 9, S. 85-87; Nr. 11, S. 109-112.

Anzenhofer, Rudolf: Die Entwicklung und wirtschaftliche Bedeutung der Konservenindustrie. In: Verpackungs-Rundschau (1950), Nr. 3, S. 104–106.

Ash, Mitchell: Wissenschaft und Politik als Ressourcen für einander. In: Bruch, Rüdiger vom; Kaderas, Brigitte (Hrsg.): Wissenschaften und Wissenschaftspolitik. Bestandsaufnahme zu Formationen, Brüchen und Kontinuitäten im Deutschland des 20. Jahrhunderts. Stuttgart 2002, S. 32–51.

Bauschinger, Cl.: Aus der Praxis der Seifenherstellung. Streckmittel für Seifen I und II. In: Fette und Seifen 44 (1937), Nr. 8, S. 352–355, und Nr. 9, S. 394–397.

Beck, Harald: Friedrich Bergius, ein Erfinderschicksal. München 1982.

Becker, Ursula: Kaffee-Konzentration. Zur Entwicklung und Organisation des hanseatischen Kaffeehandels. Stuttgart 2002.

Beckert, Sven: King Cotton. Eine Geschichte des globalen Kapitalismus. München 2014.

Behringer, Wolfgang: Tambora und das Jahr ohne Sommer. Wie ein Vulkan die Welt in die Krise stürzte. München 2015.

Birkenfeld, Wolfgang: Der synthetische Treibstoff 1933–1945. Ein Beitrag zur nationalsozialistischen Wirtschafts- und Rüstungspolitik. Göttingen 1964.

Blaich, Fritz: Die Epoche des Merkantilismus. Wiesbaden 1973.

Block, J.: Blut als Nahrungsmittel. Godesberg 1915.

Blöcher, Heidi: Zellwolle und Kunstseide, die neuen Spinnstoffe. In: Junker, Almut (Hrsg.): Frankfurt Macht Mode 1933–1945. Marburg 1999, S. 73–82.

Bluma, Lars: »l'ersatz ist kein Ersatz« – Das Schaffen von Vertrauen durch Technikvermittlung am Beispiel der deutschen Zellwolle. In: Bluma, Lars; Pichol, Karl; Weber, Wolfhard (Hrsg.): Technikvermittlung und Technikpopularisierung. Historische und didaktische Perspektiven. Münster u.a. 2004, S. 121–142.

Blumenbach, W. C. W.: Handbuch der technischen Materialwaarenkunde, oder Anleitung zur Kenntniß der Rohstoffe, welche in den Gewerben, Manufakturen und Fabriken verarbeitet und verwendet werden. Pesth 1846.

Boehnke, Olaf: Werkstoffe: Schützende Schichten. In: Nachrichten aus der Chemie 68 (2020), Nr. 8, S. 30–33.

Bonwitt, Gustav: Das Celluloid und seine Ersatzstoffe. Handbuch für die Herstellung und Verarbeitung von Celluloid und seinen Ersatzstoffen. Berlin 1933.

Brenner, Andrea: Wruken, Maisbrot, Dottofix. Ersatzlebensmittel am Beispiel des Ersten Weltkrieges in Wien. In: Wiener Geschichtsblätter 20 (2005), Heft 3, S. 1–21.

–: Das Maisgespenst im Stacheldraht. Improvisation und Ersatz in der Wiener Lebensmittelversorgung des Ersten Weltkriegs. In: Poser, Alfred; Weigl, Andreas (Hrsg.): Im Epizentrum des Zusammenbruchs. Wien im Ersten Weltkrieg. Wien 2013, S. 140–149.

Brock, William H.: Justus von Liebig. Eine Biographie des großen Naturwissenschaftlers und Europäers. Braunschweig/Wiesbaden 1999.

Brocke, Bernhard vom; Laitko, Hubert (Hrsg.): Die Kaiser-Wilhelm-/Max-Plack-Gesellschaft und ihre Institute. Studien zu ihrer Geschichte. Das Harnack-Prinzip. Berlin/New York 1996.

Bruch, Rüdiger vom; Kaderas, Brigitte (Hrsg.): Wissenschaften und Wissenschaftspolitik. Bestandsaufnahmen zu Formationen, Brüchen und Kontinuitäten im Deutschland des 20. Jahrhunderts. Stuttgart 2002.

Bruhns, Guntwin: 250 Jahre Rübenzucker 1747–1997. Was Marggrafs Entdeckung bewirkte und veränderte. Berlin 1997.

Brunswig, H.: Explosivstoffe. In: Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Bd. 4. Berlin/Wien 1929, S. 709–793.

Bud, Robert: Wie wir das Leben nutzbar machten. Ursprung und Entwicklung der Biotechnologie. Braunschweig/Wiesbaden 1995.

Bürgel, H.: Deutsche Austausch-Werkstoffe. Berlin 1937.

Bugge, Günther: Industrie der Holzdestillationsprodukte. Dresden/Leipzig 1927.

Bunch, Allan William: How Biotechnology Helped Maintain the Supply of Acetone for the Manufacture of Cordite During World War I. In: The International Journal for the History of Engineering & Technology 84 (2014), Nr. 2, S. 211–226.

Burchardt, Lothar: Walther Rathenau und die Anfänge der deutschen Rohstoffbewirtschaftung im Ersten Weltkrieg. In: Tradition 15 (1970), S. 169–196.

Cohn, Georg: Äthylalkohol. In: Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 2. Berlin/Wien 1915, S. 9–10.

–: Aceton. In: Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Bd. 1. Berlin/Wien 1928, S. 105–115.

–: Äthylenalkohol. In: Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Bd. 1. Berlin/Wien 1928, S. 754–757.

Crouzet, François: L'Économie britannique et le blocus continental, 2. Aufl. Paris 1987.

–: La guerre économique franco-anglaise au XIII siècle. Paris 2008.

Cura, Katrin: Vom Hautleim zum Universalklebstoff. Zur Entwicklung der Klebstoffe. Berlin 2010.

Curtis, Lee J.: Lloyd Loom. Wohnen mit klassischen Korbmöbeln. München 1999.

Decken, Hans v. d.: Deutschlands Versorgung mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen unter besonderer Berücksichtigung der Auslandsabhängigkeit. Berlin 1935.

Demain, Arnold L.; Solomon, Nadine A.: Industrielle Mikrobiologie. Ausgewählte Verfahren und Perspektiven für die Zukunft. In: Gruss, Peter u.a. (Hrsg.): Industrielle Mikrobiologie. Heidelberg 1984, S. 10–21.

Diels, Ludwig: Ersatzstoffe aus dem Pflanzenreich. Ein Hilfsbuch zum Erkennen und Verwerten der heimischen Pflanzen für Zwecke der Ernährung und Industrie in Kriegs- und Friedenszeiten. Stuttgart 1918.

Eckermann, Erik: Fahren mit Holz. Geschichte und Technik der Holzgasgeneratoren und Ersatzantriebe. Bielefeld 2008.

Eiden, Fritz: Ausflug in die Vergangenheit: Chinin und andere Chinaalkaloide. 1. Teil: Von der Isolierung der Chinaalkaloide bis zur Konstitutionsaufklärung. In: Pharmazie in unserer Zeit 27 (1998), Nr. 6, S. 257–271.

–: Ausflug in die Vergangenheit: Chinin und andere Chinaalkaloide. 2. Teil: Die Aufklärung des räumlichen Baus der Chinolin-Chinaalkaloide. In: Pharmazie in unserer Zeit 28 (1999a), Nr. 1, S. 11–20.

–: Ausflug in die Vergangenheit: Chinin und andere Chinaalkaloide. 3. Teil: Vom Weg zur Totalsynthese der Chinolin-Chinaalkaloide über die Herstellung besser wirksamer Malariamittel bis zur Erforschung der Indol-Chinaalkaloide. In: Pharmazie in unserer Zeit 28 (1999b), Nr. 2, S. 74–86.

–: Morphin – ein hoch talentiertes Molekül. Gottes Werk oder Teufels Beitrag? In: Kultur & Technik 28 (2004), Heft 2, S. 50–56.

Erker, Paul: Die Rolle der Forschung bei der Ersatzstoff-Produktion. Das Beispiel Continental AG/Reifenindustrie. In: Kaufmann, Doris (Hrsg.): Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung. Göttingen 2000, S. 411–425.

–: Vom nationalen zum globalen Wettbewerb. Die deutsche und die amerikanische Reifenindustrie im 19. und 20. Jahrhundert. Paderborn/München 2005.

–: »Vierjahresplan-Chemie« und »Polymer Science«. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft und die chemische Forschung von den 1920er bis in die 1960er Jahre. In: Orth, Karin; Oberkrome, Willi (Hrsg.): Die Deutsche Forschungsgemeinschaft 1920–1970. Forschungsförderung im Spannungsfeld von Wisssenschaft und Politik. Stuttgart 2010, S. 183–202.

–: Zulieferer für Hitlers Krieg. Der Continental-Konzern in der NS-Zeit. Berlin/Boston 2020.

Fischer, Manuel: Kondensmilch. Vom Kindernährmittel zum vielseitigen Halbfabrikat der Nahrungsmittelindustrie, 1866–1900. In: Gilomen, Hans-Jörg u.a. (Hrsg.): Innovationen. Voraussetzungen und Folgen – Antriebskräfte und Widerstände. Zürich 2001, S. 279–303.

Fischer, Paul: Die Lederaustauschstoffe. München/Berlin 1942.

Flachowsky, Sören: Von der Notgemeinschaft zum Reichsforschungsrat. Wissenschaftspolitik im Kontext von Autarkie, Aufrüstung und Krieg. Stuttgart 2008.

–: »So viel ich kann, bemühe ich mich, der Heeresverwaltung nützlich zu sein.« Wissenschaftler als Krisenmanager zwischen 1914 und 1945. Emil Fischer – Rudolf Schenk – Adolf Fry. In: Berg, Matthias; Thiel, Jens; Walther, Peter Th. (Hrsg.): Mit Feder und Schwert. Militär und Wissenschaft – Wissenschaftler und Krieg. Stuttgart 2009, S. 107–135.

–: Krisenmanagement durch institutionalisierte Gemeinschaftsarbeit. Zur Kooperation von Wissenschaft, Industrie und Militär zwischen 1914 und 1933. In: Grüttner, Michael u.a. (Hrsg.): Gebrochene Wissenschaftskulturen. Universität und Politik im 20. Jahrhundert. Göttingen 2010, S. 83–106.

–: Das Reichsamt für Wirtschaftsausbau als Forschungsbehörde im NS-System. Überlegungen zur Neuen Sachlichkeit des Nationalsozialismus. In: Technikgeschichte 82 (2015), Nr. 3, S. 185–224.

Flachowsky, Sören; Hachtmann, Rüdiger; Schmaltz, Florian (Hrsg.): Ressourcenmobilisierung. Wissenschaftspolitik und Forschungspraxis im NS-Herrschaftssystem. Göttingen 2016.

Fraunholz, Uwe; Hänseroth, Thomas (Hrsg.): Ungleiche Pfade? Innovationskulturen im deutsch-deutschen Vergleich. Münster u.a. 2012.

Freiesleben, Werner: Im Wandel gewachsen. Der Weg der Wacker-Chemie 1914–1964. Wiesbaden 1964.

Fuchsloch, Norman: Metamorphosen oder Euphemismen? Vom Wandel der Abfälle zu Wertstoffen. In: Technikgeschichte 68 (2001), Nr. 4, S. 373–394.

Georges, Heinrich: Ausführliches Lateinisch-deutsches Handwörterbuch, Bd. 2. Hannover 1962.

Gerhard, Hans-Jürgen: Merkantilpolitische Handelshemmnisse (im territorialen Vergleich) am Beispiel eines territorial relativ einheitlichen Gebietes. In: Pohl, Hans (Hrsg.): Die Auswirkungen von Zöllen und anderen Handelshemmnissen auf Wirtschaft und Gesellschaft vom Mittelalter bis zur Gegenwart. Stuttgart 1987, S. 59–83.

Geueke, Birgit: Dossier – Can Coatings. In: Food Packaging Forum (2016), S. 1–10, DOI: 10.5281/zenodo.200633 (pdf)

Goebel, Otto: Rohstoffversorgung im Kriege. Vortrag. Berlin 1917.

–: Deutschlands Rohstoffwirtschaft im Weltkrieg einschließlich des Hindenburg-Programms (Wirtschafts- und Sozialgeschichte des Weltkriegs: Deutsche Seite). Stuttgart/Berlin/Leipzig 1930.

Gömmel, Rainer: Die Entwicklung der Wirtschaft im Zeitalter des Merkantilismus 1620–1800. München 1998.

Goldschmidt, Franz: Seife. In: Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 10. Berlin/Wien 1922, S. 344–387.

Gritz, Egbert: Mersol: Entwicklung und Einsatz von Ersatzwaschrohstoffen aus Kohle 1936–1945. Ein Beitrag zur nationalsozialistischen Autarkiepolitik. Stuttgart 2013.

Groß, Michael: Mykoprotein als Fleischersatz. In: Nachrichten aus der Chemie 64 (2016), Nr. 4, S. 403–405.

Hackenholz, Dirk: Die Elektrochemischen Werke in Bitterfeld 1914–1945. Ein Standort der IG-Farbenindustrie. Münster 2004.

Haka, Andreas: Visionäre »beflügeln« Polymere: Verkannte Potentiale? Hybride Werkstoffe in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. In: Ferrum 89 (2017), S. 80–89.

Hastings, J. J. H.: Gärungschemie in Großbritannien. In: Chemische Industrie 7 (1955), S. 708–710.

Hausbrand, E.: Wiedergewinnung von Dämpfen aus Luft und Gas. In: Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 12. Berlin/Wien 1923, S. 73–82.

Heim, Susanne: Kalorien, Kautschuk, Karrieren. Pflanzenzüchtung und landwirtschaftliche Forschung in Kaiser-Wilhelm-Instituten 1933–1945. Göttingen 2003.

Hendrich, Jürgen: Versuche zur Herstellung neuer optischer Gläser durch J. W. Döbereiner und F. Körner 1828/29 in Jena. In: Silikattechnik 35 (1984), S. 293–295.
Herbert, W.: Wiedergewinnung verdunsteter Lösungsmittel. In: Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Bd. 10. Berlin/Wien 1932, S. 484–504.
Herwig, Holger H.: The First World War. Germany and Austria-Hungary 1914–1918. London u .a. 1997.
Hölscher, Hans: Die Oberflächenbeschaffenheit von Feinblechen. In: Die neue Verpackung 3 (1950), Nr. 11, S. 335–338.
Hönigsberger, F.; Kaselitz, O.; Ullmann, F.: Schwefel. In: Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 10. Berlin/Wien 1922, S. 121–142.
Hof, Hagen; Wengenroth, Ulrich: Innovationsforschung. Ansätze, Methoden, Grenzen und Perspektiven, 2. Aufl. Hamburg 2010.
Hoffmann, Johannes: Wo steht die Verpackung? In: Die neue Verpackung 1 (1948), Nr. 1, S. 1–4.
Hofmeister, Franz: Über die Verwendung von Schlachtblut zur menschlichen Ernährung. München 1915.
Homburg, Ernst: De Eerste Wereldoorlog: samenwerking en concentratie binnen de Nederlandse chemische industrie. In: Schot, J.W. u .a. (Hrsg.): Techniek in Nederland in de twintigste eeuw, Bd. 2. Zutphen 2000, S. 317–331, S. 440–442.
–: Operating on Several Fronts: The Trans-National Activities of Royal Dutch/Shell, 1914–1918. In: Macleod, Roy; Johnson, Jeffrey Allan (Hrsg.): Frontline and Factory. Comparative Perspectives on the Chemical Industry at War, 1914–1924. Dordrecht 2006, S. 123–144.
Homburg, Ernst; Vaupel, Elisabeth (Hrsg.): Hazardous Chemicals. Agents of Risk and Change, 1800–2000. New York, Oxford 2019.
Hottenroth, V.: Kunstseide. In: Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Bd. 7. Berlin/Wien 1931, S. 20–83.
Johannsen, Otto: Die textilen Faserstoffe nebst einem Anhang über Ersatzstoffe. Sonderausgabe für das Staatliche Technikum für Textilindustrie Reutlingen. Reutlingen 1948.
Kamp, Michael: Kunstwolle oder: Wie man Lumpen zu Geld macht. In: Industrie-Kultur (2009), Nr. 1, S. 44–45.
Kauffman, George B.; Mayo, Isaac: Chaim Weizmann (1874–1952): Chemist, Biotechnologist, and Statesman. In: Journal of Chemical Education 71 (1994), Nr. 3, S. 209–214.
Keller, Fritz: Die Küche im Krieg. Lebensmittelstandards 1933 bis 1945. Wien 2015.
Kerner, Justinus: Das Bilderbuch aus meiner Knabenzeit. Erinnerungen aus den Jahren 1786 bis 1804. Braunschweig 1849.
Ketterl, H.: Die Ausweichtube. In: Fette und Seifen 51 (1944), Nr. 8, S. 320–322.
Kirschke, Martin: Liebigs Lehrer Karl W. G. Kastner (1783–1857). Berlin 2001.
Kleemann, Axel; Offermanns, Heribert: Von der Klostermedizin zu synthetischen Arzneiwirkstoffen. Meilenstein Salicylsäuresynthese. In: Chemie in unserer Zeit 46 (2012), S. 40–47.
Kling, W.: Die technische Bedeutung der Fettalkoholsulfonate. In: Chemiker-Zeitung 58 (1934), Nr. 55, S. 557–559.
–: Waschmittel 1928, 1968 und 2000. In: Chemische Industrie 20 (1968), Nr. 6, S. 393–397.
Kobert, Rudolf: Ueber die Benutzung von Blut als Zusatz zu Nahrungsmitteln. Ein Mahnwort zur Kriegszeit. Stuttgart 1917.
Köstering, Susanne: »Pioniere der Rohstoffbeschaffung«. Lumpensammler im Nationalsozialismus, 1934–1939. In: werkstatt Geschichte (1997), Nr. 17, S. 45–65.
Koller, Theodor: Handbuch der rationellen Verwerthung, Wiedergewinnung und Verarbeitung von Abfallstoffen jeder Art. Wien/Pest/Leipzig 1880.
–: Die Surrogate. Ihre Darstellungen im Kleinen und deren fabrikmässige Erzeugung. Ein Handbuch der Herstellung der künstlichen Ersatzstoffe für den praktischen Gebrauch von Industriellen und Technikern. Frankfurt/M. 1893.
–: Handbuch der rationellen Verwerthung, Wiedergewinnung und Verarbeitung von Abfallstoffen jeder Art, 2. Aufl. Wien/Pest/Leipzig 1900.
–: Handbuch der rationellen Verwertung, Wiedergewinnung und Verarbeitung von Abfallstoffen jeder Art, 3. Aufl. Wien/Pest/Leipzig 1921.

Kotte: Kunststoff-Innenüberzüge bei Konservendosen. In: Verpackungs-Rundschau (1952), Nr. 11, S. 410–411.

Kurth, Heinz: Chemische Unkrautbekämpfung. Jena 1960.

Kuster, Tobias: 500 Jahre kolonialer Rohrzucker – 250 Jahre europäischer Rübenzucker. In: VSWG. Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 85 (1998), Nr. 4, S. 477–512.

Lackner, Helmut: »Die Notwendigkeit zur Tugend machen«. Knappheit als Herausforderung für technische Innovation. In: Bayerl, Günter (Hrsg.): Sozialgeschichte der Technik. Ulrich Troitzsch zum 60. Geburtstag. Münster u.a. 1998, S. 179–188.

LaKind, Judy S.: Can Coatings for Foods and Beverages: Issues and Options. In: International Journal of Technology, Policy and Management 13 (2013), Nr. 1, S. 80–95.

Lang, Ursula: Salicylsäure und ihr Debüt als Antiseptikum und Konservierungsmittel. In: Geschichte der Pharmazie, DAZ-Beilage 68 (2016), Nr. 2/3, S. 25–36.

Lattermann, Günter: Wer hat's erfunden? Adolf Spitteler und die Geschichte des Galaliths. In: Ferrum 89 (2017), S. 26–34.

Löser, Bettina: Zur Gründungsgeschichte des Kaiser-Wilhelm-Institutes für Faserstoffchemie in Berlin-Dahlem. In: NTM. Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin 28 (1991), Heft 1, S. 73–93.

–: Zur Gründungsgeschichte und Entwicklung des Kaiser-Wilhelm-Institutes für Faserstoffchemie in Berlin-Dahlem (1914/19-1934). In: Brocke, Bernhard vom; Laitko, Hubert (Hrsg.): Die Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft und ihre Institute. Studien zu ihrer Geschichte: Das Harnack-Prinzip. Berlin/New York 1996, S. 275–302.

Lübke, Anton: Das deutsche Rohstoffwunder. Wandlungen der deutschen Rohstoffwirtschaft, 4. Aufl. Stuttgart 1939.

Ludwig, Karl-Heinz: Politische Lösungen für technische Innovationen 1933–1945. Eine antitechnische Mobilisierung, Ausformung und Instrumentalisierung der Technik. In: Technikgeschichte 62 (1995), S. 333–344.

Luxbacher, Günther: Die Entwicklung der industriellen Holzdestillation in Österreich bis zur Methanolsynthese. In: Blätter für Technikgeschichte 53/54 (1991/92), S. 241–260.

–: Die technische Mobilisierung der Botanik. Konzept und Wirkung der Technischen Rohstofflehre und Warenkunde im 19. Jahrhundert. In: Technikgeschichte 68 (2001), Nr. 4, S. 307–333.

–: Roh- und Werkstoffe für die Autarkie. Textilforschung in der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. Berlin 2004.

–: Wertarbeit mit Ersatzstoffen? Ausstellungen als Bühne deutscher Werkstoffpolitik 1916 bis 1942. In: Dresdener Beiträge zur Geschichte der Technikwissenschaften 31 (2006), S. 3–24.

–: Werkstoffe und Ersatzstoffe. Metalle im Kontext von Technik und deutscher Politik im 20. Jahrhundert, unveröffentl. Habilitationsschrift Fakultät I der TU Berlin. Berlin 2018.

Mähnert, Joachim: Kaffee und doch keiner. Vom Ersatzkaffee der alten Preußen zum modernen Öko-Getreidekaffee. In: Lummel, Peter (Hrsg.): Kaffee. Vom Schmuggelgut zum Lifestyle-Klassiker. Drei Jahrhunderte Berliner Kaffeekultur. Berlin 2002, S. 69–77.

Maier, Helmut: »New Age Metal« or »Ersatz«? Technological Uncertainties and Ideological Implications of Aluminium up to the 1930s. In: ICON. Journal of the International Committee for the History of Technology 3 (1997), S. 181–201.

–: Ideologie, Rüstung und Ressourcen. Das Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung und die »Deutschen Metalle« 1933–1945. In: Ders. (Hrsg): Rüstungsforschung im Nationalsozialismus. Organisation, Mobilisierung und Entgrenzung der Technikwissenschaften. Göttingen 2002, S. 357–388.

–: Einleitung. In: Ders. (Hrsg.): Gemeinschaftsforschung, Bevollmächtigte und der Wissenstransfer. Die Rolle der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im System kriegsrelevanter Forschung des Nationalsozialismus. Göttingen 2007.

–: Chemiker im »Dritten Reich«. Die Deutsche Chemische Gesellschaft und der Verein Deutscher Chemiker im NS-Herrschaftsapparat. Weinheim 2015

Marsch, Ulrich: Zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Industrieforschung in Deutschland und Großbritannien 1800–1936. Paderborn 2000.

Marschall, Luitgard: Industrielle Biotechnologie im 20. Jahrhundert. Technologische Alternative oder Nischentechnologie? In: Technikgeschichte 66 (1999), S. 277–293.

–: Im Schatten der chemischen Synthese. Industrielle Biotechnologie in Deutschland (1900–1970). Frankfurt/New York 2000.

Martens, Friedrich: Spezial-lackierte Schwarzblechdosen für aggressive Füllgüter. In: Die neue Verpackung 2 (1949), Nr. 8, S. 115–118.

Merki, Christoph Maria: Zucker gegen Saccharin. Zur Geschichte der künstlichen Süßstoffe. New York/Berlin 1993.

Münzinger, Walter M.: Fortschritte auf dem Gebiet der Kunstlederindustrie. In: Chemiker-Zeitung 58 (1934), Nr. 29, S. 293–295.

Mugdan, M.: Acetaldehyd. In: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Bd. 1. Berlin/Wien 1928, S. 95–99.

Neufeldt, Sieghard: Chronologie Chemie. Entdecker und Entdeckungen, 3. Aufl. Weinheim 2003.

Neumann, Rudolf Otto: Die im Kriege 1914–1918 verwendeten und zur Verwendung empfohlenen Brote, Brotersatz- und Brotstreckmittel. Zugleich eine Darstellung der Brotuntersuchung und der modernen Brotfrage. Berlin/Heidelberg 1920.

Nüsslein, Josef: Die Erfindung der propylierten Naphthalinsulfonsäure (Nekal A) und ihre Wirkung in Wissenschaft und Technik. Ein Beitrag zur Geschichte der grenzflächenaktiven Stoffe. In: Melliand Textilberichte 48 (1967), Nr. 10, S. 1205–1208.

Offermanns, Heribert; Retzlaff, Frank; Schalke, Peter: Bevor das Erdöl kam. In: Nachrichten aus der Chemie 68 (2020), Nr. 3, S. 12–15.

Offermanns, Heribert; Retzlaff, Frank: Rohstoff für eine neue Chemie. In: Nachrichten aus der Chemie 68 (2020), Nr. 4, S. 20–23.

Ost, Hermann: Lehrbuch der chemischen Technologie. 8. Aufl. Leipzig 1914.

Papst, Adalbert: Feinblech behauptet seine Stellung. In: Die neue Verpackung 3 (1950), Nr. 6, S. 163–164.

Pechtold, W.: Aceton. In: Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., Bd. 3. München/Berlin 1953, S. 36–41.

Pelzer, Birgit; Reith, Reinhold: Margarine. Die Karriere der Kunstbutter. Berlin 2001.

Pelzer-Reith, Birgit; Reith, Reinhold: »Fett aus Kohle«? Die Speisefettsynthese in Deutschland 1933–1945. In: Technikgeschichte 69 (2002), S. 173–205.

Petzina, Dieter: IG Farben und NS-Autarkiepolitik. In: Tradition 13 (1968), S. 250–254.

Pier, Matthias: Die Bedeutung der Kohlehydrierung. In: Chemiker-Zeitung 58 (1934), Nr. 1, S. 14–15.

Plumpe, Gottfried: Die I.G. Farbenindustrie AG. Wirtschaft, Technik und Politik 1904–1945. Berlin 1990.

Protscher, Hans-Georg: Das Weißblech als Werkstoff für Konservendosen. Diss. TH Braunschweig. Braunschweig 1940.

Rasch, Manfred: Geschichte des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung 1913–1943. Weinheim u.a. 1989.

Reinhardt, Carsten: Die Farbe Blau: Indigo. In: Walravens, Hartmut (Hrsg.): Ein blaues Wunder. Blaudruck in Europa und Japan. Berlin 1993, S. 14–24.

Reisemann, E.: Dämpfegewinnung. In: Bailleul, G.; Herbert, W.; Reisemann, E.: Aktive Kohle und ihre Verwendung in der chemischen Industrie. Stuttgart 1934, S. 27–49.

Reith, Reinhold: »Hurrah die Butter ist alle!« »Fettlücke« und »Eiweisslücke« im Dritten Reich. In: Pammer, Michael; Neiß, Heta; John, Michael (Hrsg.): Erfahrung der Moderne. Festschrift für Roman Sandgruber zum 60. Geburtstag. Stuttgart 2007, S. 403–426.

Römpp, Hermann: Chemie Lexikon, 5. Aufl. Stuttgart 1962.

Roerkohl, Anne: Hungerblockade und Heimatfront. Die kommunale Lebensmittelversorgung in Westfalen während des Ersten Weltkriegs. Stuttgart 1991

Rohn, G.: Papiergarn, seine Herstellung und Verarbeitung. Die Arbeiten und Vorrichtungen für die Verwertung von Papier zur Erzeugung textiler Waren. Leipzig 1918.

Rossfeld, Roman: »Ein Mittel Kaffee ohne Kaffee zu machen«: Zur Geschichte der Schweizerischen Zichorien- und Kaffeesurrogat-Industrie im 19. und 20. Jahrhundert. In: Rossfeld, Roman (Hrsg.): Genuß und Nüchternheit. Geschichte des Kaffees in der Schweiz vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Baden 2002, S. 226–255.

Roth, Klaus; Vaupel, Elisabeth: Pyrethrum – Geschichte eines Bio-Insektizids. Von Insekten, Chrysanthemen und Menschen. In: Chemie in unserer Zeit 51 (2017), Nr. 3, S. 162–184.

Saalfeld, Diedrich: Die Kontinentalsperre. In: Pohl, Hans (Hrsg.): Die Auswirkungen von Zöllen und anderen Handelshemmnissen auf Wirtschaft und Gesellschaft vom Mittelalter bis zur Gegenwart. Stuttgart 1987, S. 121–139.

Scherner, Jonas: Zwischen Staat und Markt. Die deutsche halbsynthetische Chemiefaserindustrie in den 30er Jahren. In: Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 89 (2002), S. 427–448.

–: The Beginnings of Nazi Autarky Policy: the ‚National Pulp Programme' and the Origin of Regional Staple Fibre Plants. In: Economic History Review 61 (2008), S. 867–895.

–: Staatliche Förderung, Industrieforschung und Verfahrensentwicklung. Die Tonerdeproduktion aus deutschen Rohstoffen im »Dritten Reich«. In: Flachowsky, Sören; Hachtmann, Rüdiger; Schmaltz, Florian (Hrsg.): Ressourcenmobilisierung. Wissenschaftspolitik und Forschungspraxis im NS-Herrschaftssystem. Göttingen 2016, S. 383–422.

Schmidt-Bachem, Heinz: Unterhosen und Pferdegasmasken aus Papier. Die deutsche Papiergarn-Industrie bis zum Ende des Ersten Weltkriegs. In: Kultur & Technik 31 (2007), Heft 1, S. 58–60.

–: Aus Papier. Eine Kultur- und Wirtschaftsgeschichte der Papier verarbeitenden Industrie in Deutschland. Berlin/Boston 2011.

Schramm. Lack- und Farbenfabriken Aktiengesellschaft Offenbach am Main. In: Farbe und Lack 66 (1960), Nr. 6, S. 359–362.

Schuller, Helmut: Die Geschichte der Polymerforschung in der BASF von den Anfängen bis 1952. Ludwigshafen 1994.

Schweisheimer, W.: Synthetisches Glycerin. In: Seifen – Öle – Wachse 81 (1955), S. 630–631.

Schulz, E. H.: Toluol und Abkömmlinge. In: Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Bd. 10. Berlin/Wien 1932, S. 23–47.

Schwenk, Ernst: 125 Jahre Albert Chemie in Biebrich am Rhein. Bilder und Fakten zur Firmengeschichte. Wiesbaden 1983.

Seidemann, Johannes: Herzog Carl August von Sachsen-Weimar und Johann Wolfgang von Goethe als Förderer der Stärkesirup- und Stärkezuckerfabrikation. In: Die Stärke 16 (1964), Nr. 12, S. 394–397.

–: Über die Herstellung von Stärkesirup und Stärkezucker im Haushalt vor 150 Jahren. In: Die Stärke 17 (1965), Nr. 10, S. 334–337.

Smith, John Graham: The Origins and Early Development of the Heavy Chemical Industry in France. Oxford 1979.

Smolka, Wolfgang J.: Alexander Wacker. Das Leben eines Industrie-Pioniers. München 1990.

Spiekermann, Uwe: Künstliche Kost. Ernährung in Deutschland, 1840 bis heute. Göttingen 2018.

Stadthagen, Hans: Genehmigungspflicht für Ersatzlebensmittel. Die Bundesratsverordnung vom 7.3.1918 nebst den zugehörigen Ausführungsbestimmungen des Reichskanzlers und der Landeszentralbehörden. Berlin 1918.

Stadlinger, Hermann: Merkblatt über Kriegswaschmittel. In: Kunststoffe 7 (1917), Nr. 12, S. 179.

Staudinger, Hermann: Arbeitserinnerungen. Heidelberg 1961.

Stensland, Ralf Harald: Zur Ersatzstoffproduktion im Ersten Weltkrieg – Schwefelbeschaffung und –bewirtschaftung in Deutschland. In: Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 96 (2009a), S. 173–194.

–: Deutschlands Schwefelbedarf und die Notwendigkeit zum Friedensschluss mit Sowjetrussland im Ersten Weltkrieg. In: Der Anschnitt 61 (2009b), S. 255–273.

Stokes, Raymond G.: Opting for Oil. The Political Economy of Technological Change in the West German Chemical Industry, 1945–1961. Cambridge 1994.

Stoff, Heiko: Gift in der Nahrung. Zur Genese der Verbraucherpolitik Mitte des 20. Jahrhunderts. Stuttgart 2015.

Streb, Jochen: Technologiepolitik im Zweiten Weltkrieg. Die staatliche Förderung der Synthesekautschukproduktion im deutsch-amerikanischen Vegleich. In: Vierteljahreshefte für Zeitgeschichte 50 (2002), S. 367–397.

–: Staatliche Technologiepolitik und branchenübergreifender Wissenstransfer. Über die Ursachen der internationalen Innovationserfolge der deutschen Kunststoffindustrie im 20. Jahrhundert. Berlin 2003.

–: Der transatlantische Wissenstransfer auf dem Gebiet der Synthesekautschukforschung in Krieg und Frieden. Freiwillige Kooperationen und erzwungene Reparationen (1926–1954). In: Technikgeschichte 71 (2004), S. 283–303.

Sudrow, Anne: Der Schuh im Nationalsozialismus. Eine Produktgeschichte im deutsch-britisch-amerikanischen Vergleich. Göttingen 2010.

Szöllösi-Janze, Margit: Der Wissenschaftler als Experte. Kooperationsverhältnisse von Staat, Militär, Wirtschaft und Wissenschaft, 1914–1933. In: Kaufmann, Doris: Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus. Bestandsaufnahme und Perspektiven der Forschung, Bd. 1. Göttingen 2000, S. 46–64.

Teuteberg, Hans-Jürgen: Die Rolle des Fleischextrakts für die Ernährungswissenschaften und den Aufstieg der Suppenindustrie. Kleine Geschichte der Fleischbrühe. Stuttgart 1990.

Thieler, Erich: Schwefel. Dresden/Leipzig 1936.

Thoms, Ulrike: Aus Wertlosem Wertvolles schaffen. Die Fütterungswissenschaft und die Steigerung der Nahrungsmittelproduktion. In: Flachowsky, Sören; Hachtmann, Rüdiger; Schmaltz, Florian (Hrsg.): Resssourcenmobilisierung. Wissenschaftspolitik und Forschungspraxis im NS-Herrschaftssystem. Göttingen 2016, S. 471–502.

Trischler, Helmuth: Die neue Räumlichkeit des Krieges. Wissenschaft und Technik im Ersten Weltkrieg. In: Berichte zur Wissenschaftsgeschichte 19 (1996), S. 95–103.

–: Nationales Sicherheitssystem – nationales Innovationssystem. Militärische Forschung und Technik in Deutschland in der Epoche der Weltkriege. In: Thoß, Bruno; Volkmann, Hans-Erich (Hrsg.): Erster Weltkrieg – Zweiter Weltkrieg. Ein Vergleich. Krieg, Kriegserlebnis, Kriegserfahrung in Deutschland. Paderborn u.a. 2002, S. 107–131.

Tschimmel, Udo: Aus der Retorte in den Krieg. Entwicklung und Nutzung von Nylon und Perlon vor 1945. In: Stiftung Haus der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Künstliche Versuchung. Nylon – Perlon – Dederon. Bonn 1999, S. 16–29.

Turck, Karl Gustav: Schlachtblut- und Abfallstoff-Verwertung. Grundlagen, Verarbeitung und Verwertung sowie dazu erforderliche Einrichtungen. Berlin 1928.

Vaupel, Elisabeth: Ökonomie, Ökologie und technischer Wandel. Zur Bedeutung der sizilianischen Schwefelkrisen für die Entwicklung der chemischen Industrie im 19. Jahrhundert. In: Deutsches Museum (Hrsg.): Wissenschaftliches Jahrbuch 1990, S. 97–131.

–: Hochkonjunktur der Ersatzstoffe. Napoleons Kontinentalsperre und ihre Folgen. In: Chemie in unserer Zeit 40 (2006), Nr. 5, S. 306–315.

–: Ersatzgewürze (1916–1948). Der Chemie-Nobelpreisträger Hermann Staudinger und der Kunstpfeffer. In: Technikgeschichte 78 (2011), Nr. 2, S. 91–122.

–: Edelsteine aus der Fabrik. Produktion und Nutzung synthetischer Rubine und Saphire im Deutschen Reich (1906–1925). In: Technikgeschichte 82 (2015), Nr. 4, S. 273–302.

–: Ersatz für die Naturvanille. Rezeption und rechtliche Behandlung der Aromastoffe Vanillin und Ethylvanillin in Deutschland (1874–2011). In: Ferrum 89 (2017), S. 44–55.

Vaupel, Elisabeth; Preiß, Florian: Kinder, sammelt Knochen! Lehr- und Propagandamittel zur Behandlung des Themas Knochenverwertung an deutschen Schulen im »Dritten Reich«. In: NTM. Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin 26 (2018), S. 151–183.

Vierhaus, Rudolf; Brocke, Bernhard vom (Hrsg.): Forschung im Spannungsfeld von Politik und Gesellschaft. Geschichte und Struktur der Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft. Aus Anlaß ihres 75jährigen Bestehens. Stuttgart 1990.

Vorstand des Allgemeinen Vereins zur Verfälschung von Lebensmitteln, Waaren etc. (Hrsg): Liederbuch für fröhliche Fälscher, nebst etlichen weisen Sprüchen, Regeln und Glossen. Berlin 1878.

Walter, Rolf: Merkantilpolitische Handelshemmnisse (im territorialen Vergleich) am Beispiel eines territorial relativ zersplitterten Gebietes. In: Pohl, Hans (Hrsg.): Die Auswirkungen von Zöllen und anderen Handelshemmnissen auf Wirtschaft und Gesellschaft vom Mittelalter bis zur Gegenwart. Stuttgart 1987, S. 84–120.

Weber, Heike: Towards »Total« Recycling: Women, Waste and Food. Waste Recovery in Germany, 1914–1939. In: Contemporary European History 22 (2013), S. 371–397.

–: Ökonomie, Ökologie oder Ideologie? Motivationen für das Recycling von Altpapier im 20. Jahrhundert. In: Schulz, Günther; Reith, Reinhold (Hrsg.): Wirtschaft und Umwelt vom Spätmittelalter bis zur Gegenwart. Auf dem Weg zur Nachhaltigkeit? Stuttgart 2015, S. 153–179.

–: Reste und Recycling bis zur »grünen Wende" – Eine Stoff- und Wissensgeschichte alltäglicher Abfälle (in Vorbereitung).

Weitensfelder, Hubert: »Kriegsware«. Ersatzstoffe in Produktion und Alltag. In: Pfoser, Alfred; Weigl, Andreas (Hrsg.): Im Epizentrum des Zusammenbruchs. Wien im Ersten Weltkrieg. Wien 2013, S. 172–179.

–: Metalle, Sprengstoff, Pflanzenfaser. Kriegsbedingte Ersatzmittel und Ersatzverfahren. In: Matis, Herbert; Mikoletzky, Juliane; Reiter, Wolfgang (Hrsg.): Wirtschaft, Technik und das Militär 1914–1918. Österreich-Ungarn im Ersten Weltkrieg. Wien/Berlin 2014, S. 227–251.

Welzer, Harald: Klimakriege. Wofür im 21. Jahrhundert getötet wird. Frankfurt 2008.

Wengenroth, Ulrich: Vom Innovationssystem zur Innovationskultur. Perspektivwechsel in der Innovationsforschung. In: Abele, Johannes; Barkleit, Gerhard; Hänseroth, Thomas (Hrsg.): Innovationskulturen und Fortschrittserwartungen im geteilten Deutschland. Köln/Weimar/Wien 2001, S. 23–32.

–: Die Flucht in den Käfig. Wissenschafts- und Innovationskultur in Deutschland 1900–1960. In: Bruch, Rüdiger vom; Kaderas, Brigitte (Hrsg.): Wissenschaften und Wissenschaftspolitik: Bestandsaufnahmen zu Formationen, Brüchen und Kontinuitäten im Deutschland des 20. Jahrhunderts. Stuttgart 2002, S. 52–59.

Westermann, Andrea: Plastik und politische Kultur in Westdeutschland. Zürich 2007.

Wichelhaus, Hermann: Der Stärkezucker. Leipzig 1913.

Wieland, Thomas: Pfadabhängigkeit, Forschungskultur und die langsame Entfaltung der Biotechnologie in der Bundesrepublik Deutschland. In: Fraunholz, Uwe; Hänseroth, Thomas (Hrsg.): Ungleiche Pfade? Innovationskulturen im deutsch-deutschen Vergleich. Münster/New York/München/Berlin 2012, S. 73–97.

Zachmann, Karin: Industrieentwicklung und Theorienbildung – die Relevanz der Entwicklung der Chemiefaserindustrie für die Durchsetzung der Makromolekulartheorie. In: Dresdener Beiträge zur Geschichte der Technikwissenschaften 8 (1984), S. 51–57.

–: Die Entwicklung der deutschen Chemiefaser-Industrie und ihre staatsmonopolistische Regulierung von 1900 bis 1933. Diss. TU Dresden 1985

Zart, A.: Zukunftsfragen der Textilindustrie. In: Chemiker-Zeitung 58 (1934), Nr. 54, S. 549–551.

–: Zur Geschichte der deutschen Kunstseide und Kunstfaser. In: Chemiker-Zeitung 59 (1935), Nr. 1, S. 21.

Zischka, Anton: Erfinder brechen die Blockade. Berlin 1942.

Ersatz für metallische und nichtmetallische Werkstoffe

Unbequeme Newcomer? Legierungen der Nichteisenmetalle (Al, Cu, Zn) vom Ersten Weltkrieg bis in die 1970er Jahre

Helmut Maier[1]

> Wenn es bis zum letzten Augenblick gelungen ist, die Fortführung des Krieges, soweit es die Metallwirtschaft anging, zu gewährleisten und unter Umständen sogar noch über das Jahr 1919 hinaus durchzuführen, so ist dieses ausschließlich der Sparsamkeit auf allen Gebieten und der Umstellung im Verbrauch der knappsten Sparmetalle auf weniger knappe und auf Eisen und andere [v]orhandene Rohstoffe zu verdanken.[2]

Trotz der in einigen Fällen extremen Importabhängigkeit bei Nichteisenmetallen (NE-Metallen) gelang es aus Sicht der Metallwirtschaft, den Bedarf für die Rüstungsproduktion bis Kriegsende zu decken. Doch schon die oben zitierte Aussage des ehemaligen Leiters der Metall-Meldestelle der Kriegsrohstoffabteilung macht deutlich, dass es sich dabei um keine triviale Aufgabe gehandelt hatte. Denn aus technologischen Gründen war es nicht einfach möglich, ein Metall durch ein anderes zu ersetzen, wenn die Qualität des Produkts nicht beeinträchtigt werden sollte. Trotzdem hätte man die Versorgung mit NE-Metallen sogar noch über das Jahr 1919 hinaus gewährleisten können. Betrachtet man die Produktionsmengen der drei hier relevanten NE-Metalle (Abb. 1), konnten zwar alle bis 1918 eine gewisse Steigerung verzeichnen, doch scheint diese keinesfalls ausreichend gewesen zu sein, die Steigerung der Nachfrage durch die Rüstungsproduktion zu decken. Allenfalls die Steigerung beim Aluminium (Al) war erheblich, wurde jedoch praktisch »aus dem Nichts«[3] erzielt und entsprach mengenmäßig lediglich einem Bruchteil der Zinkproduktion (Zn).

Die Diskrepanz zwischen Importabhängigkeit und Produktionszahlen führt zu der Frage, auf welche Weise die Steigerung der Rüstungsproduktion trotzdem erreicht wurde. Denn bis zum Vorabend des Kriegs war die »Ersatzstofffrage« nur in Ausnahmefällen diskutiert worden.[4] Manche Autoren verweisen auf die Mobilisierung von unkonventionellen Quellen, z. B. Kirchenglocken aus Bronze oder die Beschlagnahme von Metallen in den besetzten Territorien. In der Wissenschafts- und Technikgeschichte wird die Entfaltung des Ersatzstoffwesens in enger Beziehung zur Herausbildung der

1 Ich danke Elisabeth Vaupel für ihre Unterstützung bei der Abfassung des vorliegenden Beitrags und der Lektorin Andrea Lucas.

2 Porten, Metallwirtschaft, 1919.

3 Alle Zitate: Wieprecht, Metallbewirtschaftung, 1940.

4 Die »Frage des Ersatzes des Antimons im Hartblei für Schrappnellkugeln [ist] die einzige Ersatzstofffrage […], die bereits vor dem Kriege angeschnitten wurde«, Schulz, Kriegserfahrungen, 1923, S. 42.

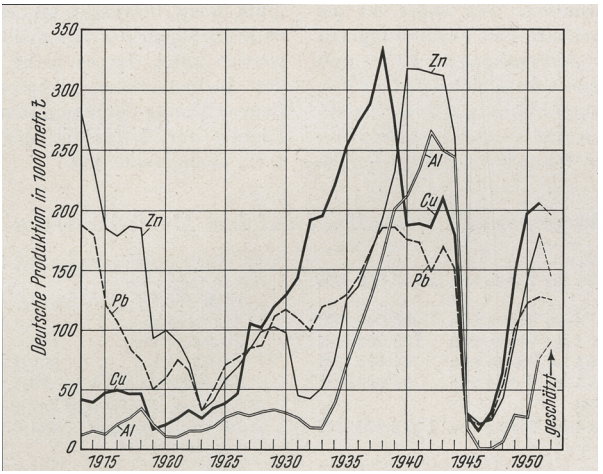


Abb. 1 Nichteisenmetall-Produktion in Deutschland 1913 bis 1950 nach Afflerbach 1952.[5]

Metallographie als der maßgeblichen »Hilfswissenschaft der Materialprüfung«[6] und ihrer Institutionen verstanden. Dem liegt die Annahme zu Grunde, dass Forschung und Entwicklung maßgeblich dazu beitrugen, Ersatzstoffe zu entwickeln, die sich nicht nur während des Kriegs, sondern darüber hinaus in der Technik zu etablieren vermochten.[7] Allein neue Legierungen zu entwickeln, bildete jedoch keineswegs die Garantie ihrer erfolgreichen Nutzung – Ersatzstoffforschung muss daher ebenso als »Aufgabenkreis der Werkstofftechnik und insbesondere der Konstruktionslehre und Konstruktionspraxis« begriffen werden.[8]

Zu den maßgeblichen Faktoren der Hochindustrialisierung ab den 1880er Jahren zählte die Verwissenschaftlichung der durch das Praxiswissen getragenen Branchen. Anders als die Eisen- und Stahlindustrie hinkte die NE-Metallbranche bei unternehmenseigenen Forschungseinrichtungen hinterher. In der Verarbeitung herrschten geradezu »primitive« Verhältnisse vor, wie von einem der bedeutendsten Zulieferer der Munitionsproduktion überliefert ist.[9] Erst 1908 leistete sich der größte Verarbeiter von NE-Metallen, die Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft AG (AEG) in Berlin, ein hauseigenes Metalllabor.[10] Ebenso fehlte ein systematischer Erfahrungsaustausch im Rahmen eines technisch-wissenschaftlichen Vereins, wie es sich auf dem Eisen- und Stahlgebiet ab 1907

5 Afflerbach, Aluminium-Ausblick, 1952.
6 Zimm, Aufbau, 1921.
7 Maier, Forschung als Waffe, 2007.
8 Luxbacher, Anwendungsgebiete, 2011, S. 61.
9 Hirsch, Revolution, 1967, S. 2–3, 18–19, 22.
10 Möckl/Evers/Herzog, Kautschuk, 2018; Evers/von Möllendorff/Marsch, von Moellendorff, 2004.

durch das Ausschusssystem des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh) etabliert hatte.[11] Auch die Gründung des Vereins Deutscher Gießereifachleute im Jahr 1909 erfolgte in dem Bewusstsein, »daß die wissenschaftliche Erforschung des Gießereiwesens im Vergleich zu anderen Bereichen der Technik noch sehr im Rückstand war.«[12]

Erst 1912 wurde die Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute (GDMB) gegründet, die sich den NE-Metallen vom Erz bis zur Verarbeitung widmete.[13] Neben ihrem Fachausschuss für Zinkhüttenwesen, der im Sommer 1914 gegründet wurde, entstand ein zweiter, der Fachausschuss für Metallverarbeitung, erst im Juli 1918. Er sollte die »Versuche an Walzwerken mit Metallen« auswerten. Diese Aufgabe ging im Jahr 1919 an die neu gegründete Deutsche Gesellschaft für Metallkunde (DGM) über.[14] Im Sommer 1917 wurde das Metallurgische Laboratorium der späteren Metallgesellschaft AG gegründet, bezeichnenderweise mit dem Ziel der »Weiterentwicklung des Lagermetall-Geschäftes«.[15] Noch 1919 galt es, die Industrie vom Nutzen eigener Laboratorien zu überzeugen.[16] Erst 1921 wurde das branchenspezifische Innovationssystem mit der Gründung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Metallforschung vervollständigt.[17]

Das bis Kriegsbeginn noch rudimentäre Innovationssystem verfügte nicht über die Mittel, die Suche nach geeigneten Legierungen auf die Basis einer systematischen Legierungskunde zu stellen. Grundlegende Methoden wie die Auswertung von Zustandsdiagrammen waren »dem Praktiker ein Greuel«.[18] Daher war das erste Kriegsjahr durch das »wilde Legieren´ [...] für Zwecke der Heeresverwaltung« geprägt.[19] Auch Mitte 1917 war keine Besserung in Sicht, denn »die Praxis des Legierungsgewerbes« verhielt sich »noch immer recht ablehnend zu der Frage des Austausches der Erfahrungen [...]«.[20]

Gleichwohl sparten Metallwissenschaftler selbst nicht an Kritik der eigenen Zunft. Nicht nur müssten die Praktiker in die Lösung von Einzelaufgaben einbezogen, sondern es müssten auch »die Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung noch viel mehr der Praxis zugänglich gemacht werden […]«. Bei den Auswirkungen kleinster Verunreinigungen war zu beklagen, dass die praktischen Erfahrungen der Forschung hier »wenig gebracht« hätten, z. B. beim Einfluss geringer Mengen Bleis auf hochkupferhaltiges Messing: »Aufgabe der Forschung wäre es, diesen Einflüssen genau nachzugehen, vor allem der Praxis zu helfen, die Grenzen der Schädlichkeit sicher zu ermitteln.« Nur wenige neuere Arbeiten, z. B. über Aluminium-Zink-Legierungen, hätten sich den »verschiedenen Legierungsreihen hinsichtlich ihrer Eigenschaften [...], die für die Praxis von Bedeutung sind, also

11 Zur »Entwicklung der Fachausschussarbeit des VDEh« siehe Bleidick, Schrödter, 2010, S. 85.
12 Schneider, Geschichte, 1959, S. 615.
13 25 Jahre Gesellschaft, 1937.
14 Andrae, 50 Jahre Gesellschaft, 1962, S. 167.
15 Wassermann/Wincierz, Metall-Laboratorium, 1981, S. 3.
16 Meese, Gesichtspunkte, 1919.
17 Marsch, Wissenschaft, 2000.
18 Masing, Krisis, 1951, S. 376.
19 Schulz, Verwertung, 1919.
20 Schulz, Stand, 1917, S. 381.

der mechanischen (Festigkeit bei den verschiedenen Beanspruchungen, Dehnbarkeit, usw)«, gewidmet. Es fehlten jedoch Arbeiten zur »Gießbarkeit, Lunkererscheinungen, Härte, Walzbarkeit und des Korrosionswiderstandes bei allmählich wachsenden Mengen der Zusatzmetalle«. Wenigstens hätten »die Kriegsaufgaben« zu einer »systematischen Durcharbeitung der Zinklegierungen« geführt. Insgesamt müsse die Legierungskunde zu einer »wirklichen in sich abgeschlossenen Wissenschaft« ausgestaltet werden, frei »von der Probiererei und Zufallsmischerei«. Auch bis ins Jahr 1917 fehlte eine »sinngemäße Nomenklatur der Legierungen, denn was auf diesem Gebiete gesündigt wird, ist stark«. Es sei verwerflich, wenn eine »biedere Zinklegierung« als »Kaiserbronze« bezeichnet werde, »denn eine hochprozentige Zinklegierung ist keine Bronze«.[21] Dieses Durcheinander darf gleichwohl in der Historiographie nicht dazu führen, das Verschwinden dieser Handels- und Phantasienamen nach dem Krieg von vornherein als Scheitern der Ersatzstofftechnologie aufzufassen. Vielmehr kommt es darauf an, die Zusammensetzung dieser Legierungen zu identifizieren und zu prüfen, inwiefern diese Kombinationen nicht doch zu dauerhaften Lösungen führten. Die Frage nach erfolgreichen Innovationen muss immer auch vonseiten der Verarbeitung und Anwendung im konkreten Produktbereich analysiert werden. Im Folgenden werden daher nach einer Einführung der hier betrachteten NE-Metalle die wichtigsten rüstungsrelevanten Anwendungsbereiche für die Zeit des Ersten Weltkriegs betrachtet. Danach schließen sich Abschnitte an, die die Fortführung der Innovationen für die Zeit bis 1933 sowie für das »Dritte Reich« und die Nachkriegszeit in den Blick nehmen. In allen Abschnitten werden darüber hinaus Faktoren berücksichtigt, die das Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Praxis, aber auch mentalitätsgeschichtliche Dispositionen beschreiben.

Die hier bezüglich der Fragestellung zum Teil erstmals ausgewerteten zeitgenössischen Fachorgane der technisch-wissenschaftlichen Vereine und Wirtschaftsverbände eignen sich auf besondere Weise als Quellengrundlage, denn sie bilden den Fachdiskurs der maßgeblichen Materialwissenschaftler und Werkstofftechniker präzise ab. Hinzu kommt, dass die hier zitierten Autoren während des Kriegs häufig rüstungsamtliche Positionen bekleideten.[22] Ihre nach dem Krieg veröffentlichten Schriften müssen im Kontext des zum Teil heftig ausgetragenen Streits um die Ursachen der deutschen Niederlage verstanden werden. Die Vorarbeiten zu diesem Aufsatz und die hier ausgewerteten Quellen zeigen jedoch, dass die zeitgenössischen Aussagen über Erfolge oder Scheitern von Innovationen einer Überprüfung standhalten. Im Folgenden können außerdem punktuell Entwicklungen bei den Kriegsgegnern angeführt werden, deren Erfolge bzw. Scheitern aus vergleichbaren, häufig technologisch-metallurgischen Zusammenhängen zu erklären waren.

21 Alle Zitate: Ebd., S. 382–384, 387–388.

22 Die Relevanz der Aussagen der hier zitierten Autoren erschließt sich u. a. aus ihrer Stellung in der technowissenschaftlichen community. Ihre Biographien konnten in dieser Publikation aus Platzgründen nicht erscheinen; siehe dazu Maier, Forschung als Waffe, 2007, und Maier, 100 Jahre, 2019.

Newcomer, Metallreserven und NE-Legierungen bis 1918/19

Aluminium »aus dem Nichts«?

> [I]n der Tat ist gerade auf dem Gebiet der Aluminiumlegierungen eine große Mannigfaltigkeit entstanden – fast möchte man sagen »Buntscheckigkeit«, denn da bis vor kurzem die Frage des Legierens fast ausschließlich eine Frage der Praxis war, so wurde viel Zufallsprodukt und viel Geheimmischerei – der alte Fehler des Legierungsgewerbes! – hervorgebracht.[23]

Bis zum Vorabend des Ersten Weltkriegs produzierte im Deutschen Reich bei einem Jahresverbrauch von 13 000 t[24] nur eine Aluminiumhütte mit rund 1000 t Jahresproduktion.[25] Dem stand im Jahr 1914 ein Import von rund 16 000 t Aluminium gegenüber. Im Mai 1915 verfügte Deutschland über einen Vorrat von nur noch 4000 t.[26] Der Löwenanteil der Aluminiumversorgung in Höhe von rund 58 % wurde durch Importe aus der Schweiz gedeckt (1915/19: rund 39 000 t).[27] Außerdem behalf man sich mit Beschlagnahmungen. Der Export wurde verboten und nur noch die Produktion für militärische Zwecke gestattet. Die wichtigsten Produkte waren Zünder- und Geschossteile sowie Halbzeuge für den Flugzeug- und Luftschiffbau. Bereits zu diesem Zeitpunkt begann die Karriere des Aluminiums als Ersatz für Kupfer (Cu) und dessen Legierungen. Ab 1915 betrieb das Kriegsministerium die Errichtung weiterer Hüttenwerke, die bis Kriegsende über eine Kapazität von zusammen 30 000 Jahrestonnen verfügten. Nach dem anfänglich erzwungenen Rückgang des Verbrauchs von 32 500 t (1914) auf 23 500 t (1915) stieg er mit 44 200 t (1916) und 65 900 t (1917) bis Kriegsende auf 74 900 t (1918) stark an.[28]

Die Einführung des Aluminiums war mit verschiedenen produktions- und konstruktionstechnischen Fragen verbunden. Nicht selten glaubten Verarbeiter ihre »mit anderen Metallen gemachten Erfahrungen ohne weiteres auf Aluminium übertragen zu können« und hätten »schwer [...] Lehrgeld zahlen müssen«.[29] Zunächst stand daher die Umstellung der bekannten Be- und Verarbeitungsverfahren im Vordergrund – ein schwieriges Unterfangen: »Aluminium ist nämlich ein sehr eigentümliches Metall, und seine Eigenschaften unterscheiden sich wesentlich von Bronze und Messing.«[30] Nicht einmal einfache handwerkliche Arbeiten wie das Bohren waren problemfrei.[31] Bis Kriegsbeginn existierten nur wenige Veröffentlichungen zu binären Legierungen, »und in der Patent-

23 Schulz, Studien, 1917, S. 125.
24 Porten, Metallwirtschaft, 1920, S. 163.
25 Es handelte sich um eine Niederlassung der Schweizerischen Aluminiumindustrie AG in Rheinfelden; Grüber, Entwicklung, 1925, S. 7–9, 35.
26 Aluminiumindustrie, 1921; Rückblick, 1951.
27 Belli, Lautawerk, 2012, S. 97.
28 Günther, Rohaluminiumindustrie, 1931, S. 64.
29 Krause, Aluminiumwarenfabrikant, 1922, S. 14.
30 Wiederverwendung, 1920.
31 Bearbeitung, 1920.

literatur ist wenig Wertvolles, zum Teil geradezu Falsches angegeben«.[32] Ebenso problematisch erwies sich der Kokillenguss, z. B. bei der Herstellung von Löffeln. Hier halfen Flussmittel und die Anbringung von Luftlöchern in der Gussform.[33] Beim Schmelzen sollte zur Vermeidung der Oxidbildung ein Überhitzen vermieden und zügig gegossen werden.[34] Das hohe Schwindmaß des Aluminiums, das nach dem Erkalten zu Rissen in den Gussstücken führte, verursachte eine »unverhältnismäßig« hohe Ausschussquote.[35]

Die Wiederverwendung von Produktionsabfällen erforderte einen höheren Aufwand, als man es von den anderen NE-Metallen gewohnt war. Die Versuche, Blechabfälle einfach umzuschmelzen, verliefen unbefriedigend. Da das entstehende Oxid nicht aufschwamm, ging es in die Schmelze über und führte »beim Auswalzen zu Blech« zur Bildung von Rissen. Noch Anfang 1920 wurde empfohlen, aus Abfällen Gussstücke herzustellen und das Aluminium dabei mit 8 % Kupfer zu legieren.[36] Um den Schrott in die Produktion zurückführen zu können, sollten sich »die Forschung und die Praxis« der Lösung des Problems widmen.[37] Das während des Kriegs in Deutschland produzierte Hüttenaluminium erreichte u. a. wegen der Verunreinigungen der Tonerde lediglich 98 %ige Reinheit,[38] so dass die Verunreinigungen das wiederverwertete Material weiter kontaminierten. Die 1919 entwickelte Technologie, bei der die Aluminiumabfälle im Natriumchloridbad im Drehofen eingeschmolzen wurden, bildete fortan das »klassische Einschmelzverfahren« der Umschmelzindustrie.[39]

Unerschöpfliche Kupferreserven?

> Im ersten und zweiten Kriegsjahr wurde der Ausfall [der Importe und Eigenerzeugung] zum Teil ersetzt durch das erbeutete Material in den besetzten Ländern. Beträchtliche Vorräte von Kupfer und Messing fielen uns durch die Besetzung von Belgien, Nordfrankreich und Westrußland zu.[40]

Kupfer zählte »infolge seiner Rostbeständigkeit und seiner guten elektrischen und Wärmeleitfähigkeit« zu den technisch wichtigsten NE-Metallen. Hinzu kamen die überaus bedeutenden hartzähen Legierungen mit Zink, also dem Messing, und mit Zinn (Sn), also den Bronzen. Im letzten Friedensjahr 1913 wurden in Deutschland gut 25 000 t

32 Schirmeister, Kenntnis, 1915, S. 431.
33 Grüber, Entwicklung, 1925, S. 22.
34 Hartmann, Gießen, 1920.
35 Verarbeitung, 1920.
36 Wiederverwendung, 1920.
37 Einschmelzen, 1920.
38 Schuster, Randglossen, 1925, S. 1.
39 Schmidt, Entwicklung, 1965.
40 Schulz, Kupfer, 1919, S. 424.

Kupfer erzeugt bei einem Gesamtverbrauch von rund 260 000 t.[41] Daraus errechnet sich eine über 90%ige Importabhängigkeit. Die vor dem Krieg sinkenden Weltmarktpreise für Kupfer waren dafür verantwortlich, dass viele deutsche Bergbaue nicht mehr abbauwürdig waren. Selbst der wichtigste Kupferbergbau in Mansfeld war nur durch die Optimierung der Verfahren und die Ausschöpfung der Nebenprodukte in der Lage, »sich gerade über Wasser zu halten«.[42] Die Unterbrechung der Importe verursachte eine allgemeine »Metallnot«.[43] Trotz der Blockade sollen »im Jahre 1915 rund 23 000 t Kupfer im Transit durch die neutralen Nachbarländer nach Deutschland gelangt sein«.[44] Angesichts der faktischen Diskrepanz zwischen Eigenerzeugung und Verbrauch zählte der Kupfermangel zu den gravierendsten Problemen der Munitionsversorgung. Nicht von ungefähr war man in England davon überzeugt, dass die »Kupfernot« das Deutsche Reich »schließlich niederzwingen würde«.[45]

Als wichtigste Quelle der Rüstungsproduktion erwiesen sich die in den Vorkriegsjahren in Verkehr gebrachten Kupferbestände. Wie ein zeitgenössischer amerikanischer Bericht offenlegte, gab es eine in Deutschland im Vergleich zu den anderen Industrienationen überragende Vorliebe für Kupfer und seine Legierungen:

> Die Verwendung von Kupfer als Bedachungsmittel für Kirchen, Verwaltungs- und Regierungsgebäude war so außergewöhnlich verbreitet, daß der deutsche Generalstab verdächtigt wurde, diesen großen Gebrauch begünstigt zu haben, um einen unauffälligen Vorrat für den Kriegsfall zu schaffen.[46]

Es handelte sich um »mindestens 1 Mill. t Kupfer in den verschiedensten Gebrauchsgegenständen«.[47] Rund »30 v. H. des gesamten Kriegsverbrauchs« seien aus den vor dem Krieg verbauten Kupfermengen gewonnen worden.[48] Da es wegen der geringen deutschen Kupfervorkommen unmöglich war, die Urproduktion signifikant zu steigern, kam den kupferhaltigen Altmetallen eine besondere Bedeutung zu. Diese wurden mit dem Knudsenschen Verfahren im Konverter verblasen, wobei ein »zur Elektrolyse geeignetes Schwarzkupfer« entstand.[49] So sollen aus den »verschiedensten Kupfergegenstände[n] (Kessel, Glocken u. a.) [...] schätzungsweise bis zum 1. Januar 1918 dem Kupferinhalt nach 91 000 t Altmaterial erneut verarbeitet« worden sein.[50]

41 Ebd., S. 423.
42 Günther, Metallproduktion, 1918, S. 144.
43 Bericht, 1916, S. 277–278.
44 Berg/Friedensburg, Kupfer, 1941, S. 46.
45 Nugel, Metallhüttenindustrie, 1916, S. 329.
46 Ebeling, Kupferprobleme, 1958, S. 1045.
47 Schulz, Kupfer, 1919, S. 424.
48 Tröger, Technik, 1920, S. 522.
49 Schulz, Metalle, 1923, S. 22.
50 Weltproduktion, 1922, S. 694.

Im Mai 1915 wurden Kupfervorräte in Höhe von »90 000 t Reininhalt einschliesslich Leg.« festgestellt.[51] Dem stand für das Jahr 1915 ein Rüstungsbedarf von 100 000 t[52] bis 120 000 t gegenüber,[53] wobei unklar ist, in welcher Weise sich diese Zahl während der folgenden Kriegsjahre änderte.[54] Offensichtlich gelang es jedoch während des Kriegs, den Verbrauch bei gleichzeitiger Steigerung der Munitionsproduktion zu halbieren. So habe anfänglich die »Feldzeugmeisterei monatlich 10–12 000 Tonnen Kupfer [verbraucht], Mitte 1917 nur noch 5000 Tonnen«.[55] Nach dem Krieg wurde bekannt, »daß der Kupferverbrauch der größten Beschaffungsstelle, des Waffen- und Munitionsbeschaffungsamtes, bezogen auf die gleiche Stückzahl von fertigen Gegenständen, zum Schluß etwa auf den achten Teil zurückgegangen war«.[56]

Die Summe der Maßnahmen in den Bereichen der Urproduktion, Ersatzstoffwirtschaft, Enteignung, Beschlagnahme und Altmaterialaufbereitung reichte ab etwa Ende 1916 nicht mehr aus, »die von der Obersten Heeresleitung angeforderten Kupfermengen zur Verfügung zu stellen«. Trotzdem wurden erst im April 1917 »besondere Werkstoffkommissionen zur Prüfung des Kupferverbrauches und -Ersatzes für Zünder, Patronen- und Kartuschhülsen sowie Führungsringe eingesetzt«.[57] Offenbar entspannte sich die Lage im letzten Kriegsjahr. Der zeitgenössischen Wahrnehmung im Juli 1918 zufolge habe die »Ersatzindustrie über alles Erwarten einen großen Umfang angenommen«, mit der Folge, »daß auf absehbare Zeit mit einem Mangel für den dringenden Kriegsbedarf nicht zu rechnen« sei.[58] Während des Kriegs sei ein Drittel des Kupferbedarfs durch Aluminium und Zink ersetzt worden.[59] Diese überschlägige Schätzung bestätigt die Aussage des ehemaligen Leiters der Kriegsrohstoffabteilung von 1920: »Ohne die Errungenschaften auf dem Gebiete der Ersatzstoffe hätte das abgeschlossene Deutschland nicht durchhalten können.«[60]

»Rettungsmetall« Zink?

> Als einzigen Ersatz für Kupfer, Zinn, Nickel, Aluminium usw. und deren Legierungen gab es immer nur die beiden Rettungsmetalle Zink und Eisen.[61]

51 Hornig, Kupfererzversorgung, 1921, S. 68.
52 Frage, 1915.
53 Schulz, Kupfer, 1919, S. 423.
54 Die deutsche Kupferproduktion belief sich auf 30 000 t (1914), 35 000 t (1915), 45 000 t (1916), 45 000 t (1917), 40 000 t (1918); Welterzeugung, 1919; Weltkupferproduktion, 1919.
55 Goebel, Rohstoffwirtschaft, 1930, S. 46.
56 Tröger, Technik, 1920, S. 523–524.
57 Schulz, Kupfer, 1919, S. 426.
58 Kupferversorgung, 1918.
59 Hundt, Deutschland, 1919.
60 Koeth, Rohstoffbewirtschaftung, 1920, S. 230.
61 Arthur Kessner auf der Gründungsversammlung; 50 Jahre, 1969, S. 10–11.

Bei den NE-Metallen gestaltete sich die Versorgung mit Zink am besten, dessen Verbrauch am Vorabend des Ersten Weltkriegs zu 72 % aus heimischen Quellen gedeckt werden konnte.[62] Die Produktion fiel jedoch von 280 000 t bei Kriegsbeginn auf 180 000 t im Jahr 1918.[63] Neben der Verwendung für Dächer, Draht oder galvanische Batterien waren Zinklegierungen vor dem Krieg überwiegend im Kunstguss in Gebrauch, wogegen das Legierungsgebiet weitgehend unbekannt war. Dass »Verunreinigungen wie Blei, Zinn oder Kadmium« schädlich waren, wurde erst durch die Forschung nach dem Krieg ermittelt. Interkristalline Korrosion, durch die sich Zinklegierungen ausdehnten und zum Teil ganz zerfielen, war mit dem verfügbaren Roh- und Raffinadezink nicht zu vermeiden. Vielfach kamen auch Kombinationen der Legierungsbestandteile zum Einsatz, die zur Versprödung und Problemen mit der Maßhaltigkeit führten.[64] Daher wurde vor »billigen Zinkmarken« gewarnt.[65]

Bereits bis 1916 hatten ausgedehnte Untersuchungen ergeben, dass man auf physikalischem Wege zur »Veredelung des Zinks« gelangen konnte.[66] Nach dem Krieg wurde dem Zink die oben zitierte Funktion eines »Rettungsmetalls« zugeschrieben. Es zählte zwar nicht zu den Sparmetallen, wurde jedoch ab Oktober 1917 »nur noch gegen besondere Zuweisung, die seitens des Zuweisungsamtes des Kgl. Kriegsministeriums erfolgt«, freigegeben.[67] Als überaus erfolgreich erwies sich die Entdeckung, durch eine Warmverarbeitung des Reinzinks bei ca. 120 Grad Celsius ein Press- und Walzzink mit messingähnlichen Festigkeitseigenschaften erzeugen zu können. Dagegen wirkte sich beim Einsatz von Zinklegierungen nachteilig aus, dass auf Grund mangelnder Erfahrung erfolgte Beimengungen anderer Metalle zum Versagen der Produkte führten.[68] So machte »ein Antimon- und Arsengehalt wenig über nur 0,02 % das Zn brüchig und spröde«.[69]

Produktseitige Werkstoffverschiebungen

Zünderlegierungen

Zünder- und Geschossteile galten als »Präzisionsware«[70] und wurden im ersten Kriegsjahr noch überwiegend aus einem Messing mit 58 % Kupfer hergestellt.[71] Als »erste vorgeschriebene Zünderlegierung«,[72] die den Kupferbedarf reduzieren sollte, wurde eine bereits vor dem Krieg für Artilleriezünder erprobte Al-Legierung (AlSn6Cu2) verwendet.

62 Schulz, Metalle, 1923, S. 22–23.
63 Hoppe, Zinkindustrie, 1921.
64 Burkhardt, Feinzinklegierungen, 1939.
65 Haas, Mängel, 1916.
66 Schulz, Erfahrungen, 1916, S. 284.
67 Neuregelung, 1917; Zuteilung, 1918.
68 Schulz, Metalle, 1923, S. 25–26, 29.
69 Streiflichter, 1936. Abk. für Antimon = Sb.
70 Grüber, Entwicklung, 1925, S. 36.
71 Schulz, Metalle, 1923, S. 24.
72 Würth, Betrachtungen, 1920, S. 569.

Wegen der extremen Zinnknappheit zielten die ersten Versuche des Militärversuchsamts im Krieg darauf ab, den Zinnanteil dieser Zünderlegierung zu reduzieren. Gegenüber den zinnhaltigen Legierungen versagten die neuen Legierungen jedoch »hinsichtlich der Forderung sehr leichter Bearbeitbarkeit mit schneidenden Werkzeugen«. Weitere Versuche, durch den Zusatz von Eisen und Blei eine brauchbare Legierung zu entwickeln, waren erfolglos. So bildete bei Kriegsende »die systematische Durchprüfung der Aluminiumlegierungen unter dem Gesichtspunkte der leichten Bearbeitbarkeit [...] für die Massenfertigung« den einzig »greifbare[n] Erfolg« dieser Anstrengungen.[73]

Da sich die Aluminiumversorgung schnell zum Engpass entwickelte, sollte die Zünderproduktion auf Zinklegierungen umgestellt werden.[74] Für die Suche nach geeigneten Zinklegierungen[75] wurde beim »Militärversuchsamt, im Feuerwerkslaboratorium Spandau und in der Privatindustrie« ein erheblicher Forschungsaufwand betrieben. Zur Herstellung der Zünderkörper wurde »eine in Österreich bereits seit längerem eingeführte Zinklegierung« (ZnCu6Al3) verwendet. [76] Sie habe »sich außerordentlich gut« bewährt.[77] Sie firmierte unter den Bezeichnungen »Spandauer« oder »Österreichische Legierung«.[78] Insgesamt verbrauchte die Zünderfertigung um 1916 monatlich 1000 t Aluminium, 2100 t Kupfer und 2900 t Zink.[79] Infolge der schwankenden Qualität der Zinklieferungen blieb die Verwendung von Zinkzünderlegierungen problematisch.[80] – Auch in Frankreich kam eine Zinklegierung (ZnAl8Cu4) für Zünder zum Einsatz.[81] In England wurde versucht, den 1917 auftretenden Messingengpass in der Zünderfertigung mit Zinklegierungen aufzufangen, was jedoch am hohen Bleigehalt des Rohzinks von bis zu 1,5 % scheiterte. Stattdessen kam Gusseisen zum Einsatz.[82]

Durch die leichtere Verfügbarkeit des Eisens wurden Zünder schließlich auch in Deutschland aus Gusseisen produziert. Zunächst erwies sich dessen Bearbeitbarkeit als Hindernis, was jedoch durch ein bei Thyssen in Mülheim entwickeltes Verfahren überwunden werden konnte. Der Endpunkt der Umstellung der Zünderfabrikation auf Eisen wurde mit dem Einsatz von weichem Flusseisen erreicht. Hier sei die Umkonstruktion der Zünderkörper die entscheidende Voraussetzung gewesen.[83]

73 Schulz, Metalle, 1923 S. 39–41.
74 Grüber, Entwicklung, 1925, S. 35–36.
75 Zu den produktionstechnischen Voraussetzungen für die erfolgreiche Massenproduktion der Zinkzünder siehe Hanszel, Veredelungsversuche, 1921.
76 Würth, Betrachtungen, 1920, S. 572.
77 Schulz, Metalle, 1923, S. 29.
78 Schulz, Normalisierung, 1920, S. 399.
79 Wrisberg, Wehr, 1922, S. 93.
80 Weyrauch, Waffen- und Munitionswesen, 1922, S. 121–122.
81 Schulz, Aluminiumlegierungen, 1922.
82 Kenneford, Properties, 1947, S. 445.
83 Schulz, Metalle, 1923, S. 31–32.

Geschossführungsringe, Patronen- und Geschosshülsen

Die Führungsbänder bzw. Führungsringe von großen Geschossen verursachten beim Heeres- und Marinebedarf den größten Kupferverbrauch überhaupt.[84] Sie wurden bei Kriegsbeginn noch aus reinem Kupfer hergestellt. Ihr Ersatz unterlag den speziellen Anforderungen des ballistischen Schussvorgangs, also

- dem Widerstand gegen die hohe Verbrennungstemperatur des rauchschwachen Pulvers,
- der Weichheit zur Schonung der Felder,
- der genügenden Festigkeit gegen Abscherung sowie
- der einfachen Herstellung und dem Einbringen.[85]

Als Ersatzmaterial kam das oben erwähnte Press- und Walzzink in Frage, mit dem umfangreiche Versuche durchgeführt wurden. Entscheidend wurde hier die Erkenntnis, dass weniger die Legierungsmetalle von Bedeutung waren, sondern die »Art der Verarbeitung«. Schließlich gelang es, »nachdem man auf konstruktivem Wege die Einwirkung der Verbrennungstemperatur des Pulvers beseitigt hatte, das [legierte] Preßzink in ausgedehntem Maße für Führungsbänder« zu verwenden.[86] – Eine »Kupferersparnis von rund 80 % gegenüber reinen Kupferbändern« wurde erzielt, als »Kupferpanzerstahl (eine Art kupferplattierten Eisens) und Zinkringe mit besonderem schmalen Feuerschutzring aus Kupfer dahinter« zur Anwendung kam.[87]

Die Einführung des Eisens für Führungsbänder scheiterte zunächst. Eine einfache Übertragung des vom Kupfer her bekannten Verfahrens war nicht möglich, da die Geschützrohre zu stark abgenutzt wurden. Die Gemeinschaftsforschung verschiedener Werke mit Professoren der Eisenhüttenkunde ermöglichte schließlich die Herstellung des außerordentlich weichen Elektrolyteisens.[88] Auch für das »Einbringen der Bänder in die Geschoßnut« musste für das Eisen eine neue Lösung gefunden werden, was jedoch erst im letzten Kriegsjahr gelang.[89]

Geschosshülsen bestanden traditionell aus einem Messing mit 72 %igem Kupferanteil. Ein Ersatz musste wie im Fall der Führungsringe den ballistischen Anforderungen genügen. Versuche mit eisernen Kartuschhülsen wurden schon 1914 in Angriff genommen, ihre Einführung erfolgte Ende 1915.[90] Das Patronenmessing wurde durch ein »äußerst reines und gleichmäßiges Flußeisen« ersetzt, »das einen niedrigen Kohlenstoffgehalt hatte, in dem die schädlichen Beimengungen, Phosphor und Schwefel, auf ein Minimum reduziert waren«. Als Problem der Umstellung erwies sich die mangelnde Erfahrung auf Seiten der Hersteller, bei denen es sich um messingverarbeitende Werke

84 Schulz, Kupfer, 1919, S. 427.
85 Schulz, Metalle, 1923, S. 24, 26.
86 Ebd., S. 27.
87 Wrisberg, Wehr, 1922, S. 63.
88 Schulz, Frage des Ersatzes, 1922.
89 Schulz, Metalle, 1923, S. 32–34; Schwarte, Kriegstechnik, 1927, S. 95.
90 Wrisberg, Wehr, 1922, S. 66; Schwarte, Kriegstechnik, 1927, S. 95.

handelte.[91] Insgesamt verbrauchte die Fertigung von »Patronen und Kartuschhülsen« um 1916 monatlich 4200 t Messing, 1600 t Feinzink und 2200 t Stahlblech.[92] Die eisernen Patronenhülsen, die ab Ende 1916[93] bzw. im Frühjahr 1917 eingeführt wurden,[94] riefen »zwar häufiger Ladehemmungen hervor, [hätten] sich aber doch als brauchbar erwiesen.«[95] – Artilleriehülsen mussten für die Verwendung von Eisen umkonstruiert werden und wurden »aus mehreren Teilen zusammengesetzt«.[96]

Marinebedarf

Aufgrund der durch das Seewasser verursachten höheren Korrosion wurden typische Marinebauteile wie Propeller und Beschläge traditionell aus der hoch kupferhaltigen Marinebronze gefertigt. Als eine der ersten Maßnahmen führten die Werften für solche Teile den Messingguss mit bis zu 60 % Kupferanteil ein, außerdem Kupfer-Zinklegierungen »unter der Bezeichnung Manganbronze oder Rübelbronze«. Damit waren jedoch erhebliche Fertigungsprobleme verbunden, denn diese Legierungen neigten zur Schaum- und Lunkerbildung. Beim Vergießen war daher »große Sorgfalt« geboten.[97]

Durch den Wandel der Seekriegsstrategie stieg der Bedarf beim Messingguss im Laufe des Kriegs stark an. Für den Bau von U- und Torpedobooten wurden »Propeller, Torpedoausstoßrohre und Armaturteile aller Art« gebraucht. Obwohl Stahlpropeller relativ schnell korrodierten und zu Geschwindigkeitsverlusten führten, habe »man infolge der Kupfernot auf allen neueren U- und Torpedobooten Stahlpropeller eingeführt« und die höhere Reparaturanfälligkeit in Kauf genommen.[98]

Auch bei den Kupferrohren bestand der erste Schritt der Einsparung in der Senkung des Kupferanteils der eingesetzten Legierungen. War im Frieden für Kondensatorrohre noch Bronze mit 98 % Cu-Anteil verbaut worden (CuSn1,5),[99] wurden diese »zunächst durch kupferärmere Legierungen mit 70 vH Kupfer und später durch Preßmessing mit 62 vH Kupfer ersetzt«. Dabei stellte sich heraus, dass sich das Pressmessing »zum Teil besser bewährt als Rohre mit 98 vH Kupfer«. Ein weiterer Vorteil von hart gezogenen Rohren aus Pressmessing war, dass bei ihnen auf die bei der Bronze erforderliche Verzinnung verzichtet werden konnte.[100]

Wenn die Gefahr des Rostens keine Rolle spielte, konnten Bronze und Messing bei der Reichsmarine relativ einfach durch Stahlguss ersetzt werden. So wurden ab 1915

91 Schulz, Metalle, 1923, S. 32.
92 Wrisberg, Wehr, 1922, S. 93.
93 Kleinhans, Munition, 1920, S. 34.
94 Riebicke, Weltkrieg, 1936, S. 46.
95 Wrisberg, Wehr, 1922, S. 7.
96 Schulz, Metalle, 1923, S. 32–33.
97 Schulz, Kupfer, 1919, S. 427.
98 Ebd., S. 427–428.
99 Darin waren »0,5 Proz. Verunreinigungen zugelassen«; Legierung, 1918.
100 Schulz, Kupfer, 1919, S. 428.

bei U-Booten die Kurbelwellengehäuse und ihre Gestelle in Stahlguss ausgeführt, »was ohne besonderen Umbau sofort möglich war, also zu einer gewaltigen Metallersparnis führte«.[101] Gleichwohl war auch dies keineswegs trivial, denn um die Festigkeitseigenschaften der Bronzen zu erzielen, mussten »Stahlformgußstücke nach dem Erkalten eine zweckentsprechende Wärmebehandlung durch Glühen erfahren«.[102] Die dazu durchgeführte systematische Stahlforschung erweiterte die zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten des Stahls auch nach dem Krieg.

Luftschiff-, Flugzeug- und Motorenbau

In der Luftfahrt vollzog sich während des Kriegs der Übergang von den Holzkonstruktionen zum Metallbau. Gegen den Einsatz des hochfesten Duralumins – volkstümlich auch Duraluminium genannt – standen sein hoher Preis und die mangelhafte Verfügbarkeit des Sparmetalls Aluminium. Der Luftschiffbau mit Duralumin erwies sich dem Holzgerippe spätestens ab 1917 als überlegen, weshalb die Reichsmarine die Werft von Schütte-Lanz zur Umstellung zwang. Insgesamt wurden über 80 Zeppeline aus Duralumin (AlCu3,5Mg0,5Mn1) hergestellt.[103] Es erwies sich jedoch wie viele Ersatzstoffe als ›unbequemer‹ Werkstoff. Große Sorgfalt erforderte die Vernietung, »da beschädigte Konstruktionsteile durch Schweißen nicht repariert werden können und jede Wärmebehandlung, auch das Anwärmen mit der Lötlampe, die Festigkeit bleibend verringert«. Hinzu kam die Empfindlichkeit gegenüber permanenten Erschütterungen.[104]

Im Motorenbau waren Al-Legierungen seit längerem für Wellengehäuse, Zylinder, Lagerschalen und Kühler zum Einsatz gekommen. Die Ausweitung des Flugmotorenbaus während des Kriegs bewirkte »einen mächtigen Anstoss«, Aluminiumkolben in der Luftfahrt einzusetzen, »und später folgte, wenn auch noch immer recht zögernd, der Automotorenbau«.[105] Während des Kriegs wurden intensive Forschungsarbeiten in Angriff genommen, um den Leichtmetallkolben einzuführen.[106] Im Herbst 1915 wurde ein Flugmotor mit Leichtmetallkolben bei der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt erprobt.[107] Die Untersuchung von erbeuteten Rolls-Royce-Flugmotoren 1916 motivierte die Umstellung verschiedener Flugmotoren auf Aluminium-Kolben in Deutschland zusätzlich.[108]

101 Würth, Betrachtungen, 1920, S. 421.
102 Schulz, Metalle, 1923, S. 31.
103 Pariser, Aluminium, 1924, S. 6.
104 Alle Zitate: Duraluminium, 1919.
105 Motorkolben, 1920.
106 Selve, Erfahrungen, 1921.
107 Basse & Selve, Altena; Reuß, Leichtmetallkolben, 2020, S. 20; Büchen, Leichtmetallguß, 1959, S. 661.
108 Zima, Entwicklung, S. 2.

Als Presslegierung erwies sich eine Legierung mit 14 % Zink als geeignet. Für Guss wurden mit

- AlCu12 für Sandguss,
- AlCu8Zn5 für Sandguss und
- AlCu7Zn3 für Kokillenguss

verschiedene Legierungen mit unterschiedlichen Kupfer- und Zinkzusätzen empfohlen.[109] Bei gleichen Abmessungen hatten die Aluminiumkolben gegenüber den üblichen Kolben aus »Graueisen- und Stahlguß« den Vorteil des halben Gewichts.[110] – Die Kurbelgehäuse der Luftschiff- und Flugmotoren von Maybach wurden u. a. aus einer Aluminium-Zink-Legierung (AlZn12Cu1) hergestellt. Infolge des auf 1,43 % anwachsenden Silizium-Gehalts (1916) neigten die Gehäuse zur Rissbildung. Die Lösung des Problems erfolgte wiederum durch die Einführung eines neuen Ersatzstoffes für die Elektroden (Petroleumkoks) in der Aluminiumproduktion.[111]

Elektrotechnische Erzeugnisse

Im Jahr 1913 beanspruchte die Elektroindustrie rund 46 % des deutschen Kupferverbrauchs.[112] Auf Grund der bald nach Kriegsbeginn einsetzenden Bewirtschaftungsmaßnahmen nahm der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) im November 1914 Beratungen über neue Materialvorschriften und -normalien auf. Ab Dezember 1915 wurden die ersten Ergebnisse bekannt gemacht. Diese firmierten bis zur fünften Auflage im September 1918 als halbjährlich aktualisierte »Ausnahmebestimmungen während des Krieges«.[113]

Das für die Oberleitungen der Straßenbahnen vor dem Krieg verbaute Kupfer bildete einen Teil der oben erwähnten großen Kupferreserve. Diese Fahrleitungen wurden durch eiserne ersetzt, während die Zuleitungen in Aluminium ausgeführt wurden. Die erforderlichen Armaturen – bis dahin aus Messing – wurden ebenfalls mit großem Erfolg »für die Kriegswirtschaft« auf Eisen umgestellt: »So bedeutete dies allein bei der Großen Berliner Straßenbahn eine Ersparnis von 25 000 kg Messing im Jahr entsprechend einem Kupfergehalt von 15 000 kg.«[114] Nach dem Krieg kehrte man zum Kupfer zurück, das auch Ende der 1930er Jahre als »der ideale Werkstoff für Fahrleitungen« galt. Alternative Lösungen mit »Heimstoffen« waren deutlich teurer und erforderten noch weitere Erprobung.[115] Der Einsatz von Eisenleitungen wie im Fall der 100 kV-Leitung beim Goldenberg-Werk verursachte neben erheblichen Mehrkosten gegenüber Kupfer auch technische Probleme.

109 Schulz, Metalle, 1923, S. 41.
110 Aluminium als Baustoff, 1921.
111 Zima, Entwicklung, 1987, S. 213–214.
112 Hornig, Kupfererzversorgung, 1921, S. 41.
113 Wronkow, Ersatzmetalle, 1921, S. 42–43.
114 Ebd., S. 66.
115 Lang, Fahrleitungsanlagen, 1939, S. 16.

Man müsse sich jedoch, wie 1921 festgestellt wurde, damit »in der Kriegszeit abfinden […], daß Wirtschaftlichkeit und Wirkungsgrad bei allen Ersatzstoffen etwas in den Hintergrund treten müssen«.[116]

Eine besondere Herausforderung bildeten Schleifstücke im Bahnbetrieb. Hier wurde nach erfolglosen Versuchen mit »reinem Zink« ab Januar 1916 eine »Eisenbahn-Zinklegierung« (Zn19Sn16Pb16,6Cu3,2) empfohlen. Weitere Versuche zeitigten erstaunliche Ergebnisse, die sogar vollständig von Metallen wegführten. So erwiesen sich Schleifstücke aus Aluminium als zu weich und wurden von Schleifkohlen ersetzt. Diese sollten »dauernde Verwendung finden, weil sie einerseits […] bezüglich der Lebensdauer Aluminium weit übertreffen und andererseits die Fahrleitung außerordentlich schonen, wodurch auch deren Lebensdauer ganz bedeutend erhöht wird«.[117]

Im Juli 1915 wurde über ein Verfahren zur Herstellung von Kupfereisendraht berichtet, bei dem das Leitkupfer auf einen Eisenknüppel aufgeschmolzen und danach zum Draht ausgewalzt wurde: »Das Mengenverhältnis zwischen Eisen und Kupfer kann dabei beliebig gewählt werden und schwankt zwischen 50 : 50 und 90 : 10.« Es würde sich eine fast gleiche Leitfähigkeit einstellen.[118] Anders als Eisen und Zink war das Aluminium bereits vor dem Krieg in Zeiten hoher Kupferpreise zum Einbau gekommen. Die in dieser Zeit errichteten »Freileitungsnetze aus Aluminium« hätten »sich durchaus gut bewährt«. Während des Kriegs wurde die Verwendung von Aluminium auf »Maschinen, Transformatoren, Sammelschienen in Schaltanlagen usw.« ausgeweitet.[119] – In Frankreich wurde »die erste Ueberlandleitung aus Stahl-Aluminium« im Jahr 1916 verlegt.[120] Auch in den USA, in denen keine »Kupfernot« herrschte, wurden für Hochspannungsleitungen während des Kriegs »Aluminium-Sparleitungen« eingeführt.[121] Dabei handelte es sich um mit Aluminiumdrähten ummantelte Stahlseile, die sich »in technischer Hinsicht gut bewährt« hätten. Auch die AEG habe derartige Leitungen installiert.[122]

Zwar eroberte sich das Aluminium während des Kriegs eine feste Position in der Elektrotechnik, doch waren die durch seine hohe Korrodierbarkeit verursachten Probleme auch bis Anfang der 1920er Jahre nicht gelöst.[123] Viele Hersteller neigten dazu, ihr Aluminiumlot als Betriebsgeheimnis streng zu hüten.[124] Da Löten und Schweißen nicht gelangen, kamen Lösungen wie Verdrillen oder Quetschhülsen zum Einsatz. Sowohl im Telegraphenwesen als auch bei Hochspannungsleitungen und Elektromotoren müsse mit »größter Sorgfalt« gearbeitet werden.[125]

116 Wronkow, Ersatzmetalle, 1921, S. 54–55.
117 Ebd., S. 68.
118 Kupfereisendraht, 1915.
119 Wronkow, Ersatzmetalle, 1921, S. 59.
120 Hochspannungsleitungen, 1925, S. 6.
121 Schulz, Kupfer, 1919, S. 429.
122 Wronkow, Ersatzmetalle, 1921, S. 62–63; vgl. auch Cohn, Elektroindustrie, 1919.
123 Schulz, Metalle, 1923, S. 37.
124 Aluminium als Ersatz, 1920.
125 Ebd., 1921.

Die für die zuverlässige Kontaktherstellung erforderliche Verbindungstechnik bildete auch bei Zinkleitungen eine größere Herausforderung. Schellen und Kabelschuhe mussten so konstruiert sein, dass örtliche Erhitzungen unbedingt vermieden wurden, weshalb die bei Kupfer gewohnten Konstruktionen ungeeignet waren. Der Einsatz von Zink in Elektromotoren konnte nicht unerhebliche Kupfermengen ersparen, ging dann jedoch zu Lasten des Eisenverbrauchs:

> Die Siemens-Schuckert-Werke allein haben im Geschäftsjahr 1916/17 zur Herstellung von 1335 Drehstrommaschinen [...] etwa 123 000 kg Zink verbraucht und dadurch 93 000 kg Kupfer erspart. An Eisen wurden aber 360 000 kg mehr verbraucht. Die Wirkungsgrade haben sich um 8 vH verschlechtert.[126]

Daher lag es nahe, auf das im Wirkungsgrad bessere Aluminium umzustellen,[127] das der Elektrotechnik ab 1916 in größeren Mengen zur Verfügung gestellt wurde. Auch 1921 ging man noch davon aus, dass sich die nun verbesserten und mit geschweißten Verbindungen der Läuferwicklungen ausgestatteten Aluminiummotoren »auch in jahrelangem Betriebe bewähren werden«. Ähnlich gute Erfahrungen wurden mit Aluminiumtransformatoren erzielt, so »daß man auch vor der Ausführung größter Leistungen nicht zurückschreckte«. Beim Goldenberg-Werk wurden zwei AEG-Transformatoren mit je 60 MVA Leistung in hochspannungsseitig 100 kV aufgebaut.[128]

Lagermetalle

Wie auf anderen Feldern der Ersatzstofftechnik auch lagen vor dem Krieg nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen zu Lagerlegierungen vor. Erst ab 1911 änderte sich dies durch Publikationen aus dem Berliner Kgl. Materialprüfungsamt.[129] Maßgeblich für die Herstellung von Lagern war die Verfügbarkeit der Sparmetalle Blei und Zinn, denn allein »für Lagerzwecke wurden in Deutschland jährlich mehr als 10 000 Tonnen Zinnweißmetall mit rund 60 bis 80 % Zinngehalt verbraucht«. Der Jahresverbrauch an Bleilagermetallen und Rotguss wurde auf rund 100 000 t beziffert.[130] Dem stand Mitte 1915 ein Vorrat von nur 4500 t Zinn gegenüber, das bei »allen Lagerweißmetallen [...] geradezu als Gradmesser […] für die technische Brauchbarkeit der betreffenden Legierung« galt.[131] Daher war man äußerst bemüht, geeignete Zinklager-Legierungen zu entwickeln. Diese erwiesen sich »nur bei geringeren Belastungen« als geeignet.[132] Im Jahr 1916

126 Wronkow, Ersatzmetalle, 1921, S. 80–81, 87–90.
127 Luxbacher, Anwendungsgebiete, S. 56–57.
128 Alle Zitate: Wronkow, Ersatzmetalle, 1921, S. 80–81, 87–90, 92–93.
129 Kessner, Ersatzmetalle, 1921.
130 Lagermetalle, 1921.
131 Thermit, 1924, S. 63.
132 Schulz, Metalle, 1923, S. 30, 45.

erschien ein Bericht über eine »Tandem-Weiss-Bronze« des Kgl. Eisenbahn-Zentralamtes, die als Eisenbahn-Zink-Legierung (E.Z.L.) firmierte.[133] Während des Kriegs kamen auch Bleibronzen (CuPb25) als Lagermetalle erstmals zum Einsatz.[134] Ohne Angabe der genauen Zusammensetzung wurden im Oktober 1917 als sogenannte beschlagnahmefreie Ersatzlagermetalle

- Calcium-Lagermetall (Calcium-Blei-Legierung),
- »Spezial« Feldgrau-Lagermetall (Blei-Natrium-Legierung mit Quecksilberzusatz) und
- Feldgrau-Lagermetall (Blei-Natrium-Legierung)

empfohlen. Sie würden »seitens verschiedener Militär- und Marinebehörden, Reichseisenbahnen usw. laufend Verwendung finden«.[135] Weitere Alternativen entstanden, die auch nach dem Krieg eingesetzt wurden, wie das Lurgilagermetall, später auch als »Bahnmetall« bezeichnet.[136] Kalzium- und Lurgilagermetall erforderten »eine sorgfältigere Behandlung« als die Zinnweißmetalle, böten jedoch »größte Sicherheit gegen Heißlauf«.[137] Auch die diesbezüglichen Versuche der Berliner Straßenbahn verliefen vielversprechend.[138]

Entscheidend für die Entwicklung von Alternativen war die konstruktionsseitige Erforschung der je eigenen mechanischen und thermischen Anforderungen an die Lager.[139] Wie hoch waren der Zapfendruck in Werkzeug-, Arbeits- oder Kraftmaschinen und die thermische Beanspruchung? Schon die Untergliederung in »Nebenlager« und »Schnellauflager« – mit oder ohne »Preßschmierung« – erlaubte die Differenzierung der erforderlichen Lagerlegierungen und die Vermeidung der Zinnweißmetalle. War es möglich, die Beanspruchung durch »Stoß- und Zusatzlast« bei Pleuellagern und Achsen von Eisenbahnwagen – »Schienenstöße« – mit den alternativen Lagerlegierungen zu bewältigen? So traten die höchsten Belastungen in Walzwerken auf, in denen sich die Lager bei schlechter Kühlung auf einige hundert Grad erhitzten.[140]

Vor dem Krieg setzte die Reichsbahn bei Lokomotivlagern sogenannte Weißmetalle (WM) ein, so das hochzinnhaltige »Regelmetall« WM 80 (Sn80Sb12Cu6Pb2). Während des Kriegs wurde es »fast ausschließlich« durch das »Einheitsmetall« WM 10 ersetzt, einer Bleilegierung mit lediglich 10 % Zinn. Wegen seiner 30 % geringeren Leistungen habe es nicht befriedigt.[141] Anfang der 1920er Jahre galten in der Praxis des Eisenbahn- und Automobilingenieurs

133 ZnSn21Pb12Cu3; Ersatzmetalle, 1916.
134 Anders, Bleibronze, 1952; Schmid/Weber, Gleitlager, 1953, S. 139; Blanderer, Stand, 1954.
135 Geprüft durch den »Ausschuss für Ersatzstoffe im Maschinenbau« an der TH Charlottenburg; Mitteilungen, 1917.
136 Z. B. PbBa2Ca0,7; Lagermetalle, 1921; Zusammensetzung nach Wassermann/Wincierz, Metall-Laboratorium, 1981, S. 10.
137 Mathesius, Lagermetalle, 1923, S. 165.
138 Lurgi- und Kalzium-Bleimetall, 1924.
139 Siehe ausführlich Luxbacher, Anwendungsgebiete, 2011, S. 49–50, 52–54.
140 Alle Angaben: Czochralski/Welter, Lagermetalle, 1920.
141 Schneider, Erfahrungen, 1949, S. 327.

- Rotguss (CuSn16),
- Phosphorbronze (CuSn9P1),
- Aluminiumbronze (CuAl10) und
- Weißmetall (SnSb10Cu5)[142]

als die wichtigsten Lagermetalle. Demgegenüber spielten die Zink-Lagerlegierungen – »über 100 Legierungen« – nach dem Krieg fast »keine Rolle mehr«.[143]

Unbequem statt narrensicher? Werkstoffentwicklungen nach dem Ersten Weltkrieg

> Die Einstellung auf ein Ziel: die Kriegstechnik – bedingte naturgemäß vielfach eine gewisse Einseitigkeit der Arbeiten, manches für den damaligen Endzweck wertvolle Material verlor praktisch mit dem Ende des Krieges seine Bedeutung. Aber der Wert als wissenschaftliche Forschungsarbeit bleibt bestehen.[144]

Mit Datum vom 14. November 1918 gab das Reichsamt für wirtschaftliche Demobilmachung 20 % der beschlagnahmten Metallbestände und der Neuproduktion zur Verarbeitung für Friedenszwecke frei. Zugleich sollten »Sparmetalle nur so weit Verwendung finden, als Ersatzmaterial nicht anwendbar erscheint«.[145] Wichtige Verbände wie der Reichsverband der Deutschen Metallindustrie schlossen sich dieser Forderung an.[146] Nun musste sich erweisen, ob die zahlreichen Ersatzlösungen lediglich durch den bis dahin wirksamen Zwang zur Anwendung gelangt waren, oder ob nicht doch innovative Lösungen entstanden waren, die längerfristige Bedeutung erlangen würden. Die chemische Industrie hatte Metalle unter den Bedingungen der Kriegswirtschaft häufig ohne Rücksicht auf technische und ökonomische Forderungen ersetzt, weshalb der Ersatz in vielen Fällen »den Ansprüchen in keiner Weise genügt« habe. Dass jedoch aus der Sicht des Jahres 1921 auch innovative Lösungen gefunden worden waren, zeigt die Formulierung eines Bitterfelder Chemikers: »Glücklicherweise hat der Krieg der deutschen Industrie auch Fälle gelehrt, wo der Ersatzstoff weit bessere Dienste geleistet hat als das ursprüngliche Metall und daher dauernd in Gebrauch bleiben wird.« Unter den vielen Ersatzstoffanwendungen stach besonders die Umstellung auf Eisen in der Brauindustrie hervor, in der zuvor mit Kupfer geradezu »Raubbau« betrieben worden sei.[147]

Bald nach der Demobilmachung wurde propagiert, dass sich Deutschland mit Hilfe der Ersatzmetalle von »den uns jetzt feindlichen Ländern möglichst unabhängig« machen

142 Lagermetalle, 1920.

143 Als brauchbare Kriegsentwicklungen galten Germania-, Tandem- und Goldschmidt-Weißbronze, Leddel-Metall, Papenburger Zinklegierung und Erhardtbronze; Burkhardt, Zink, 1934, S. 626.

144 Schulz, Metalle, 1923, S. 55.

145 Reichsamt für Demobilmachung: Metallfreigabe, 1918; Sparmetall für Friedenszwecke, 1918.

146 Erklärung, 1918.

147 Mäkelt, Metallersatz, 1921, S. 192, 202, 215.

solle.[148] Zugleich musste der Tendenz entgegengetreten werden, ohne weiteres zur Verwendung der »Sparmetalle« zurückkehren.[149] Denn beim Kupfer beliefen sich die Vorräte der Kriegsmetall-A.-G. Anfang 1919 auf immerhin rund 100 000 t[150] – größere Vorräte, »als man je für möglich gehalten hätte«.[151] Ein US-amerikanischer Beobachter registrierte, »daß in allen Verwendungsgebieten der brennende Wunsch besteht, zur ausgiebigen Anwendung von Kupfer und Kupferlegierungen zurückzukehren« – was zum Teil jedoch auch auf die deutsche Vorliebe für Kupfer zurückzuführen war.[152] Die Kontingentierung und Verteilung der Vorräte durch die Reichsstelle für Sparmetalle wurde mit dem 1. Oktober 1919 aufgehoben.[153] Für elektrotechnische Zwecke galten die Bestimmungen noch bis zum 5. Juli 1921.[154]

Durch die Beschlagnahme der Aluminiumwaren bis 1918 hatte sich in den Privathaushalten ein erheblicher Nachholbedarf entwickelt. Doch nicht die Inlandsnachfrage, sondern der inflationsbedingt günstige Export führte ab dem Spätherbst 1919 zu einer Hochkonjunktur für Aluminiumwaren.[155] Rund 450 neue Verarbeiter traten für kurze Zeit auf den Markt, die zeitgenössisch als »Kellerlochfabrikanten« bezeichnet wurden. Ihre minderwertige »Kirmesware« schädigte den Ruf des Aluminiumgeschirrs.[156] Eine Ursache der schlechten Qualität lag in der Verwendung von Restbeständen der Aluminium-Zünderlegierung, die selbst bereits stark verunreinigt war.[157] Der Exportboom endete zu Anfang des Jahres 1921, wodurch sich die Zahl der Betriebe stark reduzierte. Nach der Währungsstabilisierung und trotz des Verlustes des wichtigsten Absatzmarktes in den USA normalisierte sich ab dem Sommer 1924 die Lage der Verarbeiter.[158] Ende der 1920er Jahre gerieten die Hersteller erneut in die Krise, da statt Reinaluminium wiederum »ausländische Abfälle und Späne aller Art« eingeschmolzen wurden.[159]

Zwar hatte der Krieg »die wissenschaftliche Durchforschung und praktische Anwendung des Aluminiums« befördert,[160] doch widersprachen sich »die Angaben in der Literatur und besonders in der Patentliteratur sehr häufig«. Das Wissen beschränkte sich Anfang der 1920er Jahre in erster Linie auf die binären Al-Legierungen.[161] Die bei der erstmaligen Verwendung eingetretenen Misserfolge führten auch nach dem Krieg dazu,

148 Dyes, Mitteilungen, 1918, 1919.
149 Verwendung, 1919.
150 Berliner Metall-Industrie, 1919.
151 Lage, 1919.
152 Ebeling, Kupferprobleme, 1958, S. 1045.
153 Freigabe, 1919; Kepler, Metallwirtschaft, 1920.
154 Freigabe, 1921.
155 Grüber, Entwicklung, 1925, S. 39.
156 Schaumburg, Werkstoffverschiebungen, 1935, S. 92, 100.
157 Vorurteile, 1922; Aluminium in der Milchwirtschaft, 1925, S. 10.
158 Grüber, Entwicklung, 1925, S. 39–40.
159 Jünger, Existenzkampf, 1930, S. 71.
160 Grüber, Entwicklung, 1925, S. 40.
161 Waehlert, Aluminiumlegierungen, 1921, S. 299.

dass »man eben immer noch zu oft in Aluminium nur einen der vielen ›berüchtigten‹ Kriegsersatzstoffe [erblickt,] und auch weite Kreise der Abnehmer sind nicht frei von diesem Vorurteil«.[162] Hinzu kamen die Fehlschläge mit Kombinationen aus Kupfer, Zink und Aluminium in der Elektrotechnik. Das häufige Durchschmelzen auf Grund der Umkristallisation stromdurchflossener Zinkleiter beschleunigte zwar die Aluminiumverwendung, doch »übertrug man das schlechte Vorurteil, das man gegen das Zink hatte, auch auf das Aluminium«. Sobald eine elektrische Maschine ein Isolationsproblem hatte, »wurde fast jeder Fehler mit dem ›Kriegsmetall‹, wie das Aluminium eine zeitlang fast ausschließlich hieß, begründet«.[163]

Zu den gravierendsten Problemen zählte zweifellos die betriebssichere Installation von Al-Leitungen in der Elektrotechnik, zumal sich Drähte und Seile aus Reinaluminium sowie Stahl-Aluminium als echte Alternative zum Kupfer erwiesen hatten. Daher schrieb der Metallwirtschaftsbund im November 1922 einen Wettbewerb für »Aluminium-Leiter-Armaturen« aus. Der Abschlussbericht wurde erst im Dezember 1925 vorgelegt, was auf die Herausforderung der Aufgabenstellung verweist. Die prämierten Unternehmen – darunter AEG und Siemens – konnten jedoch zeigen, »daß die Schwierigkeiten, mit denen unsere Elektritzitätsfirmen bis vor einigen Jahren hinsichtlich der Wahl einer leistungsfähigen und korrosionsbeständigen Aluminium-Leiter-Armatur zu kämpfen hatten, überwunden sind«.[164] Den gleichen Eindruck vermittelte nicht nur der Fachvortrag eines AEG-Mitarbeiters im Elektrotechnischen Verein Berlin im September 1924,[165] sondern auch die anschließende Diskussion. Dort wurde zwar auch die Verbindungstechnik angesprochen, doch eher die ungünstige Preisentwicklung beim Aluminium hervorgehoben.[166] – Anders als in Deutschland waren in den USA bis 1930 bereits »mehr als 300 000 Meilen Aluminiumkabel in Gebrauch, hauptsächlich in Hochspannungsleitungen«.[167]

Wegen der Beimengungen in den Hüttenmetallen – beim Aluminium waren bis zu 0,8 % Eisen und 0,15 % Silizium enthalten[168] – bildeten sie genau genommen »Legierungen« (Abb. 2). Die Aluminiumträger des 1915 gebauten Zeppelins L33 waren sogar mit 0,6 % Silizium und 1,3 % Eisen ›kontaminiert‹.[169] Diese Verunreinigungen konnten die technischen Eigenschaften erheblich verschlechtern und leisteten der gefürchteten interkristallinen Korrosion Vorschub. Störungen durch Schlacken- und Fremdstoffeinschlüsse waren jedoch durchaus kein rein deutsches Problem.[170] Erst mit dem durch eine zweite

162 Müller, Kupfer, 1921, S. 1.
163 Aluminium in der Elektrotechnik, 1921.
164 Aluminium-Leiter-Armaturen, 1926.
165 Wunder, Vorkommen, 1925.
166 Diskussion zum Vortrag, 1925.
167 Verwendungsgebiete, 1930.
168 Waehlert, Aluminiumlegierungen, 1921, S. 299.
169 Wolf, Early Aluminum Alloys, 1945, S. 53.
170 Czochralski, Fortschritte, 1922.

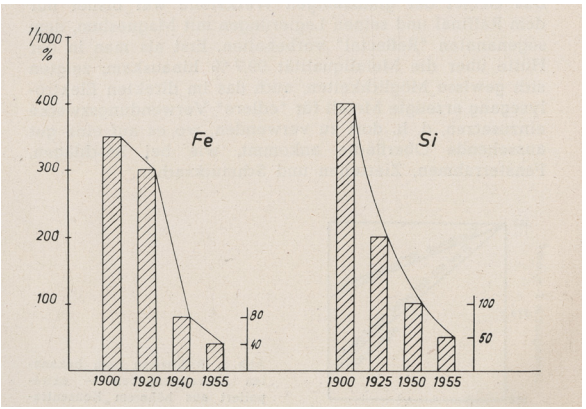


Abb. 2 Eisen- und Siliziumgehalt von Hüttenaluminium, 1900 bis 1955, nach Ginsberg 1959.[171]

Elektrolyse gereinigten Aluminium, dem »Raffinal«, gelang es, reineres Ausgangsmaterial zu gewinnen.[172]

Weitere Fehlerquellen resultierten aus der Empfindlichkeit des Aluminiums bei der Verarbeitung: »Immerhin erfordert die erfolgreiche Verarbeitung des Aluminiums Geschicklichkeit, Zuverlässigkeit und Gewissenhaftigkeit des Arbeiters.«[173] Es mangelte an Basismethoden wie der Temperaturüberwachung: »Der Schlüssel zum Erfolg liegt sowohl im genauen Einhalten der Schmelz- und Gießtemperaturen als auch in der Geschicklichkeit und Aufmerksamkeit der Gießer.« Für das Walzen galt: »Über den Einfluß der Walztemperatur, der Walzrichtung, der Größe der Stiche, des Ballendurchmessers, der Umlaufgeschwindigkeit, der Glühdauer und Glühtemperatur sind fast keine wissenschaftlichen Untersuchungen bekannt.«[174] Bei der Temperaturmessung neige die Wissenschaft zur Überschätzung, die Praxis zu »einer etwas hochmütigen Unterschätzung«. Doch die Industrie verfügte zu Anfang der 1920er Jahren häufig nicht einmal über Messgeräte.[175]

So resultierte aus der Kombination der Verunreinigungen – speziell die deutschen Hütten lieferten zum Teil noch 98 %iges Aluminium[176] –, den Fehlern beim Gießen und Walzen, vor allem aber der Unkenntnis der grundlegenden Eigenschaften und Prozessbedingungen ein kaum entwirrbares Ursache-Wirkungs-Geflecht:

171 Ginsberg, Reinheitsgrad, 1959, S. 171.
172 Ebd.
173 Verarbeitung, 1920.
174 Alle Zitate: Sterner-Rainer, Gegenwart, 1921.
175 Hoffmann, Temperaturmessungen, 1921, S. 489.
176 Spätestens Mitte der 1920er Jahre erreichten die deutschen Aluminiumhütten 99,5 %; Aluminium in der Milchwirtschaft, 1925, S. 10.

> Über die Gründe der Mängel, die bei weiterer Verarbeitung der Bleche, wie etwa beim Tiefziehen, eintreten und sich in Reißen, Brüchig-, Rauh- und Krispeligwerden der Oberfläche kundgeben, liegen keine Untersuchungen vor, und die Ansichten, wo der Fehler zu suchen ist, gehen wirr durcheinander.

Da die Praxis diese Probleme bis dahin schon nicht zu lösen in der Lage war, stellte sich die »Notwendigkeit rastloser planmäßiger Aluminiumforschung«, die Verbreitung der in den Werken gewonnenen Erkenntnisse und die Aufklärung der Verarbeiter und Verbraucher, um »das Zutrauen des konservativen Publikums [zu] gewinnen«.[177] Als eine der bald erkannten Fehlerquellen erwies sich das ungewollte Einwalzen von Eisen- oder Kupferteilchen: »Da ein großer Teil unserer Aluminiumwalzwerke nicht nur Aluminium, sondern auch Kupfer und andere Metalle verwalzen, so ist das Einwalzen fremder Metallsplitterchen […] sehr häufig.« Die dadurch entstehenden Lokalelemente beschleunigten die Zerstörung der Aluminiumbleche.[178] Wenn trotz der bekannten Tatsachen die Reinigung der Walzen beim Umstellen von Messing auf Aluminium nicht gründlich erfolgte, war der Misserfolg vorprogrammiert.[179] Daraufhin wurden Aluminium- und Kupferverarbeitung streng getrennt.[180]

Auch Anfang der 1920er Jahre war die Identifizierung der »bestgeeigneten Legierungen« für Motorkolben noch nicht abgeschlossen.[181] Wegen häufiger Probleme – »1. Uebermäßige Abnützung. 2. Klappern bei langsamem Lauf. 3. Uebermäßige[r] Oelverbrauch. 4. Verdünnung des Schmieröls«.[182] – kehrten US-Hersteller zu den Kolben aus Gusseisen zurück.[183] Der Preis sprach keinesfalls für die Aluminiumverwendung, denn er war doppelt so hoch.[184] Um die Absatzprobleme der überwiegend in Reichsbesitz befindlichen Aluminiumhütten zu lindern, schrieb das Reichsamt für Luft- und Kraftfahrwesen im Jahr 1921 einen Wettbewerb zur Einführung von Leichtmetallkolben aus. Die Herstellung der Al-Kolben war nicht trivial, der übliche Guss in handgemachten Einzelformen aufwendig und in Serie produziert nicht hinreichend maßgenau. Deshalb wurde der Kokillenguss empfohlen, der sich jedoch wegen der teuren Kokille erst bei höheren Stückzahlen lohnte. Zudem galt es sicherzustellen, dass die chemisch aggressive Schmelze die eiserne Form nicht zu stark angriff. Aus diesen Gründen, aber auch aus mangelnder Erfahrung sträubte sich die Praxis gegen den Kokillenguss: »Im allgemeinen wollen unserer Metallgießer aber nie recht heran, Aluminium in Kokillen zu gießen.«[185]

177 Alle Zitate: Sterner-Rainer, Gegenwart, 1921.
178 Alle Zitate: Schmidt, Untersuchungen, 1922.
179 Schuster, Randglossen, 1925, S. 2.
180 Melchior, Korrosion, 1953, S. 83.
181 Motorkolben, 1920.
182 Erfahrungen mit Aluminium-Motorkolben, 1920.
183 Z.B. Packard; Aluminiumlegierung oder Gußeisen? 1920.
184 Motorkolben, 1920.
185 Kokillenguß, 1921.

Erst ab Mitte der 1920er Jahre etablierte sich der Aluminium-Spritzguss in Kokillen zunächst in der Elektroindustrie.[186]

Bis 1927 konnte nicht »von einer allgemeinen Einführung des Leichtmetallkolbens« gesprochen werden.[187] Dieser setzte sich in den USA bis 1930 durch, wo 76 % der Automobilproduktion mit Al-Kolben ausgerüstet wurden.[188] Nach »recht schwieriger und mühevoller Entwicklung« schaffte der Al-Kolben bis Mitte der 1930er Jahre auch in Deutschland den Durchbruch.[189] Dabei kam eine Aluminium-Silizium-Legierung mit Kupfer-, Nickel- und Magnesiumzusätzen zum Einsatz, die sich »zu einer Art Standardlegierung für den Kolbenguß« bis in die 1950er Jahre etablierte.[190]

Tabelle 1 Typologie, Handelsnamen und Anzahl technischer Legierungen des Aluminiums bis 1926[191]

I. Schwere Al-Leg. mit vorwiegend Cu	Herkulesbronze, Kaisermessing, Durana, Diamantbronze, Rübelbronze, Argentan	111
II. Schwere Al-Leg. mit vorwiegend Zn	Ziskon, Kriegsbronze, Glycometall, [Aluminium-Lagerguss]	32
III. Schwere Al-Leg. mit vorwiegend Sn oder Pb	[Bleifolie; Packmaterial für Gummi]	7
IV. Schwere Al-Leg. mit vorwiegend Ti, Si, Zr, Cr oder U	Legierungsmetall, Desoxydationsmetall	9
V. Schwere Al-Leg. mit vorwiegend Mn, Fe, Ni oder Co	Sideraphit, Samlegierung, Illium, Rosein, Sonnenbronze, Metalline	39
VI. Leichte Al-Leg. mit vorwiegend Mg	Magnalium, Zinkalium, Zimalium	20
VII. Leichte Al-Leg. mit vorwiegend Ag	Drittelsilber, Tiersagent, Acieral	17
VIII. Leichte Al-Leg. mit vorwiegend Cu	Amerikanische Gusslegierung, Montanium, Argilite, Partinium, Y-Legierung, „Wilm“	105
IX. Leichte Al-Leg. mit vorwiegend Zn oder Cd	Alzinc, Ziskon, Alzen, Aluman, Macadamit, Zimalium, Zinkalium, Hartaluminium	70
X. Leichte Al-Leg. mit vorwiegend Ti oder Si	Silumin	10
XI. Leichte Al-Leg. mit vorwiegend Sn	[für Unterseeboote und Flugzeuge], [Lagermetall]	33
XII. Leichte Al-Leg. mit vorwiegenden Schwermetallen	[für Lokomotiv-Lagerbüchsen], Partinium, Viktoriaaluminium	28

186 Metallwerke Oberspree, Aluminium-Spritzguß, 1925; zur Genese der Gießereitechnik siehe ausführlich Herrmann, Handbuch, 1958.

187 Tiedemann, Leichtmetallguß, 1927, S. 955.

188 Verwendungsgebiete, 1930, S. 1013.

189 Fortschritte, 1936, S. 440.

190 Büchen, Leichtmetallguß, 1959, S. 662.

191 Legierungen mit Handelsnamen, national und international patentierte und in der einschlägigen Literatur publizierte Legierungen siehe Regelsberger, Chemische Technologie, 1926, S. 120–133.

Die Zahl der Nichteisenmetall (NE)-Legierungen schien zu Anfang der 1920er Jahre »ins unermeßliche gestiegen« zu sein – ohne dass wirklich »etwas neues« hervorgebracht worden war.[192] Worum handelte es sich bei Leichtzinn, Aluminiumsilber, Cupro, Altradium, Meteorit, Furonickel, Makadamit, Aetherium oder Sanexmetall?[193] Bis Mitte der 1920er Jahre wurden mindestens 481 technische Legierungen des Aluminiums mit allen anderen Metallen patentiert oder beschrieben (Tab. 1). Bereits im Jahr 1914 war in einer Dissertation auf die gute Eignung von Aluminium-Silizium-Legierungen mit bis zu 12 % Silizium für Gusszwecke hingewiesen worden.[194] Ab 1919 liefen Versuche, die Legierung mit Natrium zu einer hochfesten und zugleich dehnbaren Gusslegierung zu veredeln.[195] Das »Silumin« verfügte außerdem über ein geringes Schwindmaß, erforderte jedoch für die Herstellung möglichst reine Edukte.[196] Anders als Aluminium, das nicht unter 5 mm gegossen werden sollte, eignete sich Silumin »besonders zu dünnwandigen Formen bis zu 1,5 Millimeter«. Vom Jahr der Patenterteilung 1921 an mit 65 t steigerte sich die Produktion schnell auf 800 t (1923).[197] Das Silumin löste die »Amerikanische« und die »Deutsche« Legierung ab »und leitete den großen Aufschwung der Aluminiumgusserzeugung ein«.[198] Anfang der 1930er Jahre avancierte das aushärtbare »Silumin Gamma«[199] zum Baustoff der Wahl im Motorenbau der ab 1933 boomenden deutschen Luftfahrtindustrie.[200] Während des Zweiten Weltkriegs entfielen rund 60 % des deutschen Aluminiumgusses auf Silumin-Legierungen.[201] (Abb. 3)

Bei den Lagermetallen hätten sich nur »wenige dieser Kriegslegierungen [...] als lebensfähig« erwiesen, doch ließ »die wirtschaftliche Not Deutschlands, die sich nach dem Kriege noch verschärfte, die einmal in Gang gebrachte Frage nicht mehr zur Ruhe kommen«.[202] Die Komplexität der Lagerfrage bildete für Technologen und Metallkundler wie für Anwender eine der größten Herausforderungen überhaupt. Noch Anfang 1918 hatte die Reichsstelle für Sparmetalle eine Fragebogenaktion initiiert. Wie die Diskussionsveranstaltung der DGM 1920 offenbart, war man von einem einhelligen Urteil über die Tauglichkeit der »Kriegslagermetalle« – Barium- und Kalzium-Lagermetall – weit ent-

192 Czochralski, Fortschritte, 1922.
193 Aluminiumlegierungen, 1922.
194 Schirmeister, Kenntnis, 1915, S. 876; zu weiteren, vor allem auch internationalen Untersuchungen vor und nach dem Krieg siehe Regelsberger, Chemische Technologie, 1926, S. 95–96.
195 Czochralski, Fortschritte, 1922.
196 Erdmann, Aluminium, 1926, S. 25–26.
197 Pariser, Aluminium, 1924, S. 7–8.
198 Büchen, Leichtmetallguß, 1959, S. 657.
199 AlSi12Mg0,4Mn0,5; Sachs/Scheuer, Eigenschaften, 1935.
200 Siehe ausführlich Belli, Lautawerk, 2012, passim.
201 Büchen, Leichtmetallguß, 1959, S. 658.
202 Thermit, 1924, S. 63.

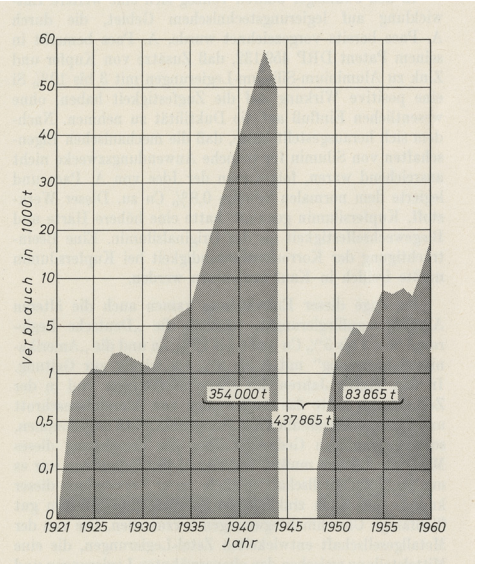


Abb. 3 Verbrauch an Silumin und Silumin Beta/Gamma von 1921 bis 1960. [203]

fernt (Abb. 4).[204] So setzte die Reichsbahn ab etwa Mitte der 1920er Jahre Silumin für Achsbuchsen ein,[205] außerdem wurden dort Bleilagermetalle verwendet.[206] Gleichwohl schleppten auch die nach dem Krieg optimierten Alternativen den Ruch des »Ersatzstoffes« mit sich. Im Jahr 1928 war zu erfahren,

> daß die Bleilagermetalle heute in ihrer größeren Zahl nicht mehr als Ersatzmetalle in dem vom Kriege und der Nachkriegszeit her üblen Sinne anzusehen sind, sondern sich als vollwertige Lagermetalle erwiesen haben, die auch hohen Anforderungen genügen.[207]

Tatsächlich trug das im Krieg entwickelte Lurgimetall, dessen Zusammensetzung weiter optimiert wurde, als Bahnmetall wesentlich zur Erfolgsgeschichte der Metallgesellschaft AG bei. Ab Mitte der 1920er Jahre »wurden sämtliche Waggons im gesamten Reichsgebiet damit ausgerüstet«.[208]

203 Produziert von der Metallgesellschaft AG und der Vereinigte Aluminiumwerke AG; Dunkel, 50 Jahre, 1971, S. 783.
204 Vgl. ausführlich die Diskussion des Vortrags von Johann Czochralski »Lagermetalle und ihre technologische Bewertung« im Mai 1920; Deutsche Gesellschaft für Metallkunde, Vortragsabend, 1920, S. 394–403.
205 Debar, Aluminium-Industrie, 1925, S. 250.
206 Sachs, Entwicklung, 1927.
207 Bleilagermetalle, 1928.
208 Henglein, Chemetall, 1985, S. 46.

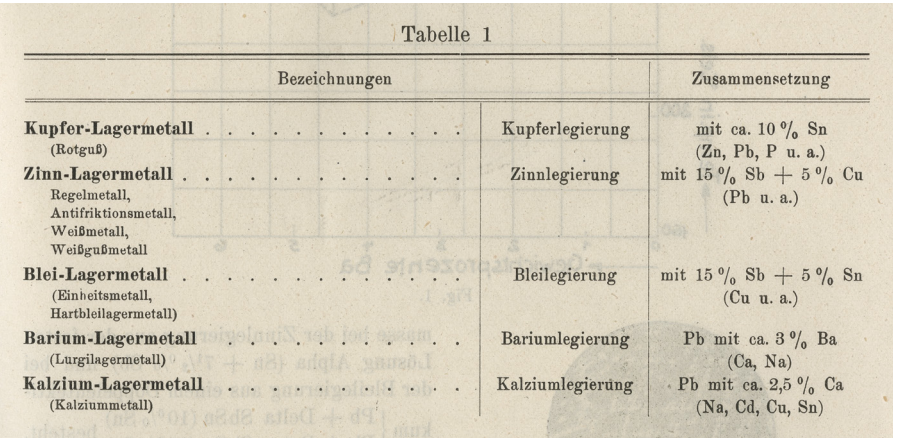


Tabelle 1

Bezeichnungen		Zusammensetzung
Kupfer-Lagermetall (Rotguß)	Kupferlegierung	mit ca. 10 % Sn (Zn, Pb, P u. a.)
Zinn-Lagermetall Regelmetall, Antifriktionsmetall, Weißmetall, Weißgußmetall	Zinnlegierung	mit 15 % Sb + 5 % Cu (Pb u. a.)
Blei-Lagermetall (Einheitsmetall, Hartbleilagermetall)	Bleilegierung	mit 15 % Sb + 5 % Sn (Cu u. a.)
Barium-Lagermetall (Lurgilagermetall)	Bariumlegierung	Pb mit ca. 3 % Ba (Ca, Na)
Kalzium-Lagermetall (Kalziummetall)	Kalziumlegierung	Pb mit ca. 2,5 % Ca (Na, Cd, Cu, Sn)

Abb. 4 Aufstellung der bedeutendsten Lagermetalle (»Kriegslagermetalle«: Barium- und Kalzium-Lagermetall) nach Czochralski 1920.[209]

Der vor dem Krieg größte deutsche NE-Metallverarbeiter, die AEG, hatte während des Kriegs große Teile seiner Produktion auf Aluminium, Eisen und Zink umgestellt. Ohne die Zwänge der Bewirtschaftung kehrte das Kupfer nun in die Produktion zurück. So wurde im August 1920 festgestellt, dass im Kabelwerk Oberspree der AEG »der Kupferverbrauch wieder auf der alten Höhe angelangt« war. Dies hätte allein betriebswirtschaftliche Gründe, »da eine Messingschraube heute billiger ist als eine Schraube aus Eisen, obgleiche [sic] der Messingpreis etwa 4 mal so groß ist, als der des Eisens«.[210] Anfang 1921 war Aluminium »um die Hälfte teurer als Kupfer«.[211] Spätestens bis Anfang 1923 war jedoch infolge der Währungsschwankung und der Inflation wieder von der »Kupfernot« die Rede.[212] Nach dem Verlust der Eisenerzvorkommen in Lothringen tauchte 1923 sogar die Forderung auf, Eisen durch Aluminium zu ersetzen.[213]

Demgegenüber stand die erstaunliche Entwicklung der Aluminiumverwendung in den USA, die eng an die expandierende Automobilbranche gekoppelt war.[214] Dort kam für Gussteile aller Art die Standardlegierung »Nr. 12« (AlCu8) – auch »amerikanische Legierung«[215] genannt – zum Einsatz, die sich »an Stelle von Rotguß für die Eisenbahnarmaturen bei den nordamerikanischen Bahnen einer großen Beliebtheit« erfreue.[216]

209 Czochralski, Lagermetalle, 1920, S. 373.
210 Rückkehr zum Kupfer, 1920.
211 Aluminium, 1921.
212 Wilcke, Elektrotechnik, 1923.
213 Herzog, Aluminium, 1923.
214 Smith, Monopoly, 1988, passim.
215 Erdmann, Aluminium, 1926, S. 21.
216 Verwendung, 1920.

Nr. 12 wurde für den Kokillenguss bald auch in Deutschland empfohlen.[217] Der zu dieser Zeit in Deutschland beobachteten Rückkehr zum Kupfer kommt daher der Rang eines nationalen Technikstils zu, denn die USA waren der Hauptproduzent von Kupfer weltweit. Warum sollte also Deutschland das teure Importkupfer, so das Propagandaorgan der Aluminiumindustrie im November 1920, nicht besser durch im Inland produziertes Aluminium ersetzen?[218]

In Frankreich hätte sich, so die Zeitschrift »Aluminium« 1921, die »Franz. Automobil-Leg.« (AlZn12-20) bewährt. Das galt ebenso für eine Gusslegierung von Renault,[219] die bis Mitte der 1920er Jahre als »deutsche Legierung« (AlZn10Cu2) zur in Deutschland meistgebräuchlichen Al-Legierung avancierte.[220] Sie wurde für große Stückzahlen ohne Nacharbeit im Spritzguss eingesetzt, nachdem die ursprünglich auf Zink und Zinn abgestellten Gießmaschinen und Formen vollständig umkonstruiert worden waren.[221] Die »deutsche Legierung« zeichnete den Weg vor, auf dem das Kupfer auch bei Legierungen weitgehend vermieden wurde und der in die hochzinkhaltigen Al-Legierungen mündete. Diese wurden in den 1920er Jahren für Fußtritte in der US-Autoindustrie eingesetzt (AlZn35).[222]

Die erheblichen Anstrengungen, Kupfer und Messing in der Geschossproduktion durch Zink zu ersetzen, hatten der Zinkverwendung insgesamt einen signifikanten Schub verliehen:

> So war am Ende des Krieges im Preß- und Walzzink legiert oder unlegiert ein Metallprodukt geschaffen worden, das in der verschiedensten Form für eine ganze Reihe von Zwecken unmittelbar oder mittelbar für unsere Kriegstechnik einen wertvollen Werkstoff darstellt und dessen Verwendung auch mit in den Frieden hinübergenommen wurde.

Je nach den Anwendungsbedingungen konnte es »dem Messing gleichgesetzt werden«, besaß jedoch nicht dessen Bruchfestigkeit, Kerbzähigkeit und Dauerbeanspruchbarkeit. Ebenso nachteilig war »die leichte Korrodierbarkeit des Zinks«.[223] Das bedeutet jedoch im Umkehrschluss, dass erst die Kenntnis des Spektrums der Eigenschaften des Ersatzstoffes Zink, die während des Kriegs gewonnen wurden, seine sachgerechte Anwendung überhaupt ermöglichten und sich dadurch erstmals – für bestimmte Anwendungen – eine auch ökonomisch sinnvolle Alternative zu den deutlich kostspieligeren Kupferlegierungen ergab. Entscheidend wurde die Erkenntnis der »Veredelung des Zinks durch

217 Kalpers, Aluminiumformguß, 1922.
218 Verwendung, 1920.
219 Kalpers, Aluminiumlegierungen, 1921, S. 6.
220 Erdmann, Aluminium, 1926, S. 21.
221 Frommer, Aluminium Spritzguß, 1925, S. 4.
222 Erdmann, Aluminium, 1926, S. 22.
223 Alle Zitate: Schulz, Metalle, 1923, S. 27–28.

das Pressen«, bei dem sich gegenüber dem Guss höhere Festigkeiten einstellen. Daraus resultierte eine Ersparnis, da Pressteile bei gleicher Beanspruchung mit weniger Material auskommen als der Guss. Der »Materialabfall« erwies sich beim Pressen geringer als beim Guss.[224] Prognostiziert wurde eine Verbreitung von

- härteren Zinklegierungen für Lager und Armaturen mit 5–8 % Kupfer und 3 % Aluminium, also auch die bekannte Zünderlegierung ZnCu6Al3,
- mittelharten Zinklegierungen für Armaturen mit 2–5 % Kupfer und 3 % Aluminium sowie
- Zinklegierungen als Lagerlegierung mit 6 % Kupfer und 4 % Zinn.

Hatte die Neigung des Zinks zur Lunkerbildung beim Guss diese Verarbeitungsart bis zum Ersten Weltkrieg verhindert, konnte bis 1918 »eine gesunde Massenproduktion von Zinkgußkörpern erreicht werden«. Entscheidend waren nicht nur die Forschungs- und Entwicklungsarbeit, es bedürfe auch »besonders einer systematischen Schulung vor allem der kleineren Metallgießereien Deutschlands«.[225]

Gleichwohl verursachten die beim Spritzguss auch nach dem Ersten Weltkrieg eingesetzten Zinklegierungen längere Zeit nach ihrer Herstellung erhebliche Probleme. Diese waren so gravierend, dass die DGM 1921 sogar eigens einen »Ausschuß für Spritzgußlegierungen« ins Leben rief.[226] Ihre Festigkeitseigenschaften sanken »nach einiger Zeit [...] stark ab und eine beträchtliche Volumenvergrößerung setzt ein. Die Veränderungen konnten so groß sein, daß nach einigen Jahren die Gußstücke vollständig zerfallen waren.« Über mehrere Jahre laufende Untersuchungen an Zinkspritzguss-Legierungen wie ZnAl4Cu3 (Zamak 2)[227] zeigten, dass die Formänderung durch die Reduzierung von Bleiverunreinigungen sowie die Zugabe von 0,1 % Magnesium (Mg) deutlich vermindert werden konnten. Die besten Ergebnisse waren mit hochreinem Zink 99,99 % zu erreichen, wenn außerdem noch die Verunreinigungen mit Kupfer unterblieben. Unter dem Markennamen »Zamak« konnten sich diese in den USA entwickelten und verbesserten Zinkspritzguss-Legierungen einen großen Markt erobern.[228] Beim Sand- und Kokillenguss bewährte sich Zamak 5 (ZnAl4Cu1).[229]

Für Metallindustrielle und Werkstoffexperten galt das Zink wegen der ursprünglich hohen Eigenproduktion Deutschlands auch nach dem Krieg als »Rettungsmetall«. Mit der Teilung Oberschlesiens ging jedoch 85 % der Zinkproduktion in polnischen Besitz über.[230] Anfang November 1921 wurde die Weltmachtstellung Deutschlands als Zinkproduktionsland durch das ›Genfer Diktat‹ in Frage gestellt.[231] Da nun allein in der Alu-

224 Schulz, Metalle, 1923, S. 53.
225 Alle Zitate: Schulz, Metalle, 1923, S. 30.
226 Ausschuß für Spritzgußlegierungen, 1926.
227 Weddige, Zinkdruckguß, 1960.
228 Alle Angaben: Burkhardt, Zink, 1934; Cocks/Walters, History, 1968, S. 96–97.
229 Vortragstagung, 1936, S. 1022.
230 Seemann, Verwendungsgebiete, 1922, S. 9.
231 Hoppe, Zinkindustrie, 1921.

miniumproduktion ein signifikanter Kapazitätszuwachs von 1000 t (1914) auf 25 000 t (1922) zu verzeichnen war, sei es »nicht nur vaterländische Pflicht [...], sondern sogar Zwangslage [...], sich von allen ausländischen Metallen frei zu machen«. Daher stehe fest: »Jede dem Ausland z. B. für Kupfer gezahlte Million bedeutet einen Raub am deutschen Nationalvermögen, wenn die vom Kupfer geforderte Arbeit auch vom Aluminium geleistet werden kann.«[232]

Die Umstellung auf neue Werkstoffe brachte auf Seiten der Verarbeiter eine nicht zu unterschätzende Herausforderung mit sich. Denn die gewohnten Materialien zählten bis zum Krieg zu den kostspieligeren, zugleich jedoch in der Verarbeitung – Vorbehandlung, Temperatur- und Prozessführung – zu den unempfindlicheren. Genau dies gehörte nun der Vergangenheit an, wie den für die Reichsmarine produzierenden Gießereien, die an Kupferlegierungen gewohnt waren, vermittelt wurde:

> Die bequeme Vergießbarkeit der Bronze kann bei der heutigen Entwicklung von Stahlguß, Temperguß und Temperstahlguß gegossene Vollmetallteile nicht mehr rechtfertigen. Ebenso sind Preßteile gleich vorteilhaft in Eisen wie in Messing zu pressen.[233]

Der Widerstand gegen den Ersatz der seit Jahrhunderten bewährten »reinen Bronzen (Kupfer-Zinn-Legierungen mit 6–20 % Zinn)« und dem »Rotguß (Kupfer-Zinn-Legierungen mit 4–20 % Zinn und Zusätzen von 2–7 % Zink und 1–3 % Blei)« war aus guten Gründen am größten. Ihr Austausch wurde erst während des Zweiten Weltkriegs in Angriff genommen.[234]

Der höhere Aufwand bei der Verarbeitung alternativer Werkstoffe musste sich in der Praxis zunächst innovationshemmend auswirken, denn das erforderliche Know-how war erst noch zu erwerben. Dies zeichnete sich in gleicher Weise in der englischen Automobilindustrie ab. Hier wurde ebenfalls nach dem Krieg beklagt, dass korrekt wärmebehandelte Kohlenstoffstähle den extrem teuren Legierungsstählen in ihren Eigenschaften sehr nahe kämen, sich jedoch bei der Werkstoffwahl nicht durchzusetzen vermochten. Denn die teuren Legierungsstähle waren einfacher zu verarbeiten und daher »fool-proof«. Dies hieße im Umkehrschluss, dass die teuren Werkstoffe eingesetzt würden, »for the lack of care and skill in the treatment of more economical materials«. Allenfalls die Tatsache, dass sich die wissenschaftliche Metallurgie bis dahin noch als widersprüchliches Feld darstelle, könne als Entschuldigung der Ingenieure dienen »for their tardiness to accept the advanced teachings of modern metallurgy«.[235] Wie das Beispiel des Aluminiums von 1922 zeigt, galt es also, dem »Aluminiumtechniker« dieses neue und nach dem Krieg exponentiell wachsende Wissen auf anschauliche Weise nahezubringen.[236]

232 Alle Zitate: Seemann, Verwendungsgebiete, in: Aluminium 4 (1922) 23, S. 9, und ebd., 24, S. 9–12.
233 Schäfer, Rohstofflage, 1919, S. 602.
234 Vaders, Vorschläge, 1941.
235 Choice of Materials, 1920.
236 Aluminiumtechniker, 1922.

Ist das Festhalten an den ›narrensicheren‹ und in der Verarbeitung ›bequemen‹ Werkstoffen verständlich, konnte die Ablehnung von Alternativen den Weg zu optimalen Lösungen verstellen. Dies wird im oben beschriebenen Fall der Kondensatorrohre der Marine sichtbar, wo sich das durch den Zwang zur Kupfereinsparung eingeführte Pressmessing sogar als besser geeignet erwies. Dass auch noch Zinn eingespart werden konnte, bildet hier nur den im Sinne der Kriegsverlängerung ›positiven‹ Nebeneffekt.[237] Bei der Reichsmarine drängte man nach dem Krieg sogar darauf, Kupferrohre – außer bei chemisch kritischen Anwendungen – »nirgends mehr« und statt dessen Eisen zu verwenden:

> Was gegen Eisenrohre angeführt wird – schwierige Verlegung, geringere Haltbarkeit, Rostfrage, Störungen durch Zunder, Abblätterung von Rost im Innern –, ist nicht stichhaltig. Es läßt sich durch Anlernung der bisherigen Kupferschmiede und durch sachgemäße Behandlung – Beizen, Anstriche, Überzüge – ausgleichen.[238]

Damit bildet die Umstellung auf Eisenrohre ein idealtypisches Beispiel für den schier unüberwindlichen Graben zwischen der Werkstofftradition eines Handwerks bzw. Gewerbes und dem Erfordernis der Anwendung einer ungewohnten Technologie.

Über lange Zeit blieb die Technik des Verbindens von Aluminiumteilen problematisch. Anders als manche Zeitgenossen vermuteten,[239] war das Löten vor dem Ersten Weltkrieg noch keine zuverlässige Verbindungstechnik. Auch das Schweißen war eine hohe Kunst, die sich dem durchschnittlichen Produzenten nicht leicht erschloss. Den mit Schweißen und Löten betrauten Arbeitern müsse »nachdrücklichst klargemacht werden, daß Aluminium nun mal kein Eisen ist«.[240] Da es sich beim Verbinden um ein Schlüsseltechnologie handelt, waren die Meldungen über neue Patente und Verfahren Legion.[241] Anfang der 1920er Jahre muteten Verfahren geradezu alchimistisch an, wenn von der Zugabe eines »Lötelixier[s]« die Rede war.[242] Ende 1921 schrieb die DGM »einen Wettbewerb für ein Aluminiumlot bzw. Aluminiumlötverfahren« mit Preisgeldern in Höhe von 20.000 Mark aus,[243] ein weiteres Ende 1923.[244] Relativ euphorisch erscheinen daher die Meldungen über das autogene Aluminiumschweißen.[245] In einer Serie von Lehrfilmen wurde das Griesheimer Aluminiumschweißen ab Ende 1921 propagiert.[246]

237 Schulz, Kupfer, 1919, S. 428.
238 Schäfer, Rohstofflage, 1919, S. 601.
239 Grüber, Entwicklung, 1925, S. 22.
240 Verarbeitung, 1920.
241 Aluminiumschweißung, 1920; Aluminiumlote, 1920.
242 Löten, 1920.
243 Preisausschreiben, 1921; Ergebnis eines Preisausschreibens, 1923.
244 Nochmals das Preisausschreiben, 1924.
245 Patentiert von der Chem. Fabrik Griesheim-Elektron; Schweißung des Aluminiums, 1920.
246 Griesheim Elektron, 1921.

In der Elektrotechnik erwiesen sich die Alternativlösungen mit Eisen und Zink tatsächlich als reine Notmaßnahmen, die höhere Verluste in der Energieübertragung verursachten. Demgegenüber bewirkte die Erprobung des Aluminiums in vielerlei elektrotechnischen Anwendungen einen regelrechten Innovationsschub. Gleichwohl bedeutete dies in der Praxis den Abschied von den ›narrensicheren‹ Kupferleitungen. Wie sich bei der Untersuchung von Aluminiumdrähten herausstellte, hatten die Walzwerke ungewollt Kupferteilchen eingewalzt, obwohl es »im Rohmaterial nicht vorhanden« war. Da dies besonders häufig vorkam, kam es entsprechend oft zu Problemen mit Aluminiumdrähten.[247] Außerdem konnte Aluminium nur bei überaus großer Sorgfalt bei der Verbindungstechnik als zuverlässige Lösung zum Einsatz kommen. Daher überrascht es nicht, dass während der 1920er Jahre zahlreiche Fehlschläge zu verzeichnen waren und das Aluminium den negativen Ruf des Ersatzstoffes mit sich schleppte.[248]

Die Verunsicherung bezüglich der Eignung des Aluminiums spiegelt sich in einer durch den VDE 1924 organisierten Diskussionsveranstaltung. Trotz zum Teil sehr guter Erfahrungen mit Aluminiumspulen, -motoren und -transformatoren aus der Kriegszeit sei die Rückkehr zum Kupfer »aus Bequemlichkeitsgründen« zu beobachten. Dem widersprach ein Fabrikant für Lastmagnetspulen diametral: Aluminiumspulen würden »in erheblichem Umfange und von bedeutenden Firmen teilweise ganz ausschließlich verwendet«. Zum größten Problem, der Herstellung zuverlässiger Kontaktverbindungen (Lötung, Schweißung, Kontaktklemme), wurde kein abschließendes Urteil gefällt.[249] Tatsächlich blieb die zuverlässige Lötung noch bis Ende der 1920er Jahre eine schwierige Aufgabe, da man versucht hatte, »das altbekannte Klempnerlöten auf Aluminium zu übertragen«.[250]

Für die Energieübertragung auf weite Entfernungen entwickelte sich die Verwendung von Stahl-Aluminiumseilen zu einem internationalen Trend.[251] In der Schweiz wurde 1924 die erste Leitung mit »Aldrey«, einer hochreinen Legierung mit 0,4–0,5 % Magnesium, 0,5–0,6 % Silizium und 0,3 % Eisen,[252] gebaut, wo »anfänglich aufgetretene Störungen [...] durch Fabrikations- und Montagefehler verschuldet« worden waren.[253] Ende der 1920er Jahre propagierte Siemens Aldrey für Hochspannungszwecke.[254]

Die Diffusion des neuen Wissens über neue Legierungen, ihre Verarbeitung und Verwendung wurde durch ihre Normung weiter befördert.[255] Während des Kriegs war sie nur

247 Schmidt, Untersuchungen, 1922.
248 Schäfer, Rohstofflage, 1919, S. 600–601.
249 Alle Zitate: Schmidt, Diskussion, 1924, S. 1125–1127.
250 Rostosky, Löten, 1930, S. 499.
251 Kalpers, Verwendung, 1922; Hochspannungsleitungen, 1925, S. 6.
252 »Aldrey«, 1927.
253 Boßhard/Hug, Einfluß des Eisen-Gehaltes, 1939, S. 6.
254 Rubinfeld, Aluminium, 1929.
255 Blind, Normen, 2002.

in Ansätzen wirksam.[256] Spätestens 1919 übernahm die GDMB den »Unterausschuß für Metalle und Metallegierungen« im Normenausschuss der deutschen Industrie, um »Normen zu schaffen für Messing, Lagermetalle, Kupferlegierungen und Bronzen«.[257] Diese wurden in den 1920er Jahren »gerade bei den Legierungen der Nichteisenmetalle von der größten Bedeutung«.[258] Genormte Werkstoffe bildeten einen – letztlich durch den Krieg induzierten – enormen qualitativen Sprung, denn Normen konnten helfen, die Fehler zu vermeiden, die sich aus der verbreiteten Unkenntnis der Verunreinigungen und damit verbundenen schlechten Legierungseigenschaften ergaben. Überdies wurde das neu erworbene Wissen in der Fläche fruchtbar gemacht. Die ersten Arbeiten des Fachnormenausschusses Nichteisenmetalle[259] des Jahres 1919 erstreckten sich dementsprechend auf die Schaffung präziser Bezeichnungen zunächst der Kupferlegierungen, aber auch die Festlegung der Toleranzen und der Reinheitsgrade.[260]

Noch in den 1920er Jahren wurden die Untersuchungen auf dem Gebiet der Heereswaffen einschließlich der diesbezüglichen Werkstofffragen fortgesetzt. Gerade die Problematik der Führungsbänder, die den größten Kupferbedarf erzeugt hatte, geriet bei diesen Untersuchungen nun in den Fokus. Was allerdings noch im Ersten Weltkrieg als Lösung galt, vermochte der wissenschaftlichen Durchdringung nun nicht mehr standzuhalten. Selbst Führungsbänder »aus dem weichen Elektrolyt-Eisen« sollten trotz der guten Treffergenauigkeit nicht mehr zum Einsatz kommen: »Sie vermindern aber die Lebensdauer der Rohre erheblich, so daß die Kupfersparnis durch viel größeren Rohrersatz erkauft werden muß.« Auch die Verwendung von mit Kupfer plattierten Eisenbändern sei kritisch.[261]

Von Autarkie zu Autarkie? Ersatzstoffe ab 1933

> Die Suche nach neuen Legierungen ist in Deutschland geleitet vom Gedanken, sowohl das Eisen durch andere Metalle, als auch solche Metalle, die zu hohen Preisen aus dem Ausland bezogen werden müssen, durch inländische oder billige Metalle zu ersetzen.[262]

In den 1920er Jahren hatte sich das autarkistische Leitbild im Kontext von Reparationszahlungen, Inflation und Arbeitslosigkeit weiter verfestigt. Die Metallforschung erhob die Ersatzstoffstrategie aus ökonomischen Gründen zu ihrem Programm, wie das obige

256 Im Jahr 1917 kam erstmals ein normiertes Zink der Firma Kahlbaum in den Handel, deren Verunreinigungen bzw. Reinheitsgrad durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt bescheinigt wurde; Normierte Metalle, 1917.
257 Bericht, 1919, S. 292.
258 Schulz, Metalle, 1923, S. 54.
259 Koopmann, 40 Jahre Normung, 1962.
260 Schulz, Bericht, 1919; Berichte für den Unterausschuß, 1919.
261 Schwinning, Konstruktion, 1934, S. 129.
262 Sachs, Entwicklung, 1927.

Zitat aus dem Jahre 1927 verdeutlicht. Im Kontext der »Metallkrise« zu Beginn der 1930er Jahre, und auch als nach der Rolle der Metallforschung bei der Lösung der Krise gefragt wurde,[263] kamen in der Metallwirtschaft Stimmen auf, die für eine »kleine Autarkie« plädierten.[264] Dem entgegen stand beim Zink das »Fehlen einer Elektrolyse und gleichzeitig eines Betriebes zur Verarbeitung der oberschlesischen Erze«, die in Polen verarbeitet wurden.[265] Ohne die Elektrolyse war es unmöglich, Zink mit dem »Reingehalt von 99,99 % bei einem Bleigehalt von nur etwa 0,005 %« im eigenen Land zu produzieren[266] – genau jener notwendigen Voraussetzung für die Durchsetzung der unproblematischen Zinklegierungen.

Die NE-Metallindustrie galt – wie 1932 betont wurde – als »staatswichtiger Wirtschaftszweig« und die Erhaltung des notleidenden Erzbergbaus u. a. aus »wehrpolitischen« Gründen als notwendig.[267] Tatsächlich hatte sich das Reichswehrministerium bereits Ende der 1920er Jahre für seine Subventionierung eingesetzt.[268] Seit 1930 wurden die Mansfelder Kupferwerke durch staatliche Subventionen über Wasser gehalten.[269] Noch 1932 wurden Schutzzölle als Mittel der Wahl ins Spiel gebracht, einer »Metall-Autarkie« erteilte man dagegen eine Absage.[270]

Das von Wirtschaftsexperten der NSDAP ab 1933 vorgetragene Autarkiekonzept zielte nicht auf »ein wirtschaftspolitisches Abschließen der Grenzen, sondern nur [auf] eine Gliederung der Bedürfnisse nach wehrpolitischen Gesichtspunkten«. Zwar wollte die neue Reichsregierung die Subventionierung des Blei- und Zinkbergbaus beenden, doch wurde nicht zufällig schon im Juli 1933 mit dem Bau der Magdeburger Zinkelektrolyse begonnen.[271] Sie nahm im Oktober 1934 den Betrieb auf, und ihre Kapazität von 40 000 t Feinzink jährlich ließ hoffen, den reinen Inlandsbedarf durch eigene Erzeugung decken zu können.[272] Eine weitere Feinzinkanlage ging 1936 in Harlingerode am Harz in Betrieb.[273] Damit war ein Grundstein staatlicher Technologiepolitik gelegt, denn dem Zink fiel im Dreiklang der »Deutschen Metalle« – Al, Zn, Mg – eine Schlüsselrolle zu. Das Deutsche Kupfer-Institut sprach sich energisch dagegen aus, dass »gerade dem Kupfer [...] der Charakter als deutsches Metall aberkannt« werde.[274] – Bereits Ende 1933 wurde der Export von Altmetallen durch die Einführung von Ausfuhrzöllen vollständig unterbunden.[275] Der Metallwirtschaft wurde – unter ausdrücklichem Hinweis auf die Ersatz-

263 Metallwissenschaft, 1932.
264 Zinkzoll-Querschnitt, 1932.
265 Staat und Metallwirtschaft, 1932, S. 491.
266 Zinkelektrolyse, 1934, S. 778.
267 Staat und Metallwirtschaft, 1932, S. 491.
268 Maier, Forschung als Waffe, 2007, S. 277.
269 Breidenbroich, Strukturwandlungen, 1938, S. 90.
270 Gegen Metall-Autarkie, 1932; Stützung des deutschen Erzbergbaus, 1932.
271 Metallwirtschaft und Weltwirtschaft, 1934, S. 13.
272 Zinkelektrolyse, 1934, S. 776.
273 Bayer, 150 Jahre, 1960, S. 829.
274 Rolle des Kupfers, 1933.
275 Altmetalle, 1934.

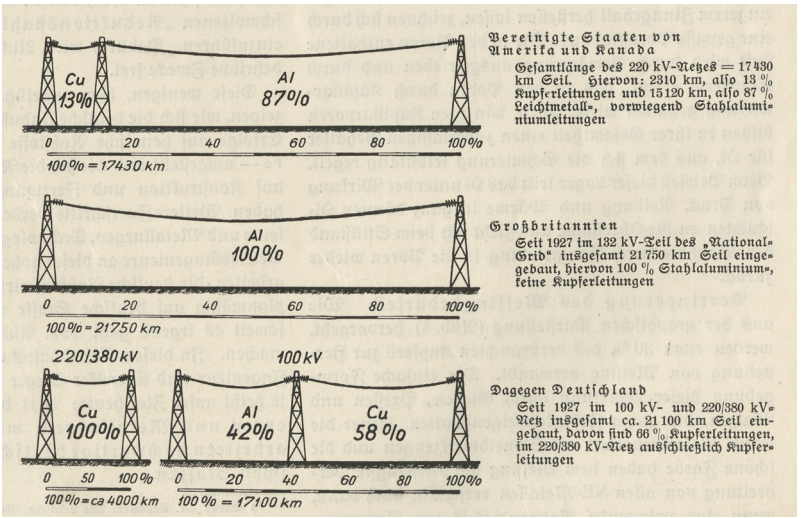


Abb. 5 Aluminium im Freileitungsbau im internationalen Vergleich (1935).[276]

stoffforschung im Ersten Weltkrieg – ein 43 Punkte umfassendes autarkistisches Forschungsprogramm unterbreitet, um »rechtzeitig für den etwaigen Fall der Grenzschließung« vorzusorgen.[277]

Die erste Maßnahme der im März 1934 errichteten Überwachungsstelle für unedle Metalle galt der Kupferwirtschaft,[278] da nur rund 12 % aus heimischer Erzeugung gedeckt werden konnten.[279] Im Juli 1934 wurde die Verwendung von Kupfer im Freileitungsbau untersagt.[280] Im Unterschied zum Ersten Weltkrieg handele es sich jedoch »nicht um einen Sprung ins Dunkle, sondern um einen Schritt auf bereits erprobtes Gebiet«.[281] Tatsächlich wurden bis 1939 über 90 % der »neu gebauten Leitungsnetze« auf Hochspannungsebene in Aluminium ausgeführt – für die »Heimstoff«-Protagonisten mehr als nur ein Propagandaerfolg, da dies in den USA bei problemloser Kupferversorgung längst so gehandhabt worden war (Abb. 5).[282] Das leidige Verbindungsproblem zwischen Aluminium und Kupfer konnte durch die »Cupalklemme« gelöst werden.[283] Beim Cupal han-

276 Deutsche Technik 3 (1935), S. 219.
277 Guertler, Aufgaben der Metallforschung, 1934.
278 Überwachung, 1934.
279 Streiflichter der Umstellungsprobleme, 1936.
280 Maßnahmen der Überwachung, 1934.
281 Aluminium im Freileitungsbau, 1934, S. 435.
282 Stein, Aluminium in der Elektrotechnik, 1939.
283 Herttrich, Metallwirtschaftliche Streiflichter, 1954, S. 227.

delte es sich um Reinaluminium, das mit Elektrolytkupfer plattiert wurde.[284] Im Jahr 1934 betrug der Anteil des Kupfers an den Freileitungen 75,5 %, der des Aluminiums lag bei 20,4 %, Aldrey 1,9 % und Stahl-Aluminium 1,2 %.[285] Die Ursachen der deutschen Zögerlichkeit gegenüber Aldrey- und Stahl-Aluminiumseilen ab Mitte der 1920er Jahre sind bislang nicht eindeutig geklärt. Da offenbar technische Gründe nicht gegen ihre Verwendung sprachen,[286] könnte es sich um einen typischen Fall eines nationalen Technikstils handeln.

Außerdem wurden zahlreiche Verwendungsgebiete des Kupfers in der chemischen Industrie, bei der Reichspost und Reichsbahn umgestellt.[287] Die elektrische »Heimstoff-Lokomotive« reduzierte den Kupferverbrauch von sieben auf 2,5 t.[288] Bei D-Zugwagen wurden von 1,2 t »devisenbelasteter Metalle und Legierungen« zwei Drittel durch Leichtmetalle ersetzt und eine 30 %ige Gewichtsersparnis erzielt.[289] Auch der Mitte 1934 berufene Rohstoffkommissar verschrieb sich dem Ersatz von Kupfer durch Aluminium und wandte sich gegen den in Deutschland üblichen »überspitzten Qualitätsfimmel«.[290] Ziel der folgenden Flut der Verwendungsverbote war u. a. die »Aktivierung der Ersatzstoffe«, wobei vor den Risiken der Umstellung auch im Hinblick auf das politisch gewünschte Exportgeschäft gewarnt wurde.[291] Gleichwohl standen viele Verbraucher – und Verarbeiter – der Verwendung von Leichtmetallen als Ersatz »infolge Mangels an Erfahrungen verständnislos« gegenüber.[292] Die Überwachungsstelle verfolgte das Ziel, »den Metalleinsatz in Anpassung an den Stand der Technik« zu lenken.[293] Daher war im Laufe der 1930er Jahre »eine gewaltige Entwicklung des deutschen Aluminiumverbrauchs« zu beobachten, ausgelöst durch »die zu Beginn 1935 erlassenen Verwendungsverbote«, die Nachfrage in der Elektrotechnik und »den Aufbau der Wehrmacht«.[294] – Als Mittel der Wahl gegen die Verständnislosigkeit und das Unwissen bei den Verarbeitern sollte die Werkstoffumstellung in die »Konstrukteurerziehung« einfließen und sie avancierte zum Thema eines umfassenden Weiterbildungswesens.[295]

War die Zeit bis 1918 durch die »behelfsmäßigen Ersatzstoffe mit zweifelhaften Kriegsqualitäten« geprägt gewesen,[296] konnte die im Zuge der staatlichen Technologie-

284 Deutsche Roh- und Werkstoffe [Datenblatt], 1937.
285 Metalle im Freileitungsbau, 1935.
286 Roehmann, Entwicklungsrichtungen, 1964, S. 441.
287 Streiflichter der Umstellungsprobleme, 1936; Bamberger, Altstoffwirtschaft, 1936.
288 Ganzenmüller, Einsatz von Heimstoffen, 1939, S. 352.
289 Pusch, Untersuchungen, 1949.
290 Ernennung eines Rohstoffkommissars, 1934.
291 Zwang zur Umstellung, 1934, S. 601.
292 Nolden, Aufgaben, 1935, S. 705.
293 Herttrich, Arbeiten der Überwachungsstelle, 1938, S. 1059.
294 Hochkonjunktur, 1936, S. 311.
295 Volk, Werkstoffumstellung, 1941; Reiprich, 25 Jahre Aluminium-Lehrdienst, 1952.
296 Lepsius, Werkstoff, 1935.

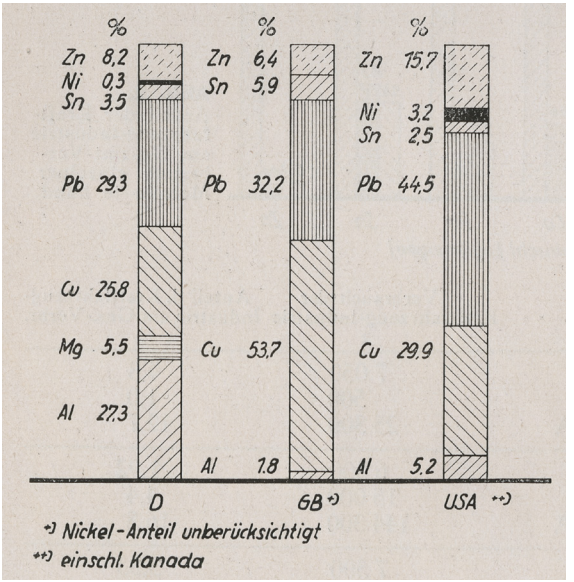


Abb. 6 Metallverbrauch der deutschen, britischen und US-amerikanischen Kraftfahrzeugindustrie 1938 nach Genthe 1939.[297]

politik verordnete Umstellung auf heimische Roh- und Werkstoffe auf den Ergebnissen eines Jahrzehnts der Entwicklung und Erprobung aufbauen. Ab Mitte der 1930er Jahre trat eine neue nicht-metallische Stoffgruppe in die Konkurrenz der Werkstoffe ein, deren Anwendung über die ersten Schritte kaum hinausgekommen war. Den Protagonisten der Kunststoffe war bewusst, dass sie gegen das Odium des »Ersatzes« aus dem Ersten Weltkrieg zu kämpfen hatten. Genau genommen bildeten nicht die metallischen »Heimstoffe«, sondern die den Konstrukteuren und Verbrauchern tatsächlich unbekannten Kunststoffe die eigentlichen »Ersatzstoffe« des »Dritten Reiches«. Trotzdem verfügten die Kunststoffe ab Mitte der 1930er Jahre über im Vergleich zum Ersten Weltkrieg geradezu ideale Entwicklungsbedingungen, denn sie wurden im Rahmen eines ausdifferenzierten Innovationssystems eingeführt.[298]

Mit der Verkündung des Vierjahresplans im September 1936 wurden die Aufgaben weiter präzisiert. Die »Rohstoffschlacht« mache die strenge Bewirtschaftung und Umstellung auf »heimische metallische Werkstoffe« – »Aluminium und seine Legierungen, besonders Magnesiumlegierungen und Zink« – erforderlich. Außerdem müsse sich die

297 Genthe, Metalleinsatz, 1939, S. 140.
298 Streb, Technologiepolitik, 2003; Maier, »Rettungsmetalle«, 2010; ders., Chemiker, 2015.

Industrie mit den nichtmetallischen Werkstoffen vertraut machen.[299] Der Metallverbrauch der Kraftfahrzeugindustrie spiegelte den Trend, bei dem Aluminium selbst die Reihe der »Sparmetalle« anführte. Bis 1938 ging sein Verbrauch dort um rund 40 % zurück, wogegen Magnesium und Zink, neuerdings aber eben auch »Kunst- und Preßstoffe« erheblich zulegten.[300] Im internationalen Vergleich werden die Auswirkungen der Umstellung besonders gut sichtbar. Beim prozentualen Verbrauch kam in der deutschen Kraftfahrzeugindustrie mehr als fünfmal so viel Aluminium zum Einsatz wie in den USA, wogegen dort rund doppelt so viel Zink verbraucht wurde. Auch beim »Sparmetall« Kupfer erreichte die deutsche Kraftfahrzeugindustrie 1938 den niedrigsten Wert (Abb. 6).[301]

Am Vorabend des Zweiten Weltkriegs wurden die Weichen für den Rollenwechsel der Ersatzmetalle untereinander gestellt. Auch wenn es bis 1939 hauptsächlich durch den Einsatz von Aluminium gelungen war, den Anstieg des Kupfer- und Messingverbrauchs »weit unterhalb der Steigerung der Gütererzeugung zu halten«, ändere dies nichts an der »Abhängigkeit von den Bodenschätzen unserer weltanschaulichen und politischen Gegner«. Wegen der günstigen Versorgungslage werde daher das Zink »einen erheblich wachsenden Anteil des bisherigen Messingverbrauches zu übernehmen haben«. Voraussetzung war die »Inbetriebsetzung weiterer Feinzinkanlagen« und damit die Vermeidung der noch in den 1920er Jahren aufgetretenen Probleme mit Zinklegierungen. Auch 1939 kämpfte die Überwachungsstelle noch gegen »psychologische und sachliche Hemmungen« an:

> Die Vorstellung von den Eigenschaften der Kriegszinklegierungen spukt noch immer bei denjenigen, die noch keine Gelegenheit gehabt haben, die nach dem Kriege aus den Vereinigten Staaten zu uns herübergekommenen und in den letzten Jahren immer höher gezüchteten Zink-Legierungen kennenzulernen.[302]

Auf der Grundlage der amerikanischen und späteren deutschen Weiterentwicklungen konnten 1939 sieben erprobte Zinklegierungen präsentiert werden. Sie deckten vom Spritz- und Kokillenguss über Press- und Automatenlegierungen die Bedürfnisse der Industrie ab. Eine Umstellung auf Zink konnte Einsparungen mit sich bringen. Ganz offen wurden jedoch auch die Nachteile der empfohlenen »Qualitätszinklegierungen« angesprochen (Maßbeständigkeit, Lötbarkeit, Kaltsprödigkeit). Noch immer praktiziertes »leichtsinniges ›Legierungspanschen‹« gewisser Firmen müsse gebrandmarkt werden.[303] Am 1. August 1939 wurde die Zinkberatungsstelle gegründet,[304] um die Umstellung auf Zink sicherzustellen.

299 Birk, Vierjahresprogramm, 1936, S. 874.
300 Genthe, Kraftfahrzeugindustrie, 1939.
301 Genthe, Metalleinsatz, 1939, S. 140.
302 Alle Zitate: Herttrich, Drosselung des Kupferverbrauchs, 1939.
303 Burkhardt, Feinzinklegierungen, 1939.
304 Johnen, 40 Jahre Zinkberatung, 1979.

Nach dem Überfall auf Polen im September 1939 machte die Reichsstelle für Metalle keinen Hehl daraus, dass die Umstellung den Bedarf an Aluminium derart gesteigert hatte, »daß die Steigerung der deutschen Erzeugung damit nicht Schritt« gehalten hatte. Zwar reduziere sich dadurch die Zahl der Austauschstoffe, doch »besonders nach Einbeziehung der ost-oberschlesischen Bergwerke und Zinkhütten kann die Versorgungslage bei Zink als durchaus günstig angesehen werden«.[305] Die Umsteuerung hatte auch rüstungstechnische Ursachen, denn der Löwenanteil der Leichtmetalle ging in die Flugzeugindustrie. Nach dem Scheitern der gigantomanischen Ausbaupläne in Norwegen zeichnete sich 1942 ab, dass Aluminium »sehr knapp werden würde«.[306] Anders als noch bis in die 1920er Jahre hinein konnte jedoch der Aluminiumschrott durch die Einführung von Standards für »Umschmelz-Aluminiumlegierungen« und ihre Raffination als verlässliche Rohstoffquelle mobilisiert werden.[307] Im Jahr 1944 wurden bei gut 244 000 t Primärerzeugung[308] über 148 000 t Sekundär-Aluminium produziert.[309]

Wie im Ersten Weltkrieg geriet das Zink im Kontext der Munitionskrise zur Ausweichlösung in der Zünderfertigung. Das Oberkommando der Wehrmacht ordnete die Umstellung »gemäß dem bekannten Führerbefehl« im Januar 1940 an, die »mit äußerstem Nachdruck zu betreiben« sei. Für die »Zinkzünderfertigung kann Zink bis zu 3000 t monatlich zusätzlich zur Verfügung gestellt werden«. [310] Zum Einsatz kam die Legierung ZnAl10Cu1, später ZnCu4Pb.[311] Jedoch reichte »ein Übergang zu Zinkzündern allein in Anbetracht der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Feinzinkmengen nicht« aus. Daher sollte die Umstellung auf Stahl vorbereitet werden.[312] – Die ab Juli 1942 wirksame Vereinfachung bei den Zinklegierungen reduzierte nicht nur deren Anzahl, sondern definierte mit allgemein zugelassenen, zweckgebundenen und »Antragslegierungen« auch drei Hauptklassen. Darunter befanden sich die noch in den 1920er Jahren optimierte Spritzgusslegierung ZnAl4Cu3 als zweckgebundene Legierung, aber auch gänzlich kupferfreie Zinklegierungen (ZnAl1; ZnAl4).[313]

Als Knetlegierung ersetzte ZnAl1Fe ab 1942 eine kupferhaltige Zinklegierung. Aus der Legierung, die »beim Zerspanen einen hohen Werkzeugverschleiß hervorruft«, wurden »mehrere tausend Tonnen Stangen durch Strangpressen hergestellt«. Ab 1944 kam es zu einer Verknappung von Feinzink, weshalb Alternativen auf der Basis von Rohzink entwickelt wurden.[314] Anfang der 1950er Jahren verschwanden die Halbzeuge aus Zink-

305 Wieprecht, Bewirtschaftung, 1940.
306 Herttrich, Metallwirtschaft, 1956, S. 447.
307 Linicus, Fortschritte, 1941, S. 506; Maier, Flugzeugschrott, 2003.
308 Herttrich, Aluminium-Hüttenproduktion, 1954.
309 Uhlig, 25 Jahre, 1965, S. 1306.
310 Keitel an Generaloberst von Brauchitsch, 19.1.1940; Jacobsen, Kriegstagebuch, 1982, S. 955–957.
311 Hansen, Non-Ferrous Metallurgy, 1948, S. 69.
312 Keitel, Der Chef des [OKW], [Wirtschafts- und Rüstungsamt] an den Oberbefehlshaber des Heeres, Herrn Generaloberst von Brauchitsch, 19. Januar 1940; Jacobsen, Kriegstagebuch, 1982, S. 955–957.
313 Schmid/Wolf, Vereinfachung, 1942.
314 Schramm, Zink-Knetlegierung, 1953; als Ersatz geplant ZnMn1Pb; ders.: Zink-Knetlegierung ZnMn1Pb, 1953.

knetlegierungen fast gänzlich.[315] Demgegenüber zählten ab den 1950er Jahren Zamak-Gusslegierungen z. B. mit einer Zusammensetzung ZnAl4Cu1 (Zamak 5), zu den Standardlegierungen der Industrie, gerade auch im expandierenden Kraftfahrzeugbau (Vergaser).[316] Beim Druckguss[317] wurde ZnAl4Cu3 (Zamak 2) wegen der durch den hohen Kupfergehalt verursachten geringeren Alterungsbeständigkeit aus den Normen gestrichen.[318]

War das Aluminium ab 1940 von der Rolle als Austauschwerkstoff in die des Sparmetalls gewechselt, wiederholte sich bei elektrischen Leiterwerkstoffen ab 1943 die Entwicklung wie im Ersten Weltkrieg. Denn wie seinerzeit ging es darum, »die Leitwerkstoffe Kupfer und Aluminium in erhöhtem Maße für unmittelbare Wehrmachtszwecke frei zu machen«.[319] Unter geänderten Rahmenbedingungen kehrte das Zink nun in die Reihe der Leiterwerkstoffe zurück. Die seinerzeit gefürchtete Grobkornbildung konnte nach 20 Jahren der Ursachenforschung und durch die Verwendung von Feinzink »mit Sicherheit ausgeschaltet« werden. Bis 1944 folgte die Verbesserung der Dauerstandfestigkeit der seit 1940 vorgeschriebenen Zinklegierung (ZnAl1), die nun durch Zink-Eisen-Legierungen mit einem Eisenanteil von 0,13 % abgelöst wurden.[320]

Im Ersten Weltkrieg war es gelungen, durch Umkonstruktion und Austausch im Lokomotivbau Einsparungen zu erzielen. So wurden die kupfernen Feuerbuchsen auf das bereits bei den Geschosshülsen erprobte Weicheisen umgestellt (Flusseisenbleche).[321] Die ab 1942 erzielten erheblichen Einsparungen von Kupfer und Zinn waren überdies auf eine Typenreduzierung von 119 auf nur noch drei zurückzuführen.[322] Bei den Kriegsdampflokomotiven – allein von der Baureihe 52 wurden 1942/44 über 6000 Stück produziert – konnten der Kupferbedarf von 2,4 t auf 1,4 t und der Zinnbedarf von 480 kg auf 305 kg gesenkt werden.[323]

Die Reichsbahn entschied sich 1921 bei Lokomotiven für die Beibehaltung des Weißmetalls WM 80, jedoch bei Wagen die Bleilagerlegierung »Bahnmetall« einzuführen.[324] Ab 1941 wurden auch die Lokomotiven – bis auf Schnellzüge – auf das zinnarme WM 10 umgestellt.[325] Während des Kriegs konnte die Reichsbahn an den bewährten kupfer- und bleihaltigen Lagergleit- und Lagerbauwerkstoffen festhalten, da die »an anderen Stellen eingesparten Legierungsbestandteile Kupfer und Blei [...] jederzeit den Bedarf an Bleibronze« sicherstellten. Kunstharz-Presswerkstoffe wurden nach dem Krieg gegen Rot-

315 Bayer, Anwendungsgebiete, 1953, S. 841–842.
316 Lieby, Zinklegierungen, 1953; Maier, Forschung als Waffe, 2007, S. 980–981; Johnen, Zink-Druckgruß, 1977.
317 Ab 1943 trat die Bezeichnung »Druckguß« an die Stelle von »Spritzguß« und »Preßguß«; Gerber, Gestaltungsrichtlinien, 1943, S. 288; Lohrke, Fortschritte, 1943, S. 401.
318 Löhberg, Arbeiten, 1951, S. 286.
319 Haase/Pawlek, Zink, 1940, S. 327.
320 Schulze, Leiterwerkstoffe, 1944; Deisinger/Reinbach, Eigenschaften, 1944.
321 Simmersbach in Stahl und Eisen 1918 nach Schulz, Metalle, 1923, S. 33.
322 Rationalisierung im Lokomotivbau, 1942.
323 Maier, Forschung als Waffe, 2007, S. 375.
324 Kühnel, Gleitwerkstoffe, 1964, S. 113.
325 Holtmeyer, Bewirtschaftung, 1956, S. 9.

guss ausgetauscht.[326] Ab 1949 wurden »die höher belasteten Streckenlokomotiven wieder mit WM 80 ausgegossen«. Anfang 1956 waren 6000 Lokomotiven damit ausgerüstet, während 3500 »für den untergeordneten Zugdienst und den Verschiebedienst« beim WM 10 blieben.[327] Die Entwicklung fand mit der Umstellung von Gleit- auf Wälzlager Ende der 1950er Jahre ihren Abschluss.[328]

In den 1930er Jahren waren Versuche mit alternativen Lagerwerkstoffen bei unterschiedlichen Anwendungen unternommen worden, so mit der Feinzinklegierung ZnAl-4Cu1. Die Zink-Lagermetalle hätten »trotz anfänglicher Abneigung weiter Verbraucherkreise vornehmlich im Austausch für Rotguß, zum Teil auch für Weißmetalle ein beträchtliches Anwendungsgebiet gefunden«.[329] Gleichwohl galten die Zinklager nach dem Krieg weiterhin als unzureichend.

Bis in die 1930er Jahre hinein wurden die Bleilagermetalle weiter vervollkommnet und dadurch der Zinnbedarf weiter reduziert. Bewährt hätten sich

- »Can«-Metall mit 94,9 % Pb, 1,75 % Ca, 1,0 % Sr, 1,0 % Ba, 1,35 % Cu sowie
- Lurgi-Lagermetall« mit 96,5 % Pb, 2,8 % Ba, 0,4 % Ca, 0,3 % Na.

Als wichtigste Alternative galten Al-Lagermetalle mit einem Cu-Zusatz bis zu 16 %, unter Umständen auch Lager aus Elektron.[330] Unter der Rubrik »Devisenfreie und devisensparende metallische Werkstoffe« wurde 1937 das »Lagerweißmetall 167« empfohlen.[331] Nach ausgiebigen Versuchen erwies sich die Al-Lagerlegierung »Quarzal«[332] zum Austausch für »hochwertige Weißmetallager einschließlich der hochwertigen Bleibronzen« als Alternative, da sie »seit Jahren als Pleuellager« in Motoren gelaufen war.[333] Bleibronzen erfüllten die durch den Autobahnbau gestiegenen Anforderungen der »großen Dauergeschwindigkeit« und galten als »autobahnfest«.[334] Anfang der 1950er Jahre wurden zinnfreie und zinnhaltige Blei-Mehrstoffbronzen mit 5–11 % Zinn bei »besonders hoch beanspruchten Verwendungsfällen« wie Dieselmotoren empfohlen und seien selbst besten Weißmetallen überlegen.[335]

Trotz erheblicher Forschungsarbeiten hatten sich die Lagerspezialisten auch 1940 nicht dazu hinreißen lassen, Zink- oder Leichtmetall-Lager als problemfrei anzupreisen.[336] Erst nach dem Krieg wurde die Entwicklung eines »Leichtmetallagers K 4« bekannt gemacht, das sich in Flugmotoren bewährt hätte. Es basierte auf den Legierungen

326 Schneider, Erfahrungen, 1949.
327 Holtmeyer, Bewirtschaftung, 1956, S. 9.
328 Wassermann/Wincierz, Metall-Laboratorium, 1981, S. 60.
329 Hansen, Non-Ferrous Metallurgy, 1948, S. 95.
330 Streiflichter der Umstellungsprobleme, 1936.
331 PbSb15Sn10 + 5,5 % veredelnde Bestandteile; Deutsche Roh- und Werkstoffe, 1937.
332 Z. B. AlCu5Ni0,1Fe0,1Ti0,5; Merriman, Dictionary, 1958, S. 784.
333 Schwarz, Gleiteigenschaften, 1937, S. 772.
334 Lay, Bleibronzelager, 1938, S. 1199.
335 Anders, Bleibronze, 1952; Schmid/Weber, Gleitlager, 1953, S. 139.
336 Kühnel, Bewertung, 1940.

des Constructal-Typs (AlZn5Mg2) und enthielt zusätzlich 4–6 % Cadmium. Damit entsprach es dem System der »Deutschen Metalle« auf ideale Weise und sollte Bleibronze ersetzen.[337] Noch bis 1944 hatten auch die Leichtmetallexperten des Reichsluftfahrtministeriums im Zellenbau auf die kupferfreien aushärtbaren Constructal-Legierungen gesetzt, die das Duralumin in ihrer Festigkeit und Zähigkeit übertrafen, zugleich aber – anders als das Duralumin – schweißbar waren. Wegen ihrer Neigung zur Spannungsrisskorrosion galten sie auch in den 1950er Jahren »als noch nicht normungsreif«.[338] So verschwand die Legierung AlZn5Mg3, wogegen sich Legierungen mit geringerem Magnesiumgehalt (AlZn4,5Mg1) im Bahnwesen und Automobilbau dauerhaft etablierten.[339] Als regelrecht bahnbrechend erwies sich eine Lagerlegierung, die ursprünglich durch den Flugzeugproduzenten Junkers entwickelt worden war (Ju-Legierung 83). Sie wurde bei der Karl Schmidt GmbH, Neckarsulm, weiterentwickelt (AlZn5SiCuPb) und bei Kriegsende als »KS 83 a« bei Volkswagen endgültig eingeführt. Rund 30 Mio. einzelne Lager wurden bis 1965 in Millionen von VW-Fahrzeugen verbaut.[340]

Fazit: Die Transformation der Innovationskultur

Weder im Ersten noch im Zweiten Weltkrieg kam es infolge der geringen Eigenproduktion von Kupfer zum Zusammenbruch der deutschen Rüstungsproduktion. Die Vorräte beliefen sich – trotz zuvor jeweils expandierender Endfertigung – 1919 auf rund 100 000 t und im Dezember 1944 sogar auf 452 000 t.[341] Dies ist in erster Linie auf die Verbrauchslenkung und die Beschlagnahmeregime zurückzuführen, die ab Ende 1914 installiert wurden, jedoch im »Dritten Reich« schon ab 1934 einsetzten. Sie waren durch »rücksichtslose Beschlagnahmeanordnungen im Inland« und »scharfe Erfassung aller Metallreserven in den besetzten Gebieten« viel restriktiver als im Ersten Weltkrieg.[342] Diese Maßnahmen reichten allein jedoch nicht aus,[343] um die durch die expandierende Rüstungsproduktion klaffende Versorgungslücke zu schließen. Vielmehr löste der Rohstoffmangel eine intensive, im Ersten Weltkrieg bisweilen überstürzte Einführung von alternativen Werkstoffen aus. Demgegenüber erfolgte die Einführung von Ersatzstoffen im Zweiten Weltkrieg unter grundlegend verschiedenen Rahmenbedingungen und erst nach intensiver Erprobung und Normung.

Als maßgebliche Determinante der Innovation muss das zögerliche Verhalten der Metallwirtschaft gewertet werden.[344] Als eine Ironie der Geschichte erwies sich die gleich-

337 Rühenbeck, Leichtmetall-Lager, 1952.
338 Brenner, Grenzen, 1954.
339 Gruhl, Verbesserung, 1973, S. 211; Frewer, Aluminiumsysteme, 1973, S. 291; Ostermann, Aluminiumentwicklungen, 1977; Schmitt-Thomas/Johner/Weber, Optimierung, 1981, S. 798.
340 Bücken, Lebenswerk, 1965, S. 515; Maier, 100 Jahre, 2019, S. 115.
341 Herttrich, Metallwirtschaft, 1956, S. 447.
342 50 Jahre deutscher Metallhandel, 1950.
343 Schultze, Rohstoff Kupfer, 1951, S. 68.
344 Radkau, Technik in Deutschland, 2008.

sam zwanghafte deutsche Vorliebe für Kupfer als Hauptquelle der Versorgung während des Kriegs. Diese Vorliebe hatte jedoch die Einführung von bis Kriegsbeginn bereits erprobten Alternativen verhindert. So waren ausgerechnet Länder wie die USA, die keinen Mangel an Kupfer zu beklagen hatten, bei der Einführung der Stahl-Aluminiumseile für Hochspannungsleitungen deutlich voraus. Erst die Verwendungsverbote führten in einigen Fällen zu der Erkenntnis, dass die Ersatzlösung sogar geeigneter als die »bewährte« Technik war, wie das Beispiel der Kondensatorrohre zeigt. Schließlich mutierte das deutsche Freileitungsnetz zum »Kupferbergwerk« und trug dazu bei, dass »die deutschen Kupferbestände bis zum Kriegsende [1945] ständig stiegen«.[345]

Verfolgt man die »Karrieren« einzelner Ersatzlegierungen vom Ersten Weltkrieg bis in die Zeit des »Wirtschaftswunders«, finden sich nur wenige im engeren Sinne erfolgreiche Beispiele. So blieben die Experimente mit Fahrleitungen für elektrische Bahnen ohne langfristige Konsequenzen: »Jeder Versuch, Kupfer hier durch einen anderen Werkstoff zu ersetzen, ist entweder aus technischen oder aus wirtschaftlichen Gründen gescheitert.«[346] Keine der noch im Ersten Weltkrieg eingesetzten Al-Gusslegierungen tauchte unter den 1952 im Autobau hauptsächlich genutzten Legierungen auf.[347] Mitte der 1960er Jahre machten acht von neun Typen von Al-Si-Legierungen (Silumin) 80 % »des Produktionsprogramms der Schmelzwerke und Gießereien« aus.[348]

Das Beispiel des Silumins beschreibt jedoch idealtypisch, auf welche Weise die Ersatzstoffe dann doch zu den Impulsgebern der Werkstoffinnovation avancierten. Die noch bis zur Jahrhundertwende unter »primitiven« Bedingungen produzierende Metallindustrie, in der bisweilen vorindustrielle Vorstellungen über die Legierungen vorherrschten, musste sich im Zuge der Verwendungsverbote wohl oder übel mit alternativen Werkstoffen auseinandersetzen.[349] Dies gelang nur durch die enge Zusammenarbeit mit externen Institutionen der Werkstoffprüfung und Metallforschung. So intensivierten die staatlichen und militärischen Stellen ihre Ersatzstoffforschung. Die bis 1918 und in der ersten Nachkriegszeit gegründeten Institute und Fachausschüsse der technisch-wissenschaftlichen Vereine sorgten für den Problem- und Wissenstransfer und die Verbreitung des neuen Wissens über die NE-Metalllegierungen. Eben dieser Legierungsforschung verdankte auch das Silumin seine Jahrzehnte währende Karriere.

Der Kreis schließt sich mit dem Aufkommen von Al-Lagerlegierungen »für Verbrennungsmotoren mit mittleren Belastungen« als »Verbundwerkstoff mit Stahl und WM-Laufschicht für Gleitlager«, die als neue Entwicklung Anfang der 1970er Jahre empfohlen wurden.[350] Die Legierung AlSn6Cu2 entsprach ausgerechnet der oben beschriebenen vor dem Ersten Weltkrieg für Artilleriezünder eingeführten und als erste Ersatzlösung »vorgeschriebene Zünderlegierung« – Anfang der 1970er Jahre allerdings in gänzlich anderem

345 Herttrich, Streiflichter, 1954, S. 228.
346 Bovet, Kupfer, 1972.
347 Bücken, Anwendungsmöglichkeiten, 1952, S. 125.
348 Konzelmann, Hinweise, 1967, S. 221.
349 Luxbacher, Anwendungsgebiete, 2011, S. 44–45.
350 Mann, Zinn, 1972, S. 915–916; später auch üblich AlSn6Cu; Mann, Herstellung, 1977.

Verwendungskontext. Neben den Al-Legierungen waren die Zink-Legierungssysteme das wichtigste Erzeugnis des Ersten Weltkriegs. Nach der Beseitigung der durch zum Teil kleinste Verunreinigungen verursachten Probleme bildeten die Zn-Al-Legierungen – »der idealste Druckguß-Werkstoff«[351] – die Materialbasis der Gießereien. So verhalf der Druckguss im Warmkammerverfahren, das sich ab den 1970er Jahren verbreitete, den Zn-Al-Legierungen (ZnAl4) zum dauerhaften Erfolg.[352] Wenn auch die im Ersten Weltkrieg zum Einsatz gelangten Ersatzlegierungen fast vollständig wieder verschwanden, avancierten die aus ihnen abgeleiteten und durch die Metallforschung vervielfältigten Varianten zu Erfolgsprodukten.

Der eigentliche Innovations- und Modernisierungsschub durch die Ersatzstoffe bestand also in der Transformation der Innovationskultur und der damit verbundenen Verwissenschaftlichung der Praxis. Diese war gezwungen, sich von den unempfindlichen ›fool-proof‹-Werkstoffen zu verabschieden und sich auf die komplexen Produktionsbedingungen einzustellen, die ihnen die technisch sensiblen Ersatzstoffe abverlangten. So verbreiterte sich das Produktions- und Verarbeitungswissen in der NE-Metallindustrie bereits während des Ersten Weltkriegs in einem zuvor unbekannten Ausmaß. Die Entwicklung der Ersatzstoffforschung, die Werkstoffwahl und diesbezügliche Konstruktionspraxis müssen dabei immer im politisch-ökonomischen Kontext verstanden werden, denn Verwendungsverbote von Kupfer traten auch nach dem Zweiten Weltkrieg während der Korea-Krise Anfang der 1950er Jahre wieder in Kraft.[353] Auch im Kontext der Ressourcendebatte der 1970er Jahre wurde die Substitution von Kupfer durch Aluminium in der Elektrotechnik erneut diskutiert.[354]

351 Lieby, Gestaltung, 1949, S. 18.
352 Rollez/Coster/Piel, Zink-Druckgusslegierung, 2000.
353 Aufhebung der Verwendungsverbote, 1953.
354 Herz/Mentzel, Einfluß der Substitution, 1977.

Literatur

ETZ = Elektrotechnische Zeitschrift
M&E = Metall und Erz (Zeitschrift)
MW = Metallwirtschaft, -wissenschaft, -technik (Zeitschrift)

25 Jahre Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute e. V. In: M&E 34 (1937), S. 265–271.
50 Jahre Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e.V. im Spiegel der Zeitschrift für Metallkunde. Stuttgart 1969.
50 Jahre deutscher Metallhandel. In: Metall 4 (1950), S. 291–292.
»Aldrey«. In: MW 6 (1927), S. 958–959.
Die Altmetalle im Jahre 1933. In: MW 13 (1934), S. 107–108.
Aluminium als Baustoff für die Kolben der Verbrennungsmotoren. In: M&E 18 (1921), S. 211.
Aluminium als Ersatz für Kupfer in der Elektrotechnik. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 34, S. 1–2.
Aluminium als Ersatz für Kupfer in der Elektrotechnik. In: M&E 18 (1921), S. 109–110.
Aluminium anstelle in Deutschland knappster Metalle. In: Aluminium 3 (1921), Nr. 13, S. 5–6.
Aluminium im Freileitungsbau des Auslandes. In: MW 13 (1934), S. 435–437.
Aluminium in der Milchwirtschaft. In: Aluminium 7 (1925), Nr. 6, S. 7–10.
Aluminiumlegierung oder Gußeisen?. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 36, S. 6.
Aluminiumlegierungen. In: Aluminium 4 (1922), Nr. 43, S. 6.
Aluminium-Leiter-Armaturen. In: Aluminium 8 (1926), Nr. 10, S. 6.
Aus der Berliner Metall-Industrie. In: M&E 16 (1919), S. 83.
Ausschuß für Spritzgußlegierungen. Untersuchung an Zinkspritzguß-Legierungen. In: Zeitschrift für Metallkunde 11 (1926), S. 359–364.
Autogene Aluminiumschweißung. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 9, S. 1–2
Bearbeitung von Aluminium. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 10, S. 5.
Bericht über die Hauptversammlung der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute am 2. und 3. Juli 1919 in Berlin. In: M&E 16 (1919), S. 291–295.
Bericht über die Mitgliederversammlung der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute, E. V., vom 17. bis 19. Juni 1916 in Berlin. In: M&E 13 (1916), S. 275–279.
Berichte für den Unterausschuß für die Normung von Metallen und Metallegierungen. In: M&E 16 (1919), S. 591–600.
Bleilagermetalle. In: MW 7 (1928), S. 225–226.
Das Aluminium in der Elektrotechnik. In: Aluminium 3 (1921), Nr. 14, S. 1–2.
Das Duraluminium als Konstruktionsmaterial. In: Aluminium 1 (1919), Nr. 25/26, S. 3–4.
Das Einschmelzen von Aluminiumschrott. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 16, S. 1–2.
Das Löten von Aluminium. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 41, S. 6–7.
Der Kokillenguß beim Gießen von Motorkolben aus Aluminium oder Magnesium. In: Aluminium 3 (1921), Nr. 40, S. 1–2.
Deutsche Gesellschaft für Metallkunde: Vortragsabend am 26. Mai 1920 im Ingenieurhaus Berlin. In: Zeitschrift für Metallkunde 11 (1920), S. 371–403.
Deutsche Roh- und Werkstoffe [Datenblatt]. In: MW 16 (1937), S. 445.
Deutsche Roh- und Werkstoffe. In: MW 16 (1937), S. 727.
Die Rolle des Kupfers in der nationalen Wirtschaftspolitik. In: MW 12 (1933), S. 394–395
Die deutsche Aluminiumindustrie. In: Aluminium 3 (1921), Nr. 28, S. 1–2.
Die erste deutsche Zinkelektrolyse. In: MW 13 (1934), S. 775–778.
Die Lage der Zinkhüttenindustrie. In: M&E 16 (1919), S. 134–135.
Die Metalle im Freileitungsbau nach dem Stand von Ende 1934. In: MW 14 (1935), S. 707–708.
Die Rückkehr zum Kupfer. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 34, S. 4–5.
Die Stützung des deutschen Erzbergbaus. In: MW 11 (1932), S. 534.

Die Verarbeitung von Aluminium in der Automobilindustrie. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 7, S. 1–3.
Die Verwendung von Aluminium und Kupfer. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 47, S. 1–2.
Die Verwendungsgebiete für Aluminium in Amerika. In: MW 9 (1930), S. 1013.
Die Welterzeugung an Metallen im Jahre 1918. In: M&E 16 (1919), S. 126–127.
Die Weltkupferproduktion in den letzten fünf Jahren. In: M&E 16 (1919), S. 254.
Die Wiederverwendung von Aluminiumblechabfällen. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 4, S. 1–2.
Diskussion zum Vortrag. In: ETZ 45 (1925), S. 1125–1127.
Erfahrungen mit Aluminium–Motorkolben. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 39, S. 6.
Ergebnis eines Preisausschreibens für ein Aluminiumlot. In: Aluminium 5 (1923), Nr. 27/28, S. 3–7.
Erklärung. In: Das Metall (1918), S. 318.
Ernennung eines Rohstoffkommissars. In: MW 13 (1934), S. 487–488.
Ersatzmetalle. In: Das Metall (1916), S. 149–150.
Fortschritte auf dem Gebiete der Leichtmetalle 1935. Anwendungsgebiete. In: MW 15 (1936), S. 440–442.
Freigabe der Metalle. In: M&E 16 (1919), S. 408.
Freigabe der Metallverwendung für elektrotechnische Zwecke. In: M&E 18 (1921), S. 400.
Gegen Metall-Autarkie – für Schutz der heimischen Metallgewinnung. In: MW 11 (1932), S. 517–518.
Griesheim Elektron und das autogene Schweißen und Schneiden. In: Aluminium 3 (1921), Nr. 43, S. 4.
Hochkonjunktur in der deutschen Aluminiumindustrie. In: MW 15 (1936), S. 311–313.
Hochspannungsleitungen aus Stahl-Aluminium. In: Aluminium 7 (1925), Nr. 4, S. 5–8.
Kupfereisendraht. In: M&E 12 (1915), S. 319.
Lagermetalle und ihre technologische Bewertung. In: M&E 18 (1921), S. 107.
Lagermetalle. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 11, S. 7–8.
Legierung für Kondensatorrohre. In: Das Metall (1918), S. 133.
Lurgi- und Kalzium-Bleimetall für Straßenbahn-Gleitlager. In: ETZ 45 (1924), S. 220.
Maßnahmen der Überwachung für unedle Metalle. In: MW 13 (1934), S. 419.
Metallwerke Oberspree: Aluminium-Spritzguß (Fertigguß). In: Aluminium 7 (1925), Nr. 18, S. 4–5.
Metallwirtschaft und Weltwirtschaft im Jahre 1933. In: MW 13 (1934), S. 12–16.
Metallwissenschaft und Metallkrise. In: MW 11 (1932), S. 270–271.
Mitteilungen des Reichsverbandes der Deutschen Metallindustrie. In: Das Metall (1917), S. 275–276.
Motorkolben aus Aluminium. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 50, S. 6.
Motorkolben aus Aluminium. In: Gießerei-Zeitung 17 (1920), S. 299–300.
Neue Aluminiumlote. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 10, S. 4–5.
Neuregelung des Zinkbezugs. In: Das Metall (1917), S. 277–278.
Normierte Metalle. In: M&E 14 (1917), S. 136.
Preisausschreiben für ein Aluminiumlot. In: Aluminium 3 (1921), Nr. 48, S. 4–7.
Nochmals das Preisausschreiben D. G. f. M. für ein Aluminiumlot. In: Aluminium 6 (1924), Nr. 3/4, S. 1.
Rationalisierung im Lokomotivbau. In: MW 21 (1942), S. 749–750.
Reichsamt für Demobilmachung: Metallfreigabe. In: M&E 15 (1918), S. 425.
Rückblick auf die Entwicklung der Hüttenaluminium-Industrie in Deutschland. In: Metall 5 (1951), S. 506–508.
Sparmetall für Friedenszwecke. In: M&E 15 (1918), S. 425.
Staat und Metallwirtschaft. In: MW 11 (1932), S. 490–493.
Streiflichter der Umstellungsprobleme der deutschen metallverarbeitenden Industrie. In: MW 15 (1936), S. 155–156.
Streiflichter über die Aussichten der Zinkverwendung. In: MW 15 (1936), S. 131.
Thermit, ein neues Lagermetall. In: ETZ 45 (1924), S. 63–64.
The Choice of Materials (Leitartikel). In: The Engineer 129 (1920), S. 531–532.
Über die deutsche Kupferversorgung nach dem Kriege. In: M&E 15 (1918), S. 253–254.
Überwachung der NE-Metallwirtschaft. In: MW 13 (1934), S. 233–235.

Ueber die autogene Schweißung des Aluminium. In: Aluminium 2 (1920), Nr. 16, S. 5–6.
Verwendung von Sparmetallen. In: M&E 16 (1919), S. 81.
Vorurteile gegen Aluminium. In: Aluminium 4 (1922), Nr. 30, S. 11–12.
Was muß der Aluminiumtechniker von der modernen Metallkunde (Metallographie) wissen?. In: Aluminium 4 (1922), Nr. 16, S. 1–10.
Weltproduktion und -Verbrauch von Kupfer. In: Wirtschaft und Statistik 2 (1922), S. 692–694.
Wissenschaftliche Vortragstagung der Wirtschaftsgruppe Nichteisenmetall-Industrie Berlin, 19. Oktober 1936. In: MW 15 (1936), S. 1021–1024.
Zinkzoll-Querschnitt. In: MW 11 (1932), S. 308–312.
Zwang zur Umstellung. In: MW 13 (1934), S. 599–601.
Zur Aufhebung der Verwendungsverbote für Kupfer und Kupferlegierungen. In: Metall 7 (1953), S. 197–202.
Zur Frage der Kupferversorgung Deutschlands. In: M&E 12 (1915), S. 59–60.
Zuteilung von Zink. In: Das Metall (1918), S. 29.

Afflerbach, Rolf: Aluminium-Ausblick. In: Aluminium 28 (1952), S. 93–94.
Anders, H.: Bleibronze als Lagerwerkstoff. In: Metall 6 (1952), S. 193–194.
Andrae, Werner: 50 Jahre Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute 1912–1962. In: Erzmetall 15 (1962), S. 165–175.
Bamberger: Die Altstoffwirtschaft der Deutschen Reichspost. In: MW 15 (1936), S. 516–518.
Bayer, Kurt: 150 Jahre deutsche Zinkhüttenindustrie. In: Metall 14 (1960), S. 828–831.
–: Alte und neue Anwendungsgebiete des Zinks. In: Metall 7 (1953), S. 838–842.
Belli, Peter Josef: Das Lautawerk der Vereinigte Aluminium-Werke AG (VAW) von 1917 bis 1948. Berlin 2012.
Berg, Georg; Friedensburg, Ferdinand: Kupfer. Stuttgart 1941.
Birk, Georg: Das Vierjahresprogramm und die deutsche Metallwirtschaft. In: MW 15 (1936), S. 871–875.
Blanderer J.: Stand und Entwicklungsmöglichkeiten des Lagermetallproblems. In: Metall 8 (1954), S. 288–292.
Bleidick, Dietmar: Emil Schrödter und Otto Petersen: zwei starke Geschäftsführer. In: Maier, Helmut; Zilt, Andreas; Rasch, Manfred (Hrsg.): 150 Jahre Stahlinstitut VDEh 1860–2010. Essen 2010, S. 71–94.
Blind, Knut: Normen als Indikatoren für die Diffusion neuer Technologien. Karlsruhe 2002.
Boßhard, M.; Hug, H.: Der Einfluß des Eisen-Gehaltes auf die Eigenschaften von Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierungen (Aldrey). In: MW 18 (1939), S. 6–8.
Bovet, H. J.: Kupfer als Leitwerkstoff für Eisenbahn-Fahrdrähte. In: Metall 26 (1972), S. 1172.
Breidenbroich, Friedrich: Die Strukturwandlungen in der internationalen Kupferwirtschaft und die deutsche Kupferwirtschaft. Diss. Frankfurt 1938.
Brenner, Paul: Wirtschaftliche Grenzen der Herstellung. In: Metall 8 (1954), S. 167–168.
Büchen, Wolfgang: 5. Leichtmetallguß. In: Giesserei 22 (1959), S. 654–664.
Bücken, Curt: Anwendungsmöglichkeiten für Aluminiumguß. Insbesondere im Kraftfahrzeugbau. In: Metall 6 (1952), S. 123–128.
–: Das wissenschaftliche Lebenswerk von Dr. Roland Sterner-Rainer, ein Kapitel aus der Geschichte der Aluminium-Metallurgie. In: Aluminium 41 (1965), S. 512–517.
Burkhardt, Arthur: Zink und seine Legierungen. In: MW 13 (1934), S. 625–627.
–: Zink und seine Legierungen. Zusammenfassende Darstellung der Eigenschaften. In: MW 13 (1934), S. 607–612.
–: Hochwertige Feinzinklegierungen. In: MW 18 (1939), S. 515–524.
Cocks, E. J.; Walters, B.: A History of the Zinc Smelting Industry in Britain. London 1968, S. 96–97.
Cohn, W.: Die deutsche Elektroindustrie in den Kriegsjahren. Elektrische Leitungsanlagen für Starkstrom. In: ETZ 40 (1919), S. 221–224.

Czochralski, Jan; Welter, Georg: Lagermetalle und ihre technologische Bewertung. Berlin 1920
–: Lagermetalle und ihre technologische Bewertung. In: Zeitschrift für Metallkunde 11 (1920), S. 371–393.
–: Fortschritte in der Verwendung des Aluminiums. In: Aluminium 4 (1922), Nr. 26, S. 9–12.
Debar, Rudolf: Die Aluminium-Industrie. Braunschweig 1925.
Deisinger, W.; Reinbach, R.: Eigenschaften und Verarbeitbarkeit der neuen Zinkleitlegierung Zn-Fe. In: MW 23 (1944), S. 56–57.
Dunkel, Eckhard: 50 Jahre Silumin – ein historisch-technischer Rückblick. In: Giesserei 58 (1971), S. 782–785.
Dyes, Wilhelm A.: Einige Mitteilungen über ausländische Erz- und Metallwirtschaft und -technik. In: M&E 15 (1918), S. 451–464, und 16 (1919), S. 13–16.
Ebeling, A.: Kupferprobleme 1920. In: Metall 12 (1958), S. 1045–1047.
Erdmann, Richard: Aluminium – seine Eigenschaften und Bearbeitung in Industrie und Handwerk. Leipzig 1926.
Evers, Jürgen; Möllendorff, Ulrich von; Marsch, Ulrich: Wichard von Moellendorff (1881–1937). Materialprüfer, Metallforscher, Wirtschaftspolitiker. In: Technikgeschichte 71 (2004), H.2, S. 139–157.
Frewer, F.: Aluminiumsysteme für den schnellen Nah- und Fernverkehr. In: Metall 27 (1973), S. 290–292.
Frommer, Leopold: Aluminium Spritzguß. In: Aluminium 7 (1925), Nr. 11, S. 4.
Ganzenmüller, Albert: Der Einsatz von Heimstoffen im elektrischen Zugbetrieb der Deutschen Reichsbahn. In: MW 18 (1939), S. 349–353.
Genthe, M.: Der Metalleinsatz der deutschen, englischen und amerikanischen Kraftfahrzeugindustrie. In: MW 18 (1939), S. 138–142.
–: Kraftfahrzeugindustrie und Metallwirtschaft. In: MW 18 (1939), S. 112–114.
Gerber, J.: Gestaltungsrichtlinien für Zinkdruckgußteile (Zinkspritzgußteile). In: MW 22 (1943), S. 288–291.
Ginsberg, Hans: Der Reinheitsgrad des Hüttenaluminiums als bestimmender Faktor für die Weiterverarbeitung. In: Metall 13 (1959), S. 171–174.
Goebel, Otto: Deutsche Rohstoffwirtschaft im Weltkrieg einschliesslich des Hindenburg-Programms. Stuttgart 1930.
Grüber, Fritz: Die Entwicklung der Lüdenscheider Aluminiumwarenindustrie. Eine kritische betriebswirtschaftliche Studie. Diss. Köln 1925.
Gruhl, W. u. a.: Verbesserung der Eigenschaften hochfester, schweißbarer AlZnMg-Legierungen. In: Metall 27 (1973), S. 211–219.
Guertler, William: Aufgaben der Metallforschung im Dienst der deutschen Metallwirtschaft 13 (1934), S. 52–53.
Günther, Georg: Die deutsche Rohaluminiumindustrie. Diss. Leipzig 1931.
Günther, Wilhelm: Warum war die Metallproduktion aus einheimischen Erzen bei Kriegsbeginn nicht größer und wie kann sie gesteigert werden?. In: M&E 15 (1918), S. 143–145.
Haas, B.: Welche Mängel entstehen durch die Anwendung unreinen Zinks?. In: Das Metall (1916), S. 159–160.
Haase, Carl; Pawlek, Franz: Zink und Zinklegierungen für Leitungszwecke. In: Zeitschrift für Metallkunde 32 (1940), S. 327–339.
Hansen, Max: Non-Ferrous Metallurgy, Part II (= FIAT Review of German Science 1939–1946). Wiesbaden 1948.
Hanszel, Hubert: Veredelungsversuche mit inländischen Metallen. Preßzink und Zinklegierungen. In: Zeitschrift für Metallkunde 13 (1921), S. 209–219.
Hartmann, G.: Das Gießen von Aluminium. In: Aluminium 2 (1920) Nr. 6, S. 5–6.
Henglein, Ernst: Chemetall. Frankfurt 1985.
Herrmann, Erhard: Handbuch des Stranggießens. Düsseldorf 1958.
Herttrich, Hans: 56 Jahre deutsche Aluminium-Hüttenproduktion. In: Metall 8 (1954), S. 220–221.
–: Die Arbeiten der Überwachungsstelle für Metalle. In: MW 17 (1938), S. 1059–1062.
–: Die Drosselung des Kupferverbrauchs durch den Einsatz von Zink. In: MW 18 (1939), S. 513–515.

–: Die Metallwirtschaft im deutschen kriegswirtschaftlichen Schrifttum der Gegenwart. In: Metall 10 (1956), S. 445–452.
–: Metallwirtschaftliche Streiflichter zum Aluminium- und Kupfereinsatz im Freileitungsbau. In: Metall 8 (1954), S. 225–229.
Herz, Hermann; Mentzel, Thomas: Der Einfluß der Substitution auf den künftigen Kupfer- und Aluminiumbedarf der Bundesrepublik Deutschland. In: Metall 31 (1977), S. 471–475.
Herzog, Rudolf: Aluminium statt Eisen. In: Aluminium 5 (1923), Nr. 9, S. 7–9.
Hirsch, Siegmund: Revolution im Messing 1908–1928. Lammersdorf 1967.
Hoffmann, Fritz: Über Temperaturmessungen an Schmelz- und Glühöfen der Legierungsindustrie. In: M&E 18 (1921), S. 489–495.
Holtmeyer, H.: Die Bewirtschaftung der Lokomotivlagermetalle bei der Deutschen Bundesbahn. In: Metall 10 (1956), S. 9–16.
Hoppe: Was wird aus Deutschlands Zinkindustrie? In: Aluminium 3 (1921), Nr. 45, S. 4.
Hornig, Otto: Die Kupfererzversorgung Deutschlands im Kriege unter besonderer Berücksichtigung der Kriegsmetallwirtschaft wie des Kriegsbergbaus. Diss. Heidelberg 1921.
Hundt, Rudolf: Wie weit ist Deutschland nach dem Weltkriege vom Bezug ausländischer Rohstoffe abhängig?. In: M&E 16 (1919), S. 102–103.
Jacobsen, Hans-Adolf: Kriegstagebuch des Oberkommandos der Wehrmacht (Wehrmachtführungsstab), Band I: 1. August 1940 – 31. Dezember 1941. München 1982.
Johnen, H.: 40 Jahre Zinkberatung. In: Metall 33 (1979), S. 981–983.
–: Zink-Druckguß: ein Boom in Stückzahlen. In: Metall 31 (1977), S. 1017–1021.
Jünger, Ernst: Der Existenzkampf der deutschen Aluminiumwarenindustrie. In: MW 9 (1930), S. 70–72.
Kalpers, H.: Aluminiumformguß in Kokillen. In: Aluminium 4 (1922), Nr. 1, S. 1–3.
–: Aluminiumlegierungen in der Automobil- und Flugzeugindustrie. In: Aluminium 3 (1921), Nr. 28, S. 3–7.
–: Die Verwendung von Aluminium in der Elektrotechnik. In: Aluminium 4 (1922), Nr. 1, S. 4–6.
Kenneford, A. S.: The Mechanical Properties of Some Extruded Zinc-Base Alloys. In: The Journal of the Institute of Metals 73 (1947), S. 445–470.
Kepler, E.: Metallwirtschaft und Metallbewirtschaftung. In: M&E 17 (1920), S. 95–102.
Kessner, Arthur: Ersatzmetalle im allgemeinen Maschinenbau. In: ders. (Hrsg.): Ausnutzung und Veredlung deutscher Rohstoffe. 3. Aufl.. Berlin 1921, S. 104–190.
Kleinhans, Major: Die Munition der deutschen Infanterie im Weltkriege. In: Technik und Wehrmacht 23 (1920), S. 33–36.
Koeth, Josef: Rohstoffbewirtschaftung. In: Anschütz, Gerhard; Gerolzheimer, Fritz (Hrsg.): Der Weltkrieg. Berlin 1920, S. 224–235.
Konzelmann, W.: Hinweise zur Wahl von Aluminium-Gußlegierungen. In: Metall 21 (1967), S. 221–226.
Koopmann, W.: 40 Jahre Normung der NE-Metalle. In: Metall 16 (1962), S. 777–778.
Krause, Hugo: Was muß der Aluminiumwarenfabrikant und -Händler von den physikalischen Eigenschaften des Aluminiums wissen?. In: Aluminium 4 (1922), Nr. 34, S. 14–19.
Kühnel, Reinhold: Bewertung der metallischen Gleitlagerwerkstoffe nach ihren Eigenschaften. In: MW 19 (1940), S. 865–873.
–: Gleitwerkstoffe in Wagenlagern im Wandel der Zeiten. In: Eisenbahntechnische Rundschau 13 (1964), S. 112–114.
Lang, W.: Fahrleitungsanlagen aus Heimstoffen, ihre mechanischen und elektrischen Eigenschaften. In: MW 18 (1939), S. 16–21.
Lay, E.: Bleibronzelager für die Motorenindustrie. In: MW 17 (1938), S. 1199–1204.
Lepsius, Richard: Ein neuer Werkstoff. In: MW 14 (1935), S. 372–373.
Lieby, Gustav: Gestaltung von Druckgußteilen. Stuttgart 1949.
–: Zinklegierungen als Gußwerkstoff. In: Metall 7 (1953), S. 856–860.
Linicus, Werner: Neuere Fortschritte und Erfahrungen auf dem Gebiet des Aluminiums und seiner Legierungen. In: MW 20 (1941), S. 505–510.
Löhberg, Karl: Neuere Arbeiten über Zinkdrucklegierungen. In: Metall 5 (1951), S. 282–288.

Lohrke, E.: Fortschritte auf dem Gebiete des Druckgusses und der benutzten Legierungen. In: MW 22 (1943), S. 401–405.
Luxbacher, Günther: »Für bestimmte Anwendungsgebiete best geeignete Werkstoffe … finden«. Zur Praxis der Forschung an Ersatzstoffen für Metalle in den deutschen Autarkie-Phasen des 20. Jahrhunderts. In: NTM 19 (2011), S. 41–68.
Maier, Helmut: »Rettungsmetalle«, Kunststoffpioniere und »Wirtschaftswunder«: Zur Gemeinschaftsarbeit der wissenschaftlich-technischen Vereine auf dem Gebiet der Materialforschung im 20. Jahrhundert. In: Gesellschaft Deutscher Chemiker, Fachgruppe Geschichte der Chemie, Mitteilungen Nr. 21 (2010), S. 146–176.
–: 100 Jahre Deutsche Gesellschaft für Materialkunde 1919 bis 2019. Eine Dokumentation. Essen 2019.
–: Chemiker im »Dritten Reich«. Die Deutsche Chemische Gesellschaft und der Verein Deutscher Chemiker im NS-Herrschaftsapparat. Weinheim 2015.
–: Flugzeugschrott und Suppentöpfe: Aluminiumrecycling in Deutschland vor und nach 1945. In: Ladwig, Roland (Hrsg.): Recycling in Geschichte und Gegenwart. Vorträge der Jahrestagung der Georg-Agricola-Gesellschaft 2002 in Freiberg. Freiberg 2003, S. 75–94.
–: Forschung als Waffe. Rüstungsforschung in der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und das Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung, 1900–1945/48. Göttingen 2007.
Mäkelt, E.: Metallersatz in chemischen Vorgängen. In: Kessner, A.: Ausnutzung und Veredlung deutscher Rohstoffe. 3. Aufl. Berlin 1921, S. 191–215.
Mann, Gerhart: Zinn in Lagerwerkstoffen, Stand der Technik. In: Metall 26 (1972), S. 913–916.
–: Herstellung und Weiterverarbeitung stranggegossener Aluminium/Zinn-Bänder für Gleitlager. In: Metall 31 (1977), S. 723–725.
Marsch, Ulrich: Zwischen Wissenschaft und Wirtschaft: Industrieforschung in Deutschland und Großbritannien 1880–1936. Paderborn 2000.
Masing, Georg: Krisis der Metallkunde. In: Metall 5 (1951), 375–378.
Mathesius: Lagermetalle. In: Glasers Annalen 92 (1923), S. 163–170.
Meese, Fr.: Gesichtspunkte über die Notwendigkeit und den Nutzen eines Laboratoriums für eine Giesserei und Maschinenfabrik. In: Giesserei-Zeitung 16 (1919), S. 209–214.
Melchior, Paul: Korrosion von Aluminiumgeschirr. In: ZfM 44 (1953), S. 83–84.
Merriman, A. D.: A Dictionary of Metallurgy. London 1958.
Möckl, Leonhard; Evers, Jürgen; Herzog, Christiane: Von Kautschuk zu Metallen: ein Werkslabor mit Weltgeltung. In: Nachrichten aus der Chemie 66 (2018), S. 892–895.
Müller, Max: Kupfer und Aluminium. In: Aluminium 3 (1921), Nr. 10, S. 1–4.
Nolden, Matthias W.: Die Aufgaben der deutschen Leichtmetalle in der Gegenwart. In: MW 14 (1935), S. 704–706.
Nugel, Karl: Die Metallhüttenindustrie unter dem Kriege. In: M&E 13 (1916), S. 329–343, 349–355.
Ostermann, Friedrich: Aluminiumentwicklungen für Kraftfahrzeuge. In: Metall 31 (1977), S. 657–659.
Pariser, E. A.: Das Aluminium, sein Vorkommen, Legierung und Verarbeitung. In: Aluminium 6 (1924), Nr. 5/6, S. 1–10.
Porten, Max von der: Deutsche Metallwirtschaft im Kriege. In: M&E 17 (1920), S. 163–168.
–: Deutschlands Metallwirtschaft im Kriege [Vortrag]. In: Zeitschrift für Metallkunde 11 (1919), S. 76.
Pusch, A.: Untersuchungen an Leichtmetall-Legierungen für den Personenwagenbau der Deutschen Reichsbahn. In: MW 19 (1949), S. 201–203.
Radkau, Joachim: Technik in Deutschland. Frankfurt 2008.
Regelsberger, Friedrich: Chemische Technologie der Leichtmetalle und ihrer Legierungen. Leipzig 1926, S. 120–133.
Reiprich, Johannes: 25 Jahre Aluminium-Lehrdienst. In: Aluminium 28 (1952), S. 320–321.
Reuß, Hans-Jürgen: Der Leichtmetallkolben als Spezialprodukt. Zur Geschichte der Leichtmetallkolben von Verbrennungsmotoren. Berlin 2020.

Riebicke, Otto: Was brauchte der Weltkrieg? Tatsachen und Zahlen aus dem deutschen Ringen 1914/18. Berlin 1936.
Roehmann, L. F.: Entwicklungsrichtungen bei amerikanischen Freileitungsseilen. In: Aluminium 40 (1964), S. 441–443.
Rollez, D.; Coster, L.; Piel, P.: Zink-Druckgusslegierung für die Zukunft. In: Metall 54 (2000), S. 273–276.
Rostosky, Leopold: Das Löten und Schweißen der Leichtmetalle. In: MW 9 (1930), S. 499–502.
Rubinfeld, James: Dringt Aluminium auf Kosten des Kupfers vor? In: MW 8 (1929), S. 636–637.
Rühenbeck, Adalbert: Das neue Leichtmetall-Lager K 4. In: Metall 6 (1952), S. 291–298.
Sachs, Georg; Scheuer, E.: Die Eigenschaften von magnesiumhaltigem Silumin (Silumin Gamma). In: MW 14 (1935), S. 937–941, 972–975.
–: Die Entwicklung der Metallforschung nach dem Weltkrieg. In: MW 6 (1927), S. 88–89.
Schäfer, D., Marinebaurat: Die Rohstofflage unserer Industrie. In: Technik und Wirtschaft 12 (1919), S. 517–525, 595–606.
Schaumburg, Werner: Die Werkstoffverschiebungen in der Fabrikation der Haus- und Küchengeschirre. Diss. Köln 1935.
Schirmeister, Hermann: Zur Kenntnis der binären Aluminiumlegierungen. In: Stahl und Eisen 35 (1915), S. 649–652, 873–877.
Schmid, E.; Wolf, W.: Vereinfachung auf dem Gebiet der Zinklegierungen. In: MW 21 (1942), S. 747–749.
Schmid, Erich; Weber, Richard: Gleitlager. Göttingen 1953.
Schmidt, P.: Technische Entwicklung der Aluminiumschmelzhütten. In: Metall 19 (1965), S. 1287–1289.
Schmidt: Untersuchungen des metallographischen Laboratoriums der Vereinigten Aluminium-Werke A.-G. In: Aluminium 4 (1922), Nr. 42, S. 7–8.
Schmidt: Untersuchungen des metallographischen Laboratoriums der Vereinigten Aluminium-Werke A.-G. In: Aluminium 4 (1922), Nr. 42, S. 7–8.
Schmidt, Generalsekretär: Diskussion zum Vortrag »Die heutige Bedeutung des Aluminiums für die Elektrotechnik« des Herrn Obering. Wunder. In: ETZ 45 (1924), S. 1125–1127.
Schmitt-Thomas, Karlheinz G.; Johner, G.; Weber, R.: Optimierung des Aluminiumeinsatzes im Kraftfahrzeug zum Leichtbau und Recycling. In: Metall 35 (1981), S. 796–799.
Schneider, Philipp: Aus der Geschichte des Vereins Deutscher Gießereifachleute. In: Giesserei 46 (1959), S. 615–629.
Schneider, V.: Erfahrungen der deutschen Reichsbahn mit Gleitlager-Werkstoffen. In: Metall 3 (1949), S. 327–330.
Schramm, Jacob: Die Zink-Knetlegierung Zn Al 1 Fe. In: Metall 7 (1953), S. 93–102.
–: Die Zink-Knetlegierung ZnMn1Pb. In: Metall 7 (1953), S. 862–870.
Schultze, Otto: Problematischer Rohstoff Kupfer. In: Metall 7 (1951), S. 68–71.
Schulz, Bruno: Bericht über die bisherigen Arbeiten des Normenausschusses für Metalle und Metallegierungen. In: M&E 16 (1919), S. 544–545.
–: Die wichtigsten Aluminiumlegierungen. In: Aluminium 4 (1922) 6, S. 1–2.
–: Kupfer in der Kriegswirtschaft. Unter Benutzung amtlicher Quellen. In: Technik und Wirtschaft 12 (1919), S. 422–430.
Schulz, Ernst Hermann: 2. Metalle. In: VDI (Hrsg.): Technische Kriegserfahrungen für die Friedenswirtschaft. Bd. 1. Berlin 1923, S. 22–55.
–: Neuere Erfahrungen über Wege zur Veredelung des Zinks. In: M&E 13 (1916), S. 279–289.
–: Normalisierung von Zink und Zinklegierungen. In: M&E 17 (1920), S. 398–400.
–: Studien über technische Aluminiumlegierungen. In: M&E 14 (1917), S. 125–131, 16 (1919), S. 91–101.
–: Über den modernen Stand und die Zukunftsaufgaben der Legierungskunde. In: M&E 14 (1917), S. 381–388.
–: Verwertung der deutschen Vorräte an Zinkzünderlegierungen. In: M&E 16 (1919), S. 329–330.

–: Zur Frage des Ersatzes des Kupfers durch andere Metalle. In: Zeitschrift für Metallkunde 14 (1922), S. 321-326.
Schulze, Alfred: Über elektrische Leiterwerkstoffe. In: MW 23 (1944), S. 41–53.
Schuster: Randglossen der deutschen Aluminium-Industrie. In: Aluminium 7 (1925), Nr. 14, S. 1–3.
Schwarte, Max: Kriegstechnik der Gegenwart. Berlin 1927.
Schwarz, Maximilian von: Über die Gleiteigenschaften von Leichtmetall-Lagermetallen mit besonderer Berücksichtigung von »Quarzal«. In: MW 16 (1937), S. 771–776.
Schwinning, W.: Konstruktion und Werkstoff der Geschützrohre und Gewehrläufe. Berlin 1934.
Seemann, K. W.: Verwendungsgebiete des Aluminiums. In: Aluminium 4 (1922), Nr. 23, S. 8–10; 24, S. 9-12.
Selve, von: Neue Erfahrungen über die Verwendung von Leichtmetallen in schnelllaufenden Motoren. In: Aluminium 3 (1921), Nr. 25, S. 1–4.
Smith, George David: From Monopoly to Competition. The Transformation of Alcoa, 1888–1986. Cambridge 1988.
Stein, W.: Aluminium in der Elektrotechnik. In: MW 18 (1939), S. 283–284.
Sterner-Rainer, Roland: Gegenwart und Zukunft der deutschen Aluminium-Industrie. In: M&E 18 (1921), S. 363–366.
Streb, Jochen: Staatliche Technologiepolitik und branchenübergreifender Wissenstransfer. Über die Ursachen der internationalen Innovationserfolge der deutschen Kunststoffindustrie im 20. Jahrhundert. Berlin 2003.
Tiedemann, Otto: Der Leichtmetallguß im Kraftfahrzeugbau. In: MW 6 (1927), S. 953–955.
Tröger, Richard: II. Technik in der Metallwirtschaft. In: Schwarte, Max (Hrsg.): Die Technik im Weltkriege. Berlin 1920, S. 514–524.
Uhlig, Gottfried: 25 Jahre Zusammenarbeit der deutschen Aluminium-Schmelzhütten. In: Metall 19 (1965), S. 1303–1309.
Vaders, Eugen: Vorschläge für die Ablösung der Zinnbronzen durch zinnfreie und kupferärmere Legierungen. In: MW 20 (1941), S. 961–965.
Volk, C.: Werkstoffumstellung und Konstrukteurerziehung. In: MW 20 (1941), S. 1–2.
Waehlert, Max: Über ternäre Aluminiumlegierungen. In: M&E 18 (1921), S. 298–307.
Wassermann, Günter; Wincierz, Peter (Hrsg.): Das Metall-Laboratorium der Metallgesellschaft AG 1918–1981. Frankfurt 1981.
Weddige, Georg: Der Zinkdruckguß als Diener der Fließfertigung und Automatisierung. In: Metall 14 (1960), S. 302–303.
Weyrauch, Robert: Waffen- und Munitionswesen. Berlin 1922.
Wieprecht, E.: Die Bewirtschaftung von Metallen in den ersten Kriegsmonaten. In: MW 19 (1940), S. 90–94, 109–110.
–: Metallbewirtschaftung im Weltkrieg 1914/1918. In: MW 19 (1940), S. 617–622.
Wilcke, Ferdinand: Elektrotechnik und Aluminium. In: Aluminium 5 (1923), Nr. 4, S. 8–9.
Wolf, K. J. B.: Early Aluminum Alloys. In: The Iron Age 156 (1945), Nr. 26, S. 51–55.
Wrisberg, Ernst von: Wehr und Waffen 1914–1918. Leipzig 1922.
Wronkow, J.: Ersatzmetalle in der Elektroindustrie. In: Kessner, A. (Hrsg.): Ausnutzung und Veredlung deutscher Rohstoffe, 3. Aufl. Berlin 1921, S. 42–103.
Wunder, Wilhelm: Vorkommen, Gewinnung, Eigenschaften und Verwendung des Aluminiums in der Elektrotechnik. In: ETZ 45 (1925), S. 1109–1115.
Würth, Albert: Betrachtungen über Sparmetalle. In: Stahl und Eisen 40 (1920), S. 421–426, 568–575.
Zima, Stefan: Entwicklung schnellaufender Hochleistungsmotoren in Friedrichshafen. Düsseldorf 1987.
-: Die Entwicklung der Leichtmetall-Kolben in Deutschland, ungedrucktes Ms., o. D.
Zimm, W.: Der innere Aufbau der Metalle. In: Aluminium 3 (1921), Nr. 19, S. 1–3.

»Die Mangannot verlangt ganze Arbeit!«[1]
Manganersatzverfahren und Sparstrategien der deutschen Stahlindustrie

Andreas Zilt

Am 1. August 1914 erklärte das Deutsche Kaiserreich Russland den Krieg; zwei Tage später folgte die Kriegserklärung gegen Frankreich. Als die Menschen in den Hauptstädten Europas den an die Front fahrenden Soldaten zujubelten, gingen sie und die militärische Führung von einem schnellen Sieg aus. Sie ahnten nicht, dass dieser Krieg erst vier Jahre später enden und rund 17 Millionen Opfer fordern sollte; in der Rückschau wurde er als »Urkatastrophe des 20. Jahrhunderts« bezeichnet. Ein Kennzeichen der kriegerischen Auseinandersetzung war der erste massenhafte Einsatz modernster Technik. Dieser »Maschinenkrieg« wurde aber nicht nur mit militärischen Mitteln geführt, er war auch ein erbitterter Wirtschaftskrieg und ein »Krieg um Rohstoffe«.

Ein wesentliches Merkmal der deutschen Kriegswirtschaft war der Mangel an kriegswichtigen Rohstoffen. In beiden Weltkriegen musste Deutschland wegen der Wirtschaftsblockade und der Autarkiepolitik Ersatzstoffe für bestimmte Rohstoffe erforschen, entwickeln und produzieren. Der Stahlindustrie, einem Führungssektor der deutschen Kriegswirtschaft, kam dabei eine Schlüsselrolle zu. Nicht nur bei der Produktion von Geschützen, Artilleriegranaten und Handfeuerwaffen war Stahl der wichtigste Werkstoff, sondern auch bei der Fertigung von Kriegsschiffen, U-Booten und beim Festungsbau. Stacheldraht wurde zum Symbol des Stellungskriegs im Ersten Weltkrieg, und Ernst Jünger nannte sein Buch über seine Erlebnisse an der Westfront »In Stahlgewittern«. Aber eben diese Stahlindustrie war abhängig von Rohstoffimporten, insbesondere von hochwertigen Erzen mit einem möglichst hohen Mangangehalt.

Im Folgenden soll danach gefragt werden, ob sich während der beiden Weltkriege neue Strukturen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit gebildet haben und ob sich diese vergleichen lassen. Welche Organisationsformen, welche industriellen Forschungsgemeinschaften und welche staatlichen Regulierungseinrichtungen wurden eingeführt? Gab es Lerneffekte aus den Erfahrungen des Ersten Weltkriegs und wenn ja, welche? Hierbei wird von einem komplexen Zusammenspiel wirtschaftlicher, staatlicher und technischer Faktoren und Akteure bei der Entwicklung von Ersatzstoffen zur Lösung von Rohstoffmangel im Ersten und auch im Zweiten Weltkrieg ausgegangen.

Waren die Weltkriege Ursprung und Motor für Innovationen und wissenschaftlichen Fortschritt?[2] Die Ersatzstoffwirtschaft ist gelegentlich als »deutscher Sonderweg« bezeichnet worden: Eine spezifische Innovationskultur habe sich herausgebildet, die unter dem

1 Zitat im Titel: Hüttendirektor Karl Harr in: Niederschrift über Aussprache zur Manganersparnis am 9.10.1916, Stiftung zur Industriegeschichte Thyssen (SIT), FWH/1571, S. 13.

2 Trischler, Sicherheitssystem, 2002, S. 107–108; zum Thema siehe den Tagungsbericht zum Historikertag 2012: Ersatzstoffwirtschaft als innovative Lösungen für Ressourcenkonflikte im Ersten und Zweiten Weltkrieg?, H-Soz-Kult, 7.11.2012, www.hsozkult.de/conferencereport/id/tagungsberichte-4480 (15.2.2016).

Begriff der Autarkie subsumiert werden kann, auch wenn dieser Terminus im Ersten Weltkrieg noch nicht verwendet wurde. Bedingt durch den Mangel an Rohstoffen im eigenen Land habe Deutschland versucht, seine Importabhängigkeit durch die Entwicklung von Werkstoffen aus deutschen Rohstoffen zu vermindern.[3] Diese Entwicklung begann bereits im Ersten Weltkrieg und erlangte dann eine besondere Dynamik in der Autarkiewirtschaft des »Dritten Reichs«. Führte die Ersatzstoffwirtschaft zu nachhaltigen Innovationen, oder war sie nur ein temporärer Notbehelf?

Im Vordergrund dieses Aufsatzes stehen die Entwicklungsarbeiten der Unternehmen der westdeutschen Stahlindustrie sowie die Gemeinschaftsarbeit innerhalb des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh).[4] Die Aushandlungsprozesse zwischen Industrie, militärischen Instanzen und den sogenannten Kriegsgesellschaften stellen einen weiteren Schwerpunkt dar.

Ausgangslage und Kriegsausbruch

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts hatte die deutsche Stahlindustrie einen starken Aufschwung genommen. Das Deutsche Reich überflügelte kurz nach der Wende zum 20. Jahrhundert erstmals die bis dahin führende britische Stahlproduktion. Nach den USA war Deutschland zum zweitgrößten Stahlproduzenten weltweit aufgestiegen.[5] Technisch gesehen prägten dynamische, durch Implementierung von Basisinnovationen (Thomas-, Siemens-Martin- und Elektrostahlverfahren) erreichte Produktivitätssteigerungen die Zeit vor dem Ersten Weltkrieg. Parallel sind wachsende Exporte von Erzeugnissen der deutschen Stahlunternehmen charakteristisch für die Vorkriegsära. Die Stahlkonzerne erwarben Beteiligungen an ausländischen Erzgruben, u. a. in Russland, Frankreich, Nordafrika und Brasilien; sie gründeten weltweit Handelsniederlassungen und errichteten Stahlwerkskapazitäten im seit 1871 vom Deutschen Reich besetzten Lothringen und im benachbarten Frankreich.[6] Dies war Ausdruck eines Hegemonialanspruchs, aber auch einer beginnenden Internationalisierung. Diese über die Grenzen Deutschland hinausreichende Orientierung sollte sich im Kriegsfall als Hypothek erweisen. Im letzten Jahr vor Ausbruch des Weltkriegs deckte die deutsche Stahlindustrie ihren Erzbedarf nur zur Hälfte aus heimischen Vorkommen, der Rest musste importiert werden.[7] Besonders bedeutsam war der Mangel an hochprozentigen Manganerzen.

3 Zum Nationalen Innovationssystem siehe u. a. Grupp/Dominguez-Lacasa/Friedrich-Nishio, Innovationssystem, 2002; Wengenroth, Flucht, 2002, S. 52–59.

4 Zur Geschichte des VDEh siehe Maier/Zilt/Rasch, Stahlinstitut VDEh, 2010.

5 Allgemein siehe u. a. Kleinschmidt, Rationalisierung, 1993, S. 27–35; Uebbing, Stahl, 1999, S. 17–21; Kerkhof, Friedenswirtschaft, 2006; Zilt, Majestät, 2014.

6 Rasch, Internationalization, 2014, S. 72–91.

7 Uebbing, Stahl, 1999, S. 64; Isert, Eisen- und Manganerze, 1930, S. 161; im Ruhrgebiet wurden 1913 mehr als 60 % der Erze aus dem Ausland importiert, Feldenkirchen, Stahlindustrie, 1982, S. 63; Ziegler, Kriegswirtschaft, 2013, S. 42.

Die technische Verwendung des Mangans hatte in großem Umfang in den 1870er Jahren eingesetzt, als das wirtschaftliche Erschmelzen von Eisen-Mangan-Legierungen in Hochöfen gelungen war. Seitdem verwendete man »Spiegeleisen« mit einem Mangangehalt von 5–30 % und das besonders manganhaltige »Ferromangan« mit einem Mangangehalt von 30–80 %. Diese Legierungen werden bei der Stahlproduktion zugesetzt, und zwar aus zwei Gründen: zum einen, weil das Mangan desoxidierend wirkt, indem es Sauerstoff, der den Stahl brüchig machen würde, in der Schlacke bindet; zugleich bindet das Mangan aber auch den ebenfalls unerwünschten Schwefel – auch er würde den Stahl spröde machen.[8] Zweitens dient das Mangan aber auch als Legierungsmetall. Es erhöht die Härtbarkeit von Stahl, der dann als Werkzeug- und Baustahl oder als Stahl für die Waffen- und Munitionsherstellung besonders geeignet ist. Hierzu reicht ein Mangangehalt des fertigen Stahls von etwa 1 bis 2 % aus. Für besonders verschleißfeste Stahlsorten sind bis zu 12 % Mangan im fertigen Werkstoff erforderlich.[9] Mangan wird in der Metallurgie in der Regel in Form des besonders manganhaltigen »Ferromangans«, aber auch in Form des weniger manganhaltigen »Spiegeleisens« eingesetzt.

Höherwertige Manganerze mit 35 bis 55 % Mangangehalt standen im Deutschen Reich nicht zur Verfügung. Hier kamen lediglich Eisenerze mit einem Mangangehalt von 6 bis 18 % vor, sogenannter Brauneisenstein aus dem Raum Gießen und Bingen sowie Spateisenstein aus dem Siegerland und Westerwald. Die eigentlichen Manganerze mit rund 50 % Mangan mussten hingegen alle aus dem Ausland, aus Indien, Südrussland (Ukraine), Brasilien und Nordafrika, importiert werden.[10] Eine der größten, vor dem Ersten Weltkrieg bekannten Manganerzvorkommen waren die von Tschiaturi (Tschiatura) in Georgien, an denen vor allem deutsche Unternehmen der Schwerindustrie beteiligt waren (Abb. 1).[11]

So partizipierte zum Beispiel der Thyssen-Konzern an verschiedenen Manganerzvorkommen im Ausland.[12] In Algerien besaß Thyssen seit 1902 Anteile an den Manganerzgruben von Ouenza. Aufgrund von Widerständen des französischen Staates kam die Ausbeutung dieser Gruben jedoch vor 1914 nicht zu einem erfolgreichen Abschluss. Anders gestaltete sich eine Beteiligung von Thyssen, gemeinsam mit dem Schalker Verein bzw. der Gelsenkirchener Bergwerks-AG, an Manganerzvorkommen in Tschiaturi im Kaukasus. Die Ausfuhr erfolgte über selbst errichtete Hafenanlagen in Poti am Schwarzen Meer und wurde bis 1913 auf 94 000 Jahrestonnen gesteigert.[13] Auch in der südrussischen Kriwoi-Rog-Region pachtete Thyssen Erzgruben, deren Förderung über Nikolaev verschifft wurden. Schließlich war Thyssen auch an der General-Sandur-Mining Company mit Erzgruben in Indien beteiligt (Abb. 2).

8 Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), Darstellung, 1953, S. 98.

9 Ebd., S. 225. Das bis zu 80% Mangan enthaltende Ferromangan wurde aus hochwertigen Manganerzen des Auslands in verschiedenen Verfahren entweder im Hochofen oder in Elektroöfen produziert.

10 Schneiderhöhn, Entstehungsvorgänge, 1926; Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 330 (publiziert und kritisch kommentiert in: Boldorf/Haus, Kriegswirtschaft, 2016).

11 Rasch, Unternehmungen, 1998, S. 249–265.

12 Treue, Feuer, 1966, S. 87–91.

13 Rasch, Unternehmungen, 1998; Treue, Feuer, 1966, S. 89–90.

Abb. 1 Transport von Manganerz mit Büffelgespannen in Tschiaturi (Kaukasus), um 1914.

Abb. 2 Erzverladeanlage der Grube Nikolaev, um 1914.

Der Verbrauch von hochwertigen Manganerzen zur Produktion von »Spiegeleisen« und »Ferromangan« betrug vor dem Ersten Weltkrieg im Deutschen Reich rund 500 000 t.[14] Weniger als 100 000 t niedrigprozentiger Manganerze wurden 1912 im Deutschen Reich gefördert. Die hochprozentigen Manganerze stammten vor allem aus Indien (rund 125 000 t) und Russland (rund 335 000 t). Die deutsche Stahlindustrie war also in Bezug auf Manganerze nahezu vollständig von Auslandsimporten abhängig. Diese Problematik war den Zeitgenossen durchaus bewusst. In den Jahren 1912 und 1913 wurden über die Erzvorräte und Erzversorgung der deutschen Stahlindustrie umfangreiche Gutachten in Auftrag gegeben und Beiträge verfasst.[15] Hielt man die Versorgung mit Eisenerzen – unter Einbeziehung des seit 1871 zu Deutschland gehörenden Reichslands Elsass-Lothringen (Minette-Erze)[16] – für unkritisch, so sah es bei den höherwertigen Manganerzen ganz anders aus. Franz Beyschlag (1856–1935) urteilte 1915 als Präsident der Preußischen Geologischen Landesanstalt mit Bezug auf verschiedene schon vor dem Krieg erstellte statistische Erhebungen: »Die deutsche Eisenindustrie ist daher in ihrem Bezuge von Manganerzen fast vollständig vom Auslande abhängig.«[17] Besonders die hochprozentiges »Ferromangan« produzierenden Hochofenwerke, wie die zum Thyssen-Konzern gehörende AG für Hüttenbetrieb in Duisburg oder die Gutehoffnungshütte in Oberhausen, benötigten Mangan- bzw. Manganeisenerze mit einem hohen Mangangehalt, die Deutschland nicht besaß.

Der Kriegsausbruch traf die Stahlindustrie nahezu unvorbereitet.[18] Zunächst war sie von der Einberufung einer großen Anzahl an Arbeitskräften betroffen. Aufgrund des Arbeitskräftemangels und von Transportschwierigkeiten sank die Produktion von Rohstahl von 19 Mio. t. (1913) auf 14,9 Mio. t (1914) und 1915 gar auf 13,2 Mio. t.[19] Bei der Phoenix AG für Bergbau und Hüttenbetrieb in [Dortmund-]Hörde wurden 30 % der Arbeiter eingezogen, beim Eisen- und Stahlwerk Hoesch mussten zunächst Hochöfen und das Siemens-Martin-Werk stillgelegt werden.[20] Bei Kriegsausbruch wurde dem Thyssen-Hüttenwerk in Hamborn, der Gewerkschaft Deutscher Kaiser, von 9741 Arbeitern 2265 eingezogen.[21] In den folgenden Wochen folgten weitere Einberufungen, sodass sich

14 Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Montanstatistik, 1915, S. 396–401, etwas andere Zahlen bei Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 39.

15 Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Montanstatistik, 1915; Beyschlag/Krusch, Deutschlands Versorgung, 1917; Scheffer, Bedeutung, 1914.

16 »Minette« ist der Name (minette = kleine Mine) für braune, grünlich-graue oder rötliche phosphorhaltige Eisenerze, die in Lothringen und Luxemburg vorkommen; er stammt aus dem Sprachschatz französischer Bergleute.

17 Königlich Preußische Geologische Landesanstalt, Montanstatistik, 1915, S. 401.

18 So der Vorwurf der Montanindustrie an die Militärbehörden, siehe: Reichert, Eisenwirtschaft, o. D., S. 2; Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 5–8; zu den Kriegsvorbereitungen siehe Kerkhof, Kriegswirtschaft, 2006, S. 207–216; Kerkhof, Partnership, 2010, S. 110–111.

19 Bierbrauer, Statistik, 1919, S. 9, Zahlen für deutsches Zollgebiet; ähnliche Zahlen bei Reichert, Eisenwirtschaft, o. D., S. 7.

20 Kleinschmidt, Rationalisierung, 1993, S. 34.

21 Hausdrucke Walther Däbritz: Die Bruckhausener Hütte im Weltkrieg 1914–1918, hier S. 3–4, thyssenkrupp Corporate Archives (tkA), A/15509.

die Belegschaft auf 5638 Mitarbeiter reduzierte. Somit waren fast 50 % der Hüttenbelegschaft bei Kriegsbeginn eingezogen. Von den sechs vorhandenen Hochöfen wurden drei gedämpft, d. h. aus der Produktion herausgenommen, aber nicht gänzlich stillgelegt. Es sollte bis Sommer 1917 dauern, bis alle Hochöfen wieder produzierten.[22] Frauen, Kriegsgefangene und ausländische Zivilarbeiter ersetzten in zunehmendem Maße die einberufenen Mitarbeiter.[23] Die durch die große Zahl der Einberufungen verminderte Erzeugung in Deutschland konnte durch die Ausbeutung eroberter Unternehmen und Rohstoffreviere teilweise ausgeglichen werden; mit der Besetzung von Luxemburg, Belgien und Nordfrankreich kamen die dort zur Verfügung stehenden Erzvorräte unter deutsche Kontrolle. Und trotzdem kam es bald zu einem Engpass bei hochwertigen Erzen. Die kurz nach Kriegsbeginn verhängte britische Seeblockade schnitt Deutschland weitgehend von den Rohstofflieferungen aus Übersee ab. Der Import von Manganerzen aus Russland, wichtigster Lieferant vor Kriegsbeginn, kam mit Kriegsausbruch gänzlich zum Erliegen. Lediglich Schweden lieferte Eisenerze weiterhin über die Ostsee.

Die Seeblockade hatte schwerwiegende Folgen für die Montanunternehmen des Ruhrgebiets. Die Oberhausener Gutehoffnungshütte konnte zunächst noch auf eigene Erzvorräte, die auf Halden lagen, zurückgreifen.[24] Dann ersetzten die im besetzten französischen Teil Lothringens liegenden Minette-Erzgruben einen Teil der Übersee-Importe. Es mangelte jedoch an Manganerzen, die die Gutehoffnungshütte vor dem Krieg aus Brasilien, Indien und Russland importiert hatte. Diese Lücke konnte nur teilweise gefüllt werden, indem das Oberhausener Unternehmen bereits lange stillliegende Erzgruben im Lahngebiet und im Bergrevier Wied wieder in Betrieb nahm bzw. deren Förderung ausbaute.

Das Thyssen'sche Hüttenwerk in (Duisburg-)Hamborn besaß bei Kriegsausbruch Erzvorräte, die für vier Monate reichten.[25] Gleichzeitig musste der Hochofenbetrieb aufgrund von Einberufungen eingeschränkt werden, sodass es anfangs nicht zu einem Mangel an Rohstoffen kam. Im weiteren Kriegsverlauf wurde dann aber eine vollkommene Umstellung der Erzversorgung erforderlich. Der Erzimport aus Frankreich, Spanien, Südamerika, Afrika und Indien fiel mit Beginn der Seeblockade vollständig aus.[26] Die Lieferung von Minette-Erzen aus Lothringen, bei Kriegsbeginn ebenfalls ausgesetzt, wurde, nachdem das Erzbecken unter deutsche Kontrolle gefallen war, wieder in Gang gesetzt. Die lothringischen Erze standen dann im Laufe des Kriegs in ausreichendem Maße zur Verfügung. An Auslandserzen kamen lediglich die Schwedenerze weiter über die Ostseehäfen herein. Besonders fehlten dem Duisburger Hüttenwerk jedoch hochwertige Manganerze. Thyssen behalf sich in der Kriegszeit durch die Aufarbeitung von Schlacken aus

22 Typoskript Hermann Rekate: Hütte Bruckhausen, Hochofenanlage der August Thyssen-Hütte, Gewerkschaft, o. D., tkA, A/1794.

23 Kleine Vennekate, Mobilisierung, 2014.

24 Büchner, Geschichte, 1935, S. 47–51.

25 Treue, Feuer, 1966, S. 170.

26 Hausdrucke Walther Däbritz: Die Bruckhausener Hütte im Weltkrieg 1914–1918, hier S. 12, tkA, A/15509.

dem Siegerland, die noch 8 bis 10 % Mangan enthielten.[27] Nicht nur Thyssen und die Gutehoffnungshütte benötigten dringend Manganerze, sondern alle stahlerzeugenden Unternehmen der Mittelmächte. Hierzu waren gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich.

Manganwirtschaft im Ersten Weltkrieg

Der deutsche Generalstab war von einem schnellen Sieg über Frankreich ausgegangen. Nach der Marne-Schlacht im September 1914 erstarrten die Fronten jedoch in einem nicht vorgesehenen Stellungskrieg,[28] so dass es bereits im Herbst 1914 zu Munitionsmangel kam. Aufgrund der optimistischen Annahme einer kurzen Kriegsdauer hatten eine ausreichende Vorbereitung und eine Mobilisierung der Wirtschaft nicht stattgefunden.

Die Munitionskrise machte nun eine verstärkte Mobilisierung der Rüstungswirtschaft zur Deckung des Heeresbedarfs dringend erforderlich. Eine umfassende Rohstoffbewirtschaftung wurde mit dem Ziel initiiert, die Ressourcen zu erfassen, deren Verbrauch für zivile Güter zu unterbinden und auf Rüstungszwecke umzulenken und zu kontrollieren. Bereits Mitte August war auf Initiative des Industriellen Walther Rathenau (1867–1922) die Kriegsrohstoffabteilung (KRA) beim preußischen Kriegsministerium gegründet worden.[29] Im weiteren Kriegsverlauf entwickelte sich die KRA, die 1916 organisatorisch dem neu gebildeten Kriegsamt unterstellt wurde, aus bescheidenen Anfängen zu einer Institution mit bis zu 2500 Mitarbeitern, deren Personal sich teilweise aus der Privatwirtschaft rekrutierte. Den ambitionierten Anspruch, die zentrale Lenkungsstelle für kriegswichtige Rohstoffe zu sein, die von der Bestandserhebung, der Beschlagnahme, der Förderung, dem Import bis zur Verteilung reichte, konnte die KRA zumindest in den ersten beiden Kriegsjahren nicht erfüllen. Die deutschen Montanunternehmen waren immer auch bemüht, eigene Rohstoffquellen ausfindig zu machen und Beteiligungen zu erwerben und so ihren Bedarf an Roh- und Hilfsstoffen zu decken. Zugeordnet waren der KRA auch sogenannte Kriegsgesellschaften.[30] Diese waren Unternehmungen zur technischen Abwicklung von Besorgung und Verteilung kriegswichtiger Rohstoffe. Gesellschafter waren meist Großunternehmen der Privatwirtschaft unter Aufsicht militärischer Behörden. Ausgestattet mit staatlichen Machtbefugnissen, Syndikaten ähnlich, gelang es aber auch den Kriegsgesellschaften nicht, ein Monopol bei der Rohstoffbeschaffung und -verteilung zu erzielen. Sicherlich profitierten manche Stahlkonzerne von Zuteilungen seitens der Kriegsgesellschaften. Allerdings gab es dabei immer auch Außenseiter und Bemühungen, die dringend benötigten Rohstoffe unter Umgehung der Kriegsgesellschaften zu erhalten.

27 Ebd.

28 Deist, Mittelmächte, 2014, S. 250–251.

29 Zur kriegswirtschaftlichen Organisation siehe Kerkhof, Partnership, 2010, S. 111–126; Kerkhof, Kriegswirtschaft, 2006, S. 217–234.

30 Wixforth, Gründung, 2010.

Die KRA spielte in den ersten Kriegsmonaten für die deutsche Montanindustrie nur eine geringe Rolle.[31] Anders verhielt es sich bei der bereits Ende August 1914 gegründeten sogenannten Schutzverwaltung der französischen Bergwerke und Hütten in Metz, deren Aufgabe es war, die vom deutschen Heer besetzten Erzgruben und Erzvorräte (Minette) von Longwy und Briey zu sichern. Im Laufe der nächsten Monate wurde als Untergliederung dieser Schutzverwaltung eine Manganverteilungsstelle in Düsseldorf aufgebaut. Diese hatte ihren Sitz beim VDEh. Die Geschäftsführung des Vereins wurde schon im Herbst 1914 von der Schutzverwaltung mit vorbereitenden Arbeiten zur Verteilung der auf französischen Gruben und Hütten beschlagnahmten Minette- und Manganerze betraut.[32] Dem Verein kam dabei zugute, dass mit der Ferromangangemeinschaft bereits vor dem Krieg eine Art Monopol zur Produktion von Ferromangan bestanden hatte.[33] Unter Führung der Gutehoffnungshütte waren einige der größten Montanunternehmen in dieser Gemeinschaft zusammengeschlossen, die Einkauf, Produktion und Verteilung des Legierungsmetalls gemeinsam durchführten. Ende 1914 erstellte die Ferromangangemeinschaft in engem Kontakt mit der Schutzverwaltung einen ersten Wirtschaftsplan, der die Zuteilung von Ferromangan im ersten Halbjahr 1915 auf 50 % der ersten sechs Monate des vorherigen Jahres beschränkte. Ergänzend wurde eine Herabsetzung des Mangangehalts von 80 auf 50 % im Ferromangan ab Sommer 1915 in Aussicht gestellt.

Mit der Schutzverwaltung in Metz, der KRA und der Ferromangangemeinschaft gab es bereits Ende 1914 ein Regelungssystem zur Bewirtschaftung von hochwertigen Manganerzen bzw. Ferromangan. Dieses Bewirtschaftungssystem kritisierte die Stahlindustrie jedoch im Laufe des fortschreitenden Krieges als überreguliert und bürokratisch.[34] Insgesamt erinnert dies an die polykratischen Strukturen der Rüstungswirtschaft im Zweiten Weltkrieg. In der Jahreshauptversammlung des VDEh am 31. Januar 1915 beklagte der Geschäftsführer Emil Schrödter (1855–1928) noch eine »chinesische Mauer« zwischen Heeresverwaltung und Industrie zu Kriegsbeginn; die Zusammenarbeit habe sich aber in den ersten Kriegsmonaten verbessert, der technische Sachverstand werde anerkannt.[35] Der technische Verein wurde nicht nur bei der Verteilung der beschlagnahmten französischen Erze eingeschaltet, sondern initiierte bei seinen Mitgliedsunternehmen auch erste Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Behebung der »Manganlücke«.

Im Rahmen des 1911 gegründeten Stahlwerksausschusses des VDEh, in dem die Betriebsleiter bzw. technischen Vorstände der Stahlunternehmen organisiert waren, koordinierte der Verein mit Sitz in Düsseldorf die Forschungsarbeiten zur Einsparung von Mangan. Am 12. Februar 1915 versammelten sich die Mitglieder des Stahlwerksausschusses erstmals zu einem Erfahrungsaustausch, dem bis zum Sommer 1915 in

31 Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 15.
32 Niederschrift Vorstandssitzung des VDEh am 10.11.1914, SIT, FWH/1570.
33 Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 39–40.
34 Ebd., S. 45–46; Uebbing, Stahl, 1999, S. 62.
35 Schrödter, Eisenindustrie, 1915, S. 138.

kurzer Folge weitere Treffen folgten. Die Unternehmen wurden aufgefordert, alles zu versuchen, um hochmanganhaltiges Ferromangan einzusparen. Versammlungsleiter Emil Schrödter stellte fest: »Die hier vorliegende Frage ist in der heutigen Zeit von der allergrössten Bedeutung und ein Zusammenwirken aller Interessenten zur Lösung dieser Frage ist im nationalen Sinne unbedingt geboten.«[36] Die anwesenden Stahlwerker diskutierten gleich mehrere Vorschläge: Durch ein längeres Abkühlen der Stahlcharge nach Zugabe des Ferromangans konnte die desoxidierende Wirkung des Mangans erhöht werden. Dies erschwerte jedoch die Weiterverarbeitung des nunmehr kälteren Stahls.[37] Bei einem höheren Mangangehalt des eingesetzten Roheisens konnte der Verbrauch des Ferromangans ebenfalls gesenkt werden. Niedrigprozentige Manganeisenerze zur Anreicherung des Roheisens mit Mangan standen in Deutschland in beschränkten Mengen zur Verfügung. Auch der Vorschlag zum Einsatz von flüssigem Ferromangan, das dem Stahl normalerweise in fester Form zugegeben wurde, fand allgemeine Zustimmung. Hierzu waren jedoch elektrisch betriebene Einschmelzöfen erforderlich, die aufgrund des hohen Kupferverbrauchs schwer zu beschaffen waren. Schließlich wurde noch der Ersatz von Ferromangan durch Desoxidationsmittel wie Spiegeleisen diskutiert, das aus Siegerländer Erzvorkommen hergestellt wurde. Dafür musste jedoch der Ausbau der Siegerländer Erzgruben – vorrangig durch den Einsatz von Kriegsgefangenen – durch die Heeresverwaltung unterstützt werden. Auch die Verwendung von Ferrosilicium und Calciumcarbid als Desoxidationsmittel kam zur Sprache. Die Herstellung beider Ersatzstoffe war jedoch äußerst energieintensiv und somit teuer, sodass größere Mengen nicht zur Verfügung standen. Der Vertreter eines Unternehmens regte an, den vorgeschriebenen Mangangehalt in Granaten zu reduzieren, da die Herstellung des sogenannten Granatenstahls am meisten Mangan erforderte. Allerdings war die Heeresverwaltung nicht bereit, von ihren Vorschriften abzugehen.

Zum Ende dieser Februarsitzung des VDEh-Stahlwerksausschusses koordinierte die Versammlung die anstehenden Entwicklungsarbeiten und weiteren Versuchsreihen bei den Stahlwerken. Erste Ergebnisse wurden in gedruckter Form schon wenige Monate später an die Mitglieder des Stahlwerksausschusses versandt.[38] Der Stahlwerkschef des Hoerder Vereins, ein Werk der Phoenix AG für Bergbau und Hüttenbetrieb, berichtete über Versuche im Thomas-Stahlwerk, bei denen er das Ferromangan mit 80 % Mangangehalt durch eine Kombination von Spiegeleisen (10 % Mangan) und Ferromangan (60 % Mangan) ersetzte. Dadurch könnten rund 25 % an ausländischen Manganerzen eingespart werden. Auch Fritz Springorum (1886–1942), damals noch Stahlwerkschef in Esch/Alzette der Gelsenkirchener Bergwerks-AG, sprach sich für den Ersatz des Ferromangans durch das leichter beschaffbare Spiegeleisen aus, allerdings in flüssiger Form.[39]

36 Rundschreiben VDEh Stahlwerksausschuss vom 18.2.1915, SIT, FWH/1587.
37 Bericht Nr. 27 VDEh Stahlwerksausschuss, Arbeitsausschuss am 12.2.1915, tkA Hoesch-Archiv, H/2135.
38 Berichte Nr. 28–29, 31 VDEh Stahlwerksausschuss, Arbeitsausschuss, ebd.
39 Bericht Nr. 31 VDEh Stahlwerksausschuss, Arbeitsausschuss, ebd.

Mitte Mai 1915 trafen sich die leitenden Techniker erneut, um die ersten Ergebnisse zu besprechen.[40] Zunächst verkündete der Versammlungsleiter, dass nach Verhandlungen zwischen der KRA des preußischen Kriegsministeriums und der Ferromanganvereinigung, wie Ende 1914 bereits angekündigt, ab Juli 1915 den Verbrauchern statt Ferromangan mit 80 % nur noch die gleiche Menge mit 50 % Mangangehalt geliefert würde und dass ab Januar 1916 nur noch solches mit 30 % zur Verfügung stünde. Es kam also zu ersten Verbrauchsbeschränkungen. Daraus ergab sich die Frage, ob die Stahlwerke überhaupt in der Lage waren, mit diesem niedrigen Mangangehalt auszukommen. Die Versammlung der Stahlunternehmen kam zu dem Schluss, dass Thomas-Stahl, also in Konvertern produzierter Stahl, der qualitativ eher einfacheren Werkstoffqualitäten entsprach, wie bisher erzeugt werden könne. Ein Teil oder sogar alles Ferromangan sei durch Spiegeleisen zu ersetzen.[41] Auch den »Granatenstahl« im Siemens-Martin-Stahlwerk, in dem qualitativ anspruchsvollere Werkstoffe erzeugt wurden, könne man wahrscheinlich mit niedrigeren Ferromangan-Gehalten produzieren. VDEh-Geschäftsführer Schrödter fasste zusammen, dass man mit 30-prozentigem Ferromangan auskommen könne. Voraussetzung war aber, dass genügend Spiegeleisen zur Verfügung stand. Die Erzgruben im Siegerland sowie die Gießener Manganerz-Gruben waren jedoch ebenfalls von zahlreichen Einberufungen betroffen, sodass sie nicht in der Lage waren, die Forderungen zu erfüllen. Schließlich drängte der VDEh darauf, dass unbedingt mit der Artillerie-Prüfungskommission verhandelt werden müsse. Bei den geringen Mengen Ferromangan, die ab 1916 zur Verfügung stünden, müssten die Liefervorschriften für »Granatenstahl« vereinfacht werden. Der geforderte Mangangehalt von rund 1,5 % im fertigen »Granatenstahl« war mit dem niedrigprozentigen Ferromangan, wenn es in gleicher Menge eingesetzt wurde, nicht zu erzielen. Die Munitionsbeschaffungsstellen lehnten diese Forderungen jedoch zu diesem Zeitpunkt strikt ab.

Der VDEh befürchtete allerdings, dass sich die steigenden Materialanforderungen seitens der neu entstehenden Geschossfabriken »zu einer Kalamität« auswachsen würden. Angesichts der Munitionskrise sowie der Gewissheit, dass der Krieg nicht, wie im August 1914 prognostiziert, schnell beendet werden konnte, wurden im Deutschen Reich 1915 zahlreiche neue Geschossfabriken in Betrieb genommen. Das Thyssen'sche Hüttenwerk in (Duisburg-)Hamborn produzierte ab Mai 1915 Stahlblöcke für Granaten (21-cm- und 15-cm-Granaten). In den mechanischen Werkstätten wurden diese zu Granaten vorgedreht bzw. die ersten Geschosspressen in Betrieb genommen.[42] Die Gutehoffnungshütte in Oberhausen unterzeichnete im Dezember 1914 den ersten Vertrag über die Lieferung von Geschossen (Abb. 3, Abb. 4, Abb. 5, Abb. 6).

40 Niederschrift der Sitzung am 18.5.1915, ebd.

41 Ebd.

42 Hausdrucke Walther Däbritz: Die Bruckhausener Hütte im Weltkrieg 1914–1918, hier S. 3–12, tkA, A/15509.

Abb. 3 Gewerkschaft Deutscher Kaiser: Granatblockputzerei während des Ersten Weltkriegs.

Abb. 4 Gewerkschaft Deutscher Kaiser: Lochpresse für 21-cm-Granaten während des Ersten Weltkriegs.

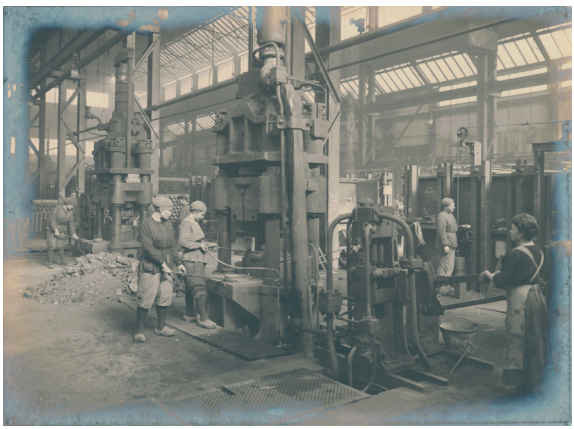


Abb. 5 Presse für Böden von 15- und 21-cm-Granaten in der Schmiedehalle der Gewerkschaft Deutscher Kaiser während des Ersten Weltkriegs.

Abb. 6 Gewerkschaft Deutscher Kaiser: Stapelplatz für Granathüllen während des Ersten Weltkriegs.

Bereits einen Monat später lief die Fertigung der ersten Granaten an. Allein im Werk Oberhausen-Sterkrade wurden im Ersten Weltkrieg 25 Mio. Artilleriegranaten erzeugt.[43] Der Krieg nahm seit Frühjahr 1915, wie es in einer Rückschau des VDEh hieß, »immer mehr den Charakter eines Maschinenkrieges an«.[44]

Der VDEh bildete im Frühsommer einen besonderen Unterausschuss zur Prüfung der Verwendbarkeit von 30-prozentigem Ferromangan,[45] das von der Ferromangangemeinschaft zur Verfügung gestellt wurde. Und schon nach wenigen Wochen lagen die ersten Ergebnisse vor. 30-prozentiges Ferromangan war prinzipiell verwendbar, allerdings bedeutete dies keine Mangan-Ersparnis, da man proportional mehr niedrigprozentiges Ferromangan einsetzen musste, um den geforderten Endgehalt zu erreichen.

Im Sommer 1915 hatten sich vor dem Hintergrund des Mangels an Manganerzen, die für die Rüstungsproduktion der Stahlindustrie immense Bedeutung hatten, verschiedene Lösungsstrategien herausgebildet. Durch die Bewirtschaftung von Manganerzen bzw. Ferromangan durch die KRA in Zusammenarbeit mit der Schutzverwaltung und der Ferromangangemeinschaft wurde ein großer Teil der zur Verfügung stehenden Manganerze erfasst, verteilt und ihr Einsatz möglichst auf Rüstungszwecke beschränkt. Die Stahlindustrie stellte die Produktion von hochprozentigem Ferromangan entweder zu großen Teilen oder vollständig ein. Die Unternehmen bzw. der Thinktank der deutschen Stahlindustrie, der VDEh, koordinierte Versuchsreihen zur Erforschung von alternativen, manganfreien Desoxidationsmitteln. Im besonderen Fokus stand dabei der kriegswichtige »Granatenstahl«, der infolge der steigenden Nachfrage der neuen Munitionswerke den Manganbedarf beträchtlich in die Höhe trieb. Die Förderung der heimischen Manganerzgruben sollte erhöht werden, auch mit Hilfe von Kriegsgefangenen. Zusätzlich gab es erste Bemühungen, die technischen Liefervorschriften der staatlichen Beschaffungsämter qualitativ nach unten zu korrigieren und der Rohstoffsituation anzupassen. Dieses »technologische Set« wurde – mit unterschiedlichen Schwerpunkten – bis Kriegsende Ende 1918 beibehalten.

Bei Treffen in Berlin zwischen dem VDEh, der Vereinigung der deutschen Pressgeschosswerke, deren Geschäftsführung ebenfalls der VDEh übernahm, der KRA, der Artillerie-Prüfungskommission, dem Militär-Versuchsamt, den staatlichen Geschossfabriken und der Feldzeugmeisterei diskutierte man ab Juli 1915 kontrovers über Lieferbedingungen für Geschossstahl.[46] Nach langwierigen Verhandlungen einigte man sich zunächst darauf, dass das Herstellungsverfahren für »Granatenstahl« den Stahlwerken freigestellt werden könne. Das Thomas-Stahlverfahren, deutlich leistungsfähiger als das Siemens-Martin-Verfahren, sollte zur Produktion von Geschossstahl zugelassen

43 Büchner, Geschichte, 1935, S. 54.

44 Däbritz/Dickmann, 75 Jahre, 1935, S. 141.

45 Sitzungsniederschriften Unterausschuss betreffend Verwendbarkeit von Mangan mit 30% am 16.6.1915 und am 15.7.1915, tkA Hoesch-Archiv, H/2135.

46 Bericht über die Sitzung zur Besprechung von Fragen betreffend Geschossmaterial am 21.7.1915, SIT, FWH/1579.

werden, wenn die chemischen und physikalischen Mindestanforderungen eingehalten würden. Hierzu sollten jedoch Versuche durchgeführt werden. Die Vertreter der Industrie forderten vor allem eine Reduzierung des vorgeschriebenen Mangangehaltes von 1 bis 1,4 % im fertigen Stahl. Die Untergrenze sollte bei 0,8 % liegen. Auch hier stellten die Militärstellen ein Entgegenkommen in Aussicht, wenn die physikalischen Mindestwerte bezüglich Zerreißfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung, Beschussprobe und vor allem auch eine Mindestanzahl von Sprengstücken bei Detonation im Ziel erreicht würden. Die Vertreter der Stahlindustrie wiesen erneut darauf hin, dass der Bedarf an Mangan durch die Ausweitung der Geschossproduktion deutlich höher sei als bisher angenommen. Selbst bei einer weiteren Einschränkung der Zuteilung von Ferromangan ab Januar 1916 werde das zur Verfügung stehende Mangan nicht ausreichen, auch wenn durch den reduzierten Mindestgehalt im »Granatenstahl« eine Ersparnis von 20 % erzielt werde. Es sei unbedingt die Förderung der deutschen manganreicheren Erzvorkommen anzustreben. Der VDEh-Geschäftsführer Emil Schrödter fasste die dramatische Lage dahingehend zusammen:

> Die Manganfrage, m. H., ist diejenige Frage gewesen, die unter den vielen Sorgen, die aus dem Ausbruch des Krieges uns erwachsen sind, die allergrößte gewesen ist, die, ich möchte sagen, die stärkste Ursache zur Schlaflosigkeit bei uns gewesen ist.[47]

Eine drastische Zuspitzung der »Manganfrage« ergab sich aus der Verkündung des Hindenburg-Programms im Herbst 1916, als endgültig klar war, dass der Krieg nach den verlustreichen Schlachten von Verdun und an der Somme mittelfristig nicht zu beenden war und die neue Oberste Heeresleitung (OHL) unter Paul von Hindenburg (1847–1934) und Erich Ludendorff (1865–1937) nahezu eine Verdoppelung der deutschen Rüstungsproduktion forderte. Um die Forderungen der OHL zu erfüllen, erfolgte eine umfassende Reorganisation der Rohstoffbewirtschaftung und Rüstungsproduktion.[48] Als zentrale Einrichtung wurde das dem preußischen Kriegsminister direkt unterstellte Kriegsamt geschaffen, dem neben der KRA auch das neu institutionalisierte Waffen- und Munitionsbeschaffungsamt (Wumba) zugeordnet war, um Rohstoffbewirtschaftung und Waffenerzeugung effektiver abzustimmen. Dies gelang jedoch nur unzureichend. Im Rahmen der Restrukturierung wurde im September 1916 auch eine Manganerzgesellschaft mbH gegründet.[49] Aufgabe dieser Kriegsgesellschaft war die Förderung und Erschließung von Manganerzvorkommen auf dem Territorium der Mittelmächte. Gesellschafter waren die Unternehmen, die bereits in der Ferromangangemeinschaft vertreten waren sowie das Deutsche Reich (Eisenzentrale).

47 Ebd., S. 35.
48 Kerkhof, Kriegswirtschaft, 2006, S. 219–223; Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 76–80.
49 Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 78–80, S. 86–94.

Die geforderten Munitionsmengen des Hindenburg-Programms machten weitere Einsparungen, Entwicklungsarbeiten und eine gesteigerte Erzförderung in Deutschland erforderlich. Die Vertreter des Militärs verhandelten mit dem VDEh bzw. den Vertretern der Stahlwerke über weitere Einsparpotenziale.[50] Um die »Mangannot« zu lösen, so die Industrievertreter bei einer Sitzung mit den Munitionsbeschaffungsstellen am 9. Oktober 1916, gebe es für die Stahlunternehmen nur die Möglichkeit, den Mangangehalt in den Geschossen weiter zu reduzieren, geschähe dies nicht, so »sitzen wir in einem halben Jahr fest«.[51] Mehrere Strategien galten als erfolgsversprechend: Zunächst sollten weitere deutsche Erzgruben ausgebaut werden. Neben den bekannten manganreicheren Vorkommen im Siegerland sah man vor allem in den Erzvorkommen bei Peine (Ilseder Hütte) Entwicklungsmöglichkeiten.[52] Im Herbst 1916 begann der Ausbau der Peiner Lagerstätten, deren Erze rund 4 % Mangan enthielten, gefördert von der KRA sowie der Eisenzentrale, einer Unterabteilung des Kriegsamtes. Ab Frühjahr 1917 waren größere Erzlieferungen in das Ruhrgebiet zu verzeichnen. Für einen durchschlagenden Erfolg fehlten jedoch zivile Arbeitskräfte und Kriegsgefangene. Ergänzend finanzierte die Manganerzgesellschaft den weiteren Ausbau der Manganerzgruben bei Gießen und Bingen.[53] Die von der KRA anvisierte Erschließung von Mangangruben im Ausland (Türkei, Bulgarien und Ungarn) beurteilten die Stahlunternehmen aufgrund der Kriegslage eher skeptisch.

Die Vertreter der Stahlunternehmen insistierten darauf, dass der Mangangehalt in den Artilleriegranaten weiter herabgesetzt werden müsse. Nach stundenlangen Verhandlungen einigten sich die Vertreter von Geschossfabriken, Stahlherstellern und Waffenbeschaffungsämtern darauf, den Mindestgehalt von 0,8 bis 1,2 % auf 0,6 bis 1 % Mangan für gepresste Granaten festzuschreiben. Die Artillerie-Prüfungskommission kam der Industrie auch bei den physikalischen Mindestanforderungen entgegen. So forderte sie etwa bei Granaten für Feldkanonen nur noch 200 anstelle von 300 Sprengstücken[54] und eine nochmalige Herabsetzung der Streckgrenze.[55] Anhaltender Widerstand kam in diesen Runden auch von den Presswerken, die bei Werkstoffen mit niedrigeren Mangangehalten mit höherem Ausschuss zu rechnen hatten.

Auch bei der Einsparung von Mangan bei der Desoxidation von Stahl hatten die Stahlunternehmen Fortschritte erzielt. Das Werk Dortmunder Union der Deutsch-Luxemburgischen Bergwerks- und Hütten-AG (Deutsch-Lux) entwickelte ein Verfahren für Thomas-Stahl, bei dem Calciumcarbid als Desoxidationsmittel eingesetzt wurde. Albert Vögler (1877–1945) rechnete vor, dass man vor dem Krieg hier rund 4 bis 6 kg Mangan pro Tonne Rohstahl eingesetzt habe, mittlerweile sei der Verbrauch auf 2 kg im

50 Niederschrift über Aussprache zur Manganersparnis am 9.10.1916, SIT, FWH/1571.

51 Ebd., S. 7.

52 Kerkhof, Kriegswirtschaft, 2006, S. 291–299; Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 332–333; Ziegler, Kriegswirtschaft, 2013, S. 45–46.

53 Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 120, S. 330–332.

54 Die Anzahl und Größe der Sprengstücke bei der Detonation von Granaten galt als wichtiges Qualitätskriterium. Je mehr Sprengstücke zu erzielen waren, desto höher fiel die Anzahl der Verletzten bei Treffern aus.

55 Niederschrift über Aussprache zur Manganersparnis am 9.10.1916, hier S. 14, SIT, FWH/1571.

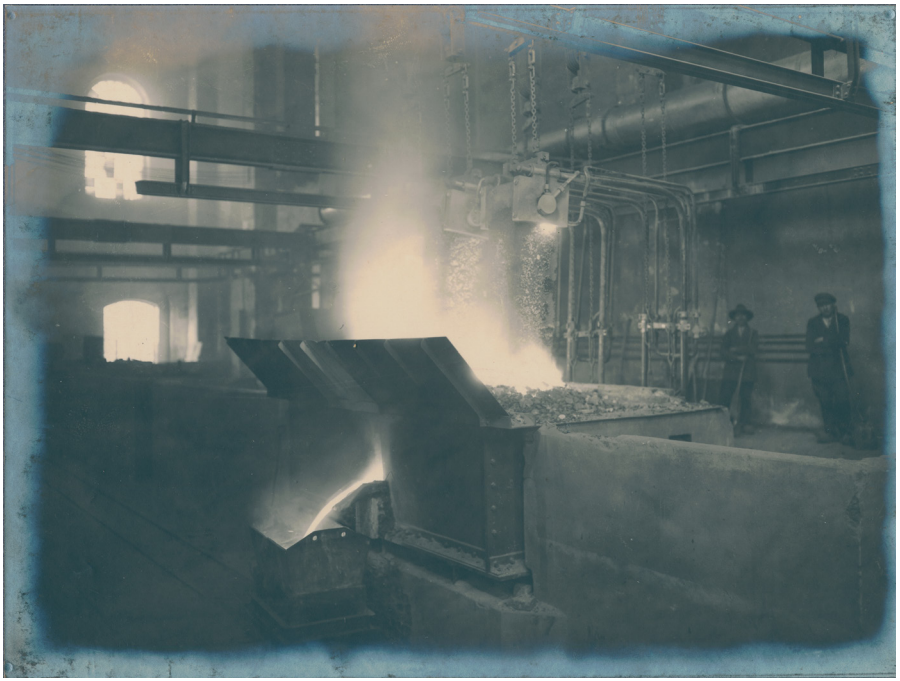


Abb. 7 Gewerkschaft Deutscher Kaiser: Carbid- und Ferrosilicium-Fabrik, erbaut 1916/17 im alten Dampfgebläse-Maschinenhaus der Hochöfen.

Dauerbetrieb gesunken. Diese Restmenge wurde in Form von Spiegeleisen zugefügt und nicht als Ferromangan.[56] Bereits im Sommer 1915 hatte Deutsch-Lux das »Verfahren zur Herstellung von Flusseisen und Stahl unter Verwendung von Calciumcarbid als Desoxydationsmittel« zum Patent angemeldet.[57] Da dieses als »kriegswichtig« nicht ausgelegt werden konnte, kam es jedoch zu Auseinandersetzungen mit konkurrierenden Unternehmen. Auf Druck des Kriegsministeriums und durch Vermittlung des VDEh erhielt Deutsch-Lux Patentschutz für dieses Verfahren und gewährte im Gegenzug Lizenzen gegen mäßige Gebühren.[58] Im August 1916 arbeiteten sieben Thomas-Stahlwerke mit Calciumcarbid anstelle von Ferromangan, das entsprach etwa einem Drittel der deutschen Produktion (Abb. 7).

56 Ebd., hier S. 28–29.

57 Lizenzvertragsentwurf Deutsch-Lux als Anhang zum Schreiben VDEh an Eisen- und Stahlwerk Hoesch AG vom 21.6.1916, tkA Hoesch-Archiv, H/2216.

58 Niederschrift der Unterkommission Manganersatzverfahren des VDEh am 11.5.1916, tkA Hoesch-Archiv, DHHU/2451.

Allerdings: Calciumcarbid entwickelte sich seit Kriegsbeginn ebenfalls zu einem Mangelstoff. Die Rohstoffe, Kalkstein und Kohle/Koks waren zwar zu beschaffen, die Herstellung war jedoch sehr energieintensiv und daher teuer. Der Hoerder Verein hatte mit Ferromagnesium als Ersatz von Ferromangan gearbeitet. Dafür war jedoch auch Aluminium notwendig, das ebenso wie Calciumcarbid nur schwer beschafft werden konnte.[59] Otto Petersen (1874–1953), ab 1917 Nachfolger von Emil Schrödter als Hauptgeschäftsführer des VDEh, fasste im Oktober 1916 zusammen, dass man »während des Krieges gelernt hat, an Mangan ungemein zu sparen, daß natürlich diese Ersatzverfahren gelehrt und geholfen haben, noch weitere Mengen zu sparen«. Dies sei aber beschränkt auf das Thomas-Stahlverfahren, beim Siemens-Martin-Stahl habe man noch keine Erfolge erzielt.[60]

Ende 1916 kam es nochmals zu weiteren Reduzierungen beim Mangangehalt für gepresste Geschosse aus Thomas-Stahl.[61] Die Manganknappheit machte es erforderlich, dass Manganhöchstgrenzen für alle Geschossarten vorgeschrieben wurden, um die Stahlwerke zu einem sparsamen Einsatz zu zwingen. Bei den Feldartilleriegranaten wurde etwa ein Höchstgehalt von 0,6 % Mangan festgesetzt. Die Heeresverwaltung hatte aufgrund der Rohstofflage im fortlaufenden Krieg die Bedingungen, die sie früher an Geschosse bzw. deren Werkstoffe etwa hinsichtlich der Streckgrenze gestellt hatte, erheblich herabgesetzt. Durch die weniger strikten Vorschriften konnten weitere Manganeinsparungen erzielt werden. Es kam jedoch auch vor, dass die Vereinfachung der Liefervorschriften, erleichterte Abnahmebedingungen und die Senkung des Mangangehaltes im Geschossstahl zu Qualitätsverlusten bei den Granaten führten. Probleme ergaben sich etwa bei 15-cm-Granaten aus Thomas-Stahl.[62] Im August 1917 schrieb die Artillerie-Prüfungskommission in einem Rundschreiben an den VDEh, dass sie der Industrie weit entgegengekommen sei bei der Vereinfachung und Erleichterung der Abnahme. So wurden Bedingungen für die chemische Analyse fallengelassen, der Abnahmebeschuss eingeschränkt und auch die physikalischen Werte herabgesetzt. Ein Teil der Unternehmungen habe aber

> dem Vertrauen der staatlichen Behörden nicht entsprochen. Die Zahl der Rohrdetonierer an der Front nahm erschreckenden Umfang an. Hierdurch trat ein beträchtlicher Ausfall an Bedienungsmannschaften und Geschützen und damit an Gefechtskraft ein.[63]

Bei Nachprüfungen habe man große Streubreiten bei chemischer Analyse und Unterschreitung der physikalischen Werte feststellen müssen. Der Manganmangel machte jedoch festgeschriebene Höchstgrenzen unbedingt erforderlich, denn so der Haupt-

59 Niederschrift über Aussprache zur Manganersparnis am 9.10.1916, hier S. 28, SIT, FWH/1571.
60 Niederschrift Aussprache zur Manganersparnis am 9.10.1916, hier S. 30, ebd.
61 Niederschrift Aussprache über technische Fragen bei der Geschossherstellung am 26.1.1917, ebd.
62 Niederschrift Sitzung Stahlwerksausschuss des VDEh am 4.7.1917, hier S. 3–4, SIT, FWH/1587.
63 Artillerie-Prüfungskommission an die Vereinigung der Pressgeschosswerke vom 14.8.1917, SIT, FWH/1603.

geschäftsführer des VDEh, Petersen: »Mangan ist knapp und bleibt knapp. Wenn Sie die Bilanz sehen würden, würden Sie über sie erschrecken.«[64] Vorgeschriebene Höchstgrenzen waren das einzige Hilfsmittel, bei diesen Massenerzeugnissen an Mangan zu sparen. Nach einer groben Rechnung ermöglichte die Herabsetzung des Mangangehaltes um 0,1 % eine Produktionssteigerung der herzustellenden Granaten um 10 %.[65] Besonderen Erfolg schrieb man dabei auch dem Hüttenwerk Rheinhausen der Fried. Krupp AG zu. Dort setzte man erfolgreich Aluminium zur Desoxidation bzw. zur Legierung zu. Dessen desoxidierende Wirkung war bereits seit 1915 bekannt, jedoch hatte man im Hüttenwerk Rheinhausen ein Verfahren ausgearbeitet, bei dem man sicher die geforderten Werkstoffeigenschaften erreichte.[66] Allerdings gehörte auch Aluminium, ebenso wie Calciumcarbid und Ferrosilicium, zu den Mangelstoffen. Aus Aluminium waren bei Kriegsbeginn nicht nur Trinkbecher und Getränkeflaschen der deutschen Soldaten hergestellt worden, vielmehr entwickelte sich seit Kriegsbeginn eine verstärkte Nachfrage nach diesem Leichtmetall.[67] Neben dem Einsatz als Konstruktionswerkstoff im Flugzeug- und Automobilbau galt Aluminium auch als ein Substitutionsmetall für Kupfer. So beklagte Otto Petersen Anfang 1917 eine »leidige Knappheit an Aluminium«.[68]

Die Erzeugung von hochprozentigen Ersatzmitteln zur Desoxidation, etwa Ferrosilicium, war extrem energieintensiv und somit teuer. Vor dem Krieg importierte man diese Verbindung vor allem aus der Schweiz, Norwegen und Schweden, die durch Wasserkraft preiswert Strom erzeugen konnten; nach Kriegsbeginn kam es beim Import von Ferrosilicium aus diesen Ländern aber immer wieder zu Störungen.[69] Bei der Verwendung von Aluminium und Calciumcarbid konkurrierte die deutsche Stahlindustrie mit anderen kriegswichtigen Branchen. Calciumcarbid war einer der wichtigsten Grundstoffe der chemischen Industrie.[70] Bereits vor dem Krieg war es gelungen, aus Calciumcarbid Kalkstickstoff zu produzieren, der hauptsächlich als Düngemittel Verwendung fand. Calciumcarbid war auch Grundstoff für die chemische Produktion von Acetylen, das während des Weltkriegs zur Sprengstoffproduktion genutzt wurde. Ab Mitte des Krieges wurden jedoch in Deutschland (Bitterfeld, Knapsack, Lausitz) neue Produktionsstätten für die Erzeugung von Aluminium und Calciumcarbid und auch für Ferrosilicium projektiert, die die Versorgung verbessern sollten. Bereits im Sommer 1916 kam erstmals der Gedanke auf, eine deutsche Ferrosiliciumproduktion zu etablieren, so wie es das Hindenburg-

64 Niederschrift Aussprache über technische Fragen bei der Geschossherstellung am 26.1.1917, hier S. 7, SIT, FWH/1571.

65 Niederschrift zur Sitzung über Versorgung mit Manganträgern beim VDEh am 8.9.1916, SIT, FWH/1579.

66 Niederschrift Aussprache über technische Fragen bei der Geschossherstellung am 26.1.1917, hier S. 7, SIT, FWH/1571.

67 Maier, Material Culture, 2006, S. 269–270.

68 Niederschrift Aussprache über technische Fragen bei der Geschossherstellung am 26.1.1917, hier S. 7, SIT, FWH/1571.

69 Schweden verbot zeitweise den Export von Ferrosilicium bzw. forderte Ausfuhrbewilligungen, ebenso die Schweiz, Niederschrift über wirtschaftliche Fragen bei der Geschossherstellung beim VDEh am 10.3.1916, SIT, FWH/1579; Kerkhof, Kriegswirtschaft, 2006, S. 305–308.

70 Plumpe, Farbenindustrie, 1990, S. 82–85.

Programm dann tatsächlich forderte.[71] Einerseits schloss die Eisenzentrale mit ausländischen Unternehmen Lieferverträge ab, andererseits war man bemüht, in Deutschland Produktionsanlagen neu zu gründen bzw. bestehende auszubauen. So förderte die Eisenzentrale den Ausbau einer Anlage in Knapsack bei Köln (Braunkohlenkraftwerk des RWE) und unterstützte den Neubau einer Anlage bei Mückenberg, unter Einbeziehung der Braunkohlenvorkommen in der Lausitz. Im westfälischen Altena plante man ein weiteres Ferrosiliciumwerk.

Die von der KRA im Jahr 1916 zugesagten Lieferungen von hochprozentigen Manganerzen aus neu zu erschließenden Erzvorkommen in Ungarn und aus dem Raum Konstantinopel erfüllten sich 1917 nicht. Die deutsche Stahlindustrie blieb weiterhin auf deutsche Manganträger angewiesen.[72] Die von der KRA, der Manganversorgungsstelle bzw. der Eisenzentrale geförderten Erzgruben bei Peine lieferten ab 1917 zunehmend Erze in die deutschen Montanreviere. Als problematisch erwies sich in diesem Großprojekt immer wieder ein Arbeitskräftemangel. Immerhin konnten die Zahlen der Beschäftigten im Jahr 1917 mehr als verdoppelt werden, wobei die Hälfte der Belegschaft Kriegsgefangene waren.[73] Als weitere, für die letzten eineinhalb Kriegsjahre recht erfolgreiche Strategie bei der Lösung der »Mangannot« sollte sich die Aufarbeitung manganreicher Hochofenschlacken aus dem Siegerland und von Stahlwerksschlacken aus dem österreichischen Donawitz erweisen. Eine zusätzliche Verringerung des Mangangehaltes in den Artilleriegranaten, dem Hauptverbraucher von Mangan, war aus qualitativen Gründen nicht mehr möglich. Es hatte sich außerdem erwiesen, dass die Schwierigkeiten bei der Verhüttung des 30-prozentigen Ferromangans auf die Dauer so groß wurden, dass auch hier eine Produktionssteigerung als ausgeschlossen galt. Eine bessere Manganversorgung der Stahlwerke konnte auch erzielt werden, wenn man Roheisen mit höherem Mangangehalt produzierte. Dies gelang, indem man bisher auf Halde liegende Schlacken der Eisenerzeugung, die zum Teil recht hohe Mangangehalte aufwiesen, aufarbeitete und den Hochöfen als Manganträger wiederzuführte. Im österreichischen Donawitz hatte das Erzhandelsunternehmen Rawack & Grünfeld[74] Verladeeinrichtungen für Schlacken ausgebaut, die noch rund 12 % Mangan enthielten, sodass sich die Lieferungen von dort verdreifachten. Um die Jahreswende 1917/18 erhöhte sich die monatliche Einfuhr von Donawitzer Schlacken in das Deutsche Reich von 4000 t auf rund 15 000 t.[75] Durch den Einsatz manganreicherer Roheisensorten konnte man hochkonzentrierte Manganlegierungen im Stahlherstellungsprozess einsparen und für Werkstoffe reservieren, die einen Mindestgehalt an Mangan erforderten.

71 Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 345–348.

72 Aus den Kriegsaufgaben des VDEh im Jahre 1917, SIT, FWH/1579.

73 Kerkhof, Kriegswirtschaft, 2006, S. 298.

74 Das Unternehmen wurde 1937 unter maßgeblicher Beteiligung von Friedrich Flick arisiert; es war insgesamt für Transporte russischer Erze auf dem Landweg zuständig, während Erzhändler Wm. H. Müller & Co. den Seeweg bediente.

75 Rundschreiben VDEH über Stahlherstellungsverfahren zur Ersparnis hochhaltiger Manganträger vom 6.11.1917, tkA, A/633/1; Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 337.

Im Jahr 1918 importierte das Deutsche Reich erstmals größere Mengen hochprozentiger Manganerze aus dem Ausland.[76] In Ungarn kam der mit finanzieller Unterstützung der Manganerzgesellschaft erfolgte Ausbau der Gruben von Macskamezö zum Abschluss. Die ersten Lieferungen ungarischer Manganerze erreichten Deutschland jedoch erst im Januar 1918. Nach dem Friedensschluss der Mittelmächte mit der Ukraine im Februar 1918, die sich nach dem Waffenstillstand zwischen den Mittelmächten und Russland im Dezember 1917 unabhängig erklärt hatte, erwarb die Manganerzgesellschaft auch Manganerze und Ferromangan in der Ukraine (Krivoi-Rog und Nikopol). Die Erzlieferungen über die Donau kamen jedoch nicht mehr zustande, da die Transportfrage ungelöst blieb. Die Spurweiten der russischen und deutschen Eisenbahnen waren verschieden, sodass die Erze an der Grenze aufwändig hätten umgeladen werden müssen. Lediglich einige wenige Lieferungen russischer Manganerze aus dem Kaukasus (Poti) wurden im Herbst 1918 durchgeführt. Der beginnende Bürgerkrieg im ehemaligen russischen Zarenreich beendete die Hoffnungen der deutschen Montanindustrie, nach dem Waffenstillstand im Osten Manganerze aus dieser Region zu erhalten.[77] Auch im Inland konnte die Erzförderung bei den Gruben von Peine und im Siegerland 1918 nochmals gesteigert bzw. stabil gehalten werden. Manganreiche Schlacken aus Donawitz und aus dem Siegerland standen als Ersatz für manganhaltige Erze, so in einer Rückschau des VDEh auf das letzte Kriegsjahr, ausreichend zur Verfügung.[78]

Insgesamt gab es ein ganzes Bündel von Maßnahmen, die die »Mangannot« im Ersten Weltkrieg mindern half: Bewirtschaftung von Manganerzen und Ferromangan, Ausbau der Manganerzförderung in Deutschland, Erschließung von Mangangruben in den verbündeten Ländern, Einsparung von Mangan durch Höchstgrenzen und Verbrauchsbeschränkungen, Ersatz von Ferromangan bei der Desoxidation durch Aluminium, Calciumcarbid und Ferrosilicium. Nach zeitgenössischen Einschätzungen waren vor allem die strenge Reduzierung der Mangangehalte im Granatenstahl und die Erleichterung der technologischen Lieferbedingungen die effektivsten Maßnahmen. Dies ging jedoch zu Lasten von Qualität und Produktivität. Dem Einsatz von Calciumcarbid, Aluminium und Ferrosilicium war in der Mangelwirtschaft des Ersten Weltkriegs kein durchschlagender Erfolg beschieden, da diese Stoffe auch von anderen rüstungsrelevanten Branchen nachgefragt wurden und schwer zu beschaffen waren. Ein weiterer technologischer Pfad öffnete sich schließlich in den letzten beiden Kriegsjahren, als durch die Wiederaufarbeitung von Reststoffen, Schlacken, das für die Granatenproduktion dringend benötigte Mangan dem Werkstoffkreislauf wieder zugefügt werden konnte. Kein neu entwickeltes Kriegsmetall, nicht die Ausbeutung besetzter Länder und auch nicht die Forschungsbemühungen militärischer und ziviler Institutionen schlossen die Manganlücke, sondern das Recycling der zu Halden aufgeschütteten Schlacken aus längst vergangenen Jahrzehnten.

76 Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 182–183.
77 Ebd., S. 204–207.
78 Über die Tätigkeit des Vereins im Jahre 1918, SIT, FWH/1579.

Und dennoch: Trotz der nach dem Krieg von der Stahlindustrie geäußerten Kritik an der aus ihrer Sicht überbordenden Bürokratie der Bewirtschaftungsmaßnahmen, der »dilettantenhafte(n) Behandlung der Technik auf fast allen Gebieten«[79] und den langwierigen Aushandlungsprozessen mit den militärischen Beschaffungsämtern um Modifizierung der Lieferungsvorschriften, bewirkte der Erste Weltkrieg einen massiven Modernisierungsschub der bis dahin weitgehend empirisch geprägten Eisenhüttenkunde. Die forcierte Gemeinschaftsarbeit der Unternehmen im Rahmen der Fachausschüsse des VDEh und der enge Kontakt der Eisenhütteningenieure mit den technischen Stäben des Kriegsministeriums trugen zu einer beschleunigten Verwissenschaftlichung der Werkstoff- und Verfahrenstechnik in den Unternehmen und der ganzen Branche bei. Die Unternehmen waren gezwungen, in permanentem Austausch mit Waffen- und Munitionsbeschaffungsamt, Artillerie-Prüfungsamt und Militär-Versuchsanstalt, in ihre eigenen Laboratorien und Prüfungsanstalten zu investieren. Ausdruck dieser gesamten Entwicklung ist auch die Gründung des Düsseldorfer Kaiser-Wilhelm-Instituts für Eisenforschung im Jahr 1917, maßgeblich finanziert vom VDEh.[80] Die hohen Anforderungen an die Werkstoffe für die Rüstungsindustrie – trotz Mangel an bestimmten Rohstoffen – implizierte bei den Stahlerzeugern einen enormen Modernisierungsschub.

Manganwirtschaft in der Zwischenkriegszeit und im Zweiten Weltkrieg

Das Kriegsende und der Versailler Vertrag bedeuteten für die deutsche Stahlindustrie erhebliche Gebiets- und Anlagenverluste.[81] Zahlreiche Beteiligungen und Werke gingen durch den Verlust Lothringens, des Saarlandes und von Teilen Oberschlesiens verloren. Vor allem der Ausfall der lothringischen Minetteerze, die die Grundlage der deutschen Thomas-Stahlerzeugung waren, bedeutete zunächst eine tiefe Zäsur. Allein die Einbußen bei der Erzförderung in Elsass-Lothringen, das von Frankreich annektiert worden war, betrugen mehr als 60 %. Manche Bewirtschaftungsmaßnahmen wurden noch in unmittelbarer Nachkriegszeit im Rahmen der Demobilisierung beibehalten. Die Manganversorgungsstelle in Düsseldorf übernahm auch über das Kriegsende hinaus die Verteilung der Erzvorräte in Deutschland. Die Manganerzgesellschaft liquidierte erst im Herbst 1919. Schon 1920 erfolgten dagegen erste Zukäufe hochprozentiger Manganerze aus dem Ausland. Insgesamt folgte in den 1920er Jahren eine Phase der Hinwendung zu den internationalen Rohstoffmärkten. Die schwedischen und spanischen Erzlieferungen wurden im Sommer 1919 wieder verstärkt aufgenommen und ersetzten die Minettelieferungen aus Lothringen. Ein Jahr später begann der Import von Erzen aus Kanada.[82]

79 Der Vorsitzende des VDEh, Albert Vögler, auf der Hauptversammlung des Vereins am 11.5.1919, in: Stahl und Eisen 39 (1919), S. 519; siehe auch Uebbing, Stahl, 1999, S. 62, und Kleinschmidt, Rationalisierung, 1993, S. 121.

80 Rasch, Gründungsgeschichte, 2017, 2018.

81 Kleinschmidt, Rationalisierung, 1993, S. 101–103; Stellwaag, Eisenwirtschaft, 1922, S. 351–356.

82 Zum deutschen Erzbergbau in der Zwischenkriegszeit Ziegler, Kriegswirtschaft, 2013, S. 78–86.

Nach dem Vertrag von Rapallo 1922 normalisierten sich langsam die Beziehungen zwischen dem Deutschen Reich und der Sowjetunion.[83] Der Vertrag sollte auch helfen, die Rohstoffversorgung und Absatzlage der deutschen Stahlindustrie zu sichern. Insgesamt gab es ein ausreichendes Angebot von Eisenerz auf dem Weltmarkt. Deutsche Erze spielten nur eine relativ geringe Rolle. In der Weltwirtschaftskrise sanken die internationalen Erzpreise weiter und die wenigen deutschen Gruben mussten subventioniert werden. Die Versorgung mit heimischen Erzen lag in den Jahren 1924 bis 1926 bei 30 %, danach fiel die Quote auf unter 20 %, um 1931 den Tiefstand mit 16,5 % zu erreichen.[84]

Deutlich wird diese Entwicklung etwa auch beim Einsatz von Erzen bei der August Thyssen-Hütte in Duisburg.[85] Kamen 1919 noch über 45 % der Erze aus deutschen Gruben, fiel der Anteil bis 1926 auf rund 20 %, der Anteil skandinavischer Erze stieg im gleichen Zeitraum auf über 45 %, Spanien und Portugal lieferten bis 10 % der eingesetzten Erze, der Rest kam, stark schwankend nach Ländern, aus dem übrigen Ausland. Minetteerze spielten nahezu keine Rolle mehr. Auch bei den Qualitätserzen trat eine Verschiebung ein. Der Einsatz der manganreicheren Erze aus dem Lahn-, Dill- und Siegbereich fiel stark zurück, da solche aus Übersee auf den internationalen Rohstoffmärkten günstiger zu beschaffen waren. Erze mit über 30 % Mangangehalt wurden sämtlich aus dem Ausland importiert, vor allem aus der Sowjetunion. Sie dienten der Produktion von hochprozentigem Ferromangan.[86]

Gänzlich änderte sich die Situation ab Mitte der 1930er Jahre. Anders als im Ersten Weltkrieg begannen die Arbeiten zur Versorgung der deutschen Stahlindustrie mit sogenannten Mangelmetallen und hochwertigen Auslandserzen nicht erst bei Kriegsbeginn. Spätestens mit Verkündung des Vierjahresplans 1936 bestimmten Autarkiewirtschaft, Devisen- und Rohstoffbewirtschaftung die Forschungsinhalte der deutschen Stahlunternehmen und Gemeinschaftseinrichtungen wie die des VDEh. Zu den zentralen Forschungsaufgaben zählten die Gewinnung bzw. Rückgewinnung von Legierungsmetallen wie Mangan und Vanadin in der Stahlerzeugung und die Verhüttung der eisenarmen heimischen Eisenerze im Salzgittergebiet sowie die Substitution von Legierungsmetallen.[87] Der Reichsbeauftragte bzw. die Reichsstelle für Eisen und Stahl forderte bereits 1936 die Unternehmen auf, die Ferromangan-Vorräte bekanntzugeben und möglichst Mangan zu sparen. Den Bedarf hochwertiger Manganerze deckten zu diesem Zeitpunkt Importe aus Indien, Südafrika, Brasilien und der Sowjetunion. Um den Anforderungen des Vierjahresplans zu genügen, gründete der VDEh bereits 1937 den Arbeitskreis für den Vierjahresplan. Dieser diente einem intensiven Erfahrungsaustausch. Eine spezielle Arbeitsgruppe für Mangan innerhalb des Arbeitskreises – vertreten waren darin im Regelfall die Leiter der Stahlwerksbetriebe – bearbeitete alle Möglich-

83 Kleinschmidt, Rationalisierung, 1993, S. 119.

84 Luyken, Deutscher Stahl, 1934, S. 18–23.

85 Hausdrucke Walther Däbritz: Die Nachkriegszeit 1919–1925, hier S. 81–84, tkA, A/15511; Treue, Feuer, 1966, S. 222–225.

86 Luyken, Deutscher Stahl, 1934, S. 25.

87 Zilt, Rüstungswirtschaft, 2010, S. 179–182.

keiten zur Einsparung bzw. Rückgewinnung von Mangan.[88] Auch bei der Gestaltung von Verordnungen zum Einsatz dieser Stoffe waren die Arbeitsgruppen maßgeblich beteiligt. Im Laufe des Zweiten Weltkriegs übertrugen die Rüstungsminister Fritz Todt (1891–1942) und Albert Speer (1905–1981) die Aufgaben des Arbeitskreises für den Vierjahresplan auf neu eingerichtete Institutionen der »Befehlswirtschaft«, wie dem Hauptring Eisenerzeugung bzw. der Reichsvereinigung Eisen.[89] Speer als Nachfolger von Todt errichtete 1942 als Rüstungsminister ein umfassendes Produktionsregime unter Einbindung der Industrie. Angefangen bei der Erschließung und Verteilung der Rohstoffe über die Bewilligung von Investitionen bis hin zur Verteilung der Produktion auf die Industrieunternehmen übertrug man die Rüstungsproduktion sogenannten (Produktions-)Ringen, denen wiederum regional gegliederte und fachlich gegliederte Unterausschüsse angeschlossen waren.

Zwar wurden in der Arbeitsgruppe Mangan ab 1937 verschiedene Verfahren – unter Hinzuziehung der Erfahrungen aus dem Ersten Weltkrieg – besprochen und Versuchsschmelzen durchgeführt, sie spielten in den Betrieben zu diesem Zeitpunkt jedoch nur eine vergleichsweise geringe Rolle. Besonders sind hier zu erwähnen die Entwicklungsarbeiten von Hugo Bansen (1885–1945) bei Krupp in Rheinhausen und Eduard Herzog (1886–1951) bei Thyssen in Hamborn.[90] Parallel führten sie 1936/37 Versuche durch, das Mangan aus Spiegeleisen, das aus deutschen, geringhaltigen Manganerzen erzeugt wurde, im Thomas-Konverter in hochmanganhaltige Schlacken zu überführen. Bei 10 % Mangan im Spiegeleisen konnten Schlacken mit etwa 50 % Mangan im Konverter erblasen werden. Diese dienten dann als Einsatzstoff im Hochofen, wo Ferromangan mit 50 bis 70 % Mangangehalt erzeugt werden konnte. Nachteile bei diesem Zwei-Schlackenverfahren waren eine starke Abnutzung der Konverterausmauerung, Probleme bei Trennung der zähen Schlacke vom Rohstahl und recht hohe Verdampfungsverluste in Bezug auf Mangan. Wirtschaftlich war dieses Verfahren im Vergleich zur direkten Verwendung von hochmanganhaltigen Auslandserzen im Hochofen nicht. Und so blieb es zunächst bei den Versuchsreihen. Auch die Bewirtschaftung von Mangan vor Kriegsausbruch blieb unvollkommen. Es wurden lediglich »Gebote« zur sparsamen Manganbewirtschaftung gemeinsam vom Arbeitskreis und der Reichsstelle für Eisen und Stahl ausgesprochen. Vor Kriegsbeginn kam es nicht zu einschneidenden Sparmaßnahmen und die Versorgung der deutschen Stahlindustrie mit Auslandserzen – trotz Devisenbeschränkungen und der seit 1937 durchgeführten Stahlkontingentierung – war als gut zu bezeichnen.[91] Der Import von Manganerzen konnte sogar gesteigert werden. Auch legten die Unternehmen seit Mitte der 1930er Jahre Vorräte an, sodass z. B. bei Kriegsbeginn Manganerze für über ein Jahr auf Halde lagen.[92]

88 Protokolle des Arbeitskreises bzw. der Arbeitsgruppe Mangan in tkA, A/12771–12774.
89 Naasner, Machtzentren, 1994, S. 163–170.
90 Bading, Entwicklung, 1947, S. 180–186.
91 Hensler, Stahlkontingentierung, 2008, S. 25–32.
92 Ebd., S. 35.

Der Kriegsausbruch führte zwar zu einer Unterbrechung eines großen Teils der Erzzufuhr aus dem Ausland, es kam aber nicht zu einem einschneidenden Bruch.[93] Um die Unabhängigkeit von den hochprozentigen Auslandsmanganerzen zu festigen, wurden 1939 die drei Jahre zuvor durchgeführten Entwicklungsarbeiten zum Verblasen von Spiegeleisen im Thomas-Konverter mittels großangelegter Versuchsreihen fortgeführt. Durch die jahrelangen Vorbereitungsarbeiten, so verkündete der VDEh 1940 selbstbewusst, seien die deutschen Stahlwerke in der Lage, mit einem wesentlich geringeren Anteil Ferromangan bei der Desoxidation auszukommen. Der Chefmetallurge von Thyssen, Eduard Herzog, zog dabei auch Erfahrungen heran, die im Ersten Weltkrieg gemacht worden waren.[94] Der bedeutende Unterschied zum Ersten Weltkrieg war jedoch, dass die Stahlindustrie bei Kriegsbeginn über Manganerzvorräte verfügte, die bis Ende 1940 reichten. Im Laufe des Sommers 1940 gelang es, die kriegsbedingt unterbrochene Zufuhr von Manganerzen aus dem Kaukasus wieder in Gang zu setzen. Diese Importe erfuhren eine weitere Ergänzung durch die in Frankreich, Belgien und Luxemburg sichergestellten Beuteerze.[95] Der Bedarf stieg mit fortlaufendem Krieg an, und der Import von sowjetischen Manganerzen war immer stark abhängig von der Transport-, Wetter- und Kriegslage. Es kam deshalb schon im Laufe des Jahres 1940 zu ersten Verbrauchseinschränkungen. Die Arbeitsgruppe Mangan im Arbeitskreis für den Vierjahresplan beschloss, den Mangangehalt im Thomas-Roheisen zu begrenzen. Die Mangellage an hochwertigen Eisenerzen (Mangan) wurde also erst während des Kriegs durch Einschränkungen im Verbrauch und durch Verwendungsverbote von Metallen für nichtrüstungsrelevante Produktionen gemindert. Obwohl Mangan knapp war, konnten die Anforderungen seitens der Stahlunternehmen durch die Reichsstelle Eisen und Stahl Anfang Juni 1941 noch in hohem Maße erfüllt werden. Selbst 80-prozentiges Ferromangan stand noch zur Verfügung.[96]

Im Sommer 1941 kam es dann jedoch zu einer dramatischen Zuspitzung der »Manganfrage«. In einem vertraulichen Rundschreiben teilte die Arbeitsgruppe Mangan im Arbeitskreis für den Vierjahresplan den deutschen Stahlunternehmen mit, dass »mit möglichst baldiger Wirkung Mangan in jeglicher Form eingespart werden muss«.[97] Begründet wurde dieser Appell damit, dass die Zufuhren von sowjetischen Manganerzen über die Donau wegen mangelnden Schiffraumes gefährdet seien. Ob hier schon vorrausschauend auf den deutschen Angriff auf die Sowjetunion, der drei Wochen später erfolgte, Bezug genommen wurde, kann nur gemutmaßt werden. Aber bereits am 24. Juni 1941, zwei Tage nach dem Angriff, kam es zu einer erweiterten Sitzung der Arbeitsgruppe Mangan in Hannover. Unter der Leitung des Vertreters der Reichsstelle für Eisen und Stahl und des VDEh-Geschäftsführers Petersen wurde festgestellt, dass zwar seit Jahren

93 Aus der Tätigkeit des VDEh im Jahre 1939, hrsg. vom VDEh, tkA, Fschr., S. 3–7.

94 Herzog: Über Maßnahmen zur Ersparung von Ferromangan und Manganerzen während des Krieges [1915/18], Typoskript [1940], tkA, A/12823; Zilt, Rüstungswirtschaft, 2010, S. 179–185.

95 Aus der Tätigkeit des VDEh im Jahre 1940, hrsg. vom VDEh, tkA, Fschr., S. 2–4.

96 Mitteilung Roheisenkontor GmbH an August Thyssen-Hütte AG vom 3.6.1941, tkA, A/12772.

97 Rundschreiben des VDEh, Arbeitsgruppe Mangan, vom 31.5.1941, ebd.

die »Manganfrage« immer wieder Thema war, ein durchschlagender Erfolg jedoch nicht erzielt werden konnte.[98] Petersen wies einleitend auf die dramatische Situation der Jahre 1916 bis 1918 hin. Vor dem Hintergrund des Überfalls auf die Sowjetunion müssten Maßnahmen ergriffen werden, um hochwertiges Mangan in jeder Form zu sparen. Die Manganbewirtschaftung sollte 1941 intensiviert werden.[99] Die Reichsstelle für Eisen und Stahl, welche gemeinsam mit der Arbeitsgruppe Mangan die Bewirtschaftung von Mangan durchführte, berief im Juli 1941 einen Mangan-Beirat unter Leitung von Hugo Bansen ein. Dieser Beirat besaß nahezu diktatorische Vollmachten. Alle technischen Fragen sollten vom ihm entschieden werden. Absatz und Verteilung blieben im Verantwortungsbereich der Reichsstelle für Eisen und Stahl. Die erste Tätigkeit war die Herausgabe einer Anordnung, mit genauen Anweisungen für die Lenkung der Manganerze. Sie trat am 19. Juli 1941 in Kraft und schrieb eine Herabsetzung der Mangangehalte in bestimmten Roheisensorten vor, um das eingesparte Mangan für die Spiegeleisenerzeugung zu nutzen. Um den Verbrauch an Ferromangan möglichst einzuschränken, wurden Höchstgrenzen für bestimmte Werkstoffe festgelegt. Anstelle des Ferromangans sollten, wie im Ersten Weltkrieg, außer Aluminium und Ferrosilicium auch Spiegeleisen zur Desoxidation verwendet werden. Im September 1941 waren die Ferromanganvorräte jedoch so weit reduziert, dass es nach Angaben der Reichsstelle für Eisen und Stahl selbst bei Einsparungen von 30% im Verbrauch unmöglich war, bis zum Sommer 1942 Stahl zu erzeugen.[100] Dieser Verbrauch allerdings war auf noch hohem Niveau, weiterhin stand den Unternehmen 70-prozentiges Ferromangan zur Verfügung.

Eine Lösung schien in Sicht, als im August 1941 die deutsche Wehrmacht die Manganerzgruben bei Nikopol eroberten. Die ersten Lieferungen erreichten das Deutsche Reich im Oktober/November 1941, obwohl die Tagesanlagen der Erzbergwerke zerstört worden waren.[101] Schwierig erwies sich vor allem der Abtransport der in Nikopol und Kriwoi Rog lagernden Manganerze aufgrund von fehlenden Waggons und auch der unterschiedlichen Spurweiten der Eisenbahn. In einem Schreiben des Mangan-Beirates an das Reichswirtschaftsministerium bat Hugo Bansen um Unterstützung bei der Transportfrage in der Ukraine:

> Wenn nicht bald die laufende Zufuhr von zunächst je 1 geschlossenen Zug von 600 bis 700 t/Tag mit Konzentrat von Nikopol nach den Verhüttungsstätten, vornehmlich im Westen, eingerichtet wird, so kommt die Rohstahlerzeugung im Frühjahr 1942 zum Erliegen.[102]

98 Niederschrift über die Sitzung der Arbeitsgruppe Mangan am 24.6.1941, hier S. 3, ebd.
99 Bericht über die Tätigkeit des Arbeitskreises für den Vierjahresplan im dritten Vierteljahr 1941, ebd.
100 Niederschrift über die Sitzung des Manganbeirats am 1.9.1941, ebd.
101 Niederschrift über die Sitzung des Manganbeirats am 9.9.1941, ebd.
102 Schreiben Bansen an Hermann von Hanneken im Reichswirtschaftsministerium vom 18.10.1941, ebd.

Eine ausreichende Versorgung mit Manganträgern zur Erzeugung von Ferromangan erforderte im Frühsommer 1942 eine noch straffere Bewirtschaftung.[103] Erfolge ergaben sich vor allem bei der Einsparung von Mangan beim Thomas-Stahlverfahren. Die erforderliche Manganmenge zur Desoxidation und zur Legierung wurde dem Thomas-Konverter nur noch zu einem Drittel aus Ferromangan und zu zwei Dritteln aus Spiegeleisen zugeführt. In den letzten Monaten des Jahres 1942 entspannte sich dann die Lage wieder durch die Zufuhr sowjetischer Manganerze. Im Folgejahr konnte der Bedarf an hochhaltigen Manganerzen ausreichend aus den ukrainischen Erzgruben gedeckt werden; es gelang sogar eine gewisse Vorratsbildung.[104] Betrachtet man die Importzahlen von Manganerzen während des Kriegs, ist sogar bis Ende 1943 eine Steigerung zu beobachten.[105] Wurden im Jahr 1939 rund 235 000 t eingeführt, waren es 1940 119 000 t, 1941 240 000 t, 1942 343 000 t und 1943 schließlich sogar 383 000 t. Erst 1944 brachen die Einfuhren deutlich ein. Anfang 1944 eroberte die Rote Armee nach schweren Kämpfen die ukrainischen Erzgruben in der Region Nikopol und Kriwoi Rog. Am 8. Februar 1944 gingen die letzten Transporte mit Manganerzen von Nikolaev auf den Weg nach Westen.

Trotz der bei den Hüttenwerken lagernden Erzvorräte war in den letzten beiden Kriegsjahren wieder eine konsequente Überwachung und Lenkung der Manganträger erforderlich, da nun die einzige ergiebige Rohstoffquelle hochmanganhaltiger Erze verloren war. Die Reichsvereinigung Eisen erließ eine neue Anordnung, durch die in den Thomas-Stahlwerken weitere Manganeinsparungen erreicht werden sollten. Mithilfe der Verwendung von Roheisen und aluminiertem Stahleisen zur Vordesoxidation des Stahls im Konverter konnte der Einsatz des knappen Ferromangans weiter beschränkt werden. Die durch den Verlust der Erzgruben in Nikopol hervorgerufene Verknappung machte es notwendig, dass schon früher entwickelte Verfahren zum Verblasen von Spiegeleisen im Thomas-Konverter zum Erzielen manganreicher Schlacken in größerem Maße durchzuführen. Im Jahr 1944 bemühte sich die Stahlindustrie um die Erschließung und den Ausbau von Erzvorkommen in Mittel- und Südosteuropa.[106] Zu nennen ist vor allem das Erzvorkommen von Urkut in Ungarn, aber auch kleinere Lagerstätten und Erzgruben im sogenannten Protektorat, in der Slowakei, in Bulgarien und Rumänien wurden erkundet. Aufgrund der Kriegslage kam es jedoch nicht mehr zu einem durchschlagenden Erfolg. Nur die ungarischen Manganerze boten für kurze Zeit einen Ersatz. Im Sommer 1944 fielen die Erzlieferungen aus der Normandie, Spanien und dem Minette-Gebiet aus.[107] Es wurde nochmals eine Fördersteigerung des deutschen Manganerzbergbaus eingeleitet.

103 Aus der Tätigkeit des VDEh im Jahre 1942, hrsg. vom VDEh, tkA, Fschr.

104 Aus der Tätigkeit des VDEh im Jahre 1943, hrsg. vom VDEh, tkA, Fschr; Ziegler, Kriegswirtschaft, 2013, S. 174.

105 Statistisches Jahrbuch für die Eisen- und Stahlindustrie 1948, hrsg. Wirtschaftsvereinigung Eisen- und Stahlindustrie, S. 28; ähnliche Zahlen Hensler, Stahlkontingentierung, 2008, S. 28.

106 Helmut Schiele: Die Manganlagerstätten in Mittel- und Osteuropa. Bericht des Erzausschusses des VDEh, November 1944, hrsg. vom VDEh, tkA, Fschr.

107 Aus der Tätigkeit des VDEh im Jahre 1944, hrsg. vom VDEh, tkA, Fschr.

Insgesamt hatte diese, im Vergleich zum Ersten Weltkrieg, nur eine vergleichsweise geringe Bedeutung. Förderten die Ferniegruben bei Gießen in den Jahren 1917 und 1918 rd. 250 000 t im Jahr, so waren es 1943 nur 150 000 t.[108] Das Fördersoll für 1944 war bei 300 000 t angesetzt. Die Situation im Siegerland und bei der Gewerkschaft Dr. Geier bei Bingen war ganz ähnlich. Die Gründe für diese späte Aktivierung der deutschen Gruben mit manganhaltigen Erzen lagen darin, dass bis dato ukrainische Manganerze zur Verfügung standen, die Beschaffung von Arbeitern auf Schwierigkeiten stieß, aber vor allem war sie auch begründet durch die Abneigung der deutschen Hochofenwerke, dieses Erz mit relativ geringen Mangangehalten zu verhütten. Die Abbaumöglichkeiten wurden zudem aufgrund einsetzender Erschöpfung der Gruben immer schwieriger.

Ab Frühjahr 1944 erfolgten nach der Rückeroberung der Ukraine praktisch keine nennenswerten Zufuhren hochwertiger Manganerze. Gleichzeitig intensivierten sich wieder die Entwicklungsarbeiten in den Werken. Dies erschien aufgrund der Kriegslage wie die Suche nach einer »Wunderwaffe«. Als vielversprechend erwies sich der Versuch, Manganträger in einem Hochofen mit saurer Schlackenführung zu verhütten.[109] Erstmals bereits 1937 von den Röchling'schen Eisen- und Stahlwerken vorgeschlagen, entwickelte die Königshütte in Oberschlesien ein Verfahren, bei dem neben Erzen auch Siemens-Martin-Schlacken im Hochofen eingesetzt wurden. Durch die saure Ofenführung gelang es, einen höheren Anteil des Mangans aus den Erzen bzw. Siemens-Martin-Schlacken in die Hochofenschlacke zu überführen. Die bei diesem Prozess entstandene Manganschlacke verarbeitete man anschließend im Hochofen zu Spiegeleisen oder Ferromangan. Diese Verfahrensweise wurde von den Hochofenwerken, die Ferromangan produzierten, noch gemeinsam weiterentwickelt, indem man anstelle der Siemens-Martin-Schlacken Rostspat, das sind geröstete Erze (Spateisenstein) aus dem Siegerland, einsetzte. Damit schien die Erzeugung von phosphorarmen Ferromangan aus deutschen Manganträgern befriedigend gelöst. Aufgrund der relativ großen Schlackenmengen bei diesem Verfahren trat aber gleichzeitig eine Verknappung des zur Verfügung stehenden Hochofenraums ein.[110] Dennoch vermeldete Bansen als Leiter der Arbeitsgruppe Mangan, dass die Arbeit dieses Gremiums an höchsten Stellen gelobt worden sei. Bei einer Sitzung von Vertretern der Stahlindustrie mit Generalluftzeugmeister Erhard Milch (1892–1972), dem Chef des Rüstungslieferungsamts Walter Schieber (1896–1960) und dem Leiter des Technischen Amts im Rüstungsministerium Karl-Otto Saur (1902–1966) am 22. März 1944 sei die Arbeit des Manganausschusses dankbar gewürdigt worden.

108 Helmut Schiele: Die Manganlagerstätten in Mittel- und Osteuropa. Bericht des Erzausschusses des VDEh, November 1944, hrsg. vom VDEh, tkA, Fschr.

109 Neue Wege zur Mangankonzentration bei der Roheisenerzeugung, hrsg. vom VDEh, August 1944, tkA, Fschr.

110 Niederschrift über die Sitzung des Arbeitskreises Mangan im Hauptring Eisenerzeugung am 8.6.1944, tkA A/12774.

> Auch wurde betont, von welcher Bedeutung es ist, dass es den Anstrengungen der Eisenhüttenleute gelungen ist, noch rechtzeitig geeignete metallurgische Methoden zur Herstellung eines hochprozentigen und phosphorarmen Ferromangans zu entwickeln.[111]

Die Implementierung dieses Verfahrens blieb jedoch, wie erwähnt, mit Schwierigkeiten verbunden. Die Resistenz der Hochofen- und Stahlwerke gegen Änderungen – solange noch russische Erze in den Erzbunkern lagerten – blieb konstitutiv. Um die knappen Manganerz-Vorräte aus Nikopol zu strecken, wurde deren Zuteilung an die Werke im August 1944 nochmals eingeschränkt.[112] Für die Lieferung von Nikopol-Erzen setzte die Arbeitsgruppe Mangan bzw. die Reichsvereinigung Eisen voraus, dass die Hochofenwerke auch die deutschen Manganerze aus dem Raum Bingen verarbeiten und gleichzeitig die Stahlwerke 35-prozentiges Ferromangan bestellen. Bisher war dies nicht der Fall gewesen.

Die Unternehmen im deutschen Machtbereich profitierten im letzten Kriegsjahr vor allem von den in den Jahren 1942/43 angesammelten Manganerzen aus der Sowjetunion. Am 1. November 1943 standen den Hochofenwerken, die Ferromangan erzeugten, noch 455 000 t hochprozentige Manganerze zur Verfügung, davon rund 360 000 t aus der Sowjetunion.[113] Auch wenn sich diese Vorräte bis November 1944 auf rd. 220 000 t Manganerz verringert und damit halbiert hatten, so hätten aber allein die 148 000 t Manganerze aus Nikopol, die noch auf den Halden lagen, für etwa neun weitere Monate Ferromanganerzeugung bei gleichbleibender Produktion gereicht.

Im Zweiten Weltkrieg spielten bis Ende 1943 »Ersatzstoffe« für das knappe Mangan eine geringere Rolle als in den Jahren 1914 bis 1918. Zwar war mit dem Arbeitskreis für den Vierjahresplan bereits 1937 eine Instanz geschaffen worden, in der ein Austausch über Verfahren zur Einsparung von Mangan bzw. zur Erzeugung aus deutschen Rohstoffen stattfinden konnte. Diese diente aber auch der Rechtfertigung gegenüber Vorwürfen der »Befehlswirtschaft«, die Stahlindustrie zeige zu wenig Initiative in Bezug auf Autarkiebestrebungen. So wurde die Erzeugung von manganhaltigen Schlacken im Thomas-Verfahren – schon vor dem Krieg erprobt – in der Praxis nicht durchgeführt, da es schlicht unwirtschaftlich war. Nach Kriegsbeginn begann zwar die Bewirtschaftung von Manganträgern im Deutschen Reich, aber vor allem versuchte man, der deutschen Rüstung ausländische Erze zuzuführen. Erst nach dem Verlust der sowjetischen Manganerzgruben intensivierte die Stahlindustrie wieder ihre Bemühungen, Verfahren zu entwickeln, um Ferromangan aus deutschen, niedrig konzentrierten Manganerzen zu erzeugen.

111 Niederschrift über die Sitzung des Arbeitskreises Mangan im Hauptring Eisenerzeugung am 24.3.1944, hier S. 2, ebd.

112 Niederschrift über die Sitzung des Arbeitskreises Mangan im Hauptring Eisenerzeugung am 18.8.1944, ebd.

113 Monatsstatistiken über Manganerz- und Spiegeleisenvorräte November 1943 bis November 1944 (lückenhaft), ebd.

Ausblick

Nach Kriegsende spielten diese Sonderverfahren zunächst keine Rolle mehr. Zum einen legten die Alliierten in unmittelbarer Nachkriegszeit Mengen und Qualitäten der Erze fest, die aus Deutschland zu stammen hatten. Ab Beginn der 1950er Jahre erfolgte dann ein tiefgreifender Wandel in der Versorgung der deutschen Stahlindustrie mit Erzen. Der Import von Auslandserzen stellte keine limitierende Größe mehr dar. Auch wurden neue Erzvorkommen in Übersee erschlossen und der Transport durch den Einsatz von großen Frachtern verbilligt. Seit der sukzessiven Einstellung der deutschen Erzförderung ab Ende der 1950er Jahre ist die deutsche Stahlindustrie beim Erz zu 100 % von Auslandseinfuhren abhängig. Was bleibt? Die Desoxidation von Stahl durch Aluminium und Ferrosilicium sind heute gängige Verfahren. Diese zwei Desoxidationsmittel, in beiden Weltkriegen selbst Mangelstoffe, sind heute unbegrenzt verfügbar.

In den beiden Zeitabschnitten der Autarkie, also im Ersten Weltkrieg und im »Dritten Reich«, wurde eine effektive Rohstoffbewirtschaftung erst nach Kriegsbeginn geschaffen. Die Manganlücke war in beiden Kriegen unterschiedlich ausgeprägt, doch das Instrumentarium zur Behebung dieser Lücke war ähnlich. Die entwickelten Sparstrategien umfassten ein ganzes Bündel von Maßnahmen: Die Erfassung und Reglementierung des Manganverbrauchs, der vermehrte Aufschluss deutscher manganhaltiger Erzvorkommen, die Ausbeutung von Manganerzvorkommen im besetzten Ausland, die Entwicklung von Manganersatzverfahren bei der Stahlherstellung, die Reduzierung der chemischen und technologischen Anforderungen, letzteres jedoch zu Lasten von Qualität und Produktivität. Ein weiterer technologischer Pfad öffnete sich im Ersten Weltkrieg, als durch die Wiederaufarbeitung von Reststoffen, Schlacken, das benötigte Mangan dem Werkstoffkreislauf wieder zugefügt werden konnte. Kein neu entwickeltes Kriegsmetall, nicht die Ausbeutung besetzter Länder und auch nicht die Forschungsbemühungen militärischer und ziviler Institutionen schlossen die Manganlücke, sondern das Recycling der zu Halden aufgeschütteten Schlacken aus vergangenen Jahrzehnten.

Und dennoch bewirkte der Erste Weltkrieg parallel auch einen massiven Modernisierungsschub der bis dahin weitgehend empirisch geprägten Eisenhüttenkunde. Die Gemeinschaftsarbeit der Stahlunternehmen im Rahmen der Fachausschüsse des VDEh und der enge Kontakt der Eisenhütteningenieure mit den technischen Stäben des Kriegsministeriums trugen zu einer beschleunigten Verwissenschaftlichung der Werkstoff- und Verfahrenstechnik in den Unternehmen und der ganzen Branche bei. Die Unternehmen waren gezwungen, in permanentem Austausch mit Militär-Versuchsanstalt, Waffen- und Munitionsbeschaffungsamt sowie Artillerie-Prüfungsamt, in ihre eigenen Laboratorien und Prüfungsanstalten zu investieren. Manifester Ausdruck dieser Entwicklung ist die Gründung des Düsseldorfer Kaiser-Wilhelm-Instituts für Eisenforschung 1917, maßgeblich finanziert vom VDEh und somit von der deutschen Stahlindustrie. Die hohen Anforderungen an die Werkstoffe für die Rüstungsindustrie – trotz des Rohstoffmangels – implizierte bei den Stahlerzeugern also einen enormen Modernisierungsschub, der ohne die Ersatzstoffforschung nicht denkbar gewesen wäre. Somit hat die Ersatzstoffwirtschaft durchaus nachhaltige Effekte hervorgerufen und war mehr als eine Notlösung.

Die Intensivierung der »Gemeinschaftsarbeit« unter der Federführung des VDEh und schließlich die komplexen Aushandlungsprozesse mit den technischen Rüstungsstäben waren stilbildend auch für die Gemeinschaftsarbeit in der NS-Rüstungswirtschaft. Eine abschließende Bewertung der Ersatzstoffwirtschaft als nachhaltige Innovation oder als Notbehelf wird immer zu kontroversen Ergebnissen kommen. Am Beispiel des Manganmangels wurde deutlich, dass bei der Ressourcenmobilisierung und Ersatzstoffentwicklung verschiedene Einflüsse und Interessen aufeinandertrafen. Eine Intensivierung der Forschungsanstrengungen, Investitionen in Forschungsanstalten und auch in Personal zur Schließung der »Manganlücke« waren kennzeichnend für die Montanindustrie in beiden Weltkriegen. Und dennoch müssen die Entwicklung technischer Innovationen, das Interesse der Unternehmen an einer erfolgreichen wirtschaftlichen Produktion und wirtschaftspolitische Pläne keineswegs immer einen Gleichklang ergeben. Dies erklärt, warum diese komplexe Gemengelage nur in enger Kooperation von Technik-, Wirtschafts- und Unternehmensgeschichte erforscht werden kann.

Literatur

Bading, Walter: Die Entwicklung des basischen Windfrischverfahrens. II. Herstellung von Manganschlacke. In: Stahl und Eisen 66/67 (1947), S. 180–186.

Beyschlag, Franz; Krusch, Paul: Deutschlands künftige Versorgung mit Eisen- und Manganerzen. Ein lagerstättenkundliches Gutachten. Im Auftrag des Vereins Deutscher Eisen- und Stahlindustrieller und des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute. Berlin 1917.

Bierbrauer, Karl: Zur Statistik der deutschen Eisenerzeugung im Kriege. In: Stahl und Eisen 39 (1919), S. 146–154.

Boldorf, Marcel; Haus, Rainer (Hrsg.): Die Deutsche Kriegswirtschaft im Bereich der Heeresverwaltung 1914–1918. Berlin 2016.

Büchner, Fritz: 125 Jahre Geschichte der Gutehoffnungshütte. Düsseldorf 1935.

Däbritz, Walther; Dickmann, Herbert: 75 Jahre Verein Deutscher Eisenhüttenleute 1860–1935. Düsseldorf 1935.

Deist, Wilhelm: Die Kriegsführung der Mittelmächte. In: Hirschfeld, Gerhard; Krumeich, Gerd; Renz, Irina (Hrsg.): Enzyklopädie Erster Weltkrieg. 2. Aufl. Paderborn 2014, S. 249–271.

Feldenkirchen, Wilfried: Die Eisen- und Stahlindustrie des Ruhrgebiets 1879–1914. Wiesbaden 1982.

Grupp, Hariolf; Dominguez-Lacasa, Icíar; Friedrich-Nishio, Monika (Hrsg.): Das deutsche Innovationssystem seit der Reichsgründung. Indikatoren einer nationalen Wissenschafts- und Technikgeschichte in unterschiedlichen Regierungs- und Gebietsstrukturen. Heidelberg 2002.

Hensler, Ulrich: Die Stahlkontingentierung im Dritten Reich. Stuttgart 2008.

Isert, Fritz: Eisen- und Manganerze. In: Hülsemann, Paul (Hrsg.): Die Bergwerke Deutschlands. Auf bergwirtschaftlicher und lagerstättenkundlicher Grundlage. Stuttgart 1930, S. 159–210.

Kerkhof, Stefanie van de: Von der Friedens- zur Kriegswirtschaft. Unternehmensstrategien der deutschen Eisen- und Stahlindustrie vom Kaiserreich bis zum Ende des Ersten Weltkriegs. Essen 2006.

–: Public-Private Partnership im Ersten Weltkrieg? Kriegsgesellschaften in der schwerindustriellen Kriegswirtschaft des Deutschen Reiches. In: Berghoff, Hartmut; Kocka, Jürgen; Ziegler, Dieter (Hrsg.):

Wirtschaft im Zeitalter der Extreme. Beiträge zur Unternehmensgeschichte Österreichs und Deutschlands. München 2010, S. 106–133.
Kleine Vennekate, Erik: Die Mobilisierung von Arbeitskräften an der »Heimatfront«. Der Einsatz von Frauen und Kriegsgefangenen im Ersten Weltkrieg. In: forum Geschichtskultur Ruhr, Heft 1/2014, S. 45–51.
Kleinschmidt, Christian: Rationalisierung als Unternehmensstrategie. Die Eisen- und Stahlindustrie des Ruhrgebiets zwischen Jahrhundertwende und Weltwirtschaftskrise. Essen 1993.
Königlich Preußische Geologische Landesanstalt (Hrsg.): Montanstatistik des Deutschen Reiches. Leitung Franz Beyschlag. Die Entwicklung der deutschen Montanindustrie von 1860–1912. Berlin 1915.
Luyken, Walter: Eisen und Manganerze und sonstige Rohstoffe. In: Verlag Stahleisen mbh (Hrsg.): Deutscher Stahl – Deutsche Arbeit. Düsseldorf 1934, S. 18–26.
Maier, Helmut; Zilt, Andreas; Rasch, Manfred (Hrsg.): 150 Jahre Stahlinstitut VDEh 1860–2010. Essen 2010.
Maier, Helmut: Leichter als Krupp-Stahl? Zur »Material Culture« des Aluminiums seit der Mitte des 19. Jahrhunderts. In: Meyer, Torsten; Popplow, Marcus (Hrsg.): Technik, Arbeit und Umwelt in der Geschichte. Günter Bayerl zum 60. Geburtstag. Münster 2006, S. 265–279.
Naasner, Walter: Neue Machtzentren in der deutschen Kriegswirtschaft 1942–1945. Die Wirtschaftsorganisation der SS, das Amt des Generalbevollmächtigten für den Arbeitseinsatz und das Reichsministerium für Bewaffnung und Munition / Reichsministerium für Rüstung und Kriegsproduktion im nationalsozialistischen Herrschaftssystem. Boppard/Rhein 1994.
Plumpe, Gottfried: Die I. G. Farbenindustrie AG. Wirtschaft, Technik und Politik 1904–1945. Berlin 1990.
Rasch, Manfred: Zur Gründungsgeschichte des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Eisenforschung. In: Stahl und Eisen 137 (2017), Heft 11, S. 188–192.
–: Zur Gründungsgeschichte des Kaiser Wilhelm-Institutes für Eisenforschung. In: Düsseldorfer Jahrbuch 2018, S. 277–300.
–: Unternehmungen des Thyssen-Konzerns im zarischen Rußland. In: Dahlmann, Dittmar; Scheide, Carmen (Hrsg.): »... das einzige Land in Europa, das eine große Zukunft vor sich hat.« Deutsche Unternehmen und Unternehmer im Russischen Reich im 19. und frühen 20. Jahrhundert. Essen 1998, S. 225–271.
–: The Internationalization of the Thyssen Group before the First World War. In: Barthel, Charles u. a. (Hrsg.): The Transformation of the World Steel Industry from the XXth Century to the Present. Brüssel u. a. 2014, S. 72–91.
Reichert, Jakob Wilhelm: Die deutsche Eisenwirtschaft im Weltkrieg 1914–1918. Hrsg. Wirtschaftsgruppe Eisen schaffende Industrie. Berlin o. J.
Scheffer, Ludwig: Die Bedeutung der Mangan- und Manganeisenerze für die deutsche Industrie. In: Stahl und Eisen 34 (1914), S. 1246–1254 und S. 1336–1341.
Schneiderhöhn, Hans: Die Entstehungsvorgänge der Manganlagerstätten mit besonderer Berücksichtigung ihrer Aufbereitungsmöglichkeit. Berichte der Fachausschüsse des VDEh. Bericht des Erzausschuss 14. Düsseldorf 1926.
Schrödter, Emil: Die Eisenindustrie unter dem Kriege. In: Stahl und Eisen 35 (1915), S. 125–140.
Stellwaag, Alfred: Die deutsche Eisenwirtschaft während des Krieges. Berlin, Leipzig 1922.
Treue, Wilhelm: Die Feuer verlöschen nie. August Thyssen-Hütte 1890–1926. Düsseldorf 1966.
Trischler, Helmuth: Nationales Sicherheitssystem – nationales Innovationssystem. Militärische Forschung und Technik in Deutschland in der Epoche der Weltkriege. In: Thoß, Bruno; Volkmann, Hans-Erich: Erster Weltkrieg – Zweiter Weltkrieg. Ein Vergleich. Krieg, Kriegserlebnis, Kriegserfahrung in Deutschland. Paderborn 2002, S. 107–131.
Uebbing, Helmut: Stahl schreibt Geschichte. 125 Jahre Wirtschaftsvereinigung Stahl. Düsseldorf 1999.

Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.): Gemeinfassliche Darstellung des Eisenhüttenwesens. 16. Aufl. Düsseldorf 1953.
Wengenroth, Ulrich: Die Flucht in den Käfig. Wissenschaft und Innovationskultur in Deutschland 1900–1960. In: Bruch, Rüdiger vom; Kaderas, Brigitte (Hrsg.): Wissenschaften und Wissenschaftspolitik. Bestandsaufnahmen zu Formationen, Brüchen und Kontinuitäten im Deutschland des 20. Jahrhunderts. Stuttgart 2002, S. 52–59.
Wixforth, Harald: Die Gründung und Finanzierung von Kriegsgesellschaften während des Ersten Weltkriegs. In: Berghoff, Hartmut; Kocka, Jürgen; Ziegler, Dieter (Hrsg.): Wirtschaft im Zeitalter der Extreme. Beiträge zur Unternehmensgeschichte Deutschlands und Österreichs. München 2010, S. 81–105.
Ziegler, Dieter: Kriegswirtschaft, Kriegsfolgenbewältigung, Kriegsvorbereitung. Der deutsche Bergbau im dauernden Ausnahmezustand (1914–1945). In: Ziegler, Dieter (Hrsg.): Rohstoffgewinnung im Strukturwandel. Der deutsche Bergbau im 20. Jahrhundert. Münster 2013, S. 15–182.
Zilt, Andreas: »Seine Majestät unser Kaiser, hurra!« Die deutsche Stahlindustrie im Ersten Weltkrieg. In: Stahl und Eisen 134 (2014), S. 94–98.
–: Zwischen Rüstungswirtschaft, »Stunde Null« und Wirtschaftswunder. Eduard Herzog und der Verein Deutscher Eisenhüttenleute. In: Maier, Helmut; Zilt Andreas, Rasch, Manfred (Hrsg.): 150 Jahre Stahlinstitut VDEh 1860–2010. Essen 2010, S. 177–199.

Substitutes for Natural Rubber in the First World War

Peter Morris

Introduction

This paper examines the development of substitutes for rubber in the First World War as Germany had no native sources of natural rubber. Two important substitutes were the rubber extender factice and reclaimed rubber which are often overlooked. Scholarly attention has been generally focussed on synthetic rubber because of the later importance of synthetic rubber in the Second World War. In reality, synthetic rubber in the earlier war was both poor in quality and was produced at a relatively low level, much less than the concurrent production of reclaimed rubber. Yet in several respects, the early development of synthetic rubber did assist the creation of a synthetic rubber industry in the 1930s. In the conclusion of this paper we will assess the importance of the events in the First World War for the Second World War.

It is a little-known irony that the spike in the price of natural rubber when it shot up by 135 % between 1900 and 1906 had more of an impact on the development of synthetic rubber and reclaim than the First World War itself.[1] This rapid rise in price was the result of two major economic processes being out of phase. One was the growing use of rubber for tyres, first cycle tyres and then from the late 1890s onwards, automobile tyres.[2] At the time, the main source of this rubber was still the wild rubber trees of Amazonia which produced an economic boom which enabled Belém and the better-known Manaus, the rubber centres of the Amazon, to vie with Paris with their own opera houses.[3] To meet this demand, rubber trees were being grown in the new plantations of Britain's colonies in Ceylon and Malaya and in the Dutch East Indies. However, rubber trees take several years to mature and the Asian plantations (and smallholdings) could not satisfy the demand by 1906, hence the escalation in price. Once the trees were mature, rubber flooded out of Asia and the price of standard crepe rubber at London collapsed from a peak of 12 shillings and 9 pence in 1910 to a minimum of 2 shillings in 1913, a drop of more than six-fold.[4] However, in the meantime the development of reclaimed rubber and research into synthetic rubber had boomed, with important consequences for Germany in the First World War.[5]

1 Barlow, Natural, 1978, 25.

2 Coates, Commerce, 1987, 79–80.

3 Weinstein, Amazon, 1983, especially 192–212. Vgl. Bentes, Rubber, 1999; Dean, Brazil, 1987, 36–52, and Coates, Commerce, 1987, 137–138.

4 Coates, Commerce, 1987, 154–164.

5 According to L. F. Haber, 500 patents were taken out for the manufacture of isoprene, butadiene and methyl isoprene between 1900 and 1914, Haber, Chemical, 1971, 211.

The Birth of Synthetic Rubber

The English chemist William Tilden was the first to make a truly synthetic rubber in 1892.[6] He obtained his isoprene from turpentine and found it turned into a rubbery material on standing. The French chemist Gustave Bouchardat had already polymerised isoprene derived from rubber using hydrochloric acid in 1879.[7] In Russia at the turn of the century Iwan Kondakow polymerised methylisoprene using the seeding method, whereby a seed of fresh polymer was added to a batch of monomer which eventually, over a period of a year, seemingly turned into rubber.[8] Bayer took up the problem of making synthetic rubber in 1906 following the sudden rise in the price of rubber and a talk by Wyndham Dunstan of the Imperial Institute in London which mentioned, completely prematurely, the danger posed by synthetic rubber to the natural rubber industry.[9] Fritz Hofmann in the pharmaceutical research laboratory at Bayer made polyisoprene in 1909. Isoprene is unsymmetrical and hence expensive to produce, and was obtained initially from para-cresol.[10] By contrast the symmetrical methylisoprene could be made from relatively cheap acetone using the pinacol condensation. Bayer soon succeeded in making methyl rubber on the industrial scale and the rubber firm Continental made tyres from a methyl rubber and natural rubber blend. Just as Carl Duisberg announced his firm's success in New York in 1912, it was discovered that methyl rubber was rapidly attacked by air and tyres made with it had a short life.[11] Tyres made with this methyl rubber blend tended to break up, with lumps falling off, in contrast to smooth wear of natural rubber. Furthermore it deformed on standing in cold weather and tyres developed a flat surface if parked for a long time. Tyres were even jacked up to prevent this.[12] At the same time its economic viability was undermined as the price of rubber began to fall as it became available from the Asian plantations.

Rubber in World War One

The USA was by far the biggest consumer of rubber in 1913 importing 52,821 tonnes. Britain imported half as much at 25,772 tonnes and Germany rather less still at 16,525 tonnes.[13] Russia was the next closest country with 12,763 tonnes and France lagged

6 Bate, First, 1997, 5261–5266. This paper shows the existing sample at the University of Birmingham is actually methyl rubber for whatever reason. The sample at the Science Museum, London, has not been analysed.

7 Bourchardat, Action,1879, 1117–1120. Fisher, Origins, 1944, 3–16.

8 Kondakow, Fall, 1901, 109–110. Also see Kondakow, Verhalten, 1901, 166–188.

9 Dunstan, Some, 1907, 510–520.

10 Harries, Untersuchungen, 1919, 154–155. For the early history of methyl rubber at Bayer, see Early, 19–26; Hofmann, Kautschuk, 1912, 1462–1467; Bögemann, Beiträge, 1956.

11 Early, 1966, 25.

12 Naunton, Synthetic, 1952, 102.

13 MacFadyean, History, 1944, Table 6, »Net Imports of Crude Rubber«, 232–233. Long tons have been converted to tonnes.

behind with imports of 5,843 tonnes. However, these figures were small compared with the interwar period – rubber was still a relatively unimportant product. The motorised war lay in the future, although the lack of rubber may have possibly hindered the development of the tank in Germany. Nonetheless, rubber was used for tyres, water-proofed cloth, balloons, cable insulation, boots and shoes, battery cases and gas-masks.[14] The imports of rubber fell sharply during the war. Between August and December 1914, imports were 2,583 tonnes with 219 tonnes seized from the occupied territories and seized ships, mainly Russia-bound. In 1915 imports fell to just 260 tonnes with seizures adding 657 tonnes.[15] In the following year, the U-boot blockade runner »Deutschland« arriving back from Baltimore landed 300 tonnes in September and 200 tonnes in December, boosting imports to 668 tonnes, but this route was closed when America entered the war in April 1917. Seizures had only added 37 tonnes in 1916 and in 1917, hardly any rubber reached Germany at all, only 25 tonnes in total. Seizures reached 222 tonnes in 1918, thanks to the »Hilfskreuzer Wolf« which seized 174 tonnes from Allied ships, but imports were only 2 tonnes. Stocks slumped to 194 tonnes in August 1918, a figure last seen two years earlier before the return of the »Deutschland«.

Given the extreme shortage of rubber, desperate measures had to be taken. The first step was to remove the need for rubber altogether. Pneumatic rubber tyres were still relatively new and most vehicles went back to running on metal or wooden rimmed wheels.[16] Rubber substitutes already existed and were popular with rubber manufacturers because they were cheap. Called »factis« or »factice«, they were made from vegetable oils, usually rape-seed oil in Germany.[17] Factis came in two different forms, white (or yellow) and brown (or black). The white factis was made by heating rape-seed oil with disulphur dichloride to produce a yellowish substance which was like rubber. If the rape-seed oil was heated at a higher temperature (200 °C) with sulphur, a harder brown material was produced. However factis was routinely compounded with natural rubber, usually to the extent of around 10 %, but doubtlessly higher proportions were used in the war. There was a wartime substitute for ebonite (hard rubber) called Ernolith, which had already been invented in 1912;[18] Ernolith was made by heating formaldehyde with yeast and brewery waste and this continued to be available after the war (Fig. 1).[19]

If the foundations of synthetic rubber had been laid before the outbreak of war, this was also true for reclaimed rubber. A process whereby old rubber was recycled by removing the sulphur using strong mineral acids under pressure was introduced in 1881, but the far superior alkali process which used an aqueous solution of sodium hydroxide

14 Compiled from a variety of online and published sources, cf. Plumpe, Industrie, 1983, 569.

15 Wartime figures taken from Vaas, Kautschukwarenindustrie, 1921, 217–220 and Tafel 66, 233–234. Also see Treue, Gummi,1955, 151–166.

16 Laux, Trucks, 1985, 67; Belter, German, 1920, 335.

17 Belter, German, 336; T. E. Thorpe, Factis, 1922, 115; Leighou, Chemistry, 1917; Simmons, Rubber, 1922.

18 Blücher, Plastische Massen, 1915, 934.

19 Belter, German, 336; Ernolith, 1916.

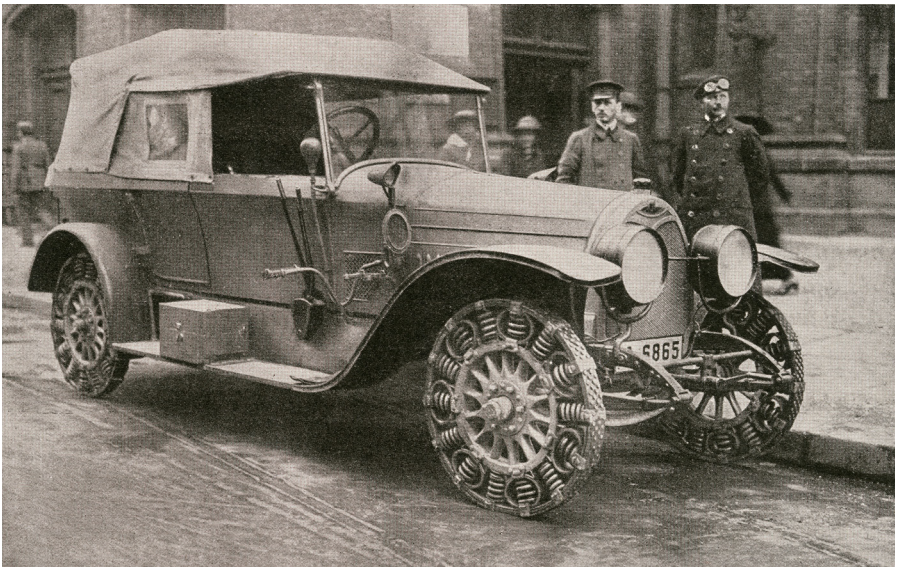


Fig. 1 Because of the lack of natural rubber during the First World War, some motor cars were fitted with iron tires with steel springs, 1916.

under pressure was patented by the American rubber chemist Arthur Marks in 1899.[20] The alkali process had the advantage of completely destroying the tyre fabric and produced a superior product. In the early twentieth century a small German reclaiming industry grew up, principally in Hannover, but it was dwarfed by the American industry and to a lesser extent the British industry. Indeed German scrap rubber had been sent to these countries for processing.[21] The German industry produced 6,568 tonnes of reclaimed rubber in the year leading up to the war.[22] The big advantage of reclaimed rubber during the war was that it could eke out synthetic rubber or factis and could use vulcanised rubber seized in the occupied territories and imported from neutral countries, which amounted to some 662 tonnes in 1917.[23] The success of the reclaimed rubber industry can be seen in the stocks of reclaimed rubber in December 1918 which still stood at 2,689 tonnes (down from 6,354 tonnes in August 1916) compared with only 162 tonnes of virgin rubber.[24] However, this also demonstrates its relative unpopularity and the

20 For the history of reclaimed rubber, see Ball, Reclaimed, 1947. For the history and technical details, see Schaefer/Isringhaus, Reclaimed, 1987.
21 Treue, Gummi, 1955, 156–157.
22 Vaas, Kautschukwarenindustrie, 1921, table 63, 212–213.
23 Ibid., 227.
24 Ibid., table 66, 234.

Fig. 2 Car tyres requisitioned for the war effort stored in the Volkshalle of Vienna City Hall, 1915.

impossibility of using it extensively in the absence of virgin rubber for blending. It appears that consumption averaged 430 tonnes/month between August 1916 and December 1918 and production was an average of 305 tonnes/month, a drop of about 20% compared with the pre-war situation.[25] This was a strong performance in the absence of sufficient natural rubber for processing (Fig. 2).

25 Ibid., 233–234.

The Revival of Synthetic Rubber

These rubber substitutes should not be confused with genuine synthetic rubber, but when the war broke out in 1914, there was little enthusiasm for methyl rubber.[26] Acetone and aluminium were in short supply because of the war demand for these substances and the synthetic rubber did not have a good reputation. However, the growing shortage of natural rubber and the production of cheap acetone from acetylene (rather than wood distillation) by Wacker and Hoechst transformed the situation.[27] Bayer had tried to make acetone from potatoes by fermentation, but this was abandoned when cheap acetylene-based acetone became available (and probably also because of food shortages).[28] Furthermore the firm Clouth Gummiwerke AG of Franz Clouth (1838–1910) in Cologne and the Accumulatorenfabrik Wilhelm Hagen KG in Soest discovered that ebonite made from methyl rubber could be used for battery cases. The rubber company Peters Union AG in Bad Homburg were able to make tyres from a methyl rubber-reclaimed rubber mixture with the help of Professor Karl Memmler (1873–1935). The performance of these tires was very poor, they had a life of only 2000 km on the Russian front, but there was no alternative given the strenuous naval blockade by the British.[29]

In order to meet the demand for methyl rubber, Bayer set up a new plant, the so-called Cu Betrieb at Leverkusen in 1917.[30] It made two types of rubber. The H-Kautschuk (the letter H is an abbreviation of the German word »hart« = hard) for battery cases was produced by the Kondakow seeding method, leaving the monomer in barrels for several months which yielded a white cauliflower-like material. The W-Kautschuk (the letter W stands for the German word »weich« = soft) was made at 70°C in a somewhat shorter period of time, but had to be dug out of the reaction vessel (Fig. 3). This yellow material was clearly inferior to H-Kautschuk – it had only a tenth of the strength of natural rubber – but was used in a blend with reclaimed rubber for tyres and balloon-fabric. Only 120 kg of methyl rubber were made in 1915, but by the summer of 1918 production was running at over 110 tonnes per month, with roughly four times more H-Kautschuk than W-Kautschuk. Total wartime production was later put at 2,500 tonnes, but it appears that it was actually about 1,750 tonnes.[31] Between July 1916 and the end of 1918, 1,311 tonnes of H-rubber was produced and 347 tonnes of W-rubber.[32] BASF also made methyl

26 For the wartime work on synthetic rubber see Early, 1966, 26–27; Gottlob, Eight, 1919; Vaas, Kautschukwarenindustrie, 1921, 228–232; Burgdorf, Artificial, 1926; Bögemann, Beiträge, 1956; Hofmann, Buna, 1936; Midgley, Synthetic, 1937; Plumpe, Industrie, 1983, 569–572.

27 Steinberger, Acetylen, 1946, 15–16.

28 Hofmann, Synthese, 1912, 696.

29 Gliesch, Rubber, 2015.

30 Report, 1919, 99, gives a brief description of the plant and there is a picture in Hofmann, Kautschuk, 1964, 209.

31 The figure of 2,500 tonnes is given by numerous authors, sometimes given cautiously as nearly 2,500 tonnes and at other times as over 2,500 tonnes, a sure indication of a dubious figure and no source is usually given. It seems that the original source for this figure may have been Hofmann, Twenty, 1928. By this time Hofmann no longer worked for Bayer and probably did not have access to the actual figures.

32 Vaas, Kautschukwarenindustrie, 1921, Table 66, 233–234.

Fig. 3 Manufacture of W-type methyl rubber in the so-called Cu Betrieb at Leverkusen, in 1917.

rubber on a relatively small scale using sodium polymerisation of methylisoprene in an atmosphere of carbon dioxide.[33] This B-Kautschuk was similar to W-Kautschuk (and just as bad) but could be worked more easily. It was mainly used for cable insulation.

In the late summer of 1918, the wartime raw materials agency, the Kriegsrohstoff-Abteilung (KRA), proposed a new plant at Worringen, just south of Dormagen facing Leverkusen across the Rhine. As Worringen was close to the Belgian border, it also proposed a full-scale synthetic rubber factory at Spergau bei Merseburg (just south of the Haber-Bosch factory at Leuna and 12 kilometres south of the later Bunawerke at Schkopau) on military security grounds. These two plants would have raised methyl rubber production to 450 tonnes a month. A basic contract was drawn up but the plans were abandoned two months later when the war ended.[34] Current production continued until June 1919, partly because the blockade was not lifted immediately, but mainly because the monomer was still being polymerised very slowly. Bayer was clearly aware that methyl rubber was vastly inferior to natural rubber and three times more expensive.[35]

33 Holt, Neuere, 1914, 156.

34 Plumpe, IG Farbenindustrie, 1990, 347–348, and Vaas, Kautschukwarenindustrie, 1921, 321. Report, 1919, 100, states that the plant was being built at the Dormagen works of Bayer, but construction was halted. Bayer's existing factory was in fact between Dormagen and Worringen.

35 Bericht über die Eigenschaften und die Prüfung von Methylkautschuk … von Dr. Balla, Bayerarchiv, Leverkusen, folder 151/1, 29 January 1918.

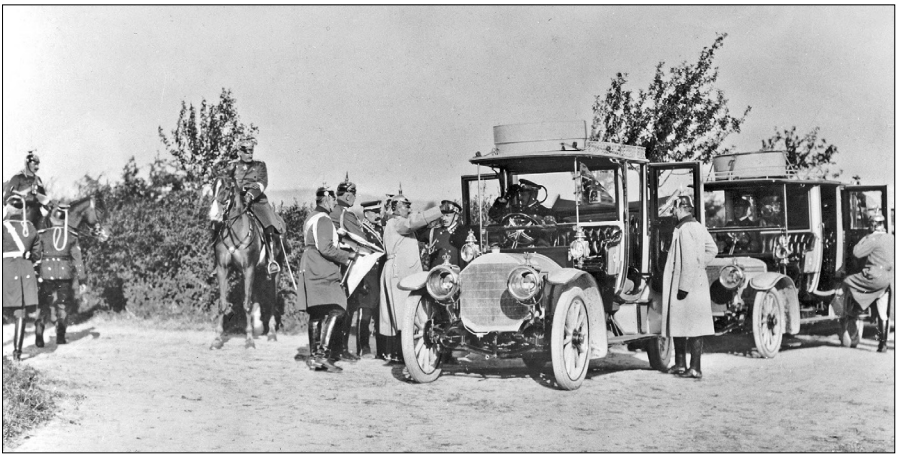


Fig. 4 The motor car of Kaiser Wilhelm II fitted with white methyl rubber tyres.

The development of synthetic rubber had also promoted the use of additives in rubber. To prevent oxidation of methyl rubber – a process which also occurs with natural rubber but more slowly – Bayer introduced anti-oxidants as additives. The main ones used were toluidine and dimethylaniline, both products of the dye industry.[36] These anti-oxidants also acted as elasticators to soften the hard synthetic rubber.[37] Mineral and fatty oils could also be used as elasticators and would have had the advantage of making the rubber cheaper by extending it, something which was taken up after the Second World War in the manufacture of oil-extended rubber based on earlier German experience. However, it does not appear that oil extension was widely used in the First World War. It is not clear if the German industry used carbon black in methyl rubber, which would have greatly improved its properties (as IG Farben later found was the case with Buna S). It has been assumed in the American literature they did not, but there is a picture of an early methyl rubber tyre which is black in contrast to the very earliest methyl rubber tyres (in a blend with natural rubber) made for Kaiser Wilhelm in 1912 which were white (from the zinc oxide added to all rubber tyres).[38] As a result of their introduction for methyl rubber (and their use even earlier in 1906 by the Diamond Rubber Co. in the USA), anti-oxidants became widely used for all types of rubber (Fig. 4).[39]

36 Early, 1966, 23.

37 Weil, Synthetic, 1926, 1176.

38 Compare the picture of the black tyre in the picture on Verg/Plumpe/Schultheis, Milestones, 1988, 191, with the white tyres in the picture on p. 192.

39 Naunton, Accelerators, 1952, 76–77 and 80.

Postwar Development of Synthetic Rubber and Reclaimed Rubber

For several years after the First World War there was no enthusiasm for synthetic rubber of any kind. Apart from its poor quality, the price of natural rubber had collapsed as the plantations of south-east Asia had come on stream and synthetic rubber could not hope to compete. However, this low rubber price also threatened to bankrupt the rubber plantations in British Malaya. Consequently, in 1922, the British government set up a scheme to limit rubber exports from Malaya to push up the rubber price and protect the British rubber growers. Unsurprisingly, there was turmoil in the rubber markets and the price of natural rubber suddenly soared in July 1925. Furious that they were at the mercy of the British government, the major consumers of rubber in the USA, Germany and the Soviet Union encouraged research into synthetic rubber.

The resumption of synthetic rubber research in Germany coincided with the formation of the German combine IG Farben, formed by the merger of Bayer, BASF and Hoechst.[40] By the time the research was temporarily halted by the Depression in 1932, IG Farben had switched from methyl isoprene to butadiene, made from coal-based acetylene although there were hopes that it could be made from the off-gases of the coal hydrogenation process. The sodium-polymerised polybutadiene – which gave rise to the name Buna (Butadien + Na) was easily worked but weak compared with natural rubber. In the early years of the Depression, IG Farben had almost accidently found a new type of synthetic rubber which were copolymers of butadiene with another suitable monomer with only one double bond. The first one to be made was Buna S (butadiene-styrene) and this was followed by Buna N (butadiene-acrylonitrile). Curiously no other useful copolymer rubbers have ever been developed despite extensive efforts. These copolymer rubbers were superior to the older synthetic rubbers in strength, but being harder they were difficult to process on the existing rubber machinery. At this point synthetic rubber appeared to have reached another dead end. One rubber was too weak and the other was strong enough, but could not be processed. Crucially they were both far more expensive than natural rubber despite the fact that the British and Dutch had now joined forces to form a new rubber cartel to keep the price of natural rubber up.

At this very point, Du Pont in America brought out an entirely new type of synthetic rubber which is now called neoprene (before 1937 it was called Duprene).[41] It was cheaper than any other synthetic rubber as it was made by adding cheap hydrogen chloride to a dimer of acetylene. Furthermore unlike natural rubber (or Buna S), it was not dissolved by oil, which made it ideal for specialized uses such as gaskets. Consequently, Du Pont marketed it as a premium rubber with a price to match. To do this, the firm forbade the use of neoprene for making tyres although it would have made a reasonable tyre material. IG Farben despairing of their rubbers were stunned by the potential of Duprene and its potential profitability (although in practice Du Pont did not make any profits for

40 This account of the post-1925 developments in synthetic rubber is based on Morris, Rubber, forthcoming, and Morris, Development, 1983; also see Plumpe, IG Farbenindustrie, 1990, 349–396.

41 Smith, Ten-Year, 1985.

several years).[42] By happy coincidence, Buna N was also found to be oil-resistant. IG Farben could either get a licence for Duprene and suppress Buna N as a rival in return or offer Buna N to Du Pont as a replacement for neoprene if for whatever reason neoprene did not work out. However, the two firms could not reach agreement. Du Pont felt that IG Farben was not offering enough for neoprene and some of IG Farben's proposals (such as a joint firm for the manufacture of synthetic rubber) would have breached American anti-trust law. Another complication was that IG Farben had to offer the copolymer rubbers to Standard Oil of New Jersey because of their collaboration in the field of coal hydrogenation and Du Pont was a rival of Standard Oil. Again there were also anti-trust law complications.

While the potential value of the copolymers on one hand and neoprene on the other was being assessed in 1933/34, another complication had arisen in Germany, namely the rise of the Nazis to power. In its relations with IG Farben, the new regime was mostly concerned with the development of petrol from coal, synthetic rubber was always to a certain extent a side-line and especially in the early period up to 1936.[43] However, Adolf Hitler himself was an enthusiastic supporter of the idea of making Germany self-sufficient in rubber by means of synthetic rubber. His support for synthetic rubber was partly pragmatic: synthetic rubber was clearly one area in which German coal could be used for the benefit of German self-sufficiency, along with synthetic petrol. But like many Germans, Hitler remembered methyl rubber as a technological success that had helped to keep the German war effort going in the First World War and he once expressed dismay that it had been abandoned after the war.[44] In all likeliness, he probably assumed that IG Farben would just start producing an updated version of the wartime methyl rubber. Knowing that the ministry of economics would be lukewarm about synthetic rubber, while seeing its value for saving foreign exchange, Hitler inserted his industrial advisor Wilhelm Keppler (1882–1960) into the negotiations to ensure that a synthetic rubber industry was developed as soon as possible. Under pressure from Keppler and indirectly from Hitler, IG Farben had to consider how to produce synthetic rubber. Buna S made a good tyre rubber, but was too difficult to process on the existing machinery of the German rubber companies. Neoprene was ideal, but Du Pont refused to give IG Farben a licence. It was only after Hitler unexpectedly announced the construction of a synthetic rubber factory at the Nürnberg rally in September 1935 that this logjam was broken. A small plant was set up at Schkopau near Leuna in central Germany in April 1936, and the construction of a full-scale factory began a year later. IG Farben began with the unsatisfactory Buna rubber but was able to switch to Buna S thanks to the development of the thermal plasticisation process (thermischer Abbau) in 1937, which softened the rubber by heating it in air, but also weakened it (Fig. 5).

42 For the history of IG Farben's relationship with American firms in the synthetic rubber field, see Morris, Transatlantic, 1992, 57–89.

43 Hayes, Industry, 2001; Birkenfeld, Treibstoff, 1964.

44 Cameron/Stevens, Hitler's, 1973, 73, 18 October 1941, evening. His comments about self-sufficiency may have been stimulated by the presence that evening of Albert Speer.

Fig. 5 A boy in uniform examining a Buna tyre in front of a propaganda placard about the Heereswaffenamt (Army Ordnance Office) testing Buna rubber at the International Motor Show in Berlin, February 1936.

A second synthetic rubber factory was established in 1937 at Hüls on the northern edge of the Ruhr which made acetylene from hydrocarbons (eventually natural gas) using an electric arc.[45] IG Farben and the state could not agree on the site of, or even the need for, a third factory before the Second World War broke out. This was despite the fact that the government's synthetic rubber policy was now determined by Carl Krauch (1887–1968) and Johannes Eckell (1903–?), who had previously worked in the IG Farben-Sparte I. However, they did not always see eye-to-eye with Fritz ter Meer (1884–1967) and Otto Ambros (1901–1990), the managers of IG Farben's synthetic rubber activities who worked for the rival Sparte II. By the summer of 1939, the factory at Schkopau had entered full production but the completion of Hüls was still a year off. This meant that the production of synthetic rubber in 1939 was still only 20.6 metric tonnes. After Krauch had pressed IG Farben for a third plant, work was begun on a factory which would use the new three-step process for butadiene developed by Walter Reppe (1892–1969) in early 1940 but it was abandoned by the company in the summer after the fall of France. Eventually the Reppe plant was set up at Ludwigshafen, one of IG Farben's main factories, despite the fact it was close to the French border and was also a major target for aerial bombardment by the Allies. Significantly it was also Ambros's (and Reppe's) home factory and the location of the synthetic rubber planning office. Krauch and Eckell now insisted that the fourth factory they wanted had to be in a much safer location. Ambros

45 Lorentz/ Erker, Chemie, 2003.

now returned to Upper Silesia, an area he had considered in 1938, and chose Auschwitz as the site for a factory which for the first time would combine synthetic petrol, synthetic methanol and synthetic rubber. The connection between the selection of this site and the development of the nearby extermination centre remains controversial.[46] Certainly, once the construction of the factory got underway, it was supplied with extermination camp inmates by Heinrich Himmler who was eager for the SS to be involved with major industrial projects. Conversely the managers of IG Farben, notably Otto Ambros, now became closely linked to Nazi Germany's major extermination project, even to the extent of selecting worn-out or uncooperative workers for »special treatment« (Sonderbehandlung, i.e. gassing). Partly because of passive resistance on the part of the workers (and indeed their sheer inability to work on the meagre rations they were given) and unexpected Allied air raids, the factory was only nearing completion when it was abandoned in the face of the advancing Red Army in January 1945.

The quality of Buna S was improved during the war by introduction of sulphur-containing chemicals called modifiers into the polymerisation recipe. The resulting Buna S3 was more easily worked and the destructive thermal plasticisation step was no longer needed. The peak of synthetic rubber production was in 1943, when IG Farben made 110,500 tonnes of Buna S and 3,700 tonnes of Buna N, which was used as a specialty rubber resistant to both oil and chemicals.

Once again, we should not overlook the role played by reclaimed rubber which had the important advantage that it could be easily processed on the existing machinery. In the same way as synthetic rubber, the reclaimed rubber industry was given a boost by the attempts of the natural rubber producers to shore up its price. Exact figures for Germany were impossible to find, even at the time, it was said to be impossible to get any figures.[47] However, the normal capacity of the German reclaimed rubber industry has been put at 50,000 tonnes.[48] This seems high for the mid-1930s, when imports reached a peak of 99,745 tonnes.[49] The comparison between natural rubber and reclaim is complicated by the fact that reclaimed rubber is only partly rubber. A correction factor of 60 % has been suggested, which would make the amount of reclaimed rubber in terms of rubber 30,000 tonnes, or about a third of virgin rubber use, which seems more reasonable and in keeping with the ratio in the United States.[50] Only 5.6 % (511 tonnes) of Continental's rubber production was reclaimed rubber in 1932, but this had grown to 14.4 % in 1938 and at 5,702 tonnes greatly overshadowed synthetic rubber at 1,229 tonnes (or 3.1 %).

46 Kilian, Buna-Werk, 2015; Wagner, IG Auschwitz, 2000; Hayes, Industry and Ideology, 2001, 347–368; White, Politics, 1989.

47 Memmler/Dunsbrook/Morris, Science, 1934, 346.

48 Wallace, Statistical, 1952, 338. The figure of 50,000 is in long tons, but the difference from metric tonnes is small given the uncertainty.

49 Wallace, Statistical, 1952, 334.

50 For the figure of 60% rubber content, see Wallace, Statistical, 1952, 338, and for the ratio between reclaimed and virgin rubber in the USA, which varied between 50% in 1928 and 20% in 1933, see Wallace, Statistical, 1952, 337.

Synthetic rubber now took over, and while reclaimed rubber remained important in relative terms at Continental in 1943 at 19.8 %, the absolute amount was only 4,162 tonnes compared with 15,628 tonnes for synthetic rubber.[51] The latter figure also implies that Continental accounted for 13.7 % of all synthetic rubber processed in Germany. A similar ratio applied to reclaimed rubber would also suggest a total figure of around 30,000 tonnes/year in terms of rubber. Continental also found other ways of saving natural rubber, for example adding cotton waste to natural rubber for use in tyres.[52] One might have thought that the introduction of synthetic rubber might have complicated the recycling of rubber. However, it appears that the German shoewear industry made a paste from ground tyres, rosin, oil and an aromatic thiol which could be used for soles without any direct processing of the rubber.[53] Indeed Continental said that mixed reclaim worked efficiently and Deutsche Dunlop investigated the reclaiming of Buna S, which was made easier by the introduction of Buna S3.[54]

Conclusions

There are three key points in assessing the rubber situation in the First World War. The need for rubber or a rubber substitute was desperate, but the alternatives were not very good. However they were not strictly wartime Ersatz, but products (factis, methyl rubber, reclaim) which had been available before the war. Synthetic rubber was part of this mix, but it was not predominant in terms of volume and offered little in terms of an acceptable quality, being comparable to factis and nowhere near as good as reclaimed rubber. Given that it was also far more expensive than natural rubber and tied up chemical plant for several months while it was slowly being formed, it is hardly surprising that Bayer and BASF quickly abandoned it after the war.

The resumption of the synthetic rubber research in 1925 had everything to do with the British attempts to control the natural rubber market and nothing to do with past experience with methyl rubber. Even the improved understanding of polymerisation as a result of the work of Hermann Staudinger was not crucial until his students started to join IG Farben in the late 1920s. Insofar the experience of Bayer and BASF with methyl rubber was relevant, it was largely of a negative nature. Butadiene was adopted as the monomer rather than methylisoprene and much effort was put into the development of new, more rapid methods of polymerisation. Nor with the exception of Kurt Meisenburg (1882–1943) at Leverkusen was there much continuity of personnel. Four of the major figures in the research effort on synthetic rubber in IG Farben – namely Claus Heuck (1900–1991), Walter Bock (1895–1948), Hans Lecher (1887–1970) and Erich Konrad (1894–1975) – had joined the company (or its predecessors) between 1925 and 1927.

51 Erker, Wettbewerb, 2005, Tafel 21, 427.

52 Erker, Wettbewerb, 2005, 426.

53 A discussion of the different materials used for shoe soles is unfortunately missing in the remarkable dissertation by Sudrow, Schuh, 2010.

54 Dawson, Rubber, 1948, 64–65.

While the original sodium-polymerised polybutadiene (which gave Buna its name) shared sodium metal as the polymerisation initiator with the methyl rubber made at BASF during the war, the synthetic rubber which was eventually brought to the industrial scale in the mid-1930s – a copolymer with styrene and produced by a free-radical polymerisation in an emulsion – was a very different rubber.

Yet in a perhaps surprising way, this new industry owed a great debt to methyl rubber. As awful as methyl rubber may have been, many Germans recalled it with pride and when Hitler came to power in 1933, he was keen to see the success of synthetic rubber in the First World War repeated, as he later recalled in his »Table Talk«. Whereas IG Farben would have been content with the development of a profitable specialty rubber on a relatively small scale, Hitler through his agent [Vertrauensmann] Keppler and directly through his public speeches strongly pushed for the development of a mass-produced synthetic rubber which could replace natural rubber. With the enthusiastic backing of Hitler and his belief in national self-sufficiency (Autarkie), the future of synthetic rubber in Germany was assured.

As important as the industrial development of synthetic rubber in Germany was, it must not be forgotten that by the late 1930s it was also produced in Soviet Russia, the USA and Italy. Nor should we overlook reclaimed rubber which carried much of the burden in the First World War and during the late 1930s and the early years of the Second World War. Reclaim had two major advantages lacking in synthetic rubber – it was easily worked (more so than even virgin rubber) and it was cheap. At its most basic, it was even very simple to do. However in both wars there was a limit to how much reclaimed rubber could be produced and used. Only natural rubber could be used as a feedstock (and the reclaiming process cannot be repeated indefinitely) and for many applications (crucially tyres), the reclaimed rubber had to be blended with virgin natural rubber. Once perfected synthetic rubber could replace natural rubber for most uses (although not all uses, large tyres remained a problem for many years and synthetic rubber cannot be used for radial-ply tyres). Once the falling cost of oil made the monomers cheap and synthetic rubber could be compounded with cheap mineral oil (a consequence of the cold polymerisation process invented in Germany in the Second World War but developed in the USA), synthetic rubber came to dominate rubber production, at least in the USA where radial tyres were not popular. However, we must not assume that this is a direct consequence of events in Germany in First World War. The idea of making synthetic rubber was born in the price boom of the early 20th century. Furthermore the path of innovation is always crooked and has multiple roads leading to it.

Literature

–: Early Days of Synthetic Rubber at Farbenfabriken Bayer. In: Technical Notes for the Rubber Industry 36 (1966), 18–27.

–: Ernolith: A New Celluloid Substitute. In: Journal of the Franklin Institute 182 (1916), 128–129.

–: The Report of the British Chemical Mission to Germany. [London] 1919.

Ball, John McNickle: Reclaimed Rubber: the Story of an American Raw Material. New York 1947.
Barlow, Colin: The Natural Rubber Industry. Kuala Lumpur 1978.
Bate, David M. et al: The First Sample of Synthetic Rubber Made by William Tilden in 1892: Modern Work Reveals a Mystery. In: Polymer 38 (1997), No 21, 5261–5266.
Belter, A.: German War Substitutes. In: Scientific American 2 (1920), No 4, 333–336.
Bentes, Rosineide da Silva: Rubber Enterprises in the Brazilian Amazon, 1870-1930. Diss. London School of Economics, 1999.
Birkenfeld, Wolfgang: Der synthetische Treibstoff, 1933–1945. Ein Beitrag zur nationalsozialistischen Wirtschafts- und Rüstungspolitik. Göttingen/Berlin/Frankfurt 1964.
Blücher, Hans: Plastische Massen aus Hefen. In: Chemiker-Zeitung 39 (1915), 934.
Bögemann, Max: Beiträge zu einer geschichtlichen Darstellung der auf dem Gebiet der Kautschuksynthese in den Farbenfabriken vorm. Friedrich Bayer und Co. in Elberfeld durchgeführten Arbeit in den Jahren 1907–1918. Unpublished manuscript, 1956, Bayerarchiv, Leverkusen.
Bouchardat, Gustave: Action des hydracides sur l'isoprène; reproduction du caoutchouc. In: Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 89 (1879), 1117–1120.
Burgdorf, C. C.: Artificial Rubber during the War in Germany. In: Industrial and Engineering Chemistry 18 (1926), 1172–1173.
Cameron, Norman; Stevens, R. H. (translators): Hitler's Table Talk, 1941–1944: His Private Conversations. 2nd. ed. London 1973.
Coates, Austin: The Commerce in Rubber: The First 250 Years. Singapore 1987.
Dawson, Thomas Rayner: The Rubber Industry in Germany during the Period 1939–1945, BIOS Overall Report No. 7. London 1948.
Dean, Warren: Brazil and the Struggle for Rubber: A Study in Environmental History. Cambridge 1987.
Dunstan, Wyndham: Some Imperial Aspects of Applied Chemistry. In: Report of the Seventy-Sixth Meeting of the British Association for the Advancement of Science, York, August 1906. London 1907, 510–520.
Erker, Paul: Vom nationalen zum globalen Wettbewerb. Die deutsche und amerikanische Reifenindustrie im 19. und 20. Jahrhundert. Paderborn 2005.
Fisher, Harry Linn: The Origins and Development of Synthetic Rubbers. In: Symposium on the Applications of Synthetic Rubbers. Philadelphia 1944, 3–16.
Gliesch, Oliver: Rubber. In: 1914–1918-online. International Encyclopedia of the First World War, ed. by Ute Daniel et al. Berlin 2015, 11–27.
Gottlob, Kurt: Eight Years Work on Synthetic Rubber, German War Time Uses Described. In: India Rubber Journal 58 (1919), 305–308, 348–350, 391–395 and 433–436.
Haber, Ludwig Fritz: The Chemical Industry 1900–1930. International Growth and Technological Change. Oxford 1971.
Harries, Carl Dietrich: Untersuchungen über die natürlichen und künstlichen Kautschukarten. Berlin 1919, 154–155.
Hayes, Peter: Industry and Ideology: IG Farben in the Nazi Era. 2nd ed. Cambridge/Mass. 2001.
Hofmann, Fritz: Der synthetische Kautschuk: Vom Standpunkt der Technik. In: Zeitschrift für angewandte Chemie 25 (1912), 1462–1467.
–: Twenty Years of Synthetic Rubber. In: India Rubber and Tire Review 28 (1928), 28.
–: Buna und Kriegskautschuk aus Kohle. In: Naturwissenschaften 24 (1936), 423–426.
Hofmann, Werner: Kautschuk. In: Jesch, Karl: Beiträge zur hundertjährigen Firmengeschichte, 1863–1963. Leverkusen 1964, 208–210.
Holt, Arthur: Neuere Arbeiten auf dem Kautschukgebiet. In: Zeitschrift für angewandte Chemie 27 (1914), 153–158.
Kilian, Andreas: Buna-Werk Auschwitz: Die maßgeblichen Entscheidungsgründe der IG Farben für die Standortwahl Dwory-Monowitz. Hamburg 2015.
Kondakow, Iwan: Ein bemerkenswerther Fall von Polymerisation des Diisopropenyls [Dimethyl-2,3-Butadien-1,3]. In: Journal für praktische Chemie 64 (1901), 109–110.

–: Ueber das anormale Verhalten der Poly-Haloïdverbindungen zu alkoholischer Kalilauge. In: Journal für praktische Chemie 64 (1901), 166–188.
Laux, James Michael: Trucks in the West during the First World War. In: Journal of Transport History 6 (1985), S. 64–70.
Leighou, Robert Benjamin: Chemistry of Materials of the Machine and Building Industries. New York 1917.
Lorentz, Bernhard; Erker, Paul: Chemie und Politik. Die Geschichte der Chemischen Werke Hüls 1938 bis 1979. Eine Studie zum Problem der corporate governance. München 2003.
MacFadyean, Andrew (ed.): The History of Rubber Regulation, 1934–1943. London 1944.
Memmler, Karl; Dunbrook, Raymond Frederick; Morris, Vlon Neilan: The Science of Rubber. New York 1934.
Midgley, Thomas: Synthetic and Substitute Rubbers. In: Davis, Carroll Campbell; Blake, John Twiss (ed.): The Chemistry and Technology of Rubber. New York 1937, 688–690.
Morris, Peter John Turnbull: Rubber for the Reich: The Development of Buna S by IG Farben. Montreal, forthcoming.
–: The Development of Synthetic Rubber by IG Farbenindustrie AG, 1925–1945. Diss. phil. Oxford 1983.
–: Transatlantic Transfer of Buna S Synthetic Rubber Technology, 1932–1945. In: Jeremy, David (ed.): The Transfer of International Technology: Europe, Japan, and the USA in the Twentieth Century. Aldershot 1992, 57–89.
Naunton, William Johnson Smith: Synthetic Rubber. In: Schidrowitz, Philip; Rayner Dawson, Thomas (ed.): History of the Rubber Industry. Cambridge 1952, 100–109.
–: Accelerators of Vulcanisation Anti-Oxidants and Vulcanising Agents. In: Schidrowitz, Philip; Rayner Dawson, Thomas (ed.): History of the Rubber Industry. Cambridge 1952, 74–82.
Plumpe, Gottfried: Industrie, technischer Fortschritt und Staat. Die Kautschuksynthese in Deutschland 1906—1944/45. In: Geschichte und Gesellschaft 9 (1983), 564–597.
–: Die I.G. Farbenindustrie AG: Wirtschaft, Technik und Politik 1904–1945. Berlin 1990.
Schaefer, Roger; Isringhaus, R. A.: Reclaimed Rubber. In: Morton, Maurice (ed.): Rubber Technology, 3rd. ed. New York 1987, 505–517.
Simmons, Hezzleton Erastus: Rubber Manufacture. London 1922.
Smith, Jr., Kenly, John: The Ten-Year Invention: Neoprene and Du Pont Research, 1930–1939. In: Technology and Culture 26 (1985), 34–55.
Steinberger, Franz Karl: Die Acetylen-Chemie in Höchst. Frankfurt-Höchst, 1946.
Thorpe, Thomas Edward: Factis. In: Thorpe, Thomas Edward: A Dictionary of Applied Chemistry, Bd. 3. London 1922, 115.
Sudrow, Anne: Der Schuh im Nationalsozialismus. Eine Produktgeschichte im deutsch-britisch-amerikanischen Vergleich. Göttingen 2010.
Treue, Wilhelm: Gummi in Deutschland: Die deutsche Kautschukversorgung und Gummi-Industrie im Rahmen weltwirtschaftlicher Entwicklungen. München 1955.
Vaas, Wilhelm: Die Kautschukwarenindustrie Deutschlands. Berlin 1921.
Wagner, Bernd C.: IG Auschwitz: Zwangsarbeit und Vernichtung von Häftlingen des Lagers Monowitz 1941–1945. München 2000.
Wallace, G. L.: Statistical and Economic Outline. In: Schidrowitz, Philip; Rayner Dawson, Thomas (ed.): History of the Rubber Industry. Cambridge 1952, 327–342.
Weil, Richard: Synthetic Rubber. In: Industrial and Engineering Chemistry 18 (1926), 1174–1177.
Weinstein, Barbara: The Amazon Rubber Boom, 1850–1920. Stanford 1983.
White, Joseph Robert: The Politics of Labor Utilization: I.G. Farben, the SS and Auschwitz. Diss. Georgia State University 1989.

Ersatz für Grundchemikalien und Chemieprodukte

Flüssige Treib- und Schmierstoffe. Substitutionsmöglichkeiten für Deutschlands Industrie und Militär während des Ersten Weltkriegs

Manfred Rasch

Die Ausgangslage: Eine fehlende wirtschaftliche Kriegsvorbereitung

Deutschland trat wirtschaftlich unvorbereitet in den Ersten Weltkrieg ein. Zwar hatten einzelne Ministerien Preußens die Importabhängigkeit des Deutschen Reichs in den Jahren vor Kriegsbeginn wahrgenommen und erste Studien über mögliche Auswirkungen im Fall eines Kriegs in Auftrag gegeben. Aber die erforderlichen Rückschlüsse für die Militärplanungen waren (noch) nicht gezogen und folglich keine Maßnahmen eingeleitet.

Die Motorisierung der Kriegsführung durch Lastkraftwagen hatten deutsche Militärs nur halbherzig mitgemacht. Der PKW- und LKW-Bestand war im Vergleich zu Frankreich und Großbritannien sowohl in Bezug auf die Bevölkerungszahl als auch in absoluten Zahlen niedrig. Entsprechende Anreize für Unternehmer zum Kauf von LKWs – die im Kriegsfall dem Militär zur Verfügung stehen sollten – hatten den Rückstand nicht kompensieren können. Die Entwicklung zu motorisierten Schleppern, insbesondere für schwere Belagerungsgeschütze, hatte Deutschland versäumt, treffenderweise hieß die entsprechende Waffengattung in Deutschland »Fußartillerie«. Die verbündete österreichisch-ungarische Doppelmonarchie war auf diesem Gebiet schon weiter fortgeschritten.

Mit Beginn des Ersten Weltkriegs wurden die Kriegsmaßnahmen auch auf Wirtschaft und Handel ausgedehnt. Großbritannien verhängte gegen die Mittelmächte eine Handelsblockade und setzte diese mithilfe seiner Flotte ab November 1914 im Atlantik – und nicht, wie von den Deutschen erwartet, in der Nordsee – durch. Das Deutsche Reich wurde schon in den ersten Kriegswochen von wesentlichen Teilen seiner Importe abgeschnitten, auch wenn weiterhin Waren über die neutralen Niederlande rheinaufwärts nach Deutschland verschifft werden sollten oder über Italien und die neutrale Schweiz ins Land kamen. Auf diese Wirtschaftssituation war das Deutsche Reich nicht vorbereitet. Zwar gelangten in den ersten Kriegsmonaten noch einzelne kriegswichtige Rohstoffe nach Deutschland, doch schon in den ersten Kriegstagen wurden neben Kupfer, Salpeter- und Schwefelsäure auch Schmier- und flüssige Treibstoffe zu Mangelprodukten der deutschen Rohstoffversorgung.

Erste Sofortmaßnahmen

Schon nach 14 Tagen wurde im preußischen Kriegsministerium eine Kriegsrohstoffabteilung gegründet, initiiert am 8. August 1914 von den beiden AEG-Managern Wichard von Moellendorff (1881–1937) und Walther Rathenau (1867–1922).[1] Ersterer war bei der

1 Zuerst thematisiert von Burchardt, Rathenau, 1970.

AEG für den Rohstoffeinkauf zuständig und kannte die Importabhängigkeit seiner Firma (und des Deutschen Reichs) bei einzelnen Metallen, insbesondere beim für die Elektroindustrie so wichtigen Kupfer. Letzterer war der Aufsichtsratsvorsitzende der AEG und ein politisch und kulturell interessierter Industrieller.

Defizite bei der Rohstoffversorgung der chemischen Industrie, insbesondere der Sprengstoffindustrie, realisierte besonders früh der Berliner Chemie-Professor und erste deutsche Chemie-Nobelpreisträger, Emil Fischer (1852–1919).[2] Er förderte seit der Jahrhundertwende zusätzlich zu seinen eigenen Forschungen auf dem Gebiet der organischen Chemie auch die anorganische Chemie und die Radiumforschung. Er war die graue Eminenz der 1911 gegründeten Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, einer zunächst insbesondere auf die Chemie ausgerichteten privaten, aber staatlich gelenkten Forschungsförderungsgesellschaft unter kaiserlichem Protektorat.[3] Er besaß gute Beziehungen zu den maßgebenden Generaldirektoren der großen chemischen Werke, aber auch zur Politik; seine Patenteinnahmen übertrafen sein Gehalt.

Fischer erkannte früh, dass die gedrosselte deutsche Industrieproduktion kurzfristig Mangelsituationen in rüstungsrelevanten Bereichen der Chemie hervorrufen musste. Die Stilllegung von Hochöfen mangels Fachkräften und Nachfrage führte dazu, dass die Kokereibetreiber ihre Produktion der gesunkenen Nachfrage anpassten. Bei den mit Nebenproduktgewinnungsanlagen ausgestatteten Kokereien bedeuteten Stilllegung oder langsamerer Betrieb einen Ausfall an Nebenprodukten wie Ammoniak und Benzol. Insbesondere ersteres wurde für die Sprengmittelproduktion benötigt, letzteres war ebenfalls für die Erzeugung von Sprengstoffen geeignet, ließ sich aber auch für die Farbherstellung einsetzen oder als Treibstoff für Verbrennungsmotoren. Um die für die Sprengstofferzeugung wichtige Ammoniakproduktion zu erhöhen, bereiste Emil Fischer das Ruhrgebiet und besprach am 22. September 1914 beim Rheinisch-Westfälischen Kohlen-Syndikat (RWKS), wie die Kokserzeugung – und die daran gekoppelte Ammoniak-, Benzol- und Toluolgewinnung – wieder auf das Vorkriegsniveau zu steigern sei. Seit er 1912 in Mülheim/Ruhr in einem Vortrag vor Industriellen für die Gründung eines Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung geworben hatte, kannte er zahlreiche bedeutende rheinisch-westfälische Montanindustrielle, die er zuletzt am 27. Juli 1914 bei der Einweihung dieses Instituts gesehen hatte. Finanzielle Überlegungen (unverkäuflicher Koks) scheinen etliche Montanunternehmer bei ihren Entscheidungen den eigentlich erwarteten patriotischen Motiven vorgezogen zu haben. Es fehlte der notwendige Absatz, weshalb Koks die Kohle möglichst überall als Verbrennungsmaterial substituieren sollte, um so trotz geringerer Roheisenproduktion die vorhandene Kokserzeugung mit Nebenproduktengewinnung voll auszunutzen. Der Staat, namentlich Paul von Breitenbach (1850–1930) als Minister der öffentlichen Arbeiten und Leiter des Reichseisenbahnamtes, hatte den vermehrten Einsatz von Koks bei der Eisenbahn zugesagt, jedoch schien zunächst nur die bayerische Staatsbahn zum Bezug des teureren Kokses bereit, weshalb das RWKS

2 Feldman, Scientist, 1973.
3 Brocke/Vierhaus, Forschung, 1990.

Koks zum Kohlenpreis abgeben wollte.[4] Koks war jedoch nicht ohne weiteres in Industriefeuerungen einsetzbar, da er einen geringeren Heizwert bei gleichzeitig höherem Aschegehalt besaß. Durch Mischung mit Kohle ließen sich diese Probleme jedoch beheben. Im Laufe des Krieges wurden deshalb – in Fortführung der um die Jahrhundertwende eingesetzten Entwicklung – weitere Kokereien mit Nebenproduktengewinnungsanlagen ausgestattet bzw. neue Kokereien gleich mit diesen Nebenbetrieben ausgerüstet. So errichtete der Kokereibauer Dr. C. Otto & Comp. GmbH im Krieg ein städtisches Gaswerk (Kiel-Wik II) und acht entsprechende Kokereien, allein fünf Anlagen in 1916.[5] Die letzten Vorbehalte der Hochöfner gegen die Koksqualität aus Kokereien mit Nebenproduktengewinnung scheinen in dieser Zeit überwunden worden zu sein.

Zu den Koppelprodukten der Nebenproduktenkokereien gehörte auch das Koksgas, das die Kokereibetreiber seit der Jahrhundertwende an die umliegenden Gemeinden gewinnbringend als Heiz- und Beleuchtungsstoff veräußerten. Das Kokereigas substituierte – ebenso wie das in städtischen Gaswerken gewonnene Stadtgas – seit geraumer Zeit das Beleuchtungspetroleum. Diese Entwicklung wurde im Krieg zusätzlich forciert. Städtische Gaswerke waren schon mit Nebenproduktgewinnungsanlagen ausgestattet, da diese bei der Stadtgasgewinnung von Anfang an zum Produktionsverfahren gehörten, und zwar nicht aus ökonomischen Gründen, sondern um die Kunden vor Geruchsbelästigung zu schützen und Verstopfungen der Rohrleitungen durch Kondensation höherer Kohlenwasserstoffe zu vermeiden. Nicht gewonnen wurde jedoch das Benzol, das den Heizwert des Gases erhöht und eine hellere Flamme beim Gaslicht gab. Ab 1915 mussten die städtischen Gaswerke auch Benzolwäscher installieren, um Toluol für die Sprengstoffproduktion zu gewinnen. Ab 3. Februar 1915 leitete Emil Fischer eine vom preußischen Kriegsministerium gebildete Kommission zur Beschaffung von Kokereiprodukten, ein Zusammenschluss von Wissenschaft, Industrie und Staat/Militär zur Koordinierung entsprechender Anstrengungen. Das Hauptaugenmerk galt dem Toluol und der Sprengstofferzeugung, aber auch dem Marineheizöl. Die ersten zusätzlichen Benzolwäscher auf Gaswerken und Kokereien gingen im September/Oktober 1915 in Betrieb.[6]

Die Schmier- und Treibstoffversorgung hatten weder Emil Fischer noch Wichard von Moellendorff oder Walther Rathenau zu Beginn des Kriegs thematisiert. Dies lag zunächst außerhalb ihres eigenen Interessenbereiches, dabei war das Deutsche Reich beim Mineralöl in hohem Maße von Importen abhängig. Deutschland bezog vor dem Krieg jährlich 700 000 t Mineralöl aus den USA, 230 000 t aus Österreich-Ungarn, 150 000 t aus Russland und 110 000 t aus Rumänien, davon waren Schmiermittel: USA 102 000 t, 38 000 t aus Österreich-Ungarn, 90 000 t aus Russland und 30 000 t aus Rumänien. Dagegen betrug die inländische Jahresförderung (Pechelbronn/Elsaß und Wietze bei

4 Rasch, Geschichte, 1989, S. 64. Vortrag von Excellenz Fischer vom Kaiser Wilhelm-Institut in Berlin am 22. September 1914, Typoskript (Ergebnisprotokoll) in: montan.dok/BBAQ 8/495.

5 Verzeichnis der von der Firma Dr. C. Otto & Comp. GmbH Dahlhausen o. D. Ruhr in Deutschland entworfenen und gebauten Koksofen-Anlagen. In: thyssenkrupp Konzernarchiv, Duisburg (im Folgenden tka) TSO/113/1.

6 Flachowsky, Kohle, 2010, S. 19–50.

Hannover) nur 150000 t Rohöl minderer Qualität.[7] Außerdem wurden in den Nebenproduktgewinnungsanlagen der Kokereien und städtischen Gaswerke Benzol sowie Teeröle gewonnen, die zu Treib- und Schmierstoffen weiterverarbeitet werden konnten. Vergleichsweise geringe Mengen an Paraffinen, Montanwachs und Teeröl lieferte zudem die Braunkohlenschwelindustrie im sächsisch-thüringischen Raum. Außerdem wurde auch Ölschiefer – beispielsweise auf der Grube Messel bei Darmstadt – geschwelt.[8]

Mit Kriegsbeginn stockte die gesamte Mineralölzufuhr. Die britische Seeblockade brachte die überseeischen Importe zum Erliegen, während mangelnde Transportkapazitäten (Kesselwagen, Donauschiffe) und die Einstellung des (privaten) Güterverkehrs in der k.u.k. Monarchie die Einfuhr aus Österreich-Ungarn sowie die Umleitung rumänischer Lieferungen behinderten, die bisher über See nach Hamburg verschifft worden waren. Außerdem besetzten zaristische Truppen zu Kriegsbeginn die galizischen Ölfelder, jedoch ohne diese bei ihrem Rückzug im Frühjahr 1915 zu zerstören. Noch war die Entgrenzung des Kriegs gegen Zivilbevölkerung und Privatwirtschaft nicht total. Und doch bedeutete der Krieg für die österreichisch-ungarische Erdölförderung in den Jahren 1914 und 1915 einen Rückgang auf 60% der Förderung des Jahres 1913. Auch in den Jahren 1917/18 konnten nur knapp 84% der Vorkriegsförderung erreicht werden.[9]

In der Mineralölversorgung blieb das Deutsche Reich in den ersten Kriegsmonaten auf seine eigenen Rohölquellen und Produktionsmöglichkeiten sowie auf die eigenen und im Westen erbeuteten Lagerbestände angewiesen, aber die waren für den bisherigen Verbrauch unzureichend.

Frühe Substitutionsbemühungen

Einer, der den sich zwangsläufig ergebenden Mineralölmangel früher als viele andere wahrnahm, war der Privatdozent und Forschungsleiter der Th. Goldschmidt AG in Essen, Friedrich Bergius (1884–1949).[10] Er hatte ein Verfahren zur Hydrierung von Mineralölen entwickelt (DRP 304348 vom 6. Mai 1913)[11] und am 9. August 1913 zusammen mit seinem Mitarbeiter, dem Schweizer John Billwiller, ein »Verfahren zur Herstellung von flüssigen oder löslichen organischen Verbindungen aus Steinkohle u. dgl.« (DRP 301231) zum Patent angemeldet. Dies war in gewisser Weise die logische Weiterentwicklung des einige Monate zuvor angemeldeten Verfahrens zur Mineralölhydrierung und stellte die

7 Laut Denkschrift Kurt Wiedenfeld vom Oktober 1917 »Deutschlands Rohstofflage und Rohstoff-Aufgabe«, S. 13, in: Bundesarchiv Koblenz (im Folgenden BA Koblenz), NL Saemisch Nr. 78; Angaben zu den Schmiermitteln nach Hilliger, Schmiermittel, 1921, S. 342.

8 Rasch, Geschichte, 1989, S. 75.

9 Genauere Zahlen bei Rumpler, Habsburgermonarchie, 2014, S. 292.

10 Rasch, Bergius, 1985; Rasch, Bergius und Kohleverflüssigung, 1985.

11 DRP 30348 vom 6.5.1913, Friedrich Bergius und Aktiengesellschaft für Petroleumindustrie, Nürnberg: Verfahren zum Spalten hochsiedender Kohlenwasserstoffe in Benzine unter gleichzeitiger Überführung der ungesättigten Kohlenwasserstoffe in gesättigte. Die Anmeldung erfolgte durch Friedrich Bergius, der diese noch vor der Patenterteilung an die Aktiengesellschaft für Petroleumindustrie veräußerte.

Umkehrung seiner Habilitationsschrift dar, in der er die Entstehung kohleartiger Substanzen unter hohem Druck nachgestellt hatte. Beide Verfahren waren ökonomisch interessante Erfindungen, da der Ölbedarf zur Herstellung von Schmier- und Treibstoffen für Verbrennungsmotoren vor dem Ersten Weltkrieg stärker zunahm als die Mineralölförderung. Im gleichen Jahr wie Bergius hatte der US-Amerikaner William Burton (1865–1954) von der Standard Oil of Indiana sein Crack-Verfahren zur Spaltung höhersiedender Mineralölfraktionen zur Produktionsreife gebracht und konnte dadurch den bei der Mineralölverarbeitung erhältlichen Anteil an Benzinen von 12 auf 40 % erhöhen.[12]

Als das Deutsche Reich mit Kriegsbeginn von seinen ausländischen Rohölbezugsquellen abgeschnitten wurde, sah Bergius nicht nur die Gelegenheit, seine alten Forschungsarbeiten wieder aufzunehmen und zur industriellen Reife zu führen, sondern auch die Möglichkeit, sich vom Kriegsdienst freistellen zu lassen und zusätzlich seine russisch-baltischen Mitarbeiter vor einer Internierung zu bewahren. Bergius überzeugte den Mitinhaber der Essener Firma, Karl Goldschmidt (1857–1926), von der Kriegswichtigkeit seiner Erfindung, und schon am 3. August 1914 wurde seine Unabkömmlichkeit beantragt.[13] Dem Antrag gab das zuständige Generalkommando in Münster sofort statt. Das Interesse sowohl des Militärs als auch der Th. Goldschmidt AG ist erstaunlich, da die deutsche Kriegsplanung eigentlich von einer kurzen Kriegsdauer ausging, die in jedem Fall zu kurz gewesen wäre, um das technisch noch zu entwickelnde Hydrierverfahren in die industrielle Produktion umzusetzen. Bisher waren nur einige diskontinuierliche Laborversuche in 1,5-l-Hochdruckbehältern durchgeführt worden, die wenige Milliliter (zäh-)flüssiger Kohlenwasserstoffe ergeben hatten. Schon im September 1914 plante das Essener Unternehmen Goldschmidt eine »Benzinfabrik« im Zweigwerk Rheinau bei Mannheim. Bergius und seine Mitarbeiter, darunter zwei Baltendeutsche, die als russische Staatsbürger eigentlich als feindliche Ausländer zu internieren waren, nahmen ihre alten Versuche wieder auf. Dafür wurde ihr Hochdrucklabor von Hannover nach Essen verlegt. Schon im Herbst 1914 entwarf das Konstruktionsbüro der Th. Goldschmidt AG eine Anlage für neun Tagestonnen Durchsatz, jedoch nicht für Kohle, sondern Mineralölrückstände.[14] Die Bemühungen um die Entwicklung eines industriell durchführbaren Verfahrens zur Kohleverflüssigung begannen zunächst im Labormaßstab, ohne dass die Essener Firma über Erfahrungen mit einer industriellen Hochdrucktechnik verfügte. Erst 1916 sollten diese Forschungsarbeiten ein neues technisches Stadium erreichen.

12 Rasch, Vorgeschichte Kohlenverflüssigung, 1984, S. 469.

13 Siehe Personalakte Friedrich Bergius. In: Evonik Industries AG, Standortarchiv Marl, Bestand Th. Goldschmidt AG.

14 Der Autor hat in einigen Veröffentlichungen den Eindruck vermittelt, es sollte sofort Kohle verflüssigt werden, da diese Patente noch Bergius gehörten. Tatsächlich zielten die ersten technischen Arbeiten bei Goldschmidt auf die Hydrierung von Mineralölrückständen. Diese Patente hielt Bergius zusammen mit der in Nürnberg ansässigen Aktiengesellschaft für Petroleumindustrie.

Für die Th. Goldschmidt AG bedeutete der Kriegsbeginn einen Einschnitt in ihr bisheriges Geschäftsfeld der Weißblech-Entzinnung.[15] Ihre ausländischen Tochtergesellschaften wurden unter Sequester gestellt oder waren – wie in den USA – nicht mehr einfach zu erreichen. Für Deutschland aber fielen vor allem die erforderlichen Abfallimporte von Weißblech weg. Das bedeutete für das Essener Unternehmen deutliche Umsatzeinbußen, was das Interesse der Firmeninhaber an einem zusätzlichen neuen Forschungs- und Arbeitsgebiet erklärt. Schon die Berufung von Bergius als Forschungsleiter zum Jahresbeginn 1914 war ein erster Versuch, die ursprüngliche Einproduktstruktur des Unternehmens durch anwendungsbezogene Forschung zu erweitern.

Nach einigen Monaten wurde auch das Deutsche Reich auf dem Mineralölsektor aktiv. Da Erzeugung und Bedarf an Mineralölprodukten im krassen Missverhältnis zueinander standen, war eine zentrale Erfassung und Bewirtschaftung der kriegswichtigen Schmier- und Treibstoffe erforderlich. Ursprünglich sollte das Eisenbahnzentralamt – die Eisenbahn war ein Großverbraucher von Schmiermitteln – die Rohöl- und Mineralschmieröl-Bewirtschaftung leiten. Schließlich erhielt die Verkehrsabteilung im Allgemeinen Kriegsdepartement des Preußischen Kriegsministeriums die Zuständigkeit; die Treibstoffversorgung der Marineverwaltung wurde ihr allerdings nicht unterstellt. Dadurch bestand in der Treib- und Schmierstoffversorgung ein Dualismus zwischen Marine und Heer.[16]

Die Kriegsmarine beschlagnahmte in den ersten Kriegswochen alle verfügbaren Vorräte an Teerölen, so auch im großen Umfang bei der Gesellschaft für Teerverwertung in Duisburg-Meiderich, und ließ sie zu ihren Kriegshäfen transportieren.[17] Die Beschlagnahme der Mineralöle für militärische Zwecke und der Wegfall der Importe führten zu einer Substitutionswirtschaft. Petroleum für Beleuchtungszwecke stand kaum noch zur Verfügung. Nach dem US-amerikanischen Bürgerkrieg 1865 hatte das preiswerte und qualitativ bessere nordamerikanische Leuchtöl schnell den europäischen Beleuchtungsmarkt erobert und verdrängte in Deutschland die durch Schwelung gewonnenen Leuchtmittel fast vollständig vom Markt.[18] Obwohl der Bedarf rückläufig war, machte das Leuchtöl noch mehr als die Hälfte des deutschen Mineralölverbrauchs aus. Ungefähr 30 % der Importmenge entfielen auf Benzin, Diesel und Heizöl, während weitere etwa 15 % zu Schmierölen verarbeitet wurden.[19] Um Benzin, Diesel und Heizöl für LKWs, Flugzeuge, Kriegsschiffe und U-Boote sowie für stationäre Verbrennungsmotoren in kriegswichtigen Betrieben zur Verfügung zu haben, wurde vor allem der Verbrauch an Leuchtpetroleum eingeschränkt. Man erklärte der Bevölkerung, dass das Herunterdrehen

15 Köstering, Hundert Jahre Entzinnung, 2003, S. 151–164.

16 Burchardt, Quelle, 1970, S. 79; Typoskript Sering: Die Organe der Kriegswirtschaft. 1. Die Verkehrsabteilung des K. M. (Abteilung A7V) und die Sektion O (KRA), in: BA Koblenz, NL Sering Nr. 97; Wiedenfeld, Organisation,1936, S. 37–38.

17 Telegramm des stellvertretenden Generalkommandos III an das Bayerische Kriegsministerium München vom 12.9.1914, in: Bayerisches Hauptstaatsarchiv, Kriegsarchiv MKr 12921.

18 Rasch, Geschichte, 1989, S. 75.

19 Karlsch/Stokes, Faktor Öl, 2003, S. 93.

des Dochts den Verbrauch verringere. Petroleum verlor ab 1915 – zwangsweise – deutliche Anteile am Leuchtmittelmarkt. Marktanteile gewannen hingegen weder Kerzen noch Karbidlampen, sondern Gas und Elektrizität, aber auch Acetylen, Benzol, sogenannte Lichtpatronen und der aus Kartoffeln gewonnene Spiritus; letzterer war, wie Benzol, allerdings Mangelware. Deshalb nahm vor allem der Anteil der elektrifizierten Haushalte deutlich zu, obwohl man gerne den Verbrauch des Stadtgases gesteigert hätte, da dies auch zu einer Steigerung der begehrten Nebenprodukte Ammoniak, Teer und Benzol geführt hätte. Die Treppenhäuser von Mietshäusern wurden statt mit Petroleumlampen nun mit sogenannten Flur- bzw. Minutenlichtern ausgestattet. Dass dabei zusätzliche Mangelerscheinungen auftraten – es fehlte beispielsweise an Kupfer für Stromleitungen ebenso wie für Wicklungen der Elektromotoren –, gehörte zu den Erscheinungen einer unvollkommenen staatlichen Planwirtschaft, die die Symptome zu bekämpfen versuchte, aber nicht die tatsächlichen wirtschaftlichen Zusammenhänge erkannte, zumal der Staat die Mechanismen der Marktwirtschaft nur einschränkte (durch Höchstpreise, privatwirtschaftliche Verteilorganisationen), nicht aber gänzlich aufhob. Da beispielsweise Industrieunternehmen stationäre Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren ersetzten, die einen höheren Wirkungsgrad besaßen, wurde zwar auf der einen Seite der Mangel an flüssigen Treibstoffen effektiv reduziert, aber gleichzeitig der Mangel an Kohle oder Kupfer verschärft.

Da die vorhandenen Heiz- und Dieselöle in erster Linie für die Kriegsmarine reserviert waren, mussten die industriellen, stationären Heizölfeuerungen auf andere Brennstoffe umgestellt werden. Dazu bot sich in den ersten beiden Kriegsjahren das bei der Teerdestillation anfallende Naphthalin an, für das man bis dahin keine seinem Anfall entsprechende Verwendung gefunden hatte. Da Naphthalin bis 90 °C fest war, musste es vor der Verbrennung geschmolzen werden, um es in den Brenner transportieren zu können. Zudem mussten die Feuerungen der vorhandenen Verbrennungsanlagen umgestellt werden.

Flüssige Treibstoffe für mobile Verbrennungsmotoren standen ebenfalls nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung, was zusätzlich eine verstärkte Motorisierung der deutschen Truppen verhindert hätte, wenn sie denn gewollt gewesen wäre. Insbesondere Hans Bunte (1848–1925), TH Karlsruhe, suchte das ideale Mischungsverhältnis von Benzin, Benzol und Spiritus zum Strecken der Bestände. Auch wenn man schon damals an »Biokraftstoffe« dachte, so fehlte doch die Anbaufläche für »ölgebende Pflanzen in größtem Maße […], um vegetabilische Oele zu billigem Preis erhalten zu können«.[20] Spiritus kam in größerem Umfang nicht infrage, da er aus Kartoffeln gewonnen wurde, Nahrungsmittel jedoch knapp waren. Die Spiritusgewinnung aus der Ablauge der Zellstofffabriken, wie in Skandinavien schon angewandt, verbot sich vor dem Krieg u. a. aus steuerlichen Gründen, obwohl sich Kaiser Wilhelm II. speziell für den Spiritusmotor eingesetzt hatte.[21] Zwar fertigten z. B. Daimler Motoren-Gesellschaft ab 1. Januar 1914

20 Zitat aus: Verein Deutscher Ingenieure, Rohstoffersatz, 1916, S. 47.
21 Ebd., S. 53–55.

bis Ende 1918 etwa 3679 und Benz & Cie. 6150 Nutzfahrzeuge,[22] aber die Versorgung der deutschen Truppen mit Nachschub fand im Stellungskrieg nicht mit LKWs statt, sondern mit Feldbahnen, die Munition, Proviant und Soldaten bis in die vordersten Linien transportierten. Dem deutschen Militär fehlten flüssige Treibstoffe, um überhaupt an eine stärkere Motorisierung des Heeres zu denken. Schon die Fliegerabteilungen, im Krieg in großer Zahl als neueste Kriegswaffe eingeführt, konnten nicht ausreichend mit Flugbenzin versorgt werden. Der nicht rechtzeitige Bau deutscher Panzerfahrzeuge 1918 erscheint deshalb aus der Rückschau nicht nur den eingeschränkten Werkstattkapazitäten, dem Stahlmangel und der verspäteten Entwicklung leistungsstarker Motoren für Artilleriezugmaschinen, sondern auch den vorhandenen, nur geringen Treibstoffbeständen geschuldet. Tatsächlich spielten diese Gründe bei den Überlegungen der deutschen Militärs für die Entwicklung der neuen Panzerwaffe keine Rolle, da sie bei ihren Planungen selten kriegswirtschaftlich-industrielle Gegebenheiten mitberücksichtigten. Dennoch galten die Aktivitäten deutscher Truppen 1918 in Transkaukasien vornehmlich den dortigen Erdölquellen, aber auch den Mangan- und Kupfererzen.[23] Die Militärs wollten das Erdöl über das Schwarze Meer donauaufwärts bis Regensburg transportieren. Diese militärische Aktion ist ein Indiz dafür, dass gegen Kriegsende – und später – von deutscher Seite wirtschaftliche Überlegungen eine vermehrte Rolle in der Kriegsführung spielten, ganz im Gegensatz zu 1914/15, als Galizien trotz seiner Ölquellen nicht überproportional verteidigt wurde. Im Jahr 1918 hatte hingegen das Osmanische Reich sein Erdöl im Zweistromland – trotz deutscher Unterstützung – gegen die vorwärtsdrängenden britischen Truppen nicht verteidigen können. Das kaukasische Öl schien dem Deutschen Reich Ersatz zu bieten. Es schloss entsprechende Verträge mit der Demokratischen Republik Georgien.

Nicht nur die flüssigen Treibstoffe entwickelten sich früh zu einem ernsten Versorgungsproblem, sondern auch die Schmierstoffe und -öle. Alle Maschinen, seien es Dampfmaschinen, Lokomotiven, Verbrennungsmotoren oder von Wasserkraft angetriebene Mahlwerke, aber auch die Wagenachsen von Fuhrwerken, benötigten Schmiermittel. Diese wurden vornehmlich aus Mineralöl wie aus Produkten der mitteldeutschen Braunkohlenschwelereien gewonnen.

In der deutschen Schmier- und Treibstoffversorgung gab es in den ersten Jahren keine Aufgaben- und Zuständigkeitsabgrenzungen. Ämter, Behörden und Dienststellen beschäftigten sich unkoordiniert mit Teilaspekten und beauftragten Dritte mit der Erarbeitung von Lösungen. Als Beispiel für diesen Pluralismus kann gelten, dass das Generalgouvernement in Brüssel Anfang 1915 beim Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mülheim/Ruhr Versuche über den Ersatz von aus Rohöl gewonnenen Schmierstoffen anregte, während das preußische Kriegsministerium schon Wochen zuvor den auf diesem

22 Daimler AG, Daimler-Chronik, 2011, S. 106–117.
23 Siehe den Beitrag von Andreas Zilt in diesem Band.

Gebiet ausgewiesenen Fachmann Carl Engler (1842–1925)[24] in Karlsruhe mit ähnlichen Versuchen beauftragt hatte. Erst Emil Fischer bemerkte diese Doppelarbeit und gab seinem Namensvetter in Mülheim den Rat: »Wenn Sie also nicht vergebens arbeiten und längst bekannte Dinge wiedererfinden wollen, so wird es nötig sein, dass Sie sich mit Engler in Verbindung setzen.«[25] Die TH Karlsruhe unter Carl Engler (1842–1925), Hans Bunte und Mitarbeitern wurde zu einem Forschungszentrum für Mineralöl-Ersatzstoffe.[26]

Im Februar 1915 gründeten auf Veranlassung des preußischen Kriegsministeriums das Reichsamt des Innern, das Reichsmarineamt, das Ministerium für öffentliche Arbeiten und dasjenige für Handel die Kriegsschmierölgesellschaft mbH (KSG). Diese war eine der in Deutschland gebildeten Kriegsgesellschaften, in denen vornehmlich die Großunternehmen der Privatwirtschaft mit Politik und Militär den Ein- und Verkauf von Mangelgütern und -rohstoffen organisierten. Der Staat wollte so den Mangel verwalten, aber auch (koordiniert) Ersatzstoffe entwickeln lassen. Die großen »deutschen« Mineralölgesellschaften, zum Teil mit ausländischen Anteilseignern, waren Gesellschafter der KSG: Deutsch-Amerikanische Petroleum-Gesellschaft, Hamburg, Deutsche Erdöl AG, Berlin, Deutsche Petroleum AG, Berlin, Deutsche Vakuum Öl-AG, Hamburg, und Mineralölwerke Albrecht & Co., Hamburg, um laut Satzung:

> 1. Einfuhr, Ankauf und Betrieb von Schmiermitteln und den bei der Herstellung derselben abfallenden Nebenprodukten, wie Paraffin, Montanwachs, Asphalt, Goudron, Pech, Petrolkoks usw.; 2. die Erforschung und Ausführung von Verfahren zur Gewinnung und zum Ersatz von Schmiermitteln« zu organisieren.[27]

Ferner war die Beteiligung an Unternehmen möglich, die den genannten Zwecken dienten. Im Gesellschafterausschuss übernahm der Vertreter des Kriegsministeriums den Vorsitz, die anderen Ministerien waren auch vertreten, ebenso wie die Deutsche Bank, die schon seit Jahren im Mineralölgeschäft aktiv war und Einfluss auf einzelne Mineralölfirmen ausübte. Sie finanzierte die Geschäfte der KSG, die besondere Arbeitsstellen in Saarbrücken und in Kattowitz errichtete.

Mithilfe von Berufsverbänden, Kartellen und Kriegsgesellschaften verwaltete der Staat den Mangel mehr oder minder gut. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) gab im November 1915 seine Broschüre »Rohstoffersatz« heraus, der schon im Juli 1916 die zweite Auflage folgte. Diese fußte auf Mitteilungen des Mannheimer Bezirksvereins des VDI, die in der Vereinszeitschrift erschienen waren und vom Mitarbeiter der Berliner

24 Der technische Chemiker Carl Engler war seit 1876 in Karlsruhe tätig und begründete die Erdölwissenschaft und Erdöltechnik in Deutschland. Sein Werk »Das Erdöl. Seine Physik, Chemie, Geologie, Technologie und sein Wirtschaftsbetrieb« (6 Bde., 1907–1925, zusammen mit Hans Höfer) erlangte Weltruhm.

25 Emil Fischer an Franz Fischer, 24.1.1915, Bancroft Library, NL Emil Fischer, Briefdurchschläge.

26 Verein Deutscher Ingenieure, Rohstoffersatz, 1916, S. 60.

27 Verein Deutscher Ingenieure, Kriegserfahrungen, 1923, S. 92.

Metall-Freigabestelle, Arthur Keßner (1879–1941),[28] redaktionell bearbeitet worden waren. Auf fast 20 Seiten berichtete der VDI über flüssige Brennstoffe und Schmieröle und deren Ersatz, was etwa 20 % des Umfangs der Broschüre entsprach.[29] Zu den ersten Maßnahmen der KSG zählte, dass Gasöl, eine bestimmte Fraktion des Teeröls, nicht mehr in städtischen Gaswerken eingesetzt werden durfte. Stattdessen sollten zusätzlich zu errichtende Anlagen Kohle vergasen, um das Gasöl für andere kriegswirtschaftliche Zwecke zur Verfügung zu haben, ohne die Verwendung des Stadtgases einschränken zu müssen. Die KSG ermittelte – fußend auf Untersuchungen des württembergischen Dampfkessel-Revisionsvereins –, dass der Schmiermittelverbrauch minimiert werden konnte, ohne die Maschinen zu schädigen. Ungefähr ein Drittel des gesamten Friedensbedarfs hätte schon bisher auf diese Weise eingespart werden können.[30] Zur Wiedergewinnung gebrauchter Schmieröle und deren anschließender Aufbereitung zählte auch, dass ölgetränkte Putzlappen und Putzwolle nicht mehr in Dampfkesseln verbrannt, sondern gereinigt und die so gewonnenen Schmierstoffe wiederverwendet wurden.[31] Mit zu den ersten Sparmaßnahmen gehörte auch die Umstellung der Eisenbahnwagenbeleuchtung auf Karbid. Das dadurch gewonnene Paraffinöl, das bisher für die Gaserzeugung bestimmt war, konnte zu Schmieröl verarbeitet werden.[32] Mit dieser Verteilungs-, Einschränkungs- und Substitutionswirtschaft deckte das Deutsche Reich bis Anfang 1916 den Mineralölbedarf des Militärs und die äußerst eingeschränkte Nachfrage der Zivilgesellschaft einschließlich der kriegswichtigen Produktion, wobei die jeweiligen Maßnahmen den Mangel nicht selten von einem auf einen anderen, bisher noch nicht betroffenen Bereich verschoben. So verstärkte z. B. die Elektrifizierung von Haushalt und Industrie den Kupfermangel, und Karbid war wegen seiner Bedeutung für die Stickstofferzeugung[33] kein langfristiger Ersatz für die bisherige Beleuchtung der Eisenbahnen.

Das Wendejahr 1916: Forcierte Entwicklung industrieller Ersatzverfahren

Erst im Sommer 1916 kam es zu einer grundsätzlichen Änderung in der bisherigen deutschen Kriegswirtschaft, und zwar schon vor der Verkündung des sogenannten Hindenburg-Programms. Dies dürfte mit der alliierten Offensive an der Somme, die sowohl die materielle wie personelle Übermacht der Alliierten demonstrierte, als auch dem Kriegseintritt Rumäniens Ende August 1916 auf Seiten der Alliierten zusammenhängen. Die materielle Rüstung musste gesteigert und der Verlust der rumänischen Erdölquellen substituiert werden. Im September 1916 errichtete die Kriegsschmierölgesellschaft einen wissenschaftlichen Beirat mit zahlreichen Unterkommissionen, besetzt mit Vertretern

28 Arthur Keßner wurde nach dem Krieg Professor an der TH Berlin und 1924 an der TH Karlsruhe für (Werkzeug-)Maschinenbau.

29 Verein Deutscher Ingenieure, Rohstoffersatz, 1916, S. 46–70.

30 Verein Deutscher Ingenieure, Kriegserfahrungen, 1923, S. 93.

31 Ebd., S. 94.

32 Ebd., S. 95.

33 Vgl. den Aufsatz von Sandro Fehr in diesem Band.

aus Wissenschaft und Industrie. Diese befassten sich zunächst mit Mineralölen und Schmiermitteln aus Stein- und Braunkohle. Nun sollten Ersparnis und Wiedergewinnung von Schmiermitteln, ihre Streckung durch pflanzliche Öle, Talg, Tran oder Graphit, die Verwendung von Ersatzstoffen sowie die Erschließung neuer Schmiermittelquellen mehr oder minder systematisch untersucht werden. Altbekannte Verfahren wurden verbessert und neue entwickelt sowie wissenschaftliche Einrichtungen geschaffen, die sich auch der Ersatzstoffforschung im Bereich der Mineralöle widmen sollten.[34] Um Treibstoff zu sparen, wurde auf den Motoren-Einlauf-Prüfständen statt Benzin Leuchtgas verwendet. Das bedeutete pro produzierten Flugmotor in der Erprobung 600 kg Brennstoffersparnis.[35]

Tieftemperaturschwelung

Zu den bald energisch forcierten neuen Verfahren gehörte die sogenannte Tieftemperaturverkokung. Die Verkokung von Stein- oder Braunkohle bei niedrigen Temperaturen (400–600° C), auch Schwelung genannt, war schon seit langem bekannt und wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts industriell genutzt. Diese Industrie und ihre Technologie beruhten zum größten Teil auf empirischen Erkenntnissen. Am weitesten fortgeschritten auf dem Gebiet war Großbritannien. Ausschlaggebend für diesen technischen Vorsprung waren offensichtlich zwei Faktoren. Erstens versuchte man dort, durch Treibstoffgewinnung mittels Tieftemperaturverkokung vom ausländischen Mineralöl unabhängig zu werden, darüber hinaus war man in Großbritannien, wo man in der Regel besonders in den Großstädten noch mit offenen Kaminen heizte, an einer Verminderung der Rauchbelästigung durch Herstellung rauchloser Brennstoffe interessiert. Der bei der Tieftemperaturverkokung entstehende Halbkoks verbrannte fast rauchlos.[36]

Am Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mülheim/Ruhr waren Franz Fischer (1877–1947), Wilhelm Gluud (1887–1936) und ihre Mitarbeiter die ersten, die umfassende Versuche auf dem Gebiet der Tieftemperaturverkokung mit dem Ziel der größtmöglichen Ölausbeute durchführten. Diese kriegsbedingten, auf technische Realisation und nicht akademischen Erkenntnisgewinn abzielenden Arbeiten entsprachen weder dem ursprünglichen Arbeitsgebiet des Instituts, der direkten Verstromung der Kohle, noch der akademischen Qualifikation des Institutsdirektors, denn Franz Fischer war Elektrochemiker.[37]

Die Institutsmitarbeiter nahmen die Arbeit über die Destillation der Kohle bei tiefen Temperaturen auf und erdachten einen Apparat, der sich von den bisher benutzten, fest

34 Verein Deutscher Ingenieure, Kriegserfahrungen, 1923.

35 Heller, Rohstoffersatz, 1921, S. 235.

36 Einen Überblick mit Literaturhinweisen über die wissenschaftlichen Arbeiten gibt Fischer, Stand der Kohlenforschung, 1918; siehe auch Ullmann, Enzyklopädie, 1919, S. 234–239; 1903 hatte sich Ernst Börnstein an der TH Berlin-Charlottenburg mit einer Arbeit über die Zersetzung der Steinkohlen bei langsam steigender Temperatur habilitiert, siehe Börnstein, Zersetzung, 1906; Thau, Kohlendestillation, 1914.

37 Rasch, Franz Fischer, 1998; Rasch, Franz Fischer, 2012.

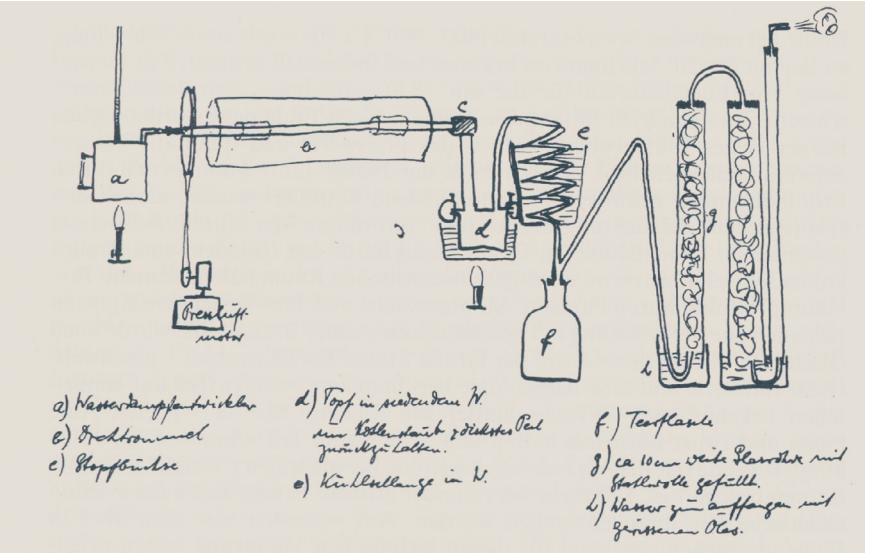


Abb. 1 Schematische Darstellung der Drehtrommel im Laborjournal von Wilhelm Gluud, 1916.

stehenden Retorten wesentlich unterschied. Franz Fischer und Wilhelm Gluud verwendeten erstmals ein um eine waagerechte Längsachse rotierendes, zylindrisches Eisengefäß, das von unten beheizt wurde, die Drehtrommel. Durch die Rotation wechselten die Kohleteilchen ständig ihre Position, was lokale Überhitzungen vermied (Abb. 1).[38]

Um die Rentabilität des Verfahrens zu steigern, sollte mit der Drehtrommel nicht nur Öl, sondern auch ein abriebfester, sogenannter Halbkoks gewonnen werden. Franz Fischer hatte die Idee, in den Zylinder eine Eisenwalze einzulegen; Ziel war, die durch Hitzeeinwirkung plastische Kohle mechanisch zu verdichten, um so einen transport- und lagerfähigen Halbkoks zu erzeugen.[39]

Bei diesem Destillationsverfahren wurden große Mengen eines Teers gewonnen, der reich an Benzinen, Naphthenen und hochmolekularen Phenolen war. Er unterschied sich wesentlich von den bei der Hochtemperatur-Verkokung anfallenden Teeren, die immer reich an aromatischen Kohlenwasserstoffen (Benzol, Naphthalin, Anthracen) sind. Der so gewonnene Teer wurde »Tieftemperaturteer« und das Verfahren »Tieftemperatur-

38 Rasch, Geschichte, 1989, S. 74–80, Beschreibung und Abbildung der Drehtrommel, S. 122. Der erste Drehtrommelversuch ist im Laborjournal Wilhelm Gluud beschrieben. In: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Archiv, Mülheim a. d. Ruhr (im Folgenden MPI-Archiv) Laborjournale Direktorat Franz Fischer LBF-014, S. 98, Skizze ebd.

39 DRP 299191 vom 14.11.1916, Franz Fischer: Verfahren zur Gewinnung von Ölen und Halbkoks aus Steinkohle in rotierenden Destillationsgefäßen; Fischer, Gewinnung, 1919.

Abb. 2 Die im Institut für Kohlenforschung entwickelte Drehtrommel zur Tieftemperaturverkokung der Kohle, um 1918.

verkokung« oder »Tieftemperaturschwelung« genannt (Abb. 2). Dabei ist das Attribut tief im Sinne von niedrig zu verstehen; die Schwelung fand bei 400–600 °C statt, um das Verfahren von der üblichen Verkokung der Kohle bei hohen Temperaturen von über 1000 °C zur Gewinnung von Hüttenkoks oder zur Gewinnung von Stadt- oder Generatorgas als Energiequelle abzugrenzen. Der Institutsdirektor Franz Fischer hingegen nahm den eher deutschtümelnden Vorschlag von Fritz Hoffmann aus Berndorf, Niederösterreich, an und nannte das Verfahren »Urteergewinnung« und das Produkt folglich «Urteer». Der dabei gewonnene »Halbkoks« eignete sich nicht für hüttenmännische Prozesse (Hochofen, Gießerei).

Umfangreiche Untersuchungen über die Verwendungsfähigkeit von Steinkohlen aus dem Ruhr-, Saar- und oberschlesischen Revier für die Tieftemperaturschwelung ergaben, dass oberschlesische und Saar-Kohle besonders geeignet waren. Die Teerausbeuten lagen bei Steinkohle mit 8 bis 12 % und bei Braunkohle mit 10 bis 20 % deutlich über den Ergebnissen im üblichen Kokereiprozess, sodass sich hier eine neue Quelle zur Erzeugung der dringend benötigten Schmieröle und Benzine aufzutun schien. Schon im September 1916 nahm Franz Fischer Verhandlungen mit der Industrie über den Bau einer Versuchsanlage auf. Der Zeitpunkt konnte nicht besser gewählt sein. Durch den Kriegseintritt Rumäniens Ende August 1916 auf Seiten der Entente entfielen für die Mittelmächte die wichtigen Mineralölimporte aus Südosteuropa, sodass sich der Treibstoff- und Schmierölmangel im Deutschen Reich verschärfte. Das preußische Kriegsministerium war somit an der Schmiermittelgewinnung aus Generatorteer sehr interessiert, da es ihn als letzte noch zur Verfügung stehende Quelle zur Gewinnung von Schmiermitteln ansah. Paul Reusch (1868–1956), Generaldirektor der Gutehoffnungshütte Aktienverein für

Bergbau und Hüttenbetrieb (GHH), Oberhausen, war bereit, auf eigene Kosten eine Versuchsanlage zur Tieftemperaturverkokung von Steinkohle zu errichten. Fasste die bisher im Laboratorium eingesetzte Drehtrommel 15 kg Kohle, so sollte nun unmittelbar ein Drehofen mit 20 t Fassungsvermögen errichtet werden. Die GHH wollte also ein Laborverfahren ohne Versuche im Technikum oder in einer halbindustriellen Anlage direkt in die industrielle Produktion überführen, weil es mechanisch einfach zu sein schien. Infolge des allgemeinen Arbeitskräfte- und Materialmangels sowie einer Überlastung der Konstruktionsabteilung der GHH – seit Herbst 1916 wurde das sogenannte Hindenburg-Programm zur Steigerung der deutschen Rüstungsproduktion propagiert – kam es jedoch nicht zum Bau dieser Versuchsanlage.[40] Auch die Deutsche Erdöl AG (DEA) wollte eine Versuchsanlage bauen, und zwar im Auftrag der Kriegschemikalien AG; ihr Interesse nahm aber merklich ab, als im Laufe des Jahres 1917 die rumänische Erdölförderung wieder in Gang kam und sich die einzelnen deutschen Interessengruppen anschickten, die besetzte rumänische Erdölindustrie untereinander aufzuteilen. Franz Fischer durchschaute die Politik der DEA und schrieb zutreffend an Emil Fischer,

> daß die Erdölleute wohl fürchten, sich für die Zukunft eine Konkurrenz für ihre Petroleumschmieröle zu schaffen und sich andererseits eine Konkurrenz zu schaffen für ihre Unternehmungen auf dem Braunkohlengebiet, wenn sie die Gewinnung von Schmieröl aus Steinkohle fördern.[41]

Eine Erprobung der Tieftemperaturverkokung in einer Anlage mit einem Durchsatz von 5 t Kohle pro Stunde durch die Brennkrafttechnische Gesellschaft in Zusammenarbeit mit der Oberschlesische Kokswerke & Chemische Fabriken AG kam vor Kriegsende ebenfalls nicht mehr zustande.[42] Neben dem Mangel an Stahl und Arbeitskräften zum Bau solcher Anlagen dürfte die ungeklärte Frage der Nutzung des bei der Tieftemperaturverkokung anfallenden Halbkokses interessierte Unternehmen vom Bau des Drehofens abgehalten haben. Nach dem Sieg der Mittelmächte über Rumänien setzte das preußische Kriegsministerium zudem auf die Instandsetzung der zerstörten Ölfelder und war zunächst nicht mehr an einer besonderen Förderung der Tieftemperaturteergewinnung

40 Verhandlungen mit Paul Reusch, erwähnt im Schreiben Franz Fischer an Düsseldorfs Regierungspräsident Francis Kruse vom 5.10.1916. Durchschlag in: MPI-Archiv 01-002; Plan und Scheitern des Versuchsanlagen-Projektes erwähnt im Schreiben Franz Fischer an das Reichsmarineamt vom 28.5.1918. Durchschlag in: ebd. 01-005.

41 Einen Hinweis auf den geplanten Großversuch der DEA findet sich im Schreiben Franz Fischer an Emil Fischer vom 22.10.1917. Durchschlag in: MPI-Archiv 01-001; Zitat aus Schreiben Franz Fischer an Emil Fischer vom 27.12.1917. Durchschlag in: ebd., Original in: Bancroft Library, NL Emil Fischer, Mappe Franz Fischer. Die Anlage der DEA in Rositz mit 45 Generatoren zur Tieftemperaturteererzeugung wird erwähnt im Schreiben Wilhelm Schneider an Franz Fischer vom 1.9.1920. Original in: MPI-Archiv 01-006, s. a. Metzger, Entwicklung, 1921.

42 Projekt erwähnt im Schreiben der Brennkrafttechnischen Gesellschaft an das Reichsschatzamt vom 10.8.1918. Abschrift in: MPI-Archiv 01-005; Franz Fischer an Francis Kruse vom 28.11.1918. Abschrift in: ebd.

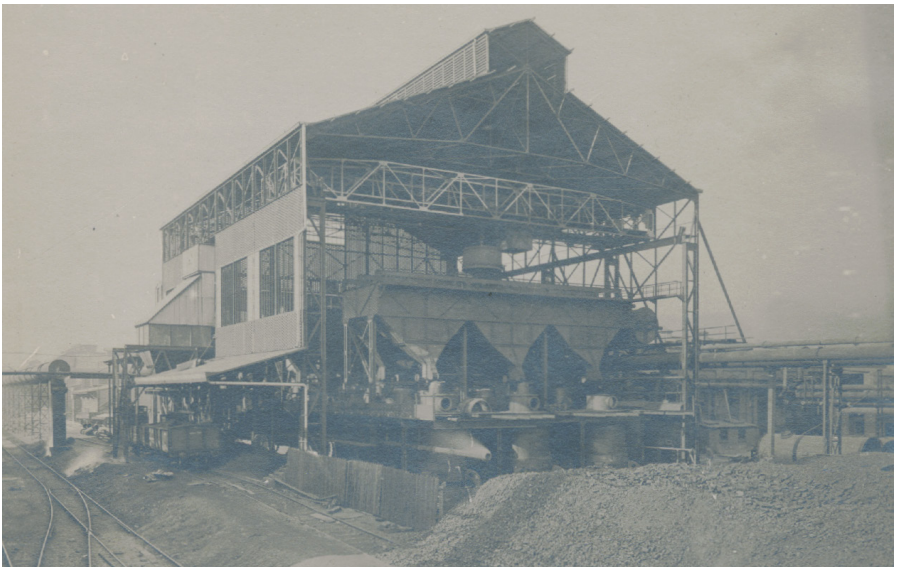


Abb. 3 Die von der Maschinenfabrik Thyssen & Co. AG in Mülheim während des Kriegs errichtete industrielle Steinkohlenschwelanlage mittels Drehofen diente der erhöhten Ausbringung von Teeren. Die Halle stammte vermutlich aus den besetzten Westgebieten, vor 1918.

interessiert.[43] Dennoch konzentrierte Fischer einen Teil seiner Arbeitskraft und die seiner Mitarbeiter auf die technische Weiterentwicklung der Tieftemperaturverkokung und auf die Weiterverarbeitung des so gewonnenen Teers zu Fetten (als Ersatz für tierisches Lederfett), aber auch zur Gewinnung von Petroleum (7. Mai 1918: Vorstellung einer Steinkohlen-Petroleumlampe) und sogar »Benzin«, wie eine 900 km lange Probefahrt im Auftrag der Inspektion der Kraftfahrtruppen im letzten Kriegsjahr bewies.[44]

Ohne auf Franz Fischers Expertise zurückzugreifen, errichtete die ebenfalls in Mülheim/Ruhr ansässige Maschinenfabrik Thyssen AG eine halbindustrielle Drehrohr-Anlage auf ihrem Werkgelände (Abb. 3). Ihr 1916 von der Front zurückbeordertes technisches Vorstandsmitglied Edmund Roser (1870–1961)[45] sah in dem Verfahren eine Möglichkeit zur Selbstversorgung nicht nur des eigenen Konzerns, sondern Deutschlands mit Schmier- und Treibstoffen. Die Thyssen'sche Maschinenfabrik[46] produzierte schon seit Jahren Gasgeneratoren; diese fußten auf Ideen des Österreichers Anton

43 Schon im Oktober 1916 bemühten sich Deutsche Bank, Deutsche Erdöl AG (DEA) und Deutsche Petroleum AG (DPAG) um den rumänischen Ölbesitz. Am 13. März 1917 erhielt die Betriebsgemeinschaft von DEA und DPAG das Recht, die rumänischen Erdölanlagen in Betrieb zu nehmen, siehe Günther, Petroleumabkommen, 1968; Karlsch/Stokes, Faktor Öl, 2003, S. 105–112.

44 Rasch, Geschichte, 1989, S. 73, 79–80.

45 Rasch, Roser, 2005; Pudor, Roser, 1966.

46 Rasch, Bau von Großgasmaschinen, 2017, S. 207.

Kerpeley von Krassai (1866–1917). Nun wurde ein neuer Gaserzeuger entwickelt, mit dem sich neben größeren Mengen hochsiedender Teere auch das begehrte Ammoniak in nennenswerten Ausbeuten gewinnen ließ. Der entscheidende Nachteil des Thyssen'schen Tieftemperaturgenerators war jedoch, dass sich vorhandene Anlagen nicht nachrüsten ließen. Es musste ein kompletter Neubau erfolgen. Der Stahl- und Arbeitskräftemangel verhinderte eine umfangreiche Einführung des Thyssen'schen Tieftemperaturgenerators ebenso wie die konservative Mentalität der Eisenhüttenleute. Diese befürchteten einen Qualitätsverlust beim Gas, dem Hauptprodukt der Generatoren, und wiesen auf mögliche Betriebsstörungen während der Einführungsphase der neuen Anlagen hin, die es ihnen unmöglich machen würden, die ehrgeizigen Ziele des Hindenburg-Programms zu erfüllen, u. a. die Verdopplung der Produktion an Siemens-Martin-Qualitätsstahl. Diese Siemens-Martin-Öfen beheizten in der Regel Gasgeneratoren.

Dennoch trugen Tieftemperaturgeneratoren wesentlich zur Entlastung des Schmier- und Treibölmangels bei. Insbesondere die Arbeitsstelle Saarbrücken der KSG förderte die Arbeiten zur technischen Realisierung der Tieftemperaturteergewinnung. Sie ließ Versuchsanlagen auf Werken sowohl im Saarrevier als auch in Lothringen und Luxemburg errichten und betreiben. Die Firma Ehrhardt & Sehmer, Saarbrücken, eine der großen deutschen Maschinenbauanstalten, hatte ein eigenes Verfahren entwickelt, welches den Vorteil besaß, dass sich mit ihm schon vorhandene Generatoren nachrüsten ließen. Sie gründete für die Ausnutzung des Verfahrens 1917 eine Tochtergesellschaft, die »AG für Brennstoffversorgung«. An dieser waren neben der Firma Ehrhardt & Sehmer die Oberschlesische Kokswerke & Chemische Fabriken AG, die sich seit einigen Jahren auch dem Kokereianlagenbau zugewandt hatte,[47] die Deutsche Erdöl AG und die Rütgerswerke AG beteiligt, zu denen später die Metallbank bzw. die Metallgesellschaft hinzutrat, die 1919 die Lurgi Apparatebau GmbH gründen sollte. Die AG für Brennstoffversorgung ging nach dem Krieg in die Lurgi Gesellschaft für Wärmetechnik mbH in Frankfurt/Main auf.

Fast jeder deutsche Maschinenbauer entwickelte ab 1916 eigene Konstruktionen zur Tieftemperaturschwelung, so die Generator AG, die Pintsch AG, genauso wie die Burbacher Hütte. Auch die Fried. Krupp AG, Essen, ließ während und nach dem Krieg in der Abteilung für Gas-, Wasser- und Brennstoffuntersuchung ihrer zentralen Forschungsanstalten die Tieftemperaturverkokung in einer eigens dafür errichteten Versuchsanlage (Schweltrommel) auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersuchen.[48] In den 1920er Jahren betrieb die zum Krupp-Konzern gehörende Gewerkschaft Constantin der Große auf ihrer Kokerei eine kleine Versuchsanlage nach dem von der Westdeutschen Industriebau-AG, [Essen-]Steele, entwickelten Kanalofen-Schwelverfahren.[49] Angesichts einer mit Arbeitskräftemangel kämpfenden, immer noch marktwirtschaftlich orientierten Kriegswirtschaft band dieser »Pluralismus« unnötig Fachkräfte, zudem wurden kriegswichtige Baumaterialien wie Stahl in Technikumsanlagen verbaut, ohne Garantie auf eine erfolg-

47 Saling's Börsen-Jahrbuch für 1915/1916, S. 94.
48 Fried. Krupp AG, Forschungsanstalten, 1934, S. 38.
49 Rasch, Fritz Müller, 1999, S. 459.

reiche Bekämpfung des Treib- und Schmierstoffmangels. Deshalb fand am 14. Juni 1918 im Stahlwerksausschuss des VdEh in Düsseldorf eine mit über 160 Direktoren, Technikern und Hochschullehrern hochkarätig besetzte Aussprache »über die Wirtschaftlichkeit von Gaserzeugungsanlagen bei Gewinnung von Urteer und schwefelsaurem Ammoniak« statt, da in der Stahlindustrie das Heizgas für die Siemens-Martin-Öfen mittels zahlreicher Generatoren erzeugt wurde. Zudem hatte der VdEh den »Erfinder« der Tieftemperaturteergewinnung Franz Fischer schon auf seiner Jahresversammlung am 4. März 1917 zum Hauptvortrag »Der heutige Stand der Kohlenforschung« eingeladen, was vielleicht von einigen als einseitige Stellungnahme aufgefasst worden war. Soweit erkennbar, führte die Aussprache im Juni 1918 nicht mehr zu einer Fokussierung auf ein oder zwei Entwicklungstypen.[50]

Zu den unwirtschaftlichen Arbeiten der Kriegszeit auf diesem Gebiet gehörten auch die von Alfred Pott (1882–1951)[51] gebaute sogenannte Trigas-Anlage auf der Zechenkokerei Mathias Stinnes III/IV in Gladbeck bei Essen. Zum 1. Januar 1917 war Pott vom Kokereianlagenbauer Dr. C. Otto & Comp. zur Hauptverwaltung der Stinnes-Zechen gewechselt, zuständig nun für die Kokereibetriebe und die wissenschaftliche Überwachung der Zechenlaboratorien, wozu er auch die Verbesserung der Wassergas- bzw. Kraftgaserzeugung zählte. Unter den damaligen kriegswirtschaftlichen Gegebenheiten sollten neben energiereichem Gas Ammoniak und Tieftemperaturteer in größtmöglichen Quantitäten zur Fortführung des Kriegs gewonnen werden. Eine von der Firma Dellwik-Fleischer-Wassergas-Gesellschaft, Frankfurt/Main, in Wien betriebene kleine Versuchsanlage nach dem Trigas-Verfahren diente als Vorbild für eine unter Potts Leitung in Zusammenarbeit mit der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG (MAN) um den Faktor 10 vergrößerte und mit Drehrosten ausgestattete Anlage in [Essen-]Karnap. Der erste Generator ging am 6. April 1918 in Dauerbetrieb. Wegen der stark backenden und blähenden Gasflammkohle der Schachtanlage Mathias Stinnes musste rheinische Rohbraunkohle im Verhältnis 3:1 zugesetzt werden. Das technisch durchaus befriedigende Verfahren erzielte jedoch nicht die notwendige Rentabilität.[52] Eine 1919 von der Lehr- und Versuchsgasanstalt der TH Karlsruhe offiziell untersuchte Trigas-Anlage auf dem Gaswerk Frankfurt/Main-Bockenheim erfüllte ebenfalls »die Erwartungen in keiner Weise«.[53]

50 Vortrag Franz Fischer, in: Stahl und Eisen 37 (1917), S. 346–353, 369–373; s. auch in: Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle 2 (1918). S. 1–27. Erweiterte Fassung als selbstständige Publikation (= Schriften der Brennkrafttechnischen Gesellschaft e. V. 1) unter dem Titel: »Über den Stand der Kohlenforschung mit besonderer Berücksichtigung der Destillation bei niederer Temperatur«, Halle/Saale 1919; Stahl und Eisen 40 (1920), S. 533–541, 610–621, 651–655, 685–689. Ursprünglich als 31-seitiger Bericht der Stahlwerkskommission Nr. 42 am 20.8.1918 erschienen, Exemplar vorhanden in: Stahlinstitut VDEh Archiv, Fa 10–20.

51 Rasch, Pott, 1999.

52 Pott/Dolensky, Dauerbetriebsergebnisse, 1919; Pott, Dauerbetriebsergebnisse, 1920. Der erste, wenig erfolgreiche Versuchsbetrieb begann Anfang Februar 1918, s. Pott an Stinnes vom 4.1.1918 sowie 24.2.1918 mit entsprechender Mängelbeschreibung. In: Konrad-Adenauer-Stiftung, St. Augustin (im Folgenden KAS) NL Stinnes I-220-2379.

53 Zitat aus Journal für Gasbeleuchtung und Wasservorsorgung 62 (1919), S. 742, s. a. ebd. 63 (1920), S. 41–42.

Die Tieftemperaturteergewinnung war tatsächlich ein Danaer-Geschenk, das zwar den Schmieröl-Mangel reduzierte; die Erzeugung der vorrangig gewünschten Gasmengen mit einem entsprechend hohen Heizwert musste allerdings mit einem Mehrverbrauch von 15 bis 18 % an Kohle bezahlt werden. An Kohle mangelte es dem Deutschen Reich in der zweiten Kriegshälfte jedoch erheblich, allein schon wegen des Hindenburg-Programms mit seinen angestrebten Produktionssteigerungen von 100 % und mehr, wozu neben Rohstoffen, Maschinen und Arbeitskräften auch Energie notwendig war. Zudem erschwerte die Tieftemperaturgewinnung den schon erreichten Automatisierungsgrad des Generatorbetriebs. Die zusätzliche Tieftemperaturteergewinnung bedeutete einen Mehrbedarf an Arbeitskräften, u. a. für Wartung, Reinigung und Betrieb der Teerkondensation, Entwässerung des Teers, Abfüllen und Verladen der Produkte.[54]

Zusätzlich bereitete die industrielle Gewinnung von Treibölen und Schmierstoffen aus Tieftemperaturteer technische Schwierigkeiten, wie sie von reinen Mineralöldestillaten nicht bekannt waren; dazu zählten die Entparaffinierung sowie der Anteil an benzinunlöslichen Stoffen asphaltartiger Natur. Tieftemperaturöle neigten zur Verharzung bei heißlaufenden Lagern; zudem waren die aus diesem speziellen Teer gewonnenen Schmieröle schwerer als Wasser, was bei Verunreinigung mit Wasser zu Problemen bei der Schmierung führte.[55]

Für den Tieftemperaturteer waren zunächst keine staatlichen Preisobergrenzen festgesetzt, erst unmittelbar vor Kriegsende verfügten die Kriegsrohstoffabteilung bzw. die Kriegsschmierölgesellschaft eine staatliche Beschlagnahme des Tieftemperaturteers.[56] Da aus Tieftemperaturteer mehr Nebenprodukte zu gewinnen waren als aus herkömmlichem Kokereiteer, was im Übrigen zu Fehldeklarationen (Etikettenschwindel, also Betrug) führte, entschlossen sich etliche Unternehmen, ihrer Kohlenverbrennung eine Tieftemperaturschwelung vorzuschalten, u. a. die auf der mitteldeutschen Braunkohle neu errichteten Elektrizitätswerke. Gerade bei kleineren Betrieben mit nur wenigen Tieftemperaturgeneratoren amortisierten sich die zusätzlichen Lohn- und Anlagekosten jedoch nicht. Dennoch errichtete die DEA eine Anlage mit 45 Generatoren und einer ausgedehnten Mineralöl- und Paraffinfabrik bei Rositz in Sachsen-Altenburg, die Ende 1917 in Betrieb ging. Diese Anlage wandte allerdings nicht die neuen, von Fischer entwickelten Drehöfen an.

Dennoch sollte die Tieftemperaturteergewinnung nicht eine Erscheinung der kriegsbedingten Mangelwirtschaft bleiben. Etliche Techniker und Unternehmer sahen das Schwelverfahren nicht ausschließlich als ein Rohstoffersatzverfahren der Kriegszeit an, sondern glaubten, dass es auch unter den Bedingungen einer freien Marktwirtschaft ein großtechnisch durchführbares, rentables Kohlenveredelungsverfahren sei. Angesichts der von den Alliierten bis 1920 aufrechterhaltenen Wirtschaftsblockade des Deutschen Reichs dürften Autarkieüberlegungen eine gewisse Rolle gespielt haben. Ausschlaggebend

54 Verein Deutscher Ingenieure, Kriegserfahrungen, 1923, S. 103–104.
55 Ebd., S. 101–102.
56 Erwähnt im Schreiben Pott an Stinnes vom 5.10.1918. In: KAS I-220-2379.

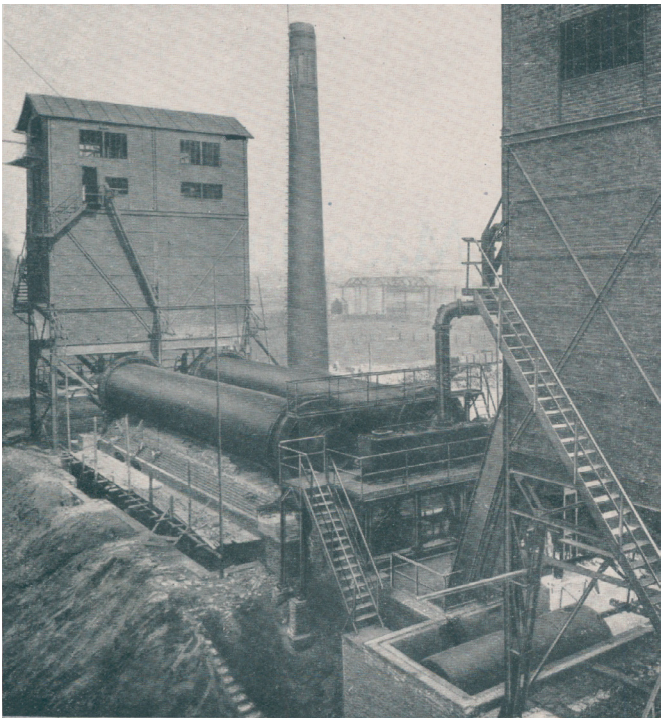


Abb. 4 Im Bau befindlicher Thyssen'scher Drehofen (Doppelanlage) zur Tieftemperaturverkokung von Steinkohle auf der Zeche Graf Bismarck in Gelsenkirchen, um 1922.

waren jedoch eher die Möglichkeiten einer auf dem neuen Rohstoff aufbauenden Teerchemie; dass bei der Tieftemperaturverkokung auch Ammoniak und Phenol in ansehnlichen Mengen zu gewinnen waren, versprach zusätzliche Rentabilität. In den 1920er Jahren entstanden mehrere Anlagen. Außer der schon im Krieg fertiggestellten Versuchsanlage bei der Maschinenfabrik Thyssen wurde 1922 eine Doppelrohranlage auf der Zeche Graf Bismarck (DEA) (Abb. 4) sowie 1923 eine einfache Drehtrommelanlage auf dem Gaswerk Hamburg-Tiefstaack in Betrieb genommen. Die Maschinenfabrik Fellner & Ziegler errichtete auf Veranlassung von Franz Burgers jr., Vorstand der Gelsenkirchener Bergwerks-AG, 1919 bis 1922 eine Drehofenanlage auf dem Hochofenwerk in Gelsenkirchen.[57] Mehr Zeit benötigte der Bau einer von Alfred Pott geförderten Schwelanlage auf der Zeche Mathias Stinnes I/II in [Essen-]Karnap. U. a. wegen des Zusammengehens der MAN mit der GHH verzögerte sich die geplante Gründung einer gemeinsamen Gesell-

57 Rasch, Geschichte, 1989, S. 145–147; Franz Burgers jr., Nachruf, 1930; Thau, Tieftemperaturverkokung, 1922/23.

schaft zur Durchführung des Schwelverfahrens. Am 8. März 1921 gründeten schließlich MAN und Gewerkschaft Mathias Stinnes die Kohlenscheidungs-Gesellschaft mbH (KSG) zum

> Studium der auf dem Gebiet der Kohlenchemie, besonders dem der Tieftemperaturbehandlung der Brennstoffe vorliegenden neuen Erkenntnisse und Überführung derselben in die Praxis und anschließend daran die gewerbsmäßige Konstruktion und Herstellung sowie der Verkauf und die sonstige Verwertung derartiger Anlagen, einschließlich der Verarbeitung und Benützung der aus den behandelten Brennstoffen ausgeschiedenen Wertstoffe.[58]

Bedingt durch konstruktive Mehrarbeit bei der Durchbildung des Prozesses – so die offizielle Version – wurde die Anlage auf der Zeche Mathias Stinnes I/II bei Essen erst im April 1924 in Betrieb genommen. Seit dem 1. Dezember 1921 war für die technische Ausgestaltung der Anlage v. a. Fritz Müller (1897–1947) zuständig, der in den 1930er Jahren im Krupp-Konzern bis zum Vorstandsmitglied aufsteigen sollte. In Karnap lernten Alfred Pott, Fritz Müller und ihre Mitarbeiter, mit den Problemen des noch nicht industriell entwickelten Energieverbundes umzugehen. Für das Schwelverfahren wurde die Trockenkühlung entwickelt, um großstückigen Koks zu erhalten. Gasbehälter waren als Puffer für den Energieverbund mit der Glaswerke Ruhr AG, ebenfalls ein Unternehmen der Stinnes-Gruppe, als industriellem Gasabnehmer gedacht; sie dienten zugleich als Mischstation für Kokerei- und Schwelgas.[59] Die MAN schied 1923 als Gesellschafter bei der KSG aus, und zum 1. April 1924 wurde der Unternehmenssitz von Nürnberg nach Berlin verlegt. Pott hatte nämlich 1922 während seiner USA-Reise zusammen mit Georg Cantieny (1883–1947), dem Geschäftsführer der KSG, den Kontakt zur Combustion Engineering Co., New York, hergestellt, die über ihre niederländische Beteiligung N. V. Carbo-Union Industrie Maatschappij anstelle der MAN in die KSG eintrat und bis nach dem Zweiten Weltkrieg mit den Stinnes-Zechen in diesem Unternehmen zusammenarbeitete. Damit wurde aus der ursprünglich auf den deutschen Markt ausgerichteten Gesellschaft ein weltweit operierendes Unternehmen »auf dem Gebiete der Gewinnung, Verbrennung und Veredelung der Kohle«. Pott, der dem Verwaltungsrat der KSG seit Gründung angehörte, übernahm 1928, nachdem die Combustion Engineering Co. ihren bis dahin in Europa weilenden Vertreter zurückbeordert hatte, dessen Stelle als Repräsentant für Europa (ohne Frankreich und Großbritannien). Pott wurde außerdem Vorsitzender des Aufsichtsrats der N. V. Carbo-Union Industrie-Maatschappij in Rotterdam.[60]

58 MAN an Direktion Zeche Mathias Stinnes vom 31.1.1921. Abschrift in: KAS I-220-K2332/5; Zitat aus Gesellschaftsvertrag, Entwurf mit handschriftlichem Zusatz »Endgültig«. In: ebd.; Gründungsdatum nach Handbuch der Großen GmbH, KG, OHG, Einzelfirmen (im Folgenden GmbH-Buch), 1944, S. 97.

59 Rasch, Müller, 1999; Rasch, Nebenproduktanlagen, 1993, S. 47.

60 Eidesstattliche Erklärung G. Cantieny vom 29.5.1946 für Alfred Pott, 2. Version. In: Amtsgericht Coburg, Entnazifizierungsakte Alfred Pott, Aktennotiz zu Zusammenkunft im alten Hause in Mülheim-Ruhr am 10. Oktober, 11.10.1922. In: KAS I-220-2350; Mossner, Adreßbuch, 1929, S. 1411.

Nicht die Nebenprodukte Urteer, Phenole, Gas u. a. stellten das Problem des Schwelverfahrens dar, sondern der in großen Mengen anfallende Halbkoks, der nicht in Hochöfen einsetzbar war und für den sich in Friedenszeiten kein Abnehmer fand, weshalb er u. a. gemahlen und anschließend in Kohlenstaubfeuerungen verbrannt wurde. In Summe waren die Produkte jedoch kaum rentabel zu verkaufen. Dies konnten die Fachleute Anfang der 1920er Jahre noch nicht eindeutig absehen. Im Jahr 1921 richtete die Gesellschaft für Teerverwertung, Duisburg, aufgrund der Laboratoriums- und kleintechnischer Versuche eine Anlage zur Weiterverarbeitung der Urteere ein.[61] Zwischenzeitlich hatte das Kohlenforschungsinstitut auch ein industriell anwendbares Verfahren der Phenoltrennung erfunden und konnte dieses 1922 zu einem kontinuierlichen Verfahren weiterentwickeln. Erst mit der Weltwirtschaftskrise 1929 wurden die verschiedenen Betriebsversuche wegen dauerhafter Unrentabilität eingestellt.[62]

Mit der nationalsozialistischen Autarkiepolitik setzte ein erneutes Interesse an der Steinkohlenschwelung ein.[63] Flüssige Kohlenwasserstoffe wurden für eine zukünftige motorisierte Kriegsführung benötigt. Da aber seit Mitte der 1920er Jahre attraktive Alternativen zur Gewinnung flüssiger Kohlenwasserstoffe aus Kohle zur Verfügung standen, kam das Verfahren der Tieftemperaturverkokung im Ruhrgebiet nicht über die Gründung einer Studiengesellschaft und den Bau zweier Versuchsanlagen bei Hoesch Benzin GmbH, Dortmund, und Krupp Treibstoffwerk GmbH hinaus. In den 1930er Jahren sollte der Halbkoks vergast werden, um das so gewonnene Gas in Fischer-Tropsch-Anlagen in flüssige Kohlenwasserstoffe umzuwandeln. Auch in einer Autarkiewirtschaft war dieser Weg unrentabel.[64] Erst 1942, als der Treibstoffmangel der Wehrmacht evident war und es nicht gelang, die kaukasischen Ölfelder langfristig zu besetzen, legte der Generalbevollmächtigte für Sonderfragen der chemischen Erzeugung, der IG Farben-Aufsichtsratsvorsitzende Carl Krauch (1887–1968), ein Programm zum Großeinsatz der Steinkohlenschwelung vor, das den Bau von 14 Steinkohle-Schwelanlagen vorsah. Bis Kriegsende konnte es aber nur in Ansätzen realisiert werden.[65]

Hydrierung von Kohlen, Teeren und Mineralölen nach Friedrich Bergius

Das zweite große Verfahren, dessen technische Realisierung im Ersten Weltkrieg versucht wurde, um den Schmier- und Treibstoffmangel zu mildern, war die »Berginisierung«,[66] wie Bergius in den 1920er Jahren durchaus selbstbewusst die ihm 1913 in zwei Patenten geschützte Erfindung der Hydrierung von Mineralölen, Kohle und deren Derivaten

61 Gesellschaft für Teerverwertung mbH, Gesellschaft, 1930, S. 23.

62 Rasch, Moehrle, 1994; Rasch, Moehrle, 1990; Rasch, Geschichte, 1989, S. 142–147.

63 Siehe Sitzung der Abteilung »Steinkohle« auf der Hauptversammlung der Deutschen Gesellschaft für Mineralölforschung am 27.4.1934, abgedruckt in: Öl und Kohle 2 (1934), S. 243 ff.

64 Rasch, Müller, 1999, S. 466–467; Rasch, Nebenproduktanlagen, 1993, S. 47.

65 Aktennotiz: Großeinsatz der Steinkohlenschwelung für die Treibstofferzeugung, April 1942, in: Bundesarchiv Berlin, R 2-17754.

66 Rasch, Berginisierung, 1984.

nannte. Ähnlich wie bei der Tieftemperaturschwelung, die im Ersten Weltkrieg nur in kleinen Generatoranlagen, nicht aber in industriellen Großanlagen umgesetzt wurde, und deren Produkte in mühsamen Versuchen marktfähig gemacht werden mussten, hatten die Fachleute auch bei der Hydrierung der Kohle im technischen Maßstab die damit verbundenen Probleme unterschätzt. Die Euphorie, der Patriotismus der ersten Kriegswochen kam zudem Friedrich Bergius' Neigung entgegen, die kriegswirtschaftliche Relevanz seiner Erfindung zu sehen, nicht aber die im Detail steckenden Probleme bei der Umsetzung einer Laborerfindung in den industriellen Betrieb. Folglich unterschätzte er, aber auch der Firmenmiteigentümer Karl Goldschmidt, den notwendigen Zeitaufwand und die damit verbundenen Kosten. Zwar hatte Bergius nach seiner Promotion ein Semester bei Fritz Haber (1868–1934) in Karlsruhe hospitiert, war dort zuerst mit der Hochdrucktechnik und dem ideenreichen Institutsmechaniker Friedrich Kirchenbauer (1876–1931) bekannt geworden, bevor er zur TH Hannover wechselte und sich 1910 auf eigene Kosten ein umfangreiches privates Hochdrucklabor in seiner Privatvilla einrichtete, wo er zahlreiche hochdrucktechnische Verfahren mit industriellem Anwendungsbezug entwickelte.[67] Da Bergius trotz einiger patentierter Erfindungen und Lizenzierungen sein eigenes Hochdrucklabor mit mehreren wissenschaftlichen und technischen Mitarbeitern nicht mehr selbst finanzieren konnte, war der habilitierte Forscher zum 1. Januar 1914 in den Dienst der Goldschmidt AG getreten, um als Forschungsleiter dem Unternehmen neue Tätigkeitsfelder zu erschließen, dazu gehörte jedoch nicht sein Hydrierverfahren. Aber weder er noch das Essener Unternehmen besaßen Erfahrungen mit der industriellen Hochdrucktechnik. Über die verfügte nur die Badische Anilin- & Sodafabrik AG (BASF), die schon vor dem Krieg das von Fritz Haber und Robert Le Rossignol (1884–1976) entwickelte Verfahren der synthetischen Stickstoffgewinnung in die Technik umgesetzt hatte.[68]

Obwohl nur einige wenige diskontinuierliche Laborversuche in Hannover die Hydrierbarkeit von Kohle und Mineralöl nachgewiesen hatten, aber weder der optimale Temperatur- und Druckbereich noch die Wirkung von Katalysatoren erforscht waren, plante die Konstruktionsabteilung der Th. Goldschmidt AG schon im Herbst 1914 eine Technikumsanlage von 9 t Tagesdurchsatz für Mineralölrückstände. Die dem preußischen Kriegsministerium vorgelegten Pläne wurden von den beiden Professoren der Technischen Hochschule [Berlin-]Charlottenburg, den Maschinenbauern Alois Riedler (1850–1936) und Stephan Löffler (1877–1929), überprüft. Dabei entdeckten die beiden, dass in dem angestrebten Temperaturbereich von 450 °C die bis dahin bekannten Stahllegierungen nicht dem angestrebten Druck von 100 bis 120 bar standhalten würden. Da zudem der Wasserstoff die Rohrwandungen angriff, war mit einem Platzen der Hochdruckbehälter nach kurzer Betriebszeit zu rechnen. Die von Bergius ersonnene Lösung des Problems war schließlich ein doppelwandiges Gefäß, dessen innere Wandung dem Wasserstoff standhalten sollte, dessen äußere jedoch den Druck tragen musste. Im

67 Hierzu und zum Folgenden siehe Rasch, Bergius und Kohleverflüssigung, 1985.
68 Stoltzenberg, Haber, 1994, S. 133–186; Szöllösi-Janze, Haber, 1998, S. 155–195.

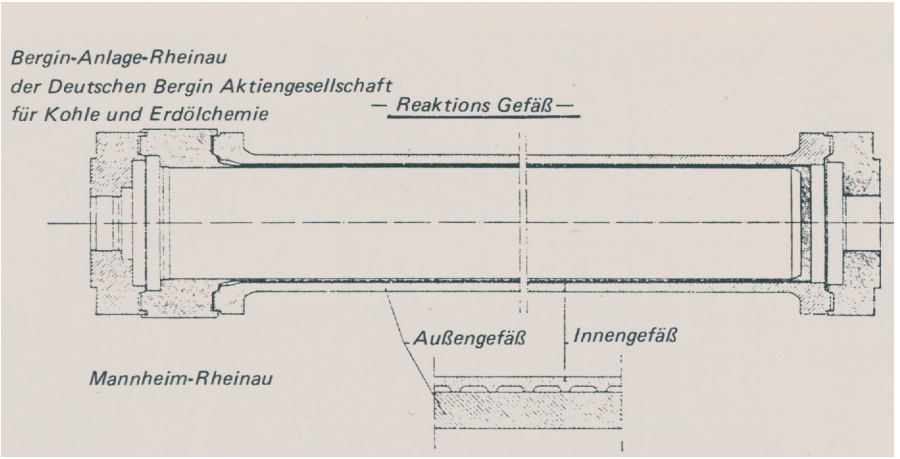


Abb. 5 1916 hergestelltes, doppelwandiges Hochdruckgefäß in der Rheinauer Anlage (Skizze, Längsschnitt).

Zwischenraum sollte ein Heizmedium zirkulieren. Eine Leckage des inneren Gefäßes führte somit nicht zu einer sofortigen Zerstörung des Druckgefäßes. Die gleiche Idee hatten auch die Mitarbeiter der BASF bei ihrer technischen Umsetzung des Haber'schen Syntheseverfahrens, weshalb sowohl Carl Bosch (1874–1940) als auch Friedrich Bergius 1931 mit dem Chemie-Nobelpreis für ihre Verdienste um die Entdeckung und Entwicklung der chemischen Hochdruckverfahren geehrt wurden (Abb. 5).[69]

Schon im Jahr 1915 hatte Bergius bei der Fried. Krupp AG in Essen ein 8 m langes, 60 t schweres Hochdruckgefäß mit 80 cm Durchmesser für Temperaturen von 440 °C und 120 bar Druck in Auftrag gegeben, das 3000 l fassen sollte.[70] Krupp, durch seinen Geschützrohrbau für diese Aufgabe ausgewiesen, fertigte auch die großen Hochdruckbehälter für das Haber-Bosch-Verfahren (Abb. 6).

Grundlegende Erfindungen zur industriellen Umsetzung seines Hydrierverfahrens meldete Bergius Heilig Abend 1914 zum Patent an. Zum einen war die Idee, aus Mineralölrückständen mit feingemahlener Kohle eine Paste zu mischen, die man in ein unter Druck stehendes Gefäß pressen konnte, und zum anderen, den prozessnotwendigen Wasserstoff zusätzlich zur Beheizung des Hochdruckbehälters zu verwenden, indem man ihn in einem Bleibad erwärmte. Diese an sich richtige Idee wurde zwar patentiert, aber zunächst nicht weiterverfolgt, vielmehr sollte der im Zwischenraum des Druckbehälters zirkulierende Stickstoff bzw. das Naphthalin diese Funktion übernehmen.

69 Rasch, Technische und chemische Probleme, 1986.
70 Rasch, Verschollenes Meisterwerk, 1986.

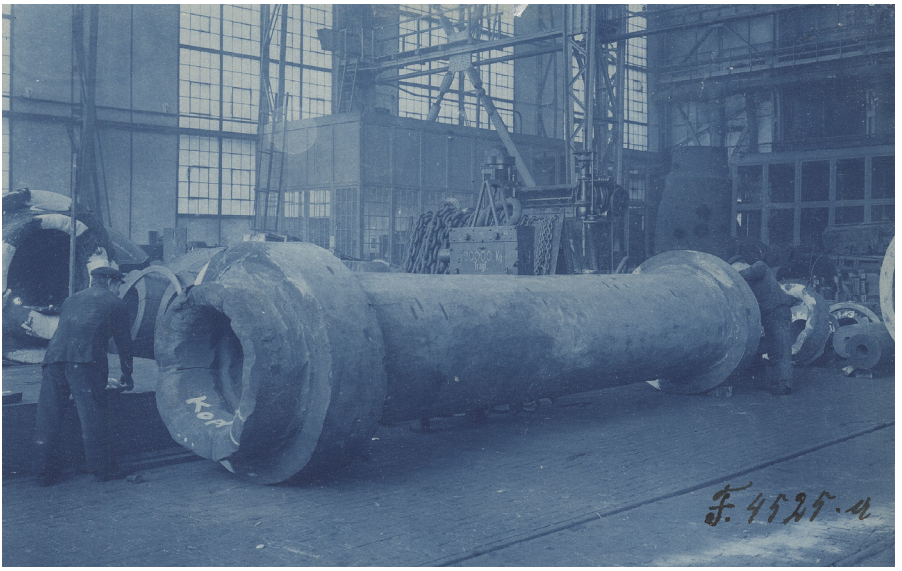


Abb. 6 Flanschenrohr für die Hochdruck-Synthese der Badischen Anilin- & Soda-Fabrik, vorgeschmiedet bei der Fried. Krupp AG. Cyanotypie, 1919.

Da sich die Techniker zudem für ein liegendes Hochdruckgefäß entschieden, glaubten sie, dieses mit einem Rührwerk ausstatten zu müssen, um die erforderliche Durchmischung der Reaktionskomponenten zu verbessern. Nicht nur Form und Antrieb des Rührwerks waren ein Problem, sondern auch dessen Abdichtung. Gegen einen rollierenden Autoklaven entschieden sich die Fachleute in der Technikumerprobung; 1919 verzichteten sie auf das Rührwerk. Bei einer vertikalen Positionierung des Druckbehälters – wie es später die BASF in ihren Anlagen tat – hätte man den aufsteigenden Wasserstoff zur Durchmischung nutzen können.[71]

Systematische Untersuchungen über die optimale Ausgestaltung der Anlage fehlten. Erst in den 1920er Jahren entwickelten die Forscher in Rheinau die Idee eines zweistufigen Verfahrens, um die Ausbeute zu optimieren. Im Krieg konnte Krupp zunächst nur 6 bis 8 m lange Hochdruckrohre schmieden, weshalb die BASF bei ihrer Umsetzung der Haber-Bosch-Synthese zwei Rohre aneinander flanschte,[72] um den Reaktionsraum zu verlängern. Bergius hätte die Verweilzeit im Autoklaven verlängern müssen, um bessere Kohlenwasserstoffausbeuten zu erhalten. Er strebte jedoch hohe Durchsatzzahlen an – auf Kosten der Produktqualität. Weitere Probleme waren die Hochdruckdichtungen. Noch fehlte das notwendige Wissen über die Schweißbarkeit speziell legierter Stahl-

71 Rasch, Technische und chemische Probleme, 1986.
72 Bergius, Chemische Reaktionen, 1933, S. 6.

sorten. Weitere technische Probleme betrafen die Mess- und Regeltechnik zur exakten Bestimmung von Füllstand und Temperatur in einem unter Druck stehenden Gefäß. Da es damals noch keine akademisch ausgebildeten Chemie-Ingenieure gab, musste alles in Essen bzw. im Zweigwerk Mannheim-Rheinau der Th. Goldschmidt AG selbst entwickelt werden. So verwundert es nicht, dass die Euphorie der ersten Kriegsmonate für das neue Verfahren schon 1915 verflog, zumal die Firma Goldschmidt auch noch andere kriegswichtige Aufgaben angenommen hatte, u. a. die Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Glykolerzeugung und die Holzverzuckerung.

Erst durch den Kriegseintritt Rumäniens auf Seiten der Entente Ende August 1916 und den damit verbundenen Verlust der rumänischen Mineralölzufuhr wurde das Hydrierverfahren als Rohstoffersatzverfahren für das Deutsche Reich erneut interessant. Als sich die Mittelmächte im Besitz der zerstörten rumänischen Erdölfelder und Raffinerien befanden, nahm das Interesse des preußischen Kriegsministeriums – wie beim Fischer'schen Schwelverfahren – wieder ab. Nun erschien der Wiederaufbau der rumänischen Erdölindustrie und der Ausbau der Transportwege nach Deutschland für die Kriegsführung günstiger, zumal die in Deutschland ansässigen Erdölgesellschaften im Verbund mit der Deutschen Bank die Gelegenheit nutzen wollten, britische und französische Konkurrenten aus dem lukrativen rumänischen Markt zu drängen.

Schon unmittelbar vor dem rumänischen Kriegseintritt hatte sich Bergius mit der Hydrierbarkeit unterschiedlicher Kohlen beschäftigt und festgestellt, dass sich jüngere Kohlen mit einem Kohlenstoffgehalt von maximal 85 % besonders dafür eigneten. Eine eigene bergmännisch-geologische Abteilung zur Untersuchung der verschiedenen Kohlensorten sollte jedoch erst 1919 eingerichtet werden. Als sich im Laufe des Jahres 1917 zeigte, dass die verfügbare Erdölförderung der Mittelmächte den enorm ansteigenden Bedarf des Deutschen Reichs an Treib- und Schmierstoffen (U-Boote, Flugzeuge, Kraftwagen, Maschinen) nicht deckte, wandte sich das preußische Kriegsministerium erneut Bergius' Verfahren zu, um Mineralölrückstände zu hydrieren. Nun kommandierte die Inspektion des Kraftfahrwesens 45 Soldaten zum Bau einer Benzinfabrik in Rheinau ab,[73] und Bergius, der im Dezember 1916 zum stellvertretenden Vorstand der Th. Goldschmidt AG ernannt worden war, um bei Verhandlungen mit Staat, Militär oder Unternehmen mit mehr formalem Gewicht auftreten zu können, bestellte für Rheinau eine Anlage zur Erzeugung von Wasserstoff, ohne dass er sich vorab Gedanken über dessen kostengünstigste Herstellung gemacht hatte. Dabei war gerade dieser Kostenfaktor wichtig für die Rentabilität des Verfahrens. Bergius selbst hatte vor dem Krieg ein diskontinuierliches Verfahren zur Wasserstofferzeugung zum Patent angemeldet. Es reüssierte nicht, da es für den industriellen Betrieb nicht kostengünstig war.

Ende 1916 war die Th. Goldschmidt AG auf dem ihr bis dahin völlig fremden Treibstoffmarkt aktiv geworden und hatte die Aktiengesellschaft für Petroleumindustrie, Nürnberg, erworben, weil diese Bergius' Hydrierpatente für Mineralöle hielt. Offensichtlich wollte die Essener Firma Bergius' Hydrierpatente vollständig kontrollieren. Des

73 Rasch, Technische und chemische Probleme, 1986, S. 84.

Weiteren erwarb sie Raffinerien, u. a. bei Berlin, um eine Organisation zum Verkauf von Mineralöl aufzubauen. Doch bald erkannten Vorstand und Aufsichtsrat, dass das Mineralölgeschäft und das technisch noch zu entwickelnde Hydrierverfahren ihre finanziellen Möglichkeiten bei Weitem übertrafen.[74]

Die Entwicklungskosten überstiegen die finanzielle Leistungsfähigkeit der Th. Goldschmidt AG. Einschließlich aller Versuchs- und Personalkosten beliefen sie sich am 31. Dezember 1917 auf exakt 3.228.980,69 Mark; ein Jahr später war die Summe schon doppelt so hoch. Deshalb gründeten am 10. Mai 1918 Robert Friedlaender (1874–1950), einstiger Generalbevollmächtigter seines Cousins, des mittlerweile verstorbenen schlesischen Montanindustriellen Fritz von Friedlaender-Fuld (1858–1917) und nun selbstständiger Unternehmens- und Erfinderberater, die Th. Goldschmidt AG und die Fürstlich Henckel von Donnersmark'sche Verwaltung gemeinsam das Konsortium für Kohlechemie mit einem Grundkapital von 30 Millionen Mark. Die oberschlesischen Industriellen Guidotto (1888–1959) und Kraft (1890–1977) Henckel von Donnersmarck allein waren mit 25 Millionen Mark beteiligt. Sie entsprachen damit dem Testament ihres am 19. Dezember 1916 verstorbenen Vaters Guido (1830–1916), der ihnen sein industrielles Vermögen mit der Auflage hinterlassen hatte, sich auf Oberschlesien zu konzentrieren und in die Weiterverarbeitung der Kohle zu investieren. Als Betriebsgesellschaft des Konsortiums fungierte die Erdöl-Verwertungs-AG (Evag).[75] Karl Goldschmidt und Robert Friedlaender verfassten im Juni 1918 eine Denkschrift »Kohleveredlung zum Ersatz der ausländischen Rohöle«, um beim Staat für ihr Anliegen zu werben.[76]

Bis Kriegsende kam die Technikumsanlage in Rheinau nicht in Betrieb. Als das Technikum endlich tageweise lief, blieb es hinter den Ergebnissen der eigenen Laborforschung zurück. Bis Ende 1927 wurden insgesamt 4000 Versuche in 2-l-Bomben mit unterschiedlichen Kohlen und Ölen, über 450 kleintechnische, kontinuierliche Versuche (Tagedurchsatz 800 bis 1000 kg) und nur wenige Versuche in der »großen« Anlage (3000-Liter-Gefäß) durchgeführt. In der Hyperinflation geriet die Evag in finanzielle Schwierigkeiten und musste einen Großteil ihrer annähernd 300 Mitarbeiter entlassen. Im Sommer 1925 übernahm schließlich die IG Farbenindustrie AG die Aktienmehrheit der Evag. Kurz zuvor hatte sie in ihrem Werk Oppau die katalytische Hochdruckhydrierung entwickelt.[77] Im Jahr 1927 nahm die IG Farben in ihrem Ammoniakwerk Leuna die erste großtechnische Hydrieranlage auf Basis von Braunkohle (100 000 t/a Treibstoff) in Betrieb, während zur gleichen Zeit die Rheinauer Versuchsanlage von Bergius ihre Forschungen zur sogenannten Berginisierung endgültig einstellte und sich anderen Themen (Holzverzuckerung) zuwandte.[78] Nur in Duisburg-Meiderich versuchten Adolf Spilker (1863–1954),[79]

74 Rasch, Vorgeschichte, 1984, S. 470.

75 Evonik Industries AG, Standortarchiv Marl, Bestand Th. Goldschmidt AG, Schnellhefter »Evag No 23«; Rasch, Unternehmer, 2016, S. 214–216.

76 Denkschrift: Kohleveredlung zum Ersatz der ausländischen Rohöle, Juni 1918, in: Bundearchiv Berlin R 3101/1438, Bl. 40–49.

77 Rasch, Pier, 2001.

78 Rasch, Technische und chemische Probleme, S. 84.

79 Rasch, Spilker, 2010.

Generaldirektor der Gesellschaft für Teerverwertung, zusammen mit anderen Montangesellschaften des Ruhrgebiets mittels der 1926 gegründeten AG für Steinkohleverflüssigung und Steinkohleveredelung[80] noch die Hydrierung von Teeren und Steinkohle. In der Weltwirtschaftskrise mussten sie ihre Unternehmung aber aufgeben und an die IG Farben verkaufen, ohne dass die in Meiderich fertiggestellte industrielle Anlage überhaupt in Betrieb gegangen wäre.[81]

Im Zweiten Weltkrieg sollte das 1913 von Bergius entdeckte Hydrierverfahren den für die deutsche Luft- und Panzerwaffe sowie den Kraftverkehr benötigten Treibstoff liefern. Infolge der NS-Autarkie- und Kriegswirtschaft waren auf staatlichen Zwang (Braunkohlen-Benzin AG) sowie auf privatwirtschaftlicher Basis zwölf Hydrierwerke im Deutschen Reich und den besetzten Gebieten entstanden, mit einer Produktionskapazität von 3,85 Millionen Jahrestonnen, während zur gleichen Zeit neun Fischer-Tropsch-Werke nur nominal 740 000 Jahrestonnen Treib- (vornehmlich Diesel) und Schmierstoffe erzeugten.[82] Letztere konnten die in sie gesetzten Erwartungen hinsichtlich Qualität und Quantität nicht erfüllen. Eine vollständige Treibstoffautarkie erreichte das Deutsche Reich trotz entsprechender Anstrengungen in seinem Vierjahresplan nicht, weshalb 1942 wieder das kaukasische Erdöl in das Interesse des Militärs und in Hitlers Planungen geriet.

Hydrierung von Naphthalin

Ebenfalls ein technischer Fehlschlag war – zumindest während des Ersten Weltkriegs – das große, in Rodleben bei Dessau gebaute Werk zur Hydrierung des Naphthalins. Naphthalin diente bisher zur Herstellung von Farbstoffen, Ruß und Insektenvertilgungsmitteln. In den ersten Kriegsmonaten waren angesichts des alliierten Erdölembargos einige industrielle Heizölfeuerungen auf die Verbrennung von Naphthalin umgestellt worden, das aber vorbeheizt werden musste auf mindestens 90 °C, da es bei Raumtemperatur nur in fester Form vorlag. Der so entstandene zusätzliche Verbrauch entsprach jedoch nicht dem Anfall, da immerhin 5 bis 10 % des Kokereiteers aus Naphthalin bestand. Im letzten Friedensjahr fiel allein im Bezirk des Oberbergamts Dortmund Teer in Höhe von 784 800 t an. Versuche, Naphthalin als Motortreibstoff einzusetzen, waren nicht praktikabel, da der Motor zunächst mit Benzin bzw. Benzol auf Betriebstemperatur gebracht und vor dem Abstellen auch wieder mit Benzin bzw. Benzol gereinigt werden musste, um Verstopfungen der Leitung durch Naphthalin zu verhindern.[83] Schon im Januar 1915 hatte Emil Fischer seinem Namensvetter Franz Fischer, Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung, als mögliche Aufgaben für das Institut genannt: »die Bereitung neuer flüssiger Kohlenwasserstoffe von der Kategorie sogen[annter] Heiz-

80 Die Firma wurde 1926 als AG für Kohleverflüssigung und Kohleveredelung gegründet und Ende 1927 umbenannt.

81 Rasch, Bergius und Kohleverflüssigung, 1985, S. 32–33.

82 Karlsch/Stokes, Faktor Öl, 2003, S. 189

83 Heller, Rohstoffersatz, 1921, S. 234–235.

öle aus Napht[h]alin und noch höhersiedenden Bestandteilen des Steinkohlenteers oder endlich aus dem massenhaft vorhandenen Pech.« Emil Fischer umriss nicht nur ein neues, kriegswichtiges Arbeitsgebiet, sondern gab gleichzeitig auch Arbeitsanweisungen:

> Man kann daran denken, die nötigen Umwandlungen herbeizuführen durch Überhitzung oder Reduktion mit Wasserstoff unter Zusatz passender Katalysatoren oder endlich durch Combination solcher Methoden.[84]

Aufgrund des niedrigen Rohstoffpreises für Naphthalin erschien eine Umwandlung in flüssige Kohlenwasserstoffe auch ökonomisch lohnend. Mitarbeiter des Kohlenforschungsinstituts hydrierten Naphthalin im Autoklaven in Anwesenheit nichtmetallischer Katalysatoren. Auf die Verwendung eines Nickelkatalysators, dessen Wirkung schon seit Jahren durch die Arbeiten von Paul Sabatier (1854–1941) und Jean Baptiste Senderens (1856–1937) bekannt war, verzichteten sie bewusst,

> weil die Empfindlichkeit des Nickels für Verunreinigungen, insbesondere Schwefel, sehr groß ist und deshalb eine Anwendung des Nickels zur Verflüssigung technischer, also immer schwefelhaltiger Produkte nicht in Frage kommt«.[85]

Aufgrund dieser einfachen Versuche – sie waren nicht die ersten, die Wasserstoff auf Naphthalin einwirken ließen[86] – ermittelten die Mülheimer Forscher hohen Druck und hohe Temperatur als die besten Verfahrensbedingungen für die Hydrierung von Naphthalin zu petroleumähnlichen Produkten.[87]

Franz Fischer begnügte sich mit diesen orientierenden Untersuchungen und versuchte nicht, ein technisches Verfahren zu entwickeln. Dazu besaß er nicht genügend Mitarbeiter, denn das Institut war trotz seiner kriegswichtigen Arbeiten personell nicht aufgestockt worden wie beispielsweise Habers Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie. Im Kohlenforschungsinstitut arbeiteten 1918 nur sechs Chemiker inklusive Direktor, acht Hilfskräfte und sechs Lehrlinge.[88]

Von diesen Mülheimer Arbeiten scheint der Chemiker Hans von Gwinner (1887–1959) keine Kenntnis gehabt zu haben. Er war seit Kriegsbeginn im Reichsmarineamt in der Beschaffungsabteilung beschäftigt und sollte einen militärischen Verwendungszweck für das Naphthalin finden, da die Lager der Teerdestillationen davon angeblich überquollen. Von Gwinner suchte seinen Doktorvater Emil Fischer auf. Dieser verwies ihn an

84 Emil Fischer an Franz Fischer vom 24.1.1915. Durchschlag in: Bancroft Library, NL Emil Fischer, Briefdurchschläge.

85 Zitat aus: Kurzer vorläufiger Bericht über die Tätigkeit des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung vom 1.8.1914 bis 1.8.1915. In: MPG-Archiv I A-1338.

86 Einen guten zeitgenössischen Literaturüberblick findet sich bei DRP 324861 vom 25.2.1915, Tetralin GmbH: Verfahren zur Darstellung hydrierter Naphthaline.

87 Rasch, Geschichte, 1989, S. 72–73.

88 Ebd., S. 13–43, 80–88.

Georg Schroeter (1869–1943)[89] vom Chemischen Institut der Tierärztlichen Hochschule in Berlin, in dessen Büro eine Petroleum-Lampe mit hydriertem Naphthalin brannte. Schroeter hatte schon am 24. Februar 1915 ein »Verfahren zur Darstellung hydrierter Naphthaline« zum Patent angemeldet, das den Anspruch erhob, technisch durchführbar zu sein. Naphthalin sollte bei 100 bis 200 °C und 10 bis 15 bar mit dem neuerdings »billig herstellbaren elementaren Wasserstoff« zu flüssigen Kohlenwasserstoffen (Tetralin) umgewandelt werden.[90] Hans von Gwinner konnte das Reichsmarineamt für das Verfahren interessieren. Dieses erwarb im November 1915 von Schroeter das damals noch nicht patentierte Verfahren, kommandierte von Gwinner zu Forschungsarbeitern an die Tierärztliche Hochschule ab, übernahm die Kosten der weiteren Forschungsarbeiten (maximal 10.000 Mark) und garantierte Schroeter eine Gewinnbeteiligung. In den folgenden Monaten entwickelte von Gwinner unter Schroeters Anleitung ein Hydrierverfahren bei Mitteldruck für ein erstes Technikum. Schroeter war nicht nur der Ideengeber, sondern er sollte anfangs auch im Auftrag des Reichsmarineamts die technische Entwicklung mit betreuen.[91] Währenddessen organisierte die Deutsche Bank, dessen Vorstandssprecher Hans von Gwinners Vater Arthur (1856–1931) war, ein sogenanntes Tetralin-Konsortium zur Überführung der Laborerfindung in die industrielle Produktion. Konsorten waren die von der Deutschen Bank 1908 mitbegründete Bayerische Stickstoffwerke AG (Aufsichtsratsvorsitzender Arthur von Gwinner),[92] die Rütgerswerke AG, die Deutsche Petroleum AG (Aufsichtsratsvorsitzender Arthur von Gwinner) und die Berlin-Anhaltische Maschinenbau-AG (Bamag). Wegen Arthur von Gwinners persönlichem Interesse waren die Konsortialsitzungen entsprechend hochkarätig besetzt: Für die Bayerischen Stickstoffwerke nahm Nikodem Caro (1871–1953), Vorstandsvorsitzender, für die Rütgerswerke AG ihr Vorstandsvorsitzender Sali Segall (1866–1925) teil. Die Unternehmensfinanzierung sollte die Deutsche Bank übernehmen, während die Bayerische Stickstoffwerke AG mit ihren Erfahrungen im Umgang mit Wasserstoff und Druck für die Geschäftsführung verantwortlich zeichnete. Die Bamag war der Anlagenbauer, der in Rodleben die Wasserstofferzeugung errichtete, während mit der Rütgerswerke AG der in Berlin ansässige Teerverarbeiter und damit der Rohstofflieferant involviert war. Die Deutsche Petroleum AG, von der Deutschen Bank einst mitgegründet, verfügte nicht nur mit Kesselwagen über notwendige Transportkapazitäten, sondern vor allem auch über industrielle Erfahrungen beim Destillieren und Raffinieren von Mineralölprodukten.

89 Georg Schroeter promovierte 1892 an der Universität Bonn, war seit 1910 Professor für Chemie an der Tierärztlichen Hochschule Berlin und wurde dort 1935 emeritiert.

90 DRP 324861 vom 25.2.1915, Tetralin GmbH: Verfahren zur Darstellung hydrierter Naphthaline. Das Patent hatte ursprünglich Schroeter angemeldet.

91 Siehe den streng vertraulichen Bericht: Chemisches Institut der Königlichen Tierärztlichen Hochschule und Betriebsleitung der Tetralin Gesellschaft, Berlin, den 3.9.1917. In: Konzernarchiv Henkel, Düsseldorf, Acc. 98 (Deutsche Hydrierwerke AG) Nr. 30.

92 In diesem Haus residierte auch die Fürstlich Hohenlohe-Oehring'sche Hauptverwaltung mit einigen ihrer Unternehmungen (Teltower Boden-AG, etc.).

Die Bamag baute eine erste kleine Versuchsanlage in Hakenfelde bei Berlin-Spandau. Die Anlage hydrierte Naphthalin zu Tetralin (Tetrahydronaphthalin) und Dekalin (Dekahydronaphthalin) im 100-kg-Maßstab. Als das Technikum im Sommer 1916 abbrannte, bedeutete dies den Abschluss, aber nicht das Ende der technischen Versuche. Vielmehr hatte die Deutsche Bank mit dem Reichsmarineamt am 5./17. Mai 1916 einen Vertrag geschlossen über den Bau einer industriellen Hydrieranlage mit einer Jahreskapazität von 30 000 t Tetralin, entsprechend 100 t Tageskapazität. Die Kaiserliche Marine benötigte vor allem Dieselkraftstoff für den immer ausgedehnter geführten U-Boot-Krieg.[93] Die Deutsche Bank übernahm den vom Reichsmarineamt geschlossenen Vertrag mit Schroeter, gewährte dem Erfinder sogar noch bessere Konditionen (Vertrag 30. Mai 1916) und wollte in nur sechs Monaten die Fabrik inklusive Wasserstofferzeugung, einem Tanklager für 4000 t Tetralin und einem Laboratorium errichten, sofern alle benötigten Materialien und Personen als kriegswichtig eingestuft und umgehend geliefert bzw. fertiggestellt würden sowie die benötigten staatlichen Genehmigungen für Bau und Abwassereinleitung kurzfristig vorlägen. Das Reichsmarineamt verpflichtete sich zudem, bei der Beschaffung des benötigten Naphthalins, Natriums und Nickels behilflich zu sein. In einem komplizierten Verrechnungssystem sollten Bau- und Produktionskosten etc. auf den Kilopreis Tetralin umgelegt werden. Zusätzlich gewährte das Reichsmarineamt einen Gewinn von einem Pfennig pro kg Tetralin. Dieser Verrechnungspreis galt jedoch nur bis zu einer Produktion von maximal 300 000 t Tetralin. Um den technischen Fortschritt verbunden mit einer Fixkostendegression zu befördern, durfte die Deutsche Bank über die garantierte Abnahme des Reichsmarineamts hinausgehend Tetralin auf eigene Rechnung herstellen.

Die Deutsche Bank trat im Vertrag mit dem Reichsmarineamt als Vertreterin eines Tetralin-Konsortiums auf, das die Schroeter'sche Erfindung in die industrielle Technik umsetzen wollte. Zum Bau und Betrieb der geplanten Anlage wurde am 8. Juni 1916 die Tetralin GmbH gegründet. Während das Konsortium noch paritätisch besetzt war, sollte an der Tetralin GmbH (Gesellschaftskapital 50.000 Mark) die Bamag nur noch mit 10 %, dafür die Bayerische Stickstoffwerke AG mit 30 % beteiligt sein, während die anderen Konsorten je 20 % hielten. Die Bayerische Stickstoffwerke AG erhielt wegen ihrer Erfahrung im Umgang mit Hochdruck die Bauleitung, für die sie – bei einer geplanten Bauzeit von sechs Monaten – acht Monate lang 12.000 Mark als Entgelt erhalten sollte und zudem die Geschäftsführer der Tetralin GmbH ernennen durfte. Zu ersten Geschäftsführern wurden Nicodem Caro, Baurat Karl Janisch und Bergassessor o. D. Max Pohl, alle Bayerische Stickstoffwerke AG, ernannt, letzterer seit 1915 stellvertretendes Vorstandsmitglied der Deutschen Bank. Zusätzlich sollte sie für ihre Arbeit, einschließlich Bestellung der Geschäftsführung, jährlich 25.000 Mark von der Tetralin GmbH erhalten. Für

93 Das Deutsche Reich führte ab dem 29. Februar 1916 einen verschärften U-Boot-Krieg, ab 1. Februar 1917 den uneingeschränkten U-Boot-Krieg.

die Geschäftsführung des Konsortiums einschließlich der notwendigen Geldtransaktionen gewährte sich die Deutsche Bank eine Provision von 0,5 %/Jahr.[94]

Als Mitarbeiter hatte Hans von Gwinner den ihm aus seiner Studienzeit bekannten, ehemaligen Unterrichtsassistenten des Chemischen Instituts, Walther Schrauth (1881–1939), gewonnen. Er sollte gegen Kriegsende das Rodlebener Werk als Direktor leiten und zum Vorstandsvorsitzenden der Nachfolgegesellschaft Deutsche Hydrierwerke AG aufsteigen. In den 1920er Jahren entwickelte Schrauth eine technische Synthese höhermolekularer Fettalkohole und ihrer Derivate. Schon 1909 hatte er zusammen mit Walter Schoeller (1880–1965),[95] einem Schüler von Emil Fischer, ein Verfahren zur Herstellung desinfizierender Seifen und zur Darstellung eines Schiffsanstrichs unter Verwendung quecksilbersubstituierender organischer Säuren entwickelt.[96]

Ein »Verfahren zur Darstellung hydrierter Naphthaline«[97] meldete die Tetralin GmbH erst vier Monate nach ihrer Unternehmensgründung zum Patent an. Die Naphthalin-Hydrierung war technisch noch nicht ausgereift, als man in Rodleben bei Dessau mit dem Bau einer industriellen Anlage begann. Eine Schwachstelle des Verfahrens war die Reinigung des Rohnaphthalins, das mit metallischem Natrium behandelt werden musste, damit die Schwefelverbindungen den nickelhaltigen Katalysator nicht desaktivierten. Deshalb erhielt das Rodlebener Werk umgehend ein umfangreiches Betriebs- und Forschungslaboratorium, das Hans Kantorowicz (1866–1943) leitete und das zahlreiche Erfindungen patentieren ließ.[98] Gesucht wurde nach einem resistenten, leicht zu regenerierenden Katalysator, nach Reinigungsverfahren für das Naphthalin, nach Mangan als Ersatz für Kobalt und Nickel im Katalysator,[99] nach Möglichkeiten zur Herstellung von Schmierölen und Harzen aus Tetralin,[100] nach Kriegsende auch von Schuhcremes und Bohnerwachs.[101] Das Hauptproblem stellte die Selektivität des Verfahrens und die anschließende Destillation und Raffination dar, um die sich Kontorowicz und Mitarbeiter von Anfang an bemühten. Die Herstellung von reinem Tetralin misslang allerdings; stattdessen erhielt man nur ein tetralinhaltiges Kohlenwasserstoffgemisch. Dieses eignete sich jedoch nicht für Nitrierungsreaktionen, die erforderlich gewesen wären, wenn man

94 Berechnet laut Verträgen in: Historisches Archiv der Deutschen Bank (im Folgenden HADB), Frankfurt/Main, S1724. Die vom Henkel-Archiv 1981 herausgegebene Schrift: Felletschin/Knaut/Schöne, Deutsche Hydrierwerke (Dehydag), 1981, schildert die hier beschriebenen Vorgänge unzureichend, da ihr Fokus mehr auf der Zwischenkriegszeit lag.

95 Holldorf, Schoeller, 2007.

96 Die Ausübungsrechte hatte die Farbenfabriken vormals Friedr. Bayer & Co. 1909 erworben, siehe Konzernarchiv Henkel: Personalia Walther Schrauth; über seine Tetralin-Forschungen berichtete er unter dem Titel: Über die technische Herstellung und Verwendung hydrierter organischer Verbindungen. In: Zeitschrift für angewandte Chemie 35 (1922), S. 25–29.

97 DRP 299012 vom 2.8.1916: Tretalin GmbH: Verfahren zur Darstellung hydrierter Naphthaline.

98 Kantorowicz, Tetralin, 1920.

99 Konzernarchiv Henkel Acc. 98 (Deutsche Hydrierwerke AG) Nr. 31.

100 Ebd.

101 Ebd.

Tetralin, wie geplant, auch zu Sprengstoff verarbeitet hätte.[102] Die Geschäftsführung hatte im Sommer 1917 den Plan entwickelt, über die jährlich zugesagten 30 000 t Tetralin hinaus zusätzliche 6000 t zu produzieren, um diese »als Ersatz für Terpentinöl, für Benzol und für Glycerin« auf den Markt zu bringen. Durch den Verkauf dieser höherpreisigen Produkte sollten sich die gestiegenen Baukosten zumindest teilweise amortisieren, sie wurden mittlerweile auf 9 bis 9,5 Millionen Mark geschätzt.[103] Zudem fehlte dem Unternehmen ingenieurtechnisches Wissen. Die wöchentlichen Fortschrittsberichte der Geschäftsführung lesen sich wie eine Serie von Pech und Pannen. Der Tetralin GmbH fehlte das für den Betrieb einer Industrieanlage notwendige Know-how auf dem Gebiet der Hochdruckreaktionen, das Haber, die BASF sowie Bergius und Mitarbeiter mittlerweile besaßen.

Am 28. Juli 1917 hoffte die Geschäftsführung, endlich Tetralin produzieren zu können, aber erst am 23. Oktober konnte sie über die Hydrierung von insgesamt 3,5 t Naphthalin in drei Stunden berichten. Weitere 3 t Tetralin wurden erst am 20. November 1917 hergestellt. Am 26. November 1917 beschrieb der Vorstand der Tetralin GmbH die »Kinderkrankheiten« beim Anfahren der neuen Anlage mit den folgenden Worten: »Nachdem nunmehr die technischen Schwierigkeiten überwunden sind, treten, wie erwartet, eine Reihe von chemischen Schwierigkeiten auf, an deren kurzer [!] Überwindung wir aber nicht zweifeln.« Wenige Zeilen später wurde jedoch der Leitung des Reichsmarineamts mitgeteilt:

> Wir halten uns für verpflichtet, Euere Excellenz darauf aufmerksam zu machen, dass die Möglichkeit immerhin vorliegt, dass bei der Inbetriebsetzung nunmehr Schwierigkeiten auf chemischem Gebiet auftauchen, die wir nicht vorher sehen konnten und die uns möglicherweise aufhalten werden.

Dies war das Eingeständnis, dass der Schritt vom Laborversuch in die industrielle Produktion zu früh erfolgt war.

Am 4. Dezember hoffte man schließlich, täglich 4 t Tetralin produzieren zu können; in der Weihnachtswoche gelang es schließlich, sogar 70 t Tetralin herzustellen, ansonsten waren es aber eher durchschnittlich 30 t pro Woche. Ein Brand im Februar 1918 vernichtete nicht nur die Hoffnung auf einen Dauerbetrieb, sondern auch 500 bis 700 kg Nickel, die für die Katalysatorherstellung aus dem Schutt geklaubt und wiederaufgearbeitet werden mussten. Erst im August 1918 gelang es, 190 t Tetralin in einer Woche zu erzeugen, geplant waren ursprünglich über 600 t wöchentlich. Im gleichen Monat produzierte das Werk Rodleben 44 t Tetralin an einem Tag, die bis dahin höchste Leistung der Anlage. Wegen eines erneuten Brandes wurden im August nur 764 t hergestellt. Im Oktober gelang erstmals eine Wochenproduktion von 230 t, die aber Anfang November wieder auf 106 t Tetralin absank, da 40 % der Belegschaft an Grippe erkrankt waren und der Betrieb

102 Ebd., Nr. 30.
103 Vorstand Tetralin GmbH an Reichsmarineamt vom 13.6.1917. Durchschlag in: HADB, S1723.

Abb. 7 Werbung für die Verwendung von Tetralin als Lösungsmittel.

für einige Tage vollständig unterbrochen werden musste.[104] Der Tetralin GmbH gelang es erst 1919, das Werk Rodleben voll in Betrieb zu nehmen. Da das Reichsmarineamt aber in zwei Schritten 1916 die Naphthalinerzeugung vollständig beschlagnahmt hatte, liefen die Lager bei den Produzenten, u. a. bei der 1915 gegründeten Verkaufsvereinigung für Teererzeugnisse GmbH (VfT), über. Die Marine musste die Lagerhaltungskosten übernehmen, zumal sie Naphthalin noch nicht einmal zur Produktion von Desinfektionsmitteln freigab.[105] Um den faktisch größten Produzenten und Einlagerer von Naphthalin zur weiteren Mitarbeit bei der sich zeitlich hinziehenden Naphthalinhydrierung zu bewegen, traten die fünf Gesellschafter der Tetralin GmbH im März 1918 Geschäftsanteile von insgesamt 100.000 Mark an die Gesellschaft für Teerverwertung (GfT), Duisburg, sowie die Gewerkschaft König Ludwig, Recklinghausen, ab.[106] Abnehmer der Produktion war nach dem Krieg nicht mehr die Kaiserliche Marine, sondern z. B. die Lackindustrie, aber auch städtische Gaswerke, die Tetralin zur Entnaphthalinisierung von Leuchtgas nutzten, um Verstopfungen der Gasleitungen durch Kondensat zu verhindern (Abb. 7).

104 Fortschrittsberichte in Briefform der Tetralin GmbH an das Reichsmarineamt vom 4.12.1917, 15.12.1917, 7.1.1918, 13.2.1918, 15.8.1918, 27.8.1918, 3.9.1918, 15.10.1918, 5.11.1918. Durchschläge in: ebd.

105 Archiv-Bericht VfT, Abschnitt VI/V/7. Die VfT und die Tetralin GmbH, Typoskript o. D. In: Konzernarchiv Henkel D 401 Teil 1.

106 Vertrag vom 27.3.1918. In: HADB, S1724.

Dementsprechend wurde die firmeneigene Forschung auf Lacke, Harze und Wachse umgestellt. Im Januar 1919 informierte man sich mittels Versuchen über die Eignung der Tetralin-Abkömmlinge zur Synthese von Azofarbstoffen.[107]

Anfang 1922 fusionierte die Tetralin GmbH mit der J. D. Riedel AG, Berlin, die im engen Verhältnis zur Deutschen Bank stand. Das Tetralin-Konsortium blieb weiter bestehen. An ihm besaßen die folgenden juristischen und natürlichen Personen Anteile: Deutsche Bank 25,8 %, Bayerische Stickstoffwerke AG 20,8 %, Rütgerswerke AG 12,8 %, GfT 12,8 %, Georg Schroeter 10 %, Berlin-Anhaltische Maschinenbau AG 6,4 %, Hans von Gwinner 6 %, Walther Schrauth 4 % und die Gewerkschaft König Ludwig 1,6 %.[108] In den folgenden Jahren erlangten Zechen des Ruhrbergbaus unter Führung der GfT Einfluss auf die Tetralin GmbH, die nach dem Ausscheiden der J. D. Riedel AG am 13. Juli 1927 in Deutsche Hydrierwerke AG umbenannt wurde.[109] Adolf Spilker, der Generaldirektor der GfT, war nicht nur an der Weiterverarbeitung der Kokereiprodukte interessiert, sondern auch an der Kohlenhydrierung. Er stand in Kontakt mit Bergius und ließ deshalb in den 1920er Jahren nicht nur in Meiderich, sondern auch in Rodleben eine industrielle Hochdruckhydrierung errichten.

Andere (industrielle) Aktivitäten

Neben unzähligen Forschungen auf dem Gebiet des Schmier- und Treibstoff-Ersatzes,[110] sowohl an den Hochschulen (erwähnenswert sind die Arbeiten von Carl Engler, Hans Bunte und des Gerbereichemikers Wilhelm von Eitner, 1843–1921, an der TH Karlsruhe), als auch in den Laboratorien der Industrie, z. B. der GfT (Adolf Spilker, 1863–1954: viskose Teeröle für Schmierzwecke, die sogenannten Meiderole)[111] und einzelner Tüftler (z. B. Michael Melamid, 1883–1950: neue Schmierölveredelungsverfahren),[112] sind noch die Bemühungen zu erwähnen, durch Ölschieferschwelung Rohstoffe zu gewinnen. Überprüfungen der geologischen Landesanstalt wiesen zwar auf geeignete Lagerstätten hin, zeigten aber zugleich auf, dass der Material- und Arbeitsaufwand in keinem Verhältnis zum Ertrag stünde. Erst während des Zweiten Weltkriegs wurden insbesondere die württembergischen Ölschiefervorkommen abgebaut und verschwelt, jedoch mit äußerst geringem Ertrag.

Zusätzliche Schächte bzw. Bohrungen bei den bekannten Erdöllagerstätten bei Hannover und in Pechelbronn/Elsass scheinen ebenfalls nicht niedergebracht worden zu sein. Jedoch lieferten eine Erdölbohrung bei Tegernsee sowie das Kaliwerk Gewerkschaft

107 Berichte in Konzernarchiv Henkel Acc. 98 (Deutsche Hydrierwerke AG) Nr. 30.

108 Neufassung des Tetralin-Konsortiums wegen Übergang des Werks Rodleben der Tetralin-GmbH auf die J. D. Riedel AG, o. D. In: HADB, S1724.

109 Felletschin/Knaut/Schöne, Deutsche Hydrierwerke, 1981.

110 Eine erstaunliche Anzahl, zum Teil auch unrealistischer Projekte, nennt die im Krieg vom Verein Deutscher Ingenieure herausgegebene Publikation Rohstoffersatz, 1916, S. 46–63.

111 Rasch, Spilker, 1990.

112 Rasch, Melamid, 1990.

Desdemona bei Godenau/Niedersachsen beachtenswerte Mengen Erdöl, nicht zu vergessen die Grube Messel bei Darmstadt, die schon vor dem Krieg Öle aus bituminösem Schiefer erzeugte und heute wegen ihrer Versteinerungen weltweit bekannt ist. Unmittelbar vor dem Ersten Weltkrieg erzeugte sie aus 249 000 t Ölschiefer 12 850 t Rohöl, was einer Ausbeute von 5,2 % entsprach.[113] Besondere Bedeutung erlangte jedoch eine Raffinerie im besetzten Belgien, in der sogenannte Voltole hergestellt wurden, die in der deutschen Ersatzstoffwirtschaft zur Streckung sowie zur Beimischung und Verbesserung anderer Öle Verwendung fanden. Voltole waren eingedickte organische Öle, namentlich Trane, die nach einem Verfahren des Erfinders Alexandre de Hemptinne (1866–1955), Gent, dadurch gewonnen wurden, dass man sie – eventuell gemischt mit Mineralölen – elektrischen Glimmentladungen (bis 5000 Volt) aussetzte.[114] Das dabei entstehende, schmierfähige und zähflüssige Produkt konnte dünnflüssigen Schmierölen zugesetzt werden (10 %), um hochviskose Öle zu gewinnen, die u. a. bei den Fliegertruppen nachgefragt waren. Kleine Mengen von Voltol verbesserten aber auch die aus heimischen Mineralölen hergestellten Heißdampfzylinderöle. In der ersten Jahreshälfte 1915 übernahm die Kriegsschmierölgesellschaft (KSG) die Herstellung von Voltol in der Fabrik Elektrion in Wondelgem bei Gent, zunächst unter Beibehaltung der bisherigen Eigentümerstruktur. Nachdem sich der Erfinder und Fabrikeigentümer angesichts der damaligen Zwangsdeportationen belgischer Zivilarbeiter nach Deutschland der weiteren Mitarbeit verweigert hatte, übernahm die KSG im November 1916 das Werk mit seinen belgischen Arbeitern und führte den Betrieb entsprechend fort.[115]

Zu den Forschungsgebieten, deren Anfänge ebenfalls in die Zeit des Ersten Weltkriegs zu datieren sind, gehört auch die Fischer-Tropsch-Synthese, die Gewinnung höherer, vornehmlich flüssiger Kohlenwasserstoffe aus den Gasen Kohlenmonoxid und Wasserstoff bei Normaldruck. Zwar hatte schon der Chemie-Nobelpreisträger Emil Fischer bei seinem Vortrag 1912 über die Aufgaben eines zu errichtenden Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung auch die katalytischen Gas-Synthesen als ein zukunftsträchtiges Arbeitsgebiet genannt, aber dieses stand nicht im Fokus der geplanten Aufgaben (direkte Kohleverstromung), die sich durch den Kriegsbeginn zudem auf aktuelle kriegswirtschaftliche Fragen verlagerten. Aufgrund des Personalmangels – in den letzten beiden Kriegsjahren stand die Tieftemperaturverkokung im Vordergrund der Institutsforschung – konnte dieses chemisch und wirtschaftlich interessante Arbeitsgebiet am Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung nicht durch eigene Versuche erschlossen werden. Wie Äußerungen der Institutsmitarbeiter Wilhelm Gluud und Hans Tropsch (1889–1935) sowie von Franz Fischer selbst belegen, war die künftige Bedeutung des Forschungsthemas erkannt worden. Trotzdem ließ Franz Fischer die publizierte Literatur »über die

113 Scheinert, Grube Messel, 2014, S. 151; Verein Deutscher Ingenieure, Technische Kriegserfahrungen, 1923, S. 91.

114 DRP 234543 vom 24.04.1909, Alexandre de Hemptinne: Verfahren zur Umwandlung von flüssigen Ölen in viskose, zur Herstellung von Schmierölen geeignete Produkte; DRP 236294 vom 10.11.1909: Zusatz zum Patent DRP 234543.

115 Verein Deutscher Ingenieure, Technische Kriegserfahrungen, 1923, S. 97.

synthetische Gewinnung von Mineralölen aus Gasen« erst im September 1919 sichten. Dem folgten damals noch keine praktischen Versuche, vielmehr standen 1920 andere Themen, Tieftemperaturverkokung und Druckoxidation – mit dem Ziel einer größtmöglichen, rentablen Gewinnung flüssiger Kohlenwasserstoffe –, im Vordergrund der Institutsarbeiten, bevor Hans Tropsch und Franz Fischer die nach ihnen benannte Synthese 1925 entdeckten.[116]

Institutionalisierung von Forschungsaktivitäten zur (Braun-)Kohlen- und Mineralölchemie

Ursprünglich mit anderer Absicht gegründet war 1916 die Kaiser Wilhelm Stiftung für kriegstechnische Wissenschaft, deren Gremien den Informationsaustausch zwischen Militär und Wissenschaft verbessern und spezielle kriegswichtige Forschungsvorhaben in den schon bestehenden Einrichtungen anregen sollten. Im Fachausschuss I befassten sich Franz Fischer und Carl Engler mit Heizstoffen und Kokereiprodukten bzw. flüssigen Heizstoffen, Schmierölen usw.[117]

Ein Defizit an reinem Faktenwissen zu Fragen der Kohle- und Mineralölchemie war offensichtlich. Während sich das Mülheimer Forschungsinstitut um Abhilfe insbesondere auf dem Gebiet der Steinkohlenchemie und -technologie bemühte, fehlten entsprechende Kenntnisse über die mitteldeutsche Braun- und die oberschlesische Steinkohle, zumal die Forschungsergebnisse des Mülheimer Instituts, obwohl u. a. 1917 in Buchform als »Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle« publiziert, als geheim eingestuft waren und nur unter den Ausschussmitgliedern des Instituts zirkulieren sollten. Außerdem bestand ein Bedarf an ausgebildeten Fachleuten auf dem Gebiet der Braunkohlentechnologie. Um diesem offensichtlichen Mangel abzuhelfen, entstanden – vornehmlich auf Betreiben der Industrie – 1917/18 an den Hochschulen in Freiberg/Sachsen, Halle/Saale und Berlin unabhängig voneinander, aber zum Teil auch in Konkurrenz zueinander, Initiativen, Braunkohlenforschungsinstitute bzw. Professuren für Braunkohlenforschung und -technologie zu errichten. Obwohl alle diese Bemühungen keine Relevanz mehr im Krieg erlangen sollten, seien sie hier dennoch dargestellt.

Nach Bemühungen aus der Vorkriegszeit und erneut ab 1916 gründeten schließlich am 17. Mai 1918 Unternehmen der Braunkohlen-, Erdöl- und chemischen Industrie unter maßgeblicher Beteiligung des sächsischen Staates und der Stadt Freiberg die Braunkohlenstiftung an der Bergakademie Freiberg mit einem Kapital von 521.000 Mark. Das Königreich Sachsen errichtete zudem an der Bergakademie Professuren für Bergbaukunde (Karl Kegel, 1876–1959) und Braunkohlenchemie (Reinhold von Walther, 1866–1945). In der Nachkriegszeit konnten die weitreichenden Ausbaupläne wegen der Inflation nur zum Teil realisiert werden.[118]

Angeregt durch die Bemühungen im Königreich Sachsen entstand auch im preußischen Halle als Zentrum der mitteldeutschen Braunkohlenindustrie der Wunsch nach

116 Rasch, Geschichte, 1989, S. 157–162.
117 Rasch, Wissenschaft, 1991, S. 99–100.
118 Rasch, Geschichte, 1989, S. 89–90.

Gründung eines Braunkohlenforschungsinstituts an der dortigen Universität. Auch wenn das preußische Ministerium für Handel und Gewerbe die Errichtung einer Professur für Braunkohlenforschung befürwortete, kamen die entsprechenden Aktivitäten nicht über die Gründung eines »Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung« am 26. September 1917 hinaus, mit dessen Mitteln erst Anfang 1919 sogenannte Verbandsassistenten an den Instituten für Geologie, Technische Chemie und Mineralogie angestellt werden konnten. Das preußische Kultusministerium hatte weitergehende Pläne verhindert, da es das Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mülheim/Ruhr als für das gesamte Forschungsgebiet der Kohle einschließlich Braunkohle und Torf zuständig ansah.[119]

Auch entsprechende Pläne für die Technische Hochschule in Berlin unterstützte das Kultusministerium nur halbherzig, obwohl sich bedeutende Unternehmen und Industrielle seit 1917 für die Errichtung eines Braunkohlenforschungsinstituts mit einer bergbautechnischen, einer verbrennungstechnischen und einer chemischen Abteilung aussprachen. Am 3. Oktober 1918 wurde die »Gesellschaft zur Errichtung und Förderung einer Anstalt für Braunkohlentechnik und Mineralölchemie an der Technischen Hochschule Berlin« gegründet. Sie erlangte erst 1920 eine gewisse Relevanz, als die Möglichkeit bestand, die Versuchsanlagen der ehemaligen Kriegschemikalien AG mit ihren wertvollen Erfahrungs- und Untersuchungsberichten zu übernehmen. Wegen der Inflation verloren die gezeichneten Geldbeiträge der Gesellschaft jedoch schnell an Wert.[120]

Die Bemühungen der Bergakademie Clausthal um Errichtung einer Abteilung für Kohlechemie gewannen erst in den frühen 1920er Jahren Bedeutung.[121] Entsprechende Aktivitäten für die TH Breslau sind nicht überliefert, was mit zwei anderen Projekten zusammenhängen dürfte: Der schlesische Montanindustrielle Fritz von Friedlaender-Fuld war an einem brauchbaren Hüttenkoks aus oberschlesischer Kohle interessiert. Die 1910 gegründete TH Breslau verfügte dank Oskar Simmersbach (1872–1918)[122] seit 1911 über eine entsprechende Versuchskokerei. Diese war ursprünglich nur als Praktikumsraum für Hüttenleute zu kokereitechnischen Untersuchungen gedacht, wurde aber im Laufe des Kriegs zu einem kokereitechnischen und gaschemischen Institut weiterentwickelt, das die Hochschule 1919 ihrem 1912 gegründeten Institut für chemische Technologie angliederte, in dem nach dem Krieg auch die Praktikanten des chemisch-technischen Laboratoriums »ihre Untersuchungen über Brenn-, Heiz- und Kraftstoffe, Industriegase usw. neben Verkokungs- und Verschwelungsversuche durchführ[t]en«.[123] Friedlaender-Fuld hatte zusammen mit dem Unternehmer und Kokereifachmann Heinrich Koppers (1872–1941) 1916 das Mülheimer Kohlenforschungsinstitut besichtigt und verfolgte eigene Pläne. Sein unerwarteter Tod am 16. Juli 1917 veranlasste seine Erbinnen, ein mit drei Millionen Mark dotiertes Schlesisches Kohlenforschungsinstitut in

119 Ebd., S. 90-91.
120 Ebd., S. 91-92.
121 Ebd., S. 92-93.
122 Nachruf in: Stahl und Eisen 39 (1919), S. 139–140.
123 Technische Hochschule Breslau, Festschrift, 1935, S. 9.

Breslau, angegliedert an die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, zu gründen. Durch den Verbund mit der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft waren die Personalie des Direktors Fritz Hofmann (1866–1956), eines Organikers, und das Forschungsgebiet mit dem Mülheimer Kaiser-Wilhelm-Institut abgestimmt. Das Institut nahm jedoch erst am 1. Oktober 1918 seinen Betrieb in den Räumen der Breslauer Universität auf und sollte sich dann in den 1920er Jahren u. a. an geheimer militärischer Autarkieforschung beteiligen.[124]

Diese »universitären« Bemühungen um Errichtung zusätzlicher Kohlenforschungsinstitute beinhalteten zwar die Gefahr einer thematischen oder regionalen Aufteilung der Arbeitsgebiete nach Torf, Braun- und Steinkohle bzw. nach ost- und westdeutscher Kohle, doch das preußische Kultusministerium unter Friedrich Schmidt[-Ott] (1860–1956) als Ministerialdirigent bzw. Minister wusste dies mit seiner zögerlichen Haltung zu verhindern; Schmidt[-Ott] war nämlich 1912 an der Gründung des Mülheimer Instituts beteiligt und verfolgte für Preußen eine Zentralisierung bei Spenden und Errichtung von Stiftungen für wissenschaftliche Zwecke.[125] Daneben gab es Gründungen privatwirtschaftlicher Gemeinschaftsforschungseinrichtungen mit eindeutig anwendungsbezogener Ausrichtung, und zwar in Berlin, Wien und Dortmund, die sich auch Fragen der Rohstoffersatzwirtschaft annehmen wollten, u. a. durch Gewinnung von Schmier- und Treibstoffen. Hierzu zählte die am 5. Dezember 1917 auf Initiative des Geheimen Regierungsrats im Reichspatentamt, Wilhelm Gentsch (1865–1952), einem Spezialisten auf dem Gebiet der Dampf- und Gasturbinen,[126] gegründete »Brennkrafttechnische Gesellschaft e. V.«, die sich zur Aufgabe gesetzt hatte,

> wissenschaftliche und praktische Forschungsarbeiten zu fördern, welche auf die Vorgänge beim Vergasen und Verbrennen der Brennstoffe sowie bei der Umwandlung der Wärme in mechanische Arbeit gerichtet sind und für die Verwertung des Wertstoffinhaltes der Brennstoffe nützlich sein können.[127]

Aufgrund der praxisorientierten Fragestellung der Brennstoffvergasung waren vor allem Maschinenbau-Unternehmen Mitglieder dieser Gesellschaft, während sich die Berliner Ministerien – insbesondere das Kultusministerium –, die zunächst das Projekt begrüßt hatten, wegen des mangelnden wissenschaftlichen Charakters der Gesellschaft zurückhielten. Zu offensichtlich war der Einfluss der Industrie, insbesondere eines oberschlesischen Montanunternehmens, auf diese Gesellschaft. So plante die Brennkrafttechnische Gesellschaft in Zusammenarbeit mit der Oberschlesische Kokswerke & Chemische Fabriken AG, die Tieftemperaturverkokung zu erproben, ohne sich jedoch mit dem Kaiser-Wilhelm-Institut in Mülheim, das diesbezüglich über die meiste Laborerfahrung ver-

124 Rasch, Montanindustrie, 1988; Rasch, Kohlenforschungsinstitut, 1996.

125 Rasch, Kommunalisierung, 1991.

126 Von Gentsch stammen u. a. folgende Monografien: 1905: Dampfturbinen-Entwicklung, Systeme, Bau und Verwendung (1906 englisch); 1924: Untersuchungen über die Gas- und Öl-Gleichdruckturbine.

127 Laut § 3 der Satzung der Brennkrafttechnischen Gesellschaft. Abgedruckt in: Jahrbuch der Brennkrafttechnischen Gesellschaft e. V., 1918, S. 1.

fügte, in Verbindung zu setzen.[128] Ähnliche Ziele wie die Brennkrafttechnische Gesellschaft verfolgte der Initiator vieler technischer Projekte Wilhelm Exner (1840–1931), der von 1879 bis 1904 als erster Direktor das Technologische Gewerbemuseum in Wien, eine Lehr- und Versuchsanstalt, und bis 1910 das K.u.K. Gewerbeförderungsamt geleitet hatte. Er gründete in Wien zur gleichen Zeit ein »Institut für Kohlenvergasung und Nebenproduktgewinnung«, das »sich in erster Linie die Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis durch die Förderung der Errichtung von Großgaszentralen zum Zwecke einer rationellen Nebenproduktgewinnung zur Aufgabe gestellt« hatte.[129] Sein umfangreiches Arbeitsprogramm, das u. a. – wie beim Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mülheim/Ruhr – auch die »Umwandlung der Verbrennungswärme des Gases direkt in elektrischen Strom auf dem Wege der Thermosäule« vorsah, konnte bis Kriegsende keinen wesentlichen Beitrag zur Beseitigung der Energienot der Mittelmächte leisten.[130]

Weder aus patriotischen Gründen noch mit der Absicht, rentabel erscheinende Rohstoffersatzverfahren zu entwickeln und industriell zu nutzen, wurde seit 1916 im rheinisch-westfälischen Industriegebiet das Ziel verfolgt, durch Gründung einer Gemeinschaftsforschungseinrichtung von Montanunternehmen das weitere Vordringen der chemischen Industrie in die bisherigen Monopole der Bergwerksgesellschaften und ihrer Kokereien – der Stickstoff- und Nebenproduktengewinnung (Benzol, Ammoniak etc.) – zu verhindern, denn dies gefährdete deren gesamte Rentabilität. Neben dem in Leuna bei Merseburg industriell genutzten Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniak-Synthese verbreiteten die Versuche der Th. Goldschmidt AG zur Verflüssigung der Kohle mittels Druck und Wasserstoff eine gewisse Beunruhigung, da die bisherigen Gewinne solcher Nebenprodukte zukünftig geringer oder gar ganz wegfallen würden. Die für Anfang November 1918 geplante Gründung der »Gesellschaft für Kohlentechnik«, die ursprünglich ihren Sitz in Essen haben sollte, fand schließlich erst am 21. Dezember 1918 statt. Zwanzig Bergbauunternehmen aus dem Oberbergamtsbezirk Dortmund und der Ingenieur und Kokereianlagenbauer Carl Still (1868–1951)[131] gründeten – unter bewusstem Ausschluss von Hugo Stinnes (1870–1924) und August Thyssen (1842–1926) –, diese Gesellschaft, die keine freie Forschungseinrichtung war und ihre Forschungsergebnisse nur nach Belieben veröffentlichen sollte. Sie arbeitete zuerst in den Räumen des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung in Mülheim, bevor sie zu Laboratorien umgebaute Räume in Dortmund bezog. Zusätzlich besaß die Gesellschaft eine Patentabwehrstelle, die ursprünglich gegen die BASF und deren Ammoniakpatente gerichtet war. Zu geplan-

128 Gentsch, Werdegang, 1918; vgl. Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz Berlin, Rep. 76 Vc Sekt. 1 Tit. 11 Teil 1 Nr. 57, insbesondere handschriftliche Notiz Krüss vom 22.7.1918, aber auch Walther Nernst an Kultusminister Schmidt-Ott vom 16.7.1918, in: ebd., o. Blattzählung.

129 Wilhelm Exner an KWI für Kohlenforschung vom 11.2.1918. In: MPI-Archiv 01-005.

130 Arbeitsprogramm des Fachtechnischen Beirates, hier: Sektion IV g. Exemplar vorhanden in: ebd.; siehe Mitteilungen des Institutes für Kohlenvergasung und Nebenproduktgewinnung, H. 1, 8.12.1918, insbesondere Geleitwort von Dr. Wilhelm Exner, S. 1–2.

131 Rasch, Still, 2013.

ten Arbeiten auf dem Gebiet der flüssigen Kokereinebenprodukte kam es auch in den 1920er Jahren nicht mehr.[132]

Fazit

Der Erste Weltkrieg führte in Deutschland zur Gründung mehrerer Gesellschaften und Hochschulinstitute bzw. Errichtung von Professuren, die sich mit Fragen der Kohlenforschung und Mineralölchemie beschäftigen sollten, um den herrschenden Mineralölmangel zu reduzieren. Neben altbekannten Verfahren wurden vorhandene verbessert und neue entwickelt sowie wissenschaftliche Einrichtungen und Beiräte geschaffen, die sich der Ersatzstoffforschung im Bereich der Schmierstoffe und Mineralöle widmen sollten. Die bis zum Friedensschluss 1919 verlängerte alliierte Wirtschaftsblockade verstärkte bei Militärs und Politikern über den Krieg hinaus den Wunsch, das Deutsche Reich von Mineralölimporten unabhängig zu machen. Einstige akademische Forschungen erhielten in der Zwischenkriegszeit autarkiewirtschaftliche Relevanz, aber dennoch kaum staatliche finanzielle Unterstützung, bis die NSDAP 1933 an die Macht kam und einen offen auf Krieg vorbereitenden Wirtschaftskurs einschlug. Der Zweite Weltkrieg zeigte dann, dass die kriegswirtschaftlichen Schlussfolgerungen aus dem Ersten Weltkrieg nicht ausreichend gezogen und nicht stringent umgesetzt worden waren. Sie überforderten die Finanz- bzw. Wirtschaftskraft des Reichs bzw. der Industrie schon vor Beginn des Zweiten Weltkriegs.

Bei Kriegsbeginn 1914 hatte das Deutsche Reich zunächst den Mineralölmangel durch Verordnungen verwaltet und den hohen Verbrauch an Beleuchtungspetroleum deutlich reduziert, u. a. durch Umschichtung des Verbrauchs auf andere Leuchtmittel (Gas, Strom, Spiritus). Für Schmierstoffe und -öle war man zur Minimierung des Verbrauchs durch praktische Forschung übergegangen und hatte zudem gelernt, Mineralöle durch organische Produkte, aber auch Graphit zu strecken.

Mit dieser Verteilungs-, Einschränkungs- und Substitutionswirtschaft konnte das Deutsche Reich bis Ende 1915/Anfang 1916 den Mineralölbedarf des Militärs und die äußerst eingeschränkte Nachfrage der Zivilgesellschaft inklusive der Rüstungsindustrie per Zuteilung decken. Noch waren die Mineralöle kein strategisches Kriegsgut, wie die unzerstörten Erdölquellen in Galizien nach dem Rückzug der zaristischen Truppen 1915 zeigten.

Durch die zunehmende Motorisierung des Kriegs (U-Boote, Flugzeuge, Kriegsschiffe und im geringeren Umfang LKWs) übertraf die kriegsbedingte Nachfrage das Angebot an flüssigen Treibstoffen, sodass gezielt nach Ersatzverfahren gesucht wurde – und zwar nicht erst mit dem sogenannten Hindenburg-Programm. War bis Frühjahr 1916 der Verbrauch durch andere »Produkte« ersetzt worden, z. B. Leuchtpetroleum durch Stadtgas und Elektrizität, so ging es nun darum, flüssige Treib- und Schmierstoffe auf anderem Weg zu erzeugen. Dabei spielten neue, bisher technisch noch nicht erprobte Verfahren wie die Kohle- und Naphthalinhydrierung sowie die Tieftemperaturschwelung eine

132 Rasch, Geschichte, 1989, S. 96–100.

Rolle. Firmen der chemischen und Mineralölindustrie, des Bergbaus, des Anlagenbaus, aber auch Banken erkannten für sich rentabel erscheinende Tätigkeitsfelder. Die in die neuen Verfahren gesetzten Hoffnungen erfüllten sich während des Kriegs nicht, da die Fachleute die technischen Probleme unterschätzt hatten. Im Gegensatz zur Haber-Bosch-Synthese, die schon fünf Jahre vor Kriegsbeginn über das Technikum hinaus in einer kleinindustriellen Pilotanlage entwickelt worden war und die 1916 in Leuna großindustriell umgesetzt werden konnte, fehlte den genannten Verfahren und ihren Betreibern jegliche industrielle Erfahrung mit der Hochdrucktechnik.

Zudem beseitigten diese Ersatzverfahren den Mangel in einem Bereich, erzeugten dafür aber an anderer Stelle einen neuen Mangel. Hatte die Elektrifizierung der Haushalte anstelle des Beleuchtungspetroleums zur Verschärfung des Mangels an Kupfer geführt, das schließlich durch Aluminium- und Eisenleitungen bei höheren Leistungsverlusten substituiert wurde, so traten bei der Einführung der Tieftemperaturschwelung der Kohle ähnliche Probleme auf. Um die energetisch gleiche Gasmenge wie bisher zu erzeugen, stieg der Kohlenverbrauch um 15 bis 18%, zudem war ein höherer Personalaufwand bei diesen Anlagen notwendig im Gegensatz zum bisherigen automatisierten Gasgeneratorenbetrieb. Da es dem Deutschen Reich in der zweiten Kriegshälfte jedoch erheblich an Kohle mangelte, nicht nur wegen des allgemeinen Förderrückgangs, sondern auch wegen des Hindenburg-Programms, verschärften alle Ersatzstoffverfahren den Energiemangel und führten zum vermehrten Einsatz von Braun- anstelle von Steinkohle, da diese einfacher mechanisiert im Tagebau mit weniger Arbeitskräften abbaubar war.

Obwohl im Deutschen Reich ab 1915 Material- und auch Arbeitskräftemangel herrschte, betrieben viele Firmen Parallelforschungen, um – für Deutschland typisch – das optimale Verfahren zu finden. Die Dritte Oberste Heeresleitung versäumte, die Entwicklung der Ersatzverfahren auf jeweils ein oder zwei Verfahren zu beschränken und diese durch Konzentration von Material und Menschen schnellstmöglich zur industriellen Reife zu entwickeln. Eine ähnliche Fehlentwicklung sollte sich im Zweiten Weltkrieg wiederholen, auch wenn dann zahlreiche Erfindungen – auch wegen der längeren Kriegsdauer – noch zur industriellen Reife gebracht werden konnten (Düsenflugzeug, Raketen, Radar etc.). Trotz wechselnder staatlicher Vorgaben, u. a. infolge sich ändernder militärischer Lagen im Osten (Besetzung galizischer Ölfelder, Zerstörung der rumänischen Ölfelder) konnte durch Verbrauchseinschränkungen, Streckung der vorhandenen Bestände und durch die Tieftemperaturschwelung bis Kriegsende eine minimale Versorgung der Truppen mit flüssigen Treibstoffen und der Industrie mit Schmiermitteln sichergestellt werden. Gleichwohl konnte das Militär nicht wie gewünscht mit Benzin, Diesel und Schmieröl versorgt werden, und mancher Feindflug der deutschen Fliegertruppen musste wegen Benzinmangels ausfallen.

War noch zu Kriegsbeginn die rüstungswirtschaftliche Bedeutung der galizischen Ölfelder verkannt und nicht in der operativen Kriegsführung berücksichtigt worden, so änderte sich dies gegen Kriegsende, als das Osmanische Reich seine Ölquellen an Euphrat und Tigris den vorrückenden britischen Truppen überlassen musste. Die »Eroberung« Transkaukasiens 1918 durch deutsche Truppen galt dem dortigen Erdöl, das über

das Schwarze Meer und die Donau bis Regensburg verschifft werden sollte, um so den deutschen Mineralölmangel zu bekämpfen. Die Bedeutung der flüssigen Treib- und Schmierstoffe für die Kriegsführung hatten die deutschen Militärs mittlerweile erkannt. Für den nächsten Krieg sollten sie hieraus ihre Lehren ziehen, wenn auch nur teilweise. Erst 1942 versuchte die Wehrmacht erneut, den Kaukasus mit seinen Ölfeldern zu besetzen, nachdem sie noch im Jahr zuvor – wie einst Napoleon – Russlands Hauptstadt Moskau als Symbolakt hatte erobern wollen. Aber selbst 1942 hielt sich Hitlers Kriegsführung wieder an Symbole, als er gleichzeitig Stalingrad angriff. Seine Kriegsvorbereitung mit dem Vierjahresplan hielt sich – wie zwei Jahrzehnte zuvor das Hindenburg-Programm – nicht an das technisch Mögliche, auch wenn die Ersatzstoffforschung im Bereich der Treibstoffe durch das Reichsamt für Wirtschaftsausbau sehr gefördert worden war.

Ausblick auf die Zwischenkriegszeit und den Zweiten Weltkrieg

Nicht nur der Erste Weltkrieg, sondern auch die von den Alliierten bis zum Friedensvertrag von Versailles aufrecht gehaltene Wirtschaftsblockade zeigten deutschen Politikern und Militärs die Importabhängigkeit des Reichs auf und ließ entsprechende Autarkiewünsche entstehen, die sich in der Weimarer Republik nicht nur literarisch niederschlugen,[133] sondern auch zu verdeckten Forschungen führten, die das Militär förderte wie z. B. am Schlesischen Kohlenforschungsinstitut der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft.[134]

Nicht aus militärstrategischen Gründen oder wegen staatlicher Subventionen wandte sich Mitte der 1920er-Jahre die IG Farben der Kohlenverflüssigung mittels Hydrierung nach Friedrich Bergius zu, sondern aus ökonomischen Überlegungen. Ihr während des Kriegs mit staatlichen Geldern errichtetes Stickstoffwerk in Leuna nach dem Haber-Bosch-Verfahren war in Friedenszeiten überdimensioniert. Die Vollproduktion konnte weder auf dem kartellierten deutschen Markt noch auf dem Weltmarkt untergebracht werden. In Deutschland gab es zum einen als Konkurrenten das Kokerei-Ammoniak und zum anderen mehrere neu errichtete synthetische Stickstoffwerke des Bergbaus,[135] sodass die IG Farben nach Alternativen für ihre in Leuna vorhandene Wasserstofferzeugung und Hochdrucktechnik sowie für das damit vorhandene Know-how suchte. Eine ökonomische Alternative schien die Hydrierung der Braunkohle zu flüssigen Kohlenwasserstoffen zu sein, weil die Hydrierung von Braunkohle technisch einfacher war als die von Steinkohle (mit der Bergius bisher experimentiert hatte), und auch, weil bei zunehmender Automobilisierung Fachleute einen baldigen Erdölmangel voraussagten, was nicht nur eine steigende Nachfrage, sondern auch höhere Preise für Benzin bedeuten würde. Viel besser personell besetzt als die von Bergius in Mannheim-Rheinau geführte Erdöl-Verwertungs-AG war die Forschungsabteilung der IG Farben (Matthias Pier, 1882–1965, Carl Krauch, Carl Bosch). Sie entwickelte Modifikationen des Bergius-Verfahrens durch

133 Rasch, Mineralölpolitik, 1985, S. 71–101.
134 Rasch, Das Schlesische Kohlenforschungsinstitut, 1996, S. 173–210.
135 Rasch, Kohlechemie, 2018, S. 34–38; vgl. auch den Aufsatz von Sandro Fehr in diesem Band.

Einsatz von Katalysatoren, Unterteilung des Verfahrens in zwei Phasen und durch Nutzung der Schwerkraft infolge von stehenden Hochdruckgefäßen anstelle eines einzigen liegenden wie bei Bergius. Die IG Farben kaufte nach und nach die verschiedenen nationalen und internationalen Patentverwertungsgesellschaften der Bergius'schen Schutzrechte auf. Die von der Gesellschaft für Teerverwertung in Duisburg-Meiderich von 1928–1930 gebaute Steinkohlehydrieranlage kam infolge der Weltwirtschaftskrise nicht zur Produktion und wurde von der IG Farben ebenfalls aufgekauft und anschließend verschrottet.[136]

Die seit April 1927 mit dem Betrieb einer 100 000 t/a-Hydrieranlage gemachten Erfahrungen ermöglichten der IG Farben eine internationale Patentverwertung zunächst mit der Standard Oil of New Jersey, da die US-amerikanischen Mineralölgesellschaften zum einen an einen baldigen Mineralölmangel glaubten, und weil sie zum anderen Einfluss auf mögliche Konkurrenten, also auf die Kohleverflüssigung haben wollten.[137] Der Vertrag vom Dezember 1929 brachte der IG Farben eine einmalige Lizenzzahlung von 35 Millionen US-Dollar = 146,3 Millionen RM, die den Weiterbetrieb des Hydrierwerks in der Weltwirtschaftskrise ermöglichte. Neue Erdölfunde und die Weltwirtschaftskrise, die den Erdölpreis tief fallen ließen, machten die Aussichten der Kohleverflüssigung auf Rentabilität zunichte. Auch die IG Farben schränkte ihre Benzinproduktion in Leuna wesentlich ein und war erleichtert, als mit der Hitler-Regierung vom Januar 1933 der Autarkiegedanke für die zukünftige deutsche Wirtschaftspolitik an Bedeutung gewann. Im sogenannten Benzin-Vertrag vom Dezember 1933 garantierte das Deutsche Reich der IG Farben einen vermeintlich kostendeckenden Verkaufspreis, der deutlich über jenem Einfuhrpreis für US-amerikanisches Benzin lag, welcher noch vor der Wirtschaftskrise in Hamburg gezahlt wurde. Im Gegenzug musste die IG Farben ihre Benzinproduktion auf 350 000 t/a erhöhen. Das Unternehmen besaß aufgrund seiner umfangreichen Forschungsarbeiten Einblicke in die technischen Probleme der Kohlehydrierung und vor allem in die hohen Kosten für industrielle Anlagen und der kaum zu erwartenden Rentabilität solcher Werke, weshalb sie versuchte, sich auf die Verwertung ihrer Patentrechte zu beschränken und sich nicht zum Bau weiterer eigener Hydrieranlagen entschloss. Für die Herstellung einer Tonne Treibstoff wurden allein 7 t Kohle benötigt. Dass sich der Benzin-Vertrag mit dem Reich wegen unerwartet steigender Benzinpreise ab Mitte der 1930er-Jahre zu einem »Verlustgeschäft« für die IG Farben entwickeln sollte, da die über dem Festpreis erzielten Erlöse mit dem Reich hälftig zu teilen waren, unabhängig von den tatsächlichen Produktionskosten, war 1933 nicht absehbar.[138]

Zur Umsetzung der nationalsozialistischen Autarkiepolitik ließ der kommissarische Reichswirtschaftsminister Hjalmar Schacht (1877–1970) im Jahr 1934 zwangsweise die Braunkohlen-Benzin AG (Brabag) gründen, an der die IG Farben als Lizenzgeber mit 13 % (1940) beteiligt war neben den großen Braunkohlengesellschaften, Rheinische AG

136 Rasch, Friedrich Bergius, 1985, S. 32–33.
137 Plumpe, I.G. Farbenindustrie, 1990, S. 260–261.
138 Ebd., S. 278.

für Braunkohlenbergbau und Brikettfabrikation, Anhaltische Kohlenwerke AG, Werschen-Weißenfelser Braunkohlen AG, Braunkohlen- und Brikett-Industrie AG (Bubiag) und Ilse Bergbau AG sowie die Deutsche Erdöl AG (DEA), Elektrowerke AG, AG Sächsische Werke und die Mitteldeutsche Stahlwerke AG, die ebenfalls über Braunkohlenbergwerke verfügten.[139] Schachts »Neuer Plan« sollte in erster Linie den Devisenbedarf reduzieren und war noch nicht auf einen zukünftigen Krieg ausgerichtet. Schon 1936 nahmen die ersten beiden Brabag-Hydrierwerke Magdeburg und Böhlen ihren Betrieb auf, erst 1939 folgte Zeitz. Zwischenzeitlich hatte der Wirtschaftsberater des Führers und Aufsichtsratsvorsitzende der Brabag Wilhelm Keppler (1882–1960) entschieden, dass ein weiteres Brabag-Werk nach der von Franz Fischer und Hans Tropsch 1925 am KWI für Kohlenforschung entwickelten Fischer-Tropsch-Synthese gebaut werden sollte. Die Überführung des in einer Technikumsanlage am Kohlenforschungsinstitut entwickelten Verfahrens in die großindustrielle Produktion in Schwarzheide bei Ruhland in der Lausitz sollte sich zu einem Fiasko entwickeln. Obwohl das Werk nach nur einjähriger Bauzeit schon am 27. April 1936 anlief, sollte es noch Jahre dauern, bis es die Nennkapazität erreichte. Die technischen Probleme waren immens. Um die Rentabilität seines Verfahrens doch noch zu erzielen, womit für ihn und das Institut Patent- und Lizenzeinnahmen verbunden waren, konzentrierte Franz Fischer fast die gesamte Forschungskapazität seines Instituts auf die Fischer-Tropsch-Synthese durch Entwicklung einer Mitteldruck-Synthese sowie die Gewinnung hochqualitativer Schmieröle und von Flugtreibstoffen für Görings Luftwaffe. In den Jahren 1933 bis 1935 waren die technischen Probleme der Fischer-Tropsch-Synthese und die sich daraus ergebenden ökonomischen Risiken nur wenigen bekannt.[140]

Die in der Ruhrchemie zusammengeschlossenen montanindustriellen Werke an der Ruhr hatten unmittelbar nach der nationalsozialistischen Machtübernahme intensiv mit der IG Farben über den Bau eines Steinkohlehydrierwerks verhandelt und wollten neben der Düngemittelproduktion ein zweites Unternehmensstandbein für ihre Ruhrchemie AG aufbauen. Allerdings erfuhren sie nicht, dass die IG Farben zugleich Verhandlungen mit dem Reich über einen Garantievertrag für Leuna geführt hatten, sodass sie sich schließlich aus mehreren Gründen für den Bau einer Fischer-Tropsch-Anlage bei Normaldruck entschieden, wohl wissend, dass das Verfahren technisch noch nicht ausgereift war. Es fehlten u. a. schwefelresistente Katalysatoren, die nicht auf Kobalt-Importe angewiesen waren. Wesentliche Beiträge hierzu lieferte der Ruhrchemie-Forschungsleiter Otto Roelen (1897–1993).[141] Der Bau der Anlage sollte in Oberhausen bei der Ruhrchemie erfolgen, deren Stickstoffwerk – wie Leuna – über ungenutzte Wasserstofferzeugungskapazitäten (aber auch über Know-how im Bereich Hochdrucktechnik) verfügte. Der Ruhrchemie-Vorstand sah eine Rentabilität des Verfahrens nicht gegeben, weshalb er die mit dem Reich vereinbarte Technikumsanlage kleiner dimensionierte als abgesprochen,

139 Birkenfeld, Treibstoff,1964, S. 37–48, S. 235 (Aktionäre 1940).
140 Jeschke, Geschichte, 2003; Rasch, Roelen, 2013, S. 95–158.
141 Ebd.

dafür die Luftgefährdung als Argument vorbrachte, und parallel zur Ruhrchemie die Ruhrbenzin AG als Tochtergesellschaft gründete, auch um dem Staat Einblicke in die eigene Kostenstruktur bei der Düngemittelproduktion zu verwehren. Trotz der technischen Risiken erwarb die Ruhrchemie die Generallizenz des Fischer-Tropsch-Verfahrens, um sich – genauso wie die IG Farben – über Lizenzeinnahme und Vermarktung ihres Know-hows die kostspielige industrielle Entwicklung der Fischer-Tropsch-Synthese zu finanzieren. Die Kosten für die Entwicklung eines industriell durchführbaren Verfahrens sollten jedoch höher sein als die Lizenzeinnahmen, die mit dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung und den Erfindern zu teilen waren.[142]

Ebenfalls zur Sicherung der Rentabilität ihrer Stickstoffproduktion interessierte sich die Gewerkschaft Victor, Stickstoffwerke Rauxel, ein Gemeinschaftsunternehmen von Klöcknerwerke AG und dem Kaliproduzenten Wintershall AG (August Rosterg), der 1931 in das Mineralölgeschäft eingestiegen war, für das anlagentechnisch kostengünstigere Fischer-Tropsch-Verfahren, da beide Unternehmen nicht die notwendigen Mittel für den Bau eines kostspieligen Hydrierwerks besaßen. Ohne die vertraglich zugesicherten Ergebnisse der Ruhrchemie-Versuchsanlage abzuwarten, begann die Gewerkschaft Victor 1934 mit dem Bau eines Fischer-Tropsch-Werks.[143]

Um einem Zusammenschluss zu einer Steinkohlen-Benzin AG, vergleichbar der Brabag, zuvorzukommen und um das alleinige Verfügungsrecht über die Kapitalinvestitionen und das Unternehmen zu haben, entschieden sich mehrere Unternehmen an der Ruhr 1935 – und ab 1936 unter dem Druck des nationalsozialistischen Vierjahresplans – für den Bau weiterer Treibstoffwerke.[144]

Die Haniel-Gruppe, die schon seit Jahren die Nebenproduktgewinnung auf ihren Kokereien förderte, stieg 1935 nicht nur in den Bau eines Fischer-Tropsch-Werks auf ihrer linksrheinischen Zeche Gewerkschaft Rheinpreußen ein, sondern sie betrieb auch eine eigenständige Unternehmenspolitik auf dem Treibstoffgebiet. Sie baute ein eigenes Tankstellennetz sowie eine eigene Forschungsabteilung (Herbert Kölbel, 1908–1995) auf und entwickelte zusätzliche Aktivitäten bei der Weiterveredelung der Fischer-Tropsch-Produkte.[145]

Erst als drittes Fischer-Tropsch-Werk nahm die Ruhrbenzin AG des Generallizenznehmers zum 1. August 1936 die Produktion auf. Alle später in Betrieb gegangenen Fischer-Tropsch-Werke entstanden mehr oder minder auf staatlichen Druck. Hier sind die ungefähr 1937 angelaufene Krupp Treibstoffwerke GmbH, Wanne-Eickel, und Chemische Werke Essener Steinkohle in Bergkamen zu nennen. Im Jahr 1939 ging auf staatlichen Druck die Hoesch-Benzin GmbH in Dortmund in Betrieb, die während der Bauphase auf die zwischenzeitlich weiterentwickelte Fischer-Tropsch-Mitteldruck-Synthese umgerüstet werden musste (Abb. 8, Abb. 9).

142 Rasch, Geschichte, 1989, S. 276–293; ders.: Kohlechemie, 2018, S. 154–264.
143 Ebd., S. 189–190.
144 Ebd., S. 287–293.
145 Ebd., S. 187–188.

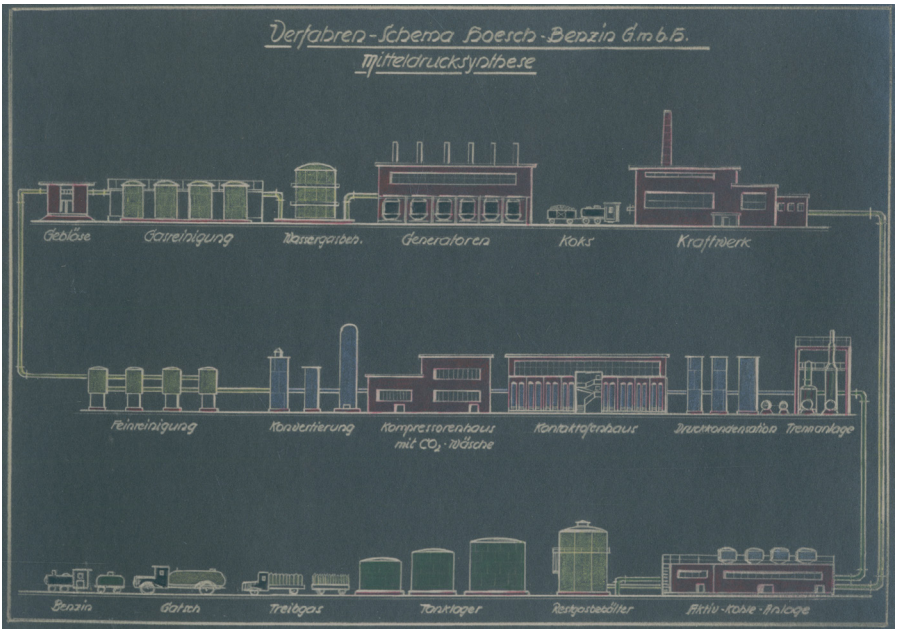


Abb. 8 Im Fotoalbum »Das Treibstoffwerk der Hoesch-Benzin GmbH im ersten Betriebsjahr 1939–1940« findet sich dieses kolorierte Schema der Mitteldruck-Synthese. In das Album wurde folgender Hinweis eingeklebt: »Auf Grund bestehender Verordnungen muß dieses Album als Geheimsache behandelt werden und unter Verschluß aufbewahrt werden. Der Abwehrbeauftragte«, 1940.

Mittlerweile waren die Schutzrechte der IG Farben auf Druck-Synthesen ausgelaufen, weshalb Franz Fischer nun dieses Gebiet erforschen ließ. Gleichzeitig wurde in der NS-Autarkiewirtschaft die Tieftemperaturverschwelung reaktiviert, um die Ausbeute an flüssigen Kohlenwasserstoffen zu steigern. Es wurde von mehreren Montanunternehmen an der Ruhr eine Vereinigung zum Studium der Steinkohlenschwelung gegründet und den beiden Fischer-Tropsch-Werken von Krupp und Hoesch eine entsprechende Versuchsanlage vorgeschaltet. Eine Rentabilität der inländischen Treibstofferzeugung war auch in dieser Anlagenkonfiguration nicht gegeben.[146] An die Rentabilität von Verfahrenskombinationen glaubte besonders Alfred Pott vom Stinnes-Konzern, der sich schon im Ersten Weltkrieg für die Tieftemperaturschwelung stark gemacht hatte. Zusammen mit seinem Forschungsleiter Hans Broche (1896–1963) entwickelte er ein Druckextraktionsverfahren, das zusammen mit dem Bergius-Pier-Hydrierverfahren höhere Ausbeuten liefern sollte und in die Fachliteratur als Pott-Broche-Verfahren einging. Aufgrund positiv bewerteter Laborergebnisse und der vom Staat garantierten Benzinpreise nahm die

146 Ebd., S. 223–224.

Abb. 9 Blick auf die Mitteldruck-Fischer-Tropsch-Anlagen der Hoesch Benzin GmbH in Dortmund, 1940. Rechts hinter dem Verwaltungsgebäude der umfangreichen Chemieanlage ist das Kraftwerk mit dem hohen Schornstein erkennbar, das Gebäude mit den sechs Schornsteinen war die Generatorgasanlage zur Erzeugung des Synthesegases, daran schließt sich ein Gasbehälter (halb verdeckt) an. Im Mittelgrund befinden sich Gasreinigungsanlagen, das eigentliche Kontaktofenhaus mit davorliegender Druckkondensation und Trennanlage, am linken Bildrand schließt sich das Tanklager mit Restgasbehälter an.

Gewerkschaft Mathias Stinnes im Sommer 1935 eine Versuchsanlage mit einer Tagesleistung von einer Tonne Steinkohlenextrakt in Betrieb. Ein Jahr später wurde mit dem Bau einer Großversuchsanlage in Welheim bei Bottrop begonnen und dafür die Ruhröl GmbH gegründet. Die Anlage ging Ende 1937 in Produktion als erstes Hydrierwerk, das Steinkohle bei 700 bar zu Flugbenzin verflüssigte (Abb. 10). Sie musste zunächst mit Teerpech und Teerölen betrieben werden, bevor 1938 die vorgeschaltete Pott-Broche-Anlage zur Kohlenextraktion anlief. Die Kombination von Druckextraktion und anschließender Hydrierung blieb unwirtschaftlich, weshalb entsprechende Forderungen des Reichsamts für Wirtschaftsausbau zum Bau weiterer Anlagen nicht über das Planungsstadium hinaus kamen.[147]

Schneller als die Stinnes-Zechen war die staatliche Bergwerksgesellschaft Hibernia. Wilhelm Tengelmann, überzeugter Nationalsozialist und seit Ende 1934 im Vorstand, setzte sich für den Bau eines Hydrierwerks in Scholven bei Gelsenkirchen ein. Das ehemalige Stickstoffwerk wurde auf eine Hochdruckhydrierung nach Bergius-Pier der

147 Rasch, Pott, 1999, S. 289–290.

Abb. 10 Die Firma Carl Still, Recklinghausen, errichtete für die Pott-Broche-Großversuchsanlage in Welheim u. a. die Kohlenextraktion, in der Mitte gasbeheizte Rührwerksblasen mit Kühlern und Entlüftung, im Hintergrund Band für die Gewinnung von Plättchenpech, gegen links Vakuum-Puffergefäße, dahinter das Pumpenhaus, 1937.

IG Farben umgerüstet und lieferte schon 1936 sein erstes Kohlebenzin, das erste industriell aus Steinkohle mittels Hydrierverfahren gewonnene Benzin.[148]

Zur Hydrierung der rheinischen Braunkohle gründete die Rheinische AG für Braunkohlenbergbau und Brikettfabrikation zusammen mit der Braunkohlen Industrie AG, Weisweiler bei Aachen, der Horremer Brikettfabrik AG, Köln, der Braunkohlenbergwerk & Brikettfabrik Leblar GmbH, Leblar, Hubertus Braunkohlen AG, Brüggen, und der Vereinigungsgesellschaft Rheinische Braunkohlenbergwerke GmbH, Köln, 1937 die Union Rheinische Braunkohlen Kraftstoff AG zur Errichtung eines Treibstoffwerkes in Wesseling am Rhein bei Köln. Die rheinischen Braunkohlenbergwerksgesellschaften wollten nicht wie die mitteldeutschen Unternehmen in einer Gesellschaft zwangsweise zusammengeschlossen werden, bei der nur der Staat und nicht die Anteilseigner das Sagen hatte. Das Werk ging erst 1941 in Produktion, da Anlagenteile und Know-how zwischenzeitlich vom Reich an die Sowjetunion veräußert werden sollten. Dies führte zu Bauverzögerungen.[149]

148 Birkenfeld, Treibstoff, 1964, S. 48–50.
149 Ebd., S. 109–110.

Für die nationalsozialistische Autarkie- und Kriegspolitik waren die Hydrierwerke besonders wichtig, da sie – im Gegensatz zu den Fischer-Tropsch-Werken – die Versorgung der neu aufgestellten Luftwaffe mit Hochleistungstreibstoffen für Kolbenmotoren sicherstellten.

Im Jahr 1938 waren die Grenzen der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit Deutschlands erreicht. Weitere kostenintensive Hydrierwerke konnten zunächst nicht mehr errichtet werden, da es an Kapital und Kohle mangelte. Deshalb war schon 1937 der Plan entwickelt worden, auch Mineralölrückstände zu hydrieren; dafür wurde im nicht luftkriegsgefährdeten Pölitz bei Stettin ein Hydrierwerk errichtet und zwar von der IG Farben und den beiden Mineralölgesellschaften Rhenania-Ossag AG und Deutsch-Amerikanische-Petroleum AG, die aufgrund von Devisenbestimmungen Gewinne nicht an ihre ausländischen Muttergesellschaften transferieren durften. Als die Hydrierwerk Pölitz AG 1940 angefahren wurde, standen kriegsbedingt nicht ausreichende Mengen Rückstände von ausländischen Mineralölen zur Verfügung, weshalb auch oberschlesische Kohle eingesetzt werden musste.[150] Mit der Angliederung Österreichs sowie dem deutschen Einmarsch in das Sudetenland und danach in die Rest-Tschechoslowakei ergab sich für das NS-Regime die Möglichkeit, die dortigen Braunkohlevorkommen auszubeuten. Die Sudetenländische Bergbau AG, eine Tochtergesellschaft der Reichswerke Hermann Göring, die den Großteil der nordböhmischen Braunkohlengruben arisiert hatte, errichtete im Juni 1939 die Sudetenländische Treibstoffwerke AG zum Bau eines Hydrierwerkes in Oberleutensdorf bei Brüx. Dieses kam erst 1942 in Betrieb. Schon am 23. April 1939 hatten die Reichswerke Hermann Göring zusammen mit Preussag und von Giesche's Erben die Oberschlesische Hydrierwerke AG zum Betrieb eines Treibstoffwerkes in Blechhammer nach dem Bergius-Pier-Verfahren gegründet, das u.a. auf Zwangsarbeiter aus einem nahegelegenen KZ zurückgreifen sollte. Bis dato war auf den Bau von Treibstoffwerken in Grenznähe verzichtet worden, doch bis zum Baubeginn war das angrenzende Polen besetzt. Das Werk ging erst 1943 in Produktion.[151]

Das Ziel der nationalsozialistischen Autarkiepolitik war bei Kriegsbeginn nicht erreicht, obwohl Hitler im Vierjahresplan von 1936 sogar eine Treibstoffautarkie innerhalb von 18 Monaten gefordert hatte. Das Deutsche Reich blieb auf Mineralöleinfuhren aus Rumänien und bis 1941 auch aus der Sowjetunion angewiesen. Eine Eroberung der kaukasischen Erdölfelder scheiterte 1942. Dennoch nahmen die Alliierten die Treibstoffproduktion lange Zeit nicht als Engpass der deutschen Kriegswirtschaft wahr und begannen erst im Mai 1944 zur Vorbereitung ihrer Normandie-Landung mit der systematischen Bombardierung deutscher Treibstoffwerke und Mineralölanlagen. Da eine effektive Verteidigung der Anlagen durch Flak und Luftwaffe nicht möglich war, begannen ab Sommer 1944 gigantische Planungen zur Verlagerung untertage. Da beim Betrieb solcher Anlagen Explosionen und Brände nicht auszuschließen waren, waren diese Projekte technisch nicht unbedenklich. Sie konnten bis Kriegsende nicht realisiert werden, hatten bis

150 Ebd., S. 110–111.
151 Ebd., S. 132–137.

dahin aber nicht nur Kapital und Baukapazitäten gebunden, sondern auch Zehntausenden von Zwangsarbeitern das Leben gekostet. Während des Kriegs wurden angesichts des Treibstoffmangels umfangreiche Erdölprospektierungen durchgeführt und erneut Schwelanlagen zur Gewinnung flüssiger Treibstoffe aus Ölschiefer, u. a. auf der Schwäbischen Alb, initiiert. Mit der Besetzung der westlichen Sowjetunion wurden auch die estnischen Ölschiefervorkommen ausgebeutet, deren Produkte sich die deutsche Kriegsmarine vertraglich schon 1935 gesichert hatte. Da die besetzten Ölfelder, u. a. in Galizien, nicht genügend Treibstoff lieferten, hoffte man auf mögliche Ersatzstoffe, u. a. Holzvergaser, die gegen Kriegsende nicht nur an PKWs und LKWs, sondern sogar an Panzerfahrzeuge angebaut wurden.

Wie schon im Ersten Weltkrieg gelang es der NS-Wirtschaftsplanung im Zusammenspiel mit der Industrie auch im Zweiten Weltkrieg nicht, ausreichende Mengen flüssiger Treibstoffe für die Kriegsführung zur Verfügung zu stellen. Ab Winter 1944/45 nahm die Mobilität von Wehrmacht und Luftwaffe immer mehr ab, was die Ardennen-Offensive im Dezember 1944 belegte. Nur die Kriegsmarine hatte noch bei Kriegsende genügend Treibstoff gebunkert. Eine Bevorratung von großen Mengen Treibstoff für mehrere Kriegsjahre war in Deutschland zwar diskutiert, aber nie realisiert worden.

Literatur

Bergius, Friedrich: Chemische Reaktionen unter hohem Druck. Nobelvortrag, gehalten am 21.5.1932 in Stockholm. In: Les Prix Nobel en 1931. Stockholm 1933, S. 1–37.

Birkenfeld, Wolfgang: Der synthetische Treibstoff 1933–1945. Ein Beitrag zur nationalsozialistischen Wirtschafts- und Rüstungspolitik. Göttingen u.a. 1964.

Börnstein, Ernst: Über die Zersetzung fester Heizstoffe bei langsam gesteigerter Temperatur. In: Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 49 (1906), S. 627–630, 648–652, 667–671.

Brocke, Bernhard vom; Vierhaus, Rudolf (Hrsg.): Forschung im Spannungsfeld von Politik und Gesellschaft. Geschichte und Struktur der Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft. Stuttgart 1990.

Burchardt, Lothar: Walther Rathenau und die Anfänge der deutschen Rohstoffbewirtschaftung im Ersten Weltkrieg. In: Tradition 15 (1970), S. 169–196.

–: Eine neue Quelle zu den Anfängen der Kriegswirtschaft in Deutschland 1914. In: Tradition 16 (1971), S. 72–77.

Daimler AG (Hrsg.): Daimler-Chronik. Stuttgart 2011.

Deutscher Wirtschaftsverlag AG (Hrsg.): Reichshandbuch der Deutschen Gesellschaft. Das Handbuch der Persönlichkeiten in Wort und Bild. 2 Bde. Berlin 1930.

Feldman, Gerald D.: A German Scientist between Illusion and Reality. Emil Fischer 1909–1919. In: Geiss, Imanuel; Wendt, Bernd Jürgen (Hrsg.): Deutschland in der Weltpolitik des 19. und 20. Jahrhunderts. Fritz Fischer zum 65. Geburtstag. Düsseldorf 1973, S 341–362.

Felletschin, Günter; Knaut, Jürgen; Schöne, Manfred: Deutsche Hydrierwerke (Dehydag). Stationen ihrer Geschichte. Düsseldorf 1981 (= Schriften des Werksarchivs der Henkel KGaA, 12).

Fischer, Franz: Der heutige Stand der Kohlenforschung. In: Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle 2 (1918), S. 1–27.

–: Über die Gewinnung eines verdichteten Halbkokses bei der Tieftemperaturverkokung der Steinkohle. In: Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle 3 (1919), S. 102–104.

Flachowsky, Sören: Kohle – Koks – Kanonen. Die Kooperation zwischen Wissenschaft, Armee und rheinisch-westfälischer Industrie im Ersten Weltkrieg am Beispiel der Kommission zur Beschaffung von Kokereiprodukten. In: Westfälische Forschungen 60 (2010), S. 19–50.

Franz Burgers jr. Ein Nachruf. In: Stahl und Eisen 50 (1930), S. 752.

Fried. Krupp AG (Hrsg.): Forschungsanstalten der Firma Krupp. Essen 1934.

Gentsch, Wilhelm: Der Werdegang der Brennkrafttechnischen Gesellschaft e. V. In: Jahrbuch der Brennkrafttechnischen Gesellschaft e. V. 1 (1918), S. 32–48.

Gesellschaft für Teerverwertung mbH (Hrsg.): Gesellschaft für Teerverwertung mbH Duisburg-Meiderich 1905–1930. Essen 1930.

Günther, Renate: Das Petroleumabkommen im Bukarester Friedensvertrag von 1918. Die Gegensätze zwischen den verschiedenen Interessengruppen bei seiner Vorbereitung, Ausarbeitung und vorläufigen Durchführung. In: Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte 1968, H. 4, S. 41–87.

Handbuch der Großen GmbH, KG, OHG, Einzelfirmen. Berlin 1944.

Heller, A.: Über Rohstoffersatz im Motorwagen- und Flugmotorenbau. In: Keßner, Arthur: Ausnutzung und Veredlung deutscher Rohstoffe. 3. Aufl. des vom Verein Deutscher Ingenieure herausgegebenen Buches »Rohstoffersatz«. Berlin 1921, S. 216–262.

Hilliger: Schmiermittel. In: Keßner, Arthur: Ausnutzung und Veredlung deutscher Rohstoffe. 3. Aufl. des vom VDI herausgegebenen Buches »Rohstoffersatz«. Berlin 1921, S. 342–374.

Holldorf, August W.: Schoeller, Walter Julius Viktor. In: Neue Deutsche Biographie 23 (2007), S. 370–371.

Kantorowicz, Hans: Tetralin und die praktische Verwendbarkeit einiger hydrierter Verbindungen. In: Der Seifenfabrikant 40 (1920), S. 129–131.

Karlsch, Rainer; Stokes, Raymond G.: Faktor Öl. Die Mineralölwirtschaft in Deutschland 1859–1974. München 2003.

Köstering, Susanne: Hundert Jahre Entzinnung von Konservendosen. Ein Wettlauf zwischen Altstoffrückgewinnung und Rohstoffeinsparung. In: Köstering, Susanne; Rüb, Renate (Hrsg.): Müll von gestern? Eine umweltgeschichtliche Erkundung in Berlin und Brandenburg. Münster/New York/München/Berlin 2003, S. 151–164.

Jahrbuch der Brennkrafttechnischen Gesellschaft e. V. 1 (1918).

Metzger, Josef: Die Entwicklung der sächs.-thüring. Braunkohlenteerindustrie. In: Zeitschrift für angewandte Chemie 34 (1921), S. 299–301.

Mossner, Julius (Hrsg.): Adreßbuch der Direktoren und Aufsichtsräte. Bd 1. Berlin 1929.

Plumpe, Gottfried: Die I.G. Farbenindustrie AG. Wirtschaft, Technik und Politik 1904–1945. Berlin 1990.

Pott, Alfred; Dolensky, E.: Dauerbetriebsergebnisse im Trigasverfahren mit Gewinnung von Tieftemperaturteer und Ammoniak. In: Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 62 (1919), S. 261–263.

–: Dauerbetriebsergebnisse im Trigasverfahren mit Gewinnung von Tieftemperaturteer und Ammoniak. In: Stahl und Eisen 40 (1920), S. 366–368.

Pudor, Fritz: Edmund Roser. In: Lebensbilder aus dem Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet, Jg. 1960–1961. Köln/Opladen 1966, S. 83–85.

Rasch, Manfred: Berginisierung. In: Archiv der Geschichte der Naturwissenschaften (Vorauslexikon in Form einer Zeitschrift zum »Lexikon der Geschichte der Naturwissenschaften«), H. 11/12 (1984), S. 559–565.

–: Zur Vorgeschichte der Kohlenverflüssigung bis 1945. In: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Energie in der Geschichte. 11th Symposium of the International Cooperation in History of Technology Committee. Düsseldorf 1984, S. 469–477.

–: Bergius, Friedrich Carl Rudolf. In: Archiv der Geschichte der Naturwissenschaften (Vorauslexikon in Form einer Zeitschrift zum »Lexikon der Geschichte der Naturwissenschaften«), H. 14/15 (1985), S. 709–715.

–: Friedrich Bergius und die Kohleverflüssigung – Stationen einer Entwicklung. Bochum 1985.
–: Zur Mineralölpolitik der Kriegsmarine. Dokumente aus dem Jahre 1935. In: Militärgeschichtliche Mitteilungen 38 (1985), S. 71–101.
–: Technische und chemische Probleme aus dem ersten Dezennium des Berginverfahrens zur Hydrierung von Kohlen, Teeren und Mineralölen. In: Technikgeschichte 53 (1986), S. 81–122.
–: Ein verschollenes Meisterwerk der Technik: Der 1915 gebaute Hochdruckzylinder für die erste großtechnische Kohleverflüssigung nach dem Bergius-Verfahren. In: Kultur und Technik 10 (1986), H. 1, S. 30–32.
–: Die Montanindustrie und ihre Beziehung zum Schlesischen Kohlenforschungsinstitut der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. Ein Beitrag zu Wissenschaft und Wirtschaft in der Zwischenkriegszeit. In: Technikgeschichte 55 (1988), S. 7–24.
–: Geschichte des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung 1913–1943. Weinheim u. a. 1989.
–: Melamid, Michael, (Meilach) (Industriechemiker). In: Neue Deutsche Biographie 16 (1990), S. 738.
–: Eduard Moehrle. Vom Laboratoriums-Chemiker zum Generaldirektor. In: Burkhard, Wolfgang (Hrsg.): Niederrheinische Unternehmer. 111 Persönlichkeiten und ihr Werk. Duisburg 1990, S. 162–163.
–: Dr. Adolf Spilker. Werkleiter, Techniker und Forscher auf dem Gebiet der Kohlenchemie. In: Burkhard, Wolfgang (Hrsg.): Niederrheinische Unternehmer. 111 Persönlichkeiten und ihr Werk. Duisburg 1990, S. 160–161.
–: Kommunalisierung, Regionalisierung und Konzentrierung: Aspekte preußischer Wissenschaftspolitik unter Friedrich Althoff und seinen Nachfolgern. In: Brocke, Bernhard vom (Hrsg.): Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftspolitik im Industriezeitalter: Das »System Althoff« in historischer Perspektive. Hildesheim 1991, S. 109–122.
–: Wissenschaft und Militär: Die Kaiser Wilhelm Stiftung für kriegstechnische Wissenschaft. In: Militärgeschichtliche Mitteilungen 44 (1991), S. 73–120.
–: Nebenproduktanlagen der Kokereien und Entwicklung der Kohlechemie im rheinisch-westfälischen Industriegebiet bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs. Ein historischer Überblick mit Bemerkungen zur denkmalpflegerisch-musealen Behandlung des Themas. In: Buschmann, Walter (Hrsg.): Koks – Gas – Kohlechemie. Historische Bedeutung der Kohleverarbeitung und Chancen ihrer denkmalpflegerischen Überlieferung. Essen 1993, S. 31–51.
–: Moehrle, Eduard. In: Neue Deutsche Biographie 17 (1994), S. 623.
–: Kohlechemie im Revier. Zur Geschichte der Ruhrchemie AG 1927–1966. Münster 2018.
–: Das Schlesische Kohlenforschungsinstitut der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft: Ein Gegenbeispiel zum angeblichen Harnack-Prinzip. In: Brocke, Bernhard vom; Laitko, Hubert (Hrsg.): Die Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft und ihre Institute. Studien zu ihrer Geschichte. Bd. 1: Das Harnack-Prinzip. Berlin 1996, S. 173–210.
–: Franz Fischer (1877–1947): Leben und Forschung. In: Zeitschrift des Geschichtsvereins Mülheim o. D. Ruhr 70 (1998), S. 86–128.
–: Fritz Müller (1894–1947). In: Rheinisch-Westfälische Wirtschaftsbiographien 17 (1999), S. 451–473.
–: Alfred Pott (1882–1951). In: Rheinisch-Westfälische Wirtschaftsbiographien 17 (1999), S. 275–317.
–: Pier, Matthias (Industriechemiker). In: Neue Deutsche Biographie 20 (2001), S. 428–429.
–: Roser, Edmund Friedrich (Maschinenbauer, Manager). In: Neue Deutsche Biographie 22 (2005), S. 87–88.
–: Spilker, Heinrich Ludwig Adolf (Chemiker). In: Neue Deutsche Biographie 24 (2010), S. 698.
–: Franz Fischer: Institutsdirektor, Erfinder und Unternehmer. In: Wessel, Horst A. (Hrsg.): Mülheimer Unternehmer und Pioniere im 19. und 20. Jahrhundert. Flexibel – Kreativ – Innovativ. Essen 2012, S. 318–327.

–: Otto Roelen: Leben und Forschen [Otto Roelen: Life and Research] In: OXEA (Hrsg.): 75 Jahre Oxo-Synthese [75 Years of Oxo Synthesis]. Essen 2013, S. 95–158.
–: Still, Carl. In: Neue Deutsche Biographie 25 (2013), S. 345–346.
–: Der Unternehmer Guido Henckel von Donnersmarck. Eine Skizze. Essen 2016.
–: Auch beim Bau von Großgasmaschinen war August Thyssen Pionier. Die Thyssen & Co. Maschinenfabrik. In: Wessel, Horst A. (Hrsg.): Pioniere der Mülheimer Wirtschaft und Gesellschaft seit dem Ende des 18. Jahrhunderts. »...doch das ganze Leben in Mülheim war ein anderes geworden!«. Essen 2017, S. 198–221.
Rumpler, Helmut (Hrsg.): Die Habsburgermonarchie 1848–1918. Bd. 11: Die Habsburgermonarchie und der Erste Weltkrieg. Teilbd. 2: Weltkriegsstatistik Österreich–Ungarn 1914–1918 (bearb. von Helmut Rumpler und Anatol Schmied-Kowarzik). Wien 2014.
Saling's Börsen-Jahrbuch für 1915/1916. Leipzig, Berlin 1915.
Scheinert, Wolfgang: Die Grube Messel als Mineralölwerk: Ölschieferabbau und -verarbeitung vor dem Unesco-Welterbe-Titel. In: Mitteilungen der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Fachgruppe Geschichte der Chemie 24 (2014), S. 135–160.
Schrauth, Walther: Über die technische Herstellung und Verwendung hydrierter organischer Verbindungen. In: Zeitschrift für angewandte Chemie 35 (1922), S. 25–29.
Stoltzenberg, Dietrich: Fritz Haber. Chemiker, Nobelpreisträger, Deutscher, Jude. Eine Biografie. Weinheim u. a. 1994.
Szöllösi-Janze, Margit: Fritz Haber 1868–1934. Eine Biographie. München 1998.
Technische Hochschule Breslau (Hrsg.): Festschrift der Technischen Hochschule Breslau zur Feier ihres 25jährigen Bestehens 1910–1935. Breslau 1935.
Thau, Adolf: Tieftemperaturverkokung der Steinkohle. In: Das Werk 2 (1922/23), S. 447–452.
–: Über die Kohlendestillation bei niedriger Temperatur. In: Glückauf 50 (1914), S. 834–841.
Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 7. Berlin, Wien 1919.
Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Rohstoffersatz, bearb. von Dr. Arthur Keßner. 2. Aufl., Berlin 1916.
–: Technische Kriegserfahrungen für die Friedenswirtschaft. Berlin, Leipzig 1923.
Wiedenfeld, Kurt: Die Organisation der Kriegsrohstoff-Bewirtschaftung im Weltkriege. Hamburg 1936.
Wenzel, Georg (Hrsg.): Deutsche Wirtschaftsführer. Lebensgänge deutscher Wirtschaftspersönlichkeiten. Hamburg 1929.

Ersatz für den Chilesalpeter. Die Versorgung mit Stickstoffverbindungen während des Ersten Weltkriegs

Sandro Fehr

Unter den diversen Rohstoffen und Ressourcen, die im Ersten Weltkrieg als kriegsrelevant galten, war Chilesalpeter von besonderer Bedeutung. Als eine der weltweit wichtigsten Quellen gebundenen Stickstoffs war er als Düngemittel in der Landwirtschaft, aber auch als Ausgangsstoff für die Herstellung von Explosivstoffen unverzichtbar. Von seiner Verfügbarkeit hing somit nicht nur die Kriegsführung, sondern auch die Ernährung der Bevölkerung ab. Für die Kriegswirtschaft der Mittelmächte war es daher ein besonders schwerer Schlag, als sie 1914 aufgrund der von der Entente verhängten Blockade von der Zufuhr dieser in Übersee abgebauten *dual-use*-Ressource abgeschnitten wurde.[1]

Im vorliegenden Artikel wird aufgezeigt, dass die Verfügbarkeit von Stickstoffverbindungen in Expertenkreisen bereits im 19. Jahrhundert als Problem erkannt und dass damals sogar eine globale Verknappung dieser Schlüsselressource befürchtet wurde. Weiter wird dargelegt, welche industriellen Verfahren in diesem Zusammenhang zur Problemlösung in Betracht gezogen wurden. Anschließend liegt der Fokus auf der deutschen Situation während des Ersten Weltkriegs, die gewissermaßen eine Vorwegnahme der ursprünglich global erwarteten Ressourcenverknappung im nationalen Rahmen darstellte. Nebst einem chronologischen Überblick über die allgemeine Versorgungslage mit Stickstoffverbindungen in Deutschland sollen dabei insbesondere die verschiedenen Problemlösungsstrategien und die mit ihnen verbundenen Verfahren der technischen Chemie näher betrachtet werden. Dabei wird auch der Frage nachgegangen, ob Rohstoffmangel in diesem Zusammenhang ein Impulsgeber für Innovationen war. Abschließend folgt der Versuch, die im Kontext der Kriegswirtschaft vorangetriebenen Innovationen und die geschaffene Produktionsinfrastruktur hinsichtlich ihrer Bedeutung für und ihrer Wirkung auf die Stickstoffwirtschaft nach dem Ersten Weltkrieg zu beurteilen.

Die Schlüsselressource Stickstoff und ihre befürchtete Verknappung

Wirtschaftlich besonders bedeutsame Rohstoffe und Ressourcen waren schon verschiedentlich Gegenstand globaler Verknappungsszenarien. Als Beispiel aus der jüngsten Zeit kann etwa die Erdölversorgung angeführt werden, deren Bedeutung und Verletzlichkeit spätestens mit dem ersten Ölpreisschock von 1973/74 ins Bewusstsein einer breiten Öffentlichkeit gerückt ist.[2] Große mediale Aufmerksamkeit zog nach der Jahrtausendwende auch die unter dem Schlagwort »Peak Oil« geführte Debatte um ein globales Ölfördermaximum auf sich.[3] Die Angst vor einer globalen Verknappung oder sogar einer

1 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 148–149.
2 Hohensee, Ölpreisschock, 1996, S. 109–114, 174–179.
3 Aleklett, Peak, 2012, S. 7–15.

Erschöpfung wichtiger Ressourcen und die mit ihr verbundenen Debatten über Prognosen, Folgen und Lösungswege beschränkt sich allerdings weder auf die Ressource Erdöl noch zeitlich auf die Konsumgesellschaft der Nachkriegszeit.[4] In Großbritannien wurde beispielsweise bereits Ende des 18. Jahrhunderts befürchtet, dass der damalige Hauptenergieträger Steinkohle sich verknappen oder sogar erschöpfen könnte. Im Verlauf des 19. Jahrhunderts warnten immer mehr Experten davor, dass diese Ressource nicht unerschöpflich sei.[5] Der bekannteste unter ihnen war William Stanley Jevons (1835–1882), der in seiner Schrift »The Coal Question« zum Schluss kam: »We cannot long continue our present rate of progress.«[6] Vor Jevons hatte sich bereits Thomas Robert Malthus (1766–1834) wachstumskritisch geäußert, indem er 1798 prognostizierte, dass die Weltbevölkerung wesentlich schneller wachsen würde als die Lebensmittelerzeugung und dies zu einer entsprechenden Verknappung führen werde.[7]

Ganz in Malthus' Tradition stand auch der Brite William Crookes (1832–1919), der 1898 öffentlich davor warnte, dass die Lebensmittelversorgung der Weltbevölkerung angesichts der starken Bevölkerungszunahme schon bald nicht mehr sichergestellt werden könne: »England and all civilised nations stand in deadly peril of not having enough to eat.«[8] Da die landwirtschaftliche Anbaufläche beschränkt sei, könne eine Hungersnot nur durch eine Steigerung der Flächenerträge verhindert werden. Und diese sei wiederum nur mit einer ausreichenden Düngung mit gebundenem Stickstoff möglich. Das zentrale Problem bestand darin, dass eine der damals weltweit wichtigsten hoffremden Quellen des gebundenen Stickstoffs der in Südamerika abgebaute Chilesalpeter war, dessen Bestände sich früher oder später verknappen oder sogar erschöpfen würden. Gemäß Crookes hätte dies bereits in 20 bis 30 Jahren der Fall sein können.[9] Diese zeitliche Prognose ist in der Folge international von verschiedenen Wissenschaftlern als viel zu pessimistisch kritisiert worden. Einig blieben sich die Experten aber darin, dass die sogenannte »Stickstofffrage«, das Problem der Sicherstellung der weltweiten Versorgung mit Stickstoffverbindungen, letztlich nur durch die industrielle Fixierung des in der Luft enthaltenen Stickstoffs dauerhaft gelöst werden könne.[10] Crookes meinte dazu: »It is the chemist who must come to the rescue of the threatened communities. It is through the laboratory that starvation may ultimately be turned into plenty.«[11]

Die besondere Relevanz der Ressource des in Form von Verbindungen fixierten Stickstoffs ergibt sich allerdings nicht nur aus ihrer Bedeutung für die Ernährung der Menschheit bzw. der Bewahrung von Menschenleben, sondern auch daraus, dass sie für die Herstellung praktisch sämtlicher militärisch brauchbarer Explosivstoffe – und damit zur

4 Fehr, Schweiz, 2016, S. 134.
5 Jevons, Coal, 1866, S. 15–37.
6 Ebd., S. 11.
7 Malthus, Essay, 1798, S. 14.
8 Crookes, Wheat, 1899, S. 3. Siehe auch: Haber, Industry, 1971, S. 84; Cushman, Guano, 2013, S. 156.
9 Crookes, Wheat, 1899, S. 42–43.
10 Grossmann, Stickstofffrage, 1911, S. 7–14; Rabius, Betrachtungen, 1907, S. 2–6; Huber, Stickstoff-Frage, 1908, S. 35–36; Caro, Stickstofffrage, 1908, S. 26, 41.
11 Crookes, Wheat, 1899, S. 3. Siehe auch: Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 32–34; Fehr, Energie, 2015, S. 481.

Zerstörung von Menschenleben – ebenfalls zwingend erforderlich ist. So handelt es sich bei den meisten gebräuchlichen Sprengstoffen, Schießpulvern und Zündmitteln um Substanzen, die mittels Nitrierung mit der Stickstoffverbindung Salpetersäure hergestellt werden. Salpetersäure wurde in der Vorkriegszeit wiederum primär aus Chilesalpeter erzeugt.[12] Selbst Schwarzpulver, das als erster Explosivstoff überhaupt gilt, enthält Salpeter. Da dieser im Gegensatz zu den übrigen Komponenten besonders schwer zu beschaffen war, bezeichnete ihn ein Philosoph des 17. Jahrhunderts sogar als »Seele« des Schwarzpulvers.[13] Weil die Verfügbarkeit von Stickstoffverbindungen sowohl für die Ernährung der Bevölkerung als auch für die Kriegsführung unverzichtbar war, kann chemisch gebundener Stickstoff als eine *dual-use*-Schlüsselressource von höchster strategischer Bedeutung bezeichnet werden.[14]

Verfahren zur Lösung der »Stickstofffrage«

Die von Crookes zu Rettern der Menschheit hochstilisierten Chemiker, welche die »Stickstofffrage« lösen sollten, orientierten sich bei ihrer Arbeit auch an chemischen Prozessen, die in der Natur auftraten. Die durch Blitze stattfindende Fixierung des Stickstoffs der Luft konnte im Labor bereits im 18. Jahrhundert verwirklicht werden. Dabei wurde anstelle eines Blitzes ein elektrischer Lichtbogen erzeugt, der den Stickstoff (N_2) und den Sauerstoff (O_2) der Luft zu Stickoxiden (NO_X) reagieren ließ, die wiederum mit Wasser (H_2O) zu Salpetersäure (HNO_3) umgesetzt werden konnten. Die Verwirklichung dieses Prinzips in einer anhaltenden, rentablen, industriellen Produktion gelang aber erst in den Jahren 1903–1907, wobei mehrheitlich das Verfahren von Kristian Birkeland (1867–1917) und Samuel Eyde (1866–1940) zur Anwendung kam.[15] Der größte Nachteil des Lichtbogenverfahrens bestand in seinem exorbitanten Energieverbrauch, der zur Folge hatte, dass derartige Anlagen fast ausschließlich in Ländern wie Norwegen, Schweden oder der Schweiz gebaut wurden, wo große Mengen kostengünstiger Wasserkraft zur Verfügung standen.[16]

Praktisch gleichzeitig mit dem oben beschriebenen Lichtbogenverfahren erlangte ein weiteres chemisches Verfahren zur Stickstofffixierung die industrielle Reife. Es handelte sich dabei um das sogenannte Kalkstickstoffverfahren nach Adolf Frank (1834–1916) und Nikodem Caro (1871–1935).[17] Dieses besteht darin, Calciumcarbid (CaC_2) mit Stickstoff (N_2) zur Reaktion zu bringen, wodurch Calciumcyanamid ($CaCN_2$) entsteht, das auch als Kalkstickstoff bezeichnet wird. Dieser Stoff kann entweder direkt als Stickstoffdünger auf

12 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 44–46; Fehr, Vulnerabilität, 2013, S. 36; Caro, Stickstoffgewinnung, 1920, S. 537; Schmidt, Chemie, 1934, S. 644–645.

13 Bown, Invention, 2005, S. 25.

14 Fehr, Energie, 2015, S. 484–485; Fehr, Schweiz, 2016, S. 135.

15 Smil, Earth, 2001, S. 53–54; Fehr, Stickstoff, 2015, S. 179–180.

16 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 35; Fehr, Vulnerabilität, 2013, S. 37–40; Fehr, Energie, 2015, S. 494–496; Fehr, Schweiz, 2016, S. 143–145.

17 Smil, Earth, 2001, S. 51.

die Felder gestreut oder industriell mit Wasser (H_2O) zu Ammoniak (NH_3) umgesetzt werden.[18] Die chemische Reaktion von Calciumcarbid zu Calciumcyanamid verläuft exotherm, d. h. unter Abgabe von Energie, und bedarf lediglich einer Initialzündung. Allerdings muss das für dieses Verfahren benötigte Calciumcarbid zuvor im elektrischen Ofen aus Kalk und Kohle gewonnen werden, weshalb die Kalkstickstoffgewinnung insgesamt als sehr energieintensiv zu bezeichnen ist.[19] Im Vergleich zum Lichtbogenverfahren benötigt es pro Einheit gebundenen Stickstoffs dennoch nur rund halb so viel Energie.[20] Aus diesem Grund wurde das Verfahren auch in Deutschland noch vor dem Krieg im industriellen Maßstab umgesetzt. Entsprechende Fabriken entstanden zwischen 1905 und 1913 in Westeregeln (Börde-Hakel) und Großkayna (Braunsbedra) in Sachsen-Anhalt, Trostberg in Oberbayern, Mühltal bei Bromberg (Bydgoszcz) im heutigen Polen und Knapsack (Hürth) in Nordrhein-Westfalen. Während die Anlagen in Trostberg und Mühltal von Wasserkraftwerken an der Alz bzw. der Brahe (Brda) mit Elektrizität versorgt wurden, bezogen die anderen ihre Energie von Braunkohlekraftwerken.[21]

Als dritte Variante wurde einige Jahre nach der Umsetzung des Lichtbogen- und des Kalkstickstoffverfahrens das Hochdruckverfahren verwirklicht, das unter der Bezeichnung Haber-Bosch-Verfahren große Bekanntheit erlangte. Es besteht darin, Stickstoff (N_2) und Wasserstoff (H_2) unter hohem Druck und in Anwesenheit eines Katalysators direkt zu Ammoniak (NH_3) zu verbinden. Dieses auf den ersten Blick einfache chemische Verfahren wurde in der Theorie zwar schon früh erkannt, doch konnten bei der praktischen Anwendung im Labor zunächst nur verschwindend kleine Ammoniakausbeuten erzielt werden.[22] Im Jahr 1909 gelang es dem mit der Badischen Anilin- und Sodafabrik (BASF) kooperierenden Chemiker Fritz Haber (1868–1934), eine Zirkulationsapparatur mit einem Osmium-Katalysator, einem Druck von 185 Atmosphären und Temperaturen von 600 bis 900 °C zu betreiben, die rund 80 Gramm Ammoniak pro Stunde ausstieß.[23]

Nach der Verwirklichung des Hochdruckverfahrens im Labormaßstab, sollte dieses in der BASF unter der Leitung von Carl Bosch (1874–1940) auf den industriellen Großbetrieb übertragen werden. Neben der Sicherstellung einer quantitativ wie qualitativ ausreichenden Wasserstoffzufuhr musste insbesondere eine Anlage konstruiert werden, die dem Wasserstoff bei hohen Drücken und hohen Temperaturen dauerhaft standhielt.[24] Ein weiteres Problem bestand darin, dass das von Haber als Katalysator eingesetzte Osmium relativ schnell zu giftigem Osmiumtetroxid (OsO_4) oxidierte und es zudem sehr selten und teuer war. Insgesamt soll der Weltvorrat des Edelmetalls damals lediglich gegen 100 Kilogramm betragen haben, was für eine industrielle Großproduktion viel zu wenig war. Mit Uran stand zu diesem Zeitpunkt zwar bereits ein zweiter wirksamer

18 Fehr, Stickstoff, 2015, S. 180.
19 Caro, Stickstofffrage, 1908, S. 46; Janke, Geschichte, 1931, S. 15–19, 38; Fehr, Stickstoff, 2015, S. 180.
20 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 36–37.
21 Janke, Geschichte, 1931, S. 50–52; Fehr, Stickstoff, 2015, S. 180.
22 Stoltzenberg, Haber, 1994, S. 151–156.
23 Szöllösi-Janze, Haber, 1998, S. 177–180.
24 Haber, Darstellung, 1924, S. 20; Mittasch, Geschichte, 1951, S. 119, 124–126.

Katalysator zur Verfügung, der zudem in etwas größeren Mengen verfügbar war. Allerdings war auch dieses Metall sehr teuer und reagierte chemisch höchst empfindlich auf Wasser und Sauerstoff, weshalb es für einen Einsatz im großtechnischen Rahmen nicht in Frage kam.[25] In der BASF wurde daher unter dem Chemiker Alwin Mittasch (1869–1953) fieberhaft nach einem in ausreichenden Mengen verfügbaren, günstigen und wirksamen Ersatzstoff für den ursprünglichen Katalysator gesucht, wobei Tausende verschiedener Stoffe getestet wurden. Aufgrund ihrer niedrigen Kosten und der Verfügbarkeit konzentrierten sich die Forscher auf Eisenverbindungen. Im November 1909 erzielten sie mit einer Probe eines Eisenerzes aus Gällivare in Schweden, das primär aus Magnetit (Fe_3O_4) bestand, eine besonders hohe Ammoniakausbeute. Nach zahlreichen weiteren Versuchen stellten sie fest, dass dieser Effekt nicht alleine auf das Magnetit, sondern auf die Mischung desselben mit gewissen anderen Metalloxiden wie Aluminium- (Al_2O_3) und Magnesiumoxid (MgO) zurückzuführen war, die Mittasch als »Promotoren« bezeichnete. Damit war ein Ersatzstoff für den ursprünglichen Katalysator gefunden, der nicht nur wesentlich günstiger war, sondern es auch ermöglichte, das Haber-Bosch-Verfahren in Deutschland autark, d. h. unabhängig von der Einfuhr nur im Ausland verfügbarer Katalysatoren zu betreiben.[26]

Auf dieser Grundlage konnte die BASF im Jahr 1911 in Ludwigshafen am Rhein im heutigen Bundesland Rheinland-Pfalz zum ersten Mal eine »Versuchsfabrikation« mit einer Kapazität von rund 30 Kilogramm Ammoniak pro Tag betreiben. Bis im Sommer 1914 wurde nicht nur die Produktion in Ludwigshafen ausgebaut, sondern im benachbarten Oppau eine neue, größere Ammoniakfabrik eröffnet.[27] Der Elektrizitätsbedarf dieser Anlagen wurde von Kohlekraftwerken gedeckt.[28] Im Vergleich zu den anderen Verfahren weist das Hochdruckverfahren pro Einheit gebundenen Stickstoffs gerechnet eindeutig die beste Energiebilanz auf.[29] Dennoch stand es bei Kriegsbeginn noch in den Anfängen seiner industriellen Umsetzung, war reparaturanfällig und wirtschaftlich noch kaum konkurrenzfähig. Verarbeitete die BASF das gewonnene Ammoniak zu Dünger weiter, waren die Gestehungskosten pro Einheit gebundenen Stickstoffs insgesamt höher als bei der Produktion von Kalkstickstoff. Gewisse Gaswerke und Kokereien rechneten bei der Ammoniakgewinnung sogar mit Gestehungskosten, die gerade mal halb so hoch waren wie beim Haber-Bosch-Verfahren.[30]

Bei der in Gaswerken und Kokereien betriebenen Trockendestillation von Kohle fällt als Nebenprodukt Ammoniakwasser (NH_3) an, das beispielsweise mit Schwefelsäure (H_2SO_4) gesättigt werden kann, wobei der Stickstoffdünger Ammoniumsulfat ($[NH_4]_2SO_4$)

25 Smil, Earth, 2001, S. 93–94.

26 Ertl, Weg, 2015, S. 163–165; Smil, Earth, 2001, S. 94–96. Ausführlich dazu siehe: Mittasch, Geschichte, 1951, S. 93–121.

27 Mittasch, Geschichte, 1951, S. 135–137; Fehr, Stickstoff, 2015, S. 180.

28 Waeser, Luftstickstoff-Industrie, 1922, S. 37, 41.

29 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 40.

30 Waeser, Luftstickstoff-Industrie, 1922, S. 35–39; Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 40–41; Szöllösi-Janze, War, 2000, S. 102.

entsteht.[31] Die Trockendestillation von Kohle war somit neben den drei bereits beschriebenen Verfahren zur chemischen Luftstickstofffixierung eine weitere industrielle Quelle gebundenen Stickstoffs, die in der Vorkriegszeit auch maßgeblich zur Versorgung mit Stickstoffverbindungen beigetragen hat. Zur Lösung der »Stickstofffrage« war sie dennoch nur sehr bedingt geeignet, da Kohle genauso fossilen Ursprungs ist wie Chilesalpeter und seine Verfügbarkeit daher grundsätzlich begrenzt war. Vor allem aber handelte es sich beim gewonnenen Ammoniakwasser nur um ein Nebenprodukt, dessen Ausstoß direkt mit der Koks- und Gasproduktion bzw. indirekt mit der Stahlproduktion gekoppelt war und somit nur beschränkt gesteigert werden konnte.[32]

Die »Stickstofffrage« im Deutschen Reich während des Ersten Weltkriegs

Die von der Entente bereits in den ersten Tagen des Ersten Weltkriegs verhängte Wirtschaftsblockade schnitt die Mittelmächte praktisch vollständig von der Zufuhr von Chilesalpeter ab.[33] In der Folge gelangten nur noch geringfügige Mengen militärisch erbeuteten Chilesalpeters sowie bescheidene Einfuhren von Norgesalpeter und Kalkstickstoff aus benachbarten neutralen Staaten nach Deutschland.[34] Das von Wissenschaftlern wie Crookes um die Jahrhundertwende theoretisch erörterte Szenario einer langsamen, weltweiten Verknappung der Schlüsselressource des chemisch fixierten Stickstoffs wurde in Deutschland damit auf einen Schlag Realität.[35]

Die Tragweite des Ausfalls der Chilesalpeterimporte lässt sich durch die Untersuchung der Versorgungslage des letzten Vorkriegsjahrs 1913 erschließen. Diese zeigt, dass die deutsche Wirtschaft auch in Friedenszeiten im bestmöglichen Fall höchstens 57 % des Bedarfs an Stickstoffverbindungen durch die inländische Produktion hätte decken können und die Importabhängigkeit somit mindestens 43 % betrug. Eine Aufschlüsselung nach chemischen Verfahren zeigt zudem, dass mit der Trockendestillation von Kohle gegen 50 %, mit dem Kalkstickstoffverfahren rund 4 % und mit dem Hochdruckverfahren etwas über 3 % des deutschen Bedarfs hätte gedeckt werden können.[36] Bei diesen Zahlen ist allerdings zu berücksichtigen, dass sie aus der Friedenszeit stammen und der Heeresbedarf zu diesem Zeitpunkt noch kaum ins Gewicht fiel. Nach Ausbruch des Kriegs vervielfachte sich der Streitkräftebedarf bei gleichzeitiger Halbierung des Angebots. Da aufgrund der alliierten Blockade zudem die Einfuhren von Nahrungs- und Futtermitteln einbrachen und die Landwirtschaft diesen Wegfall zu kompensieren versuchte, erhöhte sich der Stickstoffbedarf der Landwirtschaft. Die deutsche Kriegswirtschaft sah sich somit vor die Herausforderung gestellt, dass die einzelnen nega-

31 Waeser, Luftstickstoff-Industrie, 1922, S. 51–56.

32 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 89; Fehr, Stickstoff, 2015, S. 181.

33 Stevenson, Weltkrieg, 2006, S. 290; Schreiben des Ministeriums für Landwirtschaft, Domänen und Forsten an den Reichskanzler, 3.11.1914, Bundesarchiv (BArch), R 43/2466a, S. 1.

34 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 68–71; Eucken, Stickstoffversorgung, 1921, S. 88–89.

35 Fehr, Energie, 2015, S. 486.

36 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 57–59.

tiven Auswirkungen auf die Versorgungslage nicht nur gleichzeitig auftraten, sondern sich in ihrer Wirkung auch gegenseitig verstärkten. Außerdem sah sie sich mit dem Dilemma konfrontiert, dass dieselbe, viel zu knappe Ressource sowohl für die Kriegsführung als auch für die Ernährung der Bevölkerung zwingend erforderlich war.[37]

Trotz der hohen Importabhängigkeit im Bereich der Lebens- und Futtermittel sowie von einer ganzen Reihe von Rohstoffen waren in Deutschland vor dem Krieg kaum kriegswirtschaftliche Vorsorgemaßnahmen getroffen worden.[38] Nach Kriegsbeginn ging die Initiative zur Verbesserung der Versorgungslage von der Privatwirtschaft aus. Auf Anregung seines Angestellten Wichard von Moellendorff (1881–1937) wandte sich der Industrielle Walter Rathenau (1867–1922) im August 1914 an den preußischen Kriegsminister Erich von Falkenhayn (1861–1922). Dieser beauftragte Rathenau sogleich mit dem Aufbau und der Leitung der Kriegsrohstoffabteilung (KRA) im Preußischen Kriegsministerium, die sich fortan der zentralen Kriegsrohstoffbewirtschaftung annehmen sollte.[39] In dieser Funktion wandte sich die Reichsbehörde unmittelbar nach ihrer Gründung der »Salpeterversorgung« zu und führte erste entsprechende Beschlagnahmungen durch.[40]

Die von der KRA ergriffenen Maßnahmen zeigen, dass das Bewusstsein für die Relevanz der Stickstoffversorgung in der deutschen Führung zumindest kurz nach Kriegsbeginn grundsätzlich vorhanden war. Zusätzliche Dringlichkeit verlieh der »Stickstofffrage« der im August 1914 im Zuge der Marneschlacht eingeleitete Übergang vom Bewegungs- zum Stellungskrieg. Er führte nicht nur dazu, dass die vielfach noch bestehende Utopie eines kurzen Kriegs fallengelassen wurde, sondern warf auch alle bisherigen Annahmen über den Munitionsverbrauch der Truppe über den Haufen.[41] Dieser entpuppte sich in der nun einsetzenden Materialschlacht als um den Faktor vier bis sechs höher als erwartet und führte schon bald zu einer Munitionskrise:[42] »Von allen Seiten gellte schon nach wenigen Tagen der Notschrei der Truppe nach Munition, Munition und immer wieder Munition.«[43]

Die Munitionskrise war kein spezifisch deutsches Problem, sondern trat zwischen dem Herbst 1914 und dem Frühjahr 1915 in allen kriegführenden Ländern auf.[44] Im Gegensatz zur Entente verfügten die Mittelmächte aber nicht über die nötigen Rohstoffe, die für eine dem Mangel angemessene Mehrproduktion von Munition erforderlich gewesen wäre. Diese Situation löste in der deutschen Führung »Bestürzung und Beklemmung«, eine »fieberhafte Aufregung« und Ängste aus, dass der Krieg unter Umständen sogar »aus Munitionsmangel« verloren werden könnte.[45] In der Folge setzte ein

37 Ebd., S. 73–74.
38 Burchardt, Friedenswirtschaft, 1968, S. 245–246.
39 Michalka, Kriegsrohstoffbewirtschaftung, 1994, S. 487; Schölzel, Rathenau, 2006, S. 175–177.
40 Moellendorff, Tagebuch, 1971, S. 80–81. Siehe auch: Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 77–79.
41 Segesser, Weltkrieg, 2010, S. 72–74; Thoss, Materialschlacht, 2003, S. 703–704.
42 Reichstagsmaterial betreffend Schrift von Georg Gethein »Warum verloren wir den Kriege?«, April 1919, Bundesarchiv, Abteilung Militärarchiv (BArch MA), PH 2 86, S. 2; Moellendorff, Tagebuch, 1971, S. 90.
43 Justrow, Krieg, 1939, S. 74.
44 Thoss, Munitionskrise, 2003, S. 727; Strachan, World, 2001, S. 993–1005.
45 Mittasch, Salpetersäure, 1953, S. 110. Siehe auch: Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 82.

tiefgreifender Lernprozess ein. Bei einer am 17. September 1914 durchgeführten Konferenz von Vertretern der KRA, der militärischen Beschaffungsämter, der Sprengstoffindustrie, der Großchemie und der Düngerfabriken war man sich einig, dass eine »Salpeterknappheit« herrsche und dringender Handlungsbedarf bestehe. Als Maßnahmen beschlossen die Teilnehmer der Konferenz nebst der weiteren Beschlagnahme entsprechender Rohstoffe und Chemikalien und der Gründung der Kriegschemikalien AG auch die Errichtung von Fabriken zur Herstellung von Salpetersäure.[46]

Die Produktion von Salpetersäure für den Heeresbedarf

Für die Produktion militärisch geeigneter Explosivstoffe benötigten die Hersteller Salpetersäure (HNO_3), die ursprünglich fast ausschließlich durch die Umsetzung von Chilesalpeter ($NaNO_3$) mit Schwefelsäure (H_2SO_4) hergestellt wurde.[47] Da aufgrund der Blockade kein Chilesalpeter mehr importiert werden konnte, sah sich die deutsche Kriegswirtschaft vor die Herausforderung gestellt, vor der Erschöpfung der Lagerbestände von Chilesalpeter Ersatzstoffe oder Ersatzverfahren zu etablieren.

Um klassische Ersatzstoffe handelte es sich etwa bei den Chlorat- und Perchloratsprengstoffen. Sie wurden durch die Mischung von elektrolytisch gewonnenem Kaliumchlorat ($KClO_3$), Natriumchlorat ($NaClO_3$) oder Kaliumperchlorat ($KClO_4$), die als Sauerstoffträger dienten, mit brennbaren organischen Stoffen wie beispielsweise Mineralölen oder Holzmehl hergestellt. Sowohl Chlorat- als auch Perchloratsprengstoffe können somit grundsätzlich ohne das Vorhandensein von Stickstoffverbindungen erzeugt werden.[48] Sie haben aber den Nachteil, dass sie sehr instabil bzw. gefährlich in der Handhabung sind und für militärische Zwecke somit grundsätzlich als ungeeignet galten.[49] Für das zivile Gewerbe, insbesondere den Bergbau, waren Chlorat- und Perchloratsprengstoffe während des Ersten Weltkriegs hingegen ein willkommener Ersatz für die aufgrund des gestiegenen militärischen Bedarfs nicht mehr oder nur noch sehr beschränkt erhältlichen herkömmlichen Explosivstoffe.[50] In der Not der Munitionskrise wollten aber auch die Streitkräfte nicht mehr gänzlich auf die für militärische Zwecke eigentlich ungeeigneten Ersatzstoffe verzichten. Sie machten sich den Umstand zunutze, dass sich die Gefährlichkeit der Perchlorate durch deren Mischung mit Nitroverbindungen mindern ließ. Die Streitkräfte nutzten Perchlorat also, um andere, mittels Nitrierung hergestellte Explosivstoffe zu strecken und so Salpetersäure einzusparen. Die militärische Verwendung derartiger gestreckter perchlorathaltiger Explosivstoffe beschränkte sich allerdings auf gewisse Nischenbereiche wie Fliegerbomben, Handgranaten und Minen

46 Moellendorff, Tagebuch, 1971, S. 88; Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 82. Zur Kriegschemikalien AG siehe auch: Roth, Staat, 1997, S. 152.

47 Ost, Lehrbuch, 1919, S. 163.

48 Schmidt, Chemie, 1934, S. 650.

49 Biedermann, Sprengstoffe, 1917, S. 65; Ost, Lehrbuch, 1919, S. 216; Poppenberg, Pulver, 1920, S. 113; Fehr, Energie, 2015, S. 484; Fehr, Vulnerabilität, 2013, S. 36.

50 Schmidt, Chemie, 1934, S. 651; Johnson, Mobilization, 2006, S. 8.

und hielt sich auch quantitativ in einem engen Rahmen.[51] Sie vermochte daher auch die Versorgungslage nicht nennenswert zu entschärfen. Da es somit nicht gelang, geeignete Ersatzstoffe für Salpetersäure oder für stickstoffhaltige Explosivstoffe zu finden, musste stattdessen ein Ersatzverfahren für die bisherige auf Chilesalpeter basierende Salpetersäureerzeugung gefunden werden, das innerhalb kürzester Zeit im großtechnischen Maßstab verwirklicht werden konnte.

Das direkteste Ersatzverfahren zur Gewinnung von Salpetersäure war das bereits beschriebene Lichtbogenverfahren. Allerdings wies dieses einen dermaßen hohen Energieverbrauch auf, dass es für einen Einsatz im großen Stil nicht in Frage kam. Es wurden daher insgesamt nur zwei kleine Werke errichtet, wovon das eine 1915 in Rhina (Laufenburg) in Baden-Württemberg und das andere 1916 in Zschornewitz (Gräfenhainichen) in Sachsen-Anhalt den Betrieb aufnahm. Während die Fabrik in Rhina vom deutsch-schweizerischen Wasserkraftwerk Laufenburg am Hochrhein mit Elektrizität versorgt wurde, bezog das Werk in Zschornewitz seine Energie vom Braunkohlekraftwerk Zschornewitz.[52] Für die Versorgung der deutschen Kriegswirtschaft spielten diese Fabriken aber keine nennenswerte Rolle.[53] Im großen Stil ausgebaut wurde stattdessen die Gewinnung von Salpetersäure mittels Oxidation von Ammoniak. Dabei wird Ammoniak (NH_3) mit Luft gemischt, erhitzt und über einen Katalysator geleitet, wo es mit dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff (O_2) zu Stickoxid (NO_X) reagiert, aus dem dann mit Wasser (H_2O) wiederum Salpetersäure (HNO_3) gebildet wird.[54] Wilhelm Ostwald (1853–1932) führte dieses Verfahren in den chemischen Werken der Zeche Lothringen in Gerthe (Bochum) in Nordrhein-Westfalen bereits 1908 in einer bescheidenen Anlage zur industriellen Reife, wobei er als Katalysator Platin einsetzte.[55] Da dieses Edelmetall nicht nur sehr teuer, sondern während des Kriegs auch kaum erhältlich war, konnte die Produktion nach diesem Verfahren nur dann im größeren Stil gesteigert werden, wenn es – ähnlich wie zuvor beim Hochdruckverfahren – gelingen sollte, einen Ersatzstoff für den bisherigen Katalysator zu finden.[56]

Die BASF forschte bereits seit 1900 an möglichen Verfahren zur Oxidation von Ammoniak, konzentrierte sich dabei aber zunächst ebenfalls auf Platinkatalysatoren.[57] Ab dem Herbst 1913 wurde auf Veranlassung von Carl Bosch und unter der Leitung von Alwin Mittasch die Suche nach platinfreien Ersatzkatalysatoren aufgenommen. Dabei wurden teilweise auch Kontaktmassen aus den Versuchen des Jahres 1909 zur Entwicklung des Hochdruckverfahrens erneut eingesetzt. Bereits im Frühjahr 1914 zeigte sich, dass Mischungen aus Eisenoxid (Fe_2O_3) und Bismutoxid (Bi_2O_3) besonders wirksam

51 Ost, Lehrbuch, 1919, S. 216–217; Poppenberg, Pulver, 1920, S. 113.
52 Waeser, Luftstickstoff-Industrie, 1922, S. 49–50; Fehr, Energie, 2015, S. 506.
53 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 87–88.
54 Fehr, Stickstoff, 2015, S. 183.
55 Waeser, Luftstickstoff-Industrie, 1922, S. 44.
56 Ebd., S. 46; Nagel, Stickstoff, 1969, S. 57; Mittasch, Salpetersäure, 1953, S. 110, 124.
57 Ebd., S. 85–88.

waren. Darauf aufbauend konnte anschließend in langen Versuchsreihen ein als »Braunoxyd« bezeichneter Ersatzkatalysator aus Eisen-, Bismut- und Manganoxid entwickelt werden, der dem Platin in seiner Wirkung ebenbürtig zu sein schien.[58] Obschon sich dieser Ersatzstoff in der Kriegswirtschaft des Ersten Weltkriegs grundsätzlich bewähren sollte und auch nach dem Krieg vereinzelt noch bis 1951 verwendet wurde, wies er gegenüber dem Platin auch Nachteile auf, von denen seine geringe Lebensdauer zweifellos der schwerwiegendste war. Selbst die BASF wandte sich daher nach dem Ersten Weltkrieg wieder dem Platinkatalysator zu.[59]

Das Preußische Kriegsministerium erteilte der BASF im September 1914 den Auftrag, so rasch als möglich mit dem Bau einer Großanlage zur Ammoniakoxidation zu beginnen und sicherte ihr im November 1914 zudem staatliche Zuschüsse in Millionenhöhe sowie diverse weitere Unterstützungsmaßnahmen zu.[60] Die Anlagen wurden in der Folge regelrecht aus dem Boden gestampft und konnten in Oppau teilweise bereits am 9. Februar 1915 – noch während der laufenden Bauarbeiten – den Betrieb aufnehmen. Wenig später stellte die BASF ihr Verfahren der Bayer, der Actien-Gesellschaft für Anilin-Fabrication (Agfa), der österreichischen Kriegsverwaltung und der Holzverkohlungs-Industrie-AG Konstanz zur Verfügung, die ebenfalls Oxidationsanlagen errichteten.[61] Das im Herbst 1914 definierte Ziel einer monatlichen Salpetersäureproduktion von insgesamt 4300 t Stickstoff wurde im Dezember 1915 erreicht. Im selben Zeitraum waren auch die letzten in Deutschland verfügbaren Lagerbestände an Chilesalpeter praktisch aufgebraucht. Die Salpetersäureproduktion setzte also gerade noch rechtzeitig ein, damit der Krieg fortgesetzt werden konnte.[62]

Sowohl die Entdeckung und erstmalige technische Umsetzung des Verfahrens der Ammoniakoxidation als auch die Entwicklung des neuartigen Braunoxyd-Katalysators durch die BASF erfolgten noch vor dem Beginn des Ersten Weltkriegs und damit auch vor dem Auftreten eines Salpetermangels. Ausgehend von einem Innovationsbegriff nach Schumpeter[63] und dem darauf basierenden technischen Entwicklungsmodell mit den drei idealtypischen Phasen »Invention«, »Innovation« und »Diffusion« kann die Entwicklung bis zur Entdeckung des platinfreien Ersatzkatalysators der Phase der Invention zugeordnet werden.[64] Davon ist die Phase der Innovation, d. h. der »wirtschaftlich aussichtsreich[en]« Realisierung bzw. »Entwicklung bis zur Marktreife«, zu unterscheiden, als welche die großtechnische, industrielle Umsetzung des Verfahrens während des Ersten

58 Ebd., S. 89–109; Nagel, Stickstoff, 1969, S. 57–59.

59 Mittasch, Salpetersäure, 1953, S. 108, 128.

60 Moellendorff, Tagebuch, 1971, S. 89–91; Szöllösi-Janze, Berater, 1996, S. 107; Szöllösi-Janze, War, 2000, S. 99–100.

61 Mittasch, Salpetersäure, 1953, S. 120–123; Johnson, Macht, 2003, S. 172.

62 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 86–87; Fehr, Stickstoff, 2015, S. 183.

63 Der Ökonom Joseph Alois Schumpeter (1883–1950) lehnte eine synonyme Verwendung der Begriffe »Erfindung« und »Innovation« dezidiert ab. Eine Innovation sei ein »rein wirtschaftlicher Prozess«, der mit einer Erfindung höchstens dann in einem Verhältnis stehe, wenn er »durch wirtschaftliches Vorgehen einer besonderen Erfindung Wirksamkeit« verschaffe. (Schumpeter, Konjunkturzyklen, 1961, S. 91–93.)

64 Schumpeter, Konjunkturzyklen, 1961, S. 91–93; Ropohl, Technologie, 2009, S. 258–261.

Weltkriegs bezeichnet werden kann. Da diese aufgrund des Salpetermangels beschleunigt vorangetrieben wurde, kann festgestellt werden, dass Rohstoffmangel im Fall des Ammoniakoxidationsverfahrens tatsächlich ein Impulsgeber für eine Innovation war. Ein Übergang zur letzten im Modell vorgesehenen Entwicklungsphase, der Diffusion, d. h. der allgemeinen Einführung und Verwendung eines neuen Sachsystems bzw. der »Verbreitung am Markt«, blieb im Fall des Braunoxyd-Katalysators jedoch aus, da er sich nach dem Krieg letztlich nicht durchsetzte.[65]

Der Ausbau der Kalkstickstoffindustrie

Mit der schnellen Schaffung einer ausgedehnten Produktionsinfrastruktur zur Ammoniakoxidation gelang es der deutschen Kriegswirtschaft, den stetig steigenden Grundbedarf der Streitkräfte bzw. der Rüstungsindustrie nach Salpetersäure zu decken. Zur Lösung der eigentlichen »Stickstofffrage«, d. h. des Ersatzes der ausgefallenen Salpetereinfuhren durch die Fixierung des Stickstoffs der Luft, trug sie damit aber in keiner Weise bei. Schließlich wandelte die Ammoniakoxidation lediglich eine Stickstoffverbindung in eine andere um. Da die Salpetersäure praktisch vollständig der Kriegsführung zugeführt wurde, kann der Ausbau der Oxidationsanlagen ohne die gleichzeitige Steigerung der Ammoniakproduktion als Umverteilung von gebundenem Stickstoff zulasten der Landwirtschaft bezeichnet werden. Sollte eine Hungersnot vermieden werden, musste die Bindung von Luftstickstoff ebenfalls vorangetrieben werden.[66]

Von den vier Verfahren, die für eine Steigerung der Produktion primärer Stickstoffverbindungen in Frage kamen, schied das Lichtbogenverfahren wegen seines übermäßig hohen Energiebedarfs aus, während die Ammoniakgewinnung mittels Trockendestillation von Kohle kriegsbedingt ebenfalls nicht gesteigert werden konnte, sondern im Gegenteil sogar abnahm und folglich das Versorgungsproblem noch verschlimmerte.[67] Damit standen letztlich nur das Kalkstickstoff- und das Hochdruckverfahren zur Auswahl.

War bei der Ausführung des Programms zur Steigerung der Salpetersäureproduktion noch die KRA im Preußischen Kriegsministerium federführend, wurde bei der Steigerung der Produktion primärer Stickstoffverbindungen zuerst das Preußische Ministerium für Landwirtschaft, Domänen und Forsten tätig.[68] Was die Wahl des Verfahrens betrifft, zeichnete sich bereits im Oktober 1914 ab, dass das Ministerium nicht nur auf das Hochdruck-, sondern vor allem auch stark auf das Kalkstickstoffverfahren setzen würde. Zwar wurde das Haber-Bosch-Verfahren schon damals als längerfristig kostengünstiger erkannt, doch ging das Landwirtschaftsministerium davon aus, dass sich die Errichtung neuer Kalkstickstofffabriken wesentlich schneller und günstiger durchführen ließe.[69]

65 Ebd., S. 260; König, Technikgeschichte, 2009, S. 60.

66 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 88; Fehr, Energie, 2015, S. 488–489.

67 Bueb/Warmbold, Ausführungen, 1930, S. 154.

68 Roth, Staat, 1997, S. 200.

69 Protokoll der Sitzung im Ministerium für Landwirtschaft, Domänen und Forsten, 20.10.1914, BArch, R 43/2466a, S. 11; Fehr, Stickstoff, 2015, S. 184.

Im Dezember 1914 verpflichteten sich die AG für Stickstoffdünger in Knapsack und die BASF gegenüber dem Preußischen Staat zu einer starken Erhöhung der Produktion, wobei sie mit staatlichen Darlehen unterstützt wurden.[70] Da die Bayerischen Stickstoffwerke auf einer staatlichen Abnahmegarantie für Kalkstickstoff bestanden, kam es mit diesem Hersteller erst zu einer Einigung, nachdem die ganze Angelegenheit dem Reichsschatzamt unter Karl Helfferich (1872–1924) übertragen wurde. Trotz des erbitterten Widerstands der BASF beauftragte dieses die Bayerischen Stickstoffwerke im Februar/März 1915 mit dem Bau und dem Betrieb von neuen staatlichen Kalkstickstofffabriken, den sogenannten Reichsstickstoffwerken, in Piesteritz (Wittenberg) in Sachsen-Anhalt und Königshütte (Chorzów) im heutigen Polen, die beide von Braunkohlekraftwerken mit Elektrizität versorgt werden sollten. Zudem sollte das bereits bestehende Werk in Trostberg ausgebaut und die Karbidfabrik der Lonza-Werke in Waldshut in Baden-Württemberg, die ihre Elektrizität primär aus dem deutsch-schweizerischen Wasserkraftwerk Laufenburg am Hochrhein sowie weiteren schweizerischen Wasserkraftwerken an der Aare bezog, um eine Kalkstickstoffanlage ergänzt werden.[71]

Insgesamt sollte die Kalkstickstoffproduktion damit von 10 000 auf 86 000 Jahrestonnen Stickstoff erhöht werden, während für das Hochdruckverfahren lediglich eine Steigerung von 7000 auf 56 000 t Stickstoff pro Jahr geplant war.[72] Helfferich wollte bei der Förderung der Kalkstickstoffindustrie sogar so weit gehen, deren Absätze mittels eines Stickstoff-Handelsmonopols zu schützen. Nach einem regelrechten Propagandakrieg zwischen den Befürwortern und den Gegnern – darunter vor allem die BASF – scheiterte dieses Ansinnen aber im Reichstag.[73]

Das Hochdruckverfahren setzt sich durch

Nachdem das Kalkstickstoffverfahren gegenüber dem Hochdruckverfahren zunächst priorisiert worden war, wendete sich das Blatt schon bald zugunsten der BASF und deren Verfahren.[74] Diese Wende hatte verschiedene Gründe. Zum einen zog der ständig steigende Munitionsbedarf an der Front einen entsprechenden Bedarf von Salpetersäure nach sich, die aus Ammoniak hergestellt wurde. Da Ammoniak sich mit dem Hochdruckverfahren wesentlich direkter, schneller und billiger herstellen ließ als mit dem Kalkstickstoffverfahren, setzte das Kriegsministerium im Frühjahr 1916 anlässlich einer neuerlichen Initiative zum Ausbau der Stickstoffwirtschaft auf dieses Verfahren. Dazu sollte

70 Protokoll der Sitzung des Königlichen Staatsministeriums, 31.12.1914, BArch, R 2/43039, S. 2; Szöllösi-Janze, Haber, 1998, S. 294.

71 Helfferich, Weltkrieg, 1919, S. 119–121; Roth, Staat, 1997, S. 212; Waeser, Luftstickstoff-Industrie, 1922, S. 21, 24; Fehr, Stickstoff, 2015, S. 184–185; Fehr, Energie, 2015, S. 489, 506, 508–509; Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 94–95, 142–146; Szöllösi-Janze, Haber, 1998, S. 297–298; Eucken, Stickstoffversorgung, 1921, S. 103.

72 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 96.

73 Johnson, Macht, 2003, S. 174–176; Szöllösi-Janze, War, 2000, S. 113–115; Szöllösi-Janze, Berater, 1996, S. 111–112; Helfferich, Weltkrieg, 1919, S. 124–125.

74 Roth, Staat, 1997, S. 197.

Abb. 1 »Soldat und Landmann schauen auf das Ammoniakwerk Merseburg« von Fritz Bersch (1873–1950). Das zeitgenössische Bild stellt allegorisch dar, dass die industrielle Stickstofferzeugung sowohl für die Landwirtschaft als auch für die Streitkräfte von großer Bedeutung war.

Abb. 2 Am 28.4.1917 verließ der erste Kesselwagen mit Ammoniak das neugebaute Ammoniakwerk Merseburg. Die Aufschrift »Franzosen-Tod!« zeigt, dass die Belegschaft sich bewusst war, dass das Ammoniak primär einer militärischen Verwendung zugeführt werden sollte.

südlich von Merseburg bei Leuna in Sachsen-Anhalt ein neues Ammoniakwerk – die späteren Leuna-Werke – mit einer Kapazität von 30 000 Jahrestonnen Stickstoff errichtet werden, dessen Elektrizitätsbedarf von Braunkohlekraftwerken gedeckt werden sollte (Abb. 1 und Abb. 2).[75] Ein weiterer Faktor war die zunehmende Totalisierung des Kriegs, in deren Kontext die Oberste Heeresleitung unter Paul von Hindenburg (1847–1934) und Erich Ludendorff (1865–1937) im August 1916 das sogenannte »Hindenburg-Programm« beschloss. Die in diesem Programm angestrebte Verdoppelung der Pulver-

75 Haber, Industry, 1971, S. 202–203; Waeser, Luftstickstoff-Industrie, 1922, S. 37, 41–42.

produktion musste konsequenterweise auch zu einer Verdoppelung des Stickstoffbedarfs führen.[76] Um die Ziele zu erreichen, wurde die für Merseburg ursprünglich geplante Kapazität von 30 000 Jahrestonnen Stickstoff auf einen mehr als viermal größeren Soll-Wert von 130 000 Jahrestonnen erhöht, der 1918 schließlich sogar auf 200 000 Jahrestonnen Stickstoff gesteigert wurde.[77] Mit dem Hindenburg-Programm ging auch eine Änderung der Zuständigkeiten einher. So wurde der KRA die Zuständigkeit für Stickstoff schon bald gänzlich entzogen und dem Waffen- und Munitionsbeschaffungsamt (WUMBA) zugeteilt.[78] Da der militärische Bedarf bei diesem Amt Priorität hatte, zog auch dieses das Haber-Bosch-Verfahren vor.[79]

Ein weiterer wichtiger Grund für die Bevorzugung des Hochdruckverfahrens war der im Vergleich wesentlich höhere Energie- und Arbeitskräftebedarf des Kalkstickstoffverfahrens. Dieser fiel umso stärker ins Gewicht, als das Hindenburg-Programm in Deutschland eine Transport- und Kohlekrise verursachte und zudem auch Arbeitskräftemangel herrschte.[80] Ludendorff kam daher zu folgendem Schluss:

> Der Kalkstickstoff braucht viel Kohle, viel Menschenkraft; er hat daher gegenüber dem Ammoniakstickstoff schon aus wirtschaftlichen Gründen keine Zukunft. Militärisch aber dürfen wir unter keinen Umständen irgendwelche Menschenkraft und Kohle verschleudern.[81]

Auch die Pulver- und Sprengstoffkommission konstatierte: »In der Kalkstickstoffgewinnung hat sich die unbedingte Überlegenheit des Haber-Bosch-Verfahrens klar herausgestellt.«[82]

In der Folge wurden für den Ausbau der Kalkstickstoffindustrie keine neuen staatlichen Mittel mehr bereitgestellt. Außerdem zeigte sich, dass selbst die bereits fertiggestellten Kalkstickstoffanlagen ihre Kapazität während des ganzen Kriegs aufgrund von Ressourcenmangel nie ausschöpfen konnten. Dies hatte seinen Grund einerseits in der allgemeinen Kohlekrise, andererseits aber auch darin, dass die Kalkstickstoffindustrie bei der Verteilung der raren Ressourcen keine Priorität mehr hatte.[83] Nachdem die Kalkstickstoffindustrie ihre Produktion von 14 700 t im Jahr 1915 auf 34 000 t Stickstoff im Jahr

76 Geyer, Hindenburg-Programm, 2003, S. 557; Johnson, Mobilization, 2006, S. 14.

77 Vertrag zwischen dem Reichkanzler (Reichsschatzamt) und der Badischen Anilin- & Soda-Fabrik zu Ludwigshafen, 1.12./19.12.1916, Unternehmensarchiv der BASF SE, A 18/23, S. 1–2; Voigtländer-Tetzner, Bindung, 1940, S. 303.

78 Schreiben des Waffen- und Munitionsbeschaffungsamts über die Bearbeitung der die Erzeugung von Stickstoff betreffenden Fragen, 19.12.1916, BArch, R 8729/287, S. 1; Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 108; Johnson, Mobilization, 2006, S. 14; Roth, Staat, 1997, S. 66–67.

79 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 108, 113–114.

80 Geyer, Hindenburg-Programm, 2003, S. 558; Johnson, Mobilization, 2006, S. 15.

81 Ludendorff, Urkunden, 1920, S. 208.

82 Protokoll der 66. Sitzung der Pulver- und Sprengstoffkommission, 14.4.1917, BArch MA, MSg 2/760a. Siehe auch: Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 114.

83 Lau, Kalkstickstoff, 1978, S. 34.

1916 mehr als verdoppelt hatte, stieg sie 1917 nur noch marginal auf 36 600 t an, um 1918 wieder auf 35 600 t zu sinken. Demgegenüber vervielfachte sich die Produktion nach dem Hochdruckverfahren von 12 200 t im Jahr 1915 auf 51 000 t im Jahr 1916, 75 000 t im Jahr 1917 und schließlich 94 000 t Stickstoff im Jahr 1918. Damit wurde in den letzten beiden Kriegsjahren praktisch die Hälfte der deutschen Gesamtproduktion durch das Hochdruckverfahren erzeugt, womit es sich endgültig gegen die anderen Verfahren durchgesetzt hatte.[84]

Wie schon das Ammoniakoxidationsverfahren hat die BASF auch das Hochdruckverfahren bereits vor dem Kriegsbeginn und damit auch vor dem Auftreten des Salpetermangels entwickelt. Die technische Umsetzung des Haber-Bosch-Verfahrens war zu diesem Zeitpunkt zwar weiter fortgeschritten als diejenige der Salpetersäureerzeugung, doch, wie bereits gezeigt wurde, war die Produktion quantitativ nach wie vor sehr bescheiden, reparaturanfällig und wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig. Dies änderte sich erst mit dem Aufbau einer großtechnischen industriellen Massenerzeugung im Rahmen der durch Salpetermangel bedingten kriegswirtschaftlichen Maßnahmen während des Ersten Weltkriegs. Insofern kann auch für das Haber-Bosch-Verfahren festgestellt werden, dass kriegsbedingter Rohstoffmangel ein entscheidender Impulsgeber für den Übergang von der Entwicklungsphase der Invention zur Phase der Innovation, d. h. zur tatsächlichen, wirtschaftlich aussichtsreichen Umsetzung bzw. »Entwicklung bis zur Marktreife« war. Wie noch zu zeigen sein wird, endete die Entwicklung in diesem Fall – anders als etwa beim Ammoniakoxidationsverfahren der BASF – nicht in der Phase der Innovation, sondern setzte sich nach dem Krieg in einer globalen Diffusion fort.[85]

Wurde die »Stickstofffrage« gelöst? – Eine Bilanz

Die deutsche Kriegswirtschaft stand nach dem Kriegsbeginn vor dem Problem, dass sie den ursprünglichen Friedensbedarf an Stickstoffverbindungen von rund 225 000 t Stickstoff pro Jahr durch die inländische Produktion selbst im bestmöglichen Fall nur zu rund 57 % decken konnte. Insgesamt fehlten aufgrund der alliierten Blockade mindestens 97 700 t gebundenen Stickstoffs pro Jahr.[86] Darin noch nicht enthalten war der kriegsbedingte Mehrbedarf der Landwirtschaft sowie der kontinuierlich steigende Bedarf für die Kriegsführung. Alleine der militärische Bedarf dürfte bereits 1915 rund 55 000 t betragen haben und sich in den Folgejahren auf 70 000 t (1916), 95 000 t (1917) und schließlich sogar 110 000 t Stickstoff (1918) erhöht haben. Insgesamt übertraf der Bedarf gegen Ende des Kriegs die Produktionskapazität von 1913 somit um mehr als 200 000 t Stickstoff pro Jahr.[87]

84 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 98–99, 115–116.

85 Zu den technischen Entwicklungsphasen siehe: Ropohl, Technologie, 2009, S. 258–261; König, Technikgeschichte, 2009, S. 60.

86 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 57–59, 148–149.

87 Ebd., S. 102, 104, 118.

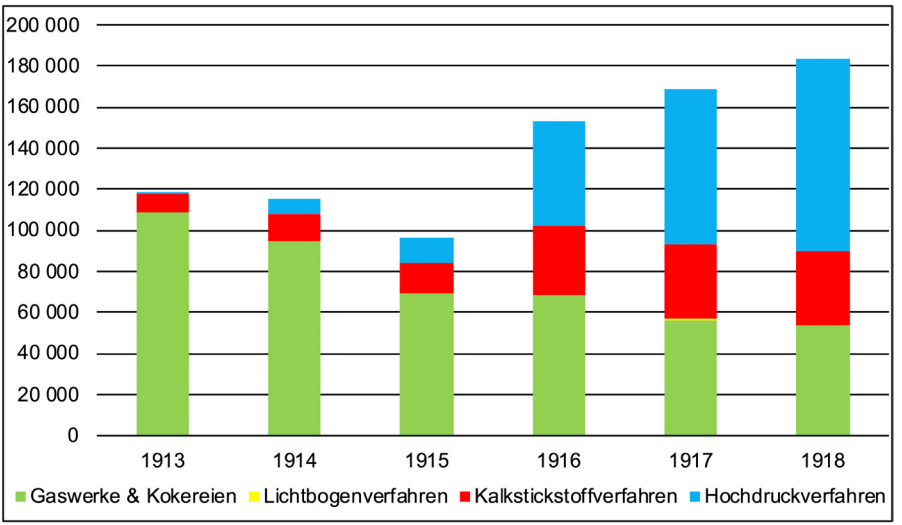


Abb. 3 Gesamterzeugung der deutschen Stickstoffwirtschaft 1913–1918 in Tonnen Stickstoff.

Diesem Mehrbedarf standen in den ersten beiden Kriegsjahren sinkende Produktionszahlen der Stickstoffwirtschaft von ursprünglich 118 900 t Stickstoff im Jahr 1913 auf 114 880 t im Jahr 1914 und 96 180 t im Jahr 1915 gegenüber. Erklären lassen sich diese damit, dass die Ammoniakproduktion durch Trockendestillation weitaus stärker einbrach als die Erzeugung durch die Luftstickstofffixierung zunahm. 1916 konnte die Vorkriegsproduktion dank des starken Ausbaus der Kalkstickstoffindustrie und der Ammoniakproduktion nach dem Hochdruckverfahren erstmals deutlich übertroffen werden. Insgesamt wurden in diesem Jahr 153 220 t Stickstoff produziert. Dank des weiteren starken Ausbaus der Anlagen der BASF erhöhte sich die Gesamtproduktion 1917 auf 168 370 t und 1918 auf 183 650 t Stickstoff (Abb. 3).[88]

Die deutsche Kriegswirtschaft war somit zu keinem Zeitpunkt des Kriegs imstande, den Bedarf an Stickstoffverbindungen zu decken. Selbst als die Produktion nach dem Hochdruckverfahren gegen Ende des Kriegs ihren Höhepunkt erreichte, hätte damit nicht einmal der vergleichsweise geringe Vorkriegsbedarf gänzlich gedeckt werden können. Zur Deckung des Kriegsbedarfs wären sogar über 100 000 zusätzliche Tonnen gebundenen Stickstoffs pro Jahr erforderlich gewesen. Diese wurden allerdings nicht bei der Munitionserzeugung, sondern bei der Landwirtschaft eingespart, die bereits im Düngejahr 1914/15 nur 98 000 t Stickstoff bzw. 47 % und im Düngejahr 1915/16 sogar nur noch 73 000 t Stickstoff bzw. 35 % des Bedarfs an Stickstoffdünger zugeteilt bekam.[89] Die Streitkräfte konnten also nur auf Kosten der Landwirtschaft bzw. der Ernährung der

88 Ebd., S. 116, 180.
89 Aereboe, Einfluss, 1927, S. 43.

Bevölkerung versorgt werden. Die »Stickstofffrage«, mit der sich das Deutsche Reich im Ersten Weltkrieg konfrontiert sah, war während des Kriegs somit nicht zu lösen. Ganz anders präsentiert sich die Bilanz, wenn sie im Hinblick auf die kommende Friedenszeit, ohne Einbezug des militärischen Bedarfs, errechnet wird. Dann zeigt sich, dass die im Krieg geschaffene Stickstoffindustrie den zivilen Bedarf durchaus hätte decken können. Es kann somit argumentiert werden, dass die allgemeine »Stickstofffrage«, wie sie im 19. Jahrhundert von Crookes aufgeworfen wurde und die ja ursprünglich nur die zivile Versorgung der Landwirtschaft zum Gegenstand hatte, mit dem Kriegsende zumindest in Deutschland – d. h. auf den nationalen Rahmen bezogen – dennoch gelöst war.[90]

Bedeutung und Folgen nach 1918

Die Bedeutung der beschriebenen kriegswirtschaftlichen Bemühungen in der deutschen Stickstoffwirtschaft besteht vor allem darin, dass mit den zur großindustriellen und wirtschaftlichen Reife gebrachten Innovationen, insbesondere dem Haber-Bosch-Verfahren, und mit dem gewaltigen Ausbau der Produktionsinfrastruktur weltweit erstmals praktisch bewiesen wurde, dass die Ende des 19. Jahrhunderts aufgeworfene »Stickstofffrage« von industrialisierten Ländern tatsächlich gelöst werden konnte. Verfügte eine Volkswirtschaft über die entsprechenden chemischen Fabriken und über genügend Energie, konnte sie beliebige Mengen von Stickstoffverbindungen erzeugen. Die »Stickstofffrage« war damit zu einer Energiefrage geworden.[91]

Nach dem Krieg fand auch aufgrund des Versailler Vertrags ein Transfer bzw. eine Diffusion der Technik des Hochdruckverfahrens in diverse andere Staaten statt. So etwa nach Frankreich, Großbritannien und in die USA.[92] In der ersten Hälfte der 1920er Jahre konnte mit dem Hochdruckverfahren weltweit erstmals mehr als eine Million Tonnen Stickstoff pro Jahr fixiert werden, womit die Produktion nach dem Kalkstickstoff- und nach dem Trockendestillationsverfahren deutlich übertroffen wurde.[93] Die mit der Ausdehnung der Massenproduktion verbundene Senkung der Kunstdüngerpreise und protektionistische Maßnahmen der Staaten, die selber synthetisches Ammoniak herstellten, hatten zur Folge, dass die chilenische Salpeterindustrie in den 1920er Jahren stark unter Druck geriet. Im Zuge der Weltwirtschaftskrise ab 1929 brach der Abbau von Chilesalpeter dramatisch ein und verlor seine frühere Bedeutung auf dem Weltmarkt weitgehend.[94] Die im 19. Jahrhundert geforderte Ablösung des Chilesalpeters durch die industrielle Fixierung des Luftstickstoffs war damit auch im globalen Maßstab Wirklichkeit geworden.

90 Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 158–159; Fehr, Energie, 2015, S. 492.

91 Fehr, Stickstoff, 2015, S. 188, 190; Fehr, Energie, 2015, S. 492; Fehr, Schweiz, 2016, S. 141.

92 Smil, Earth, 2001, S. 111–112; Johnson, Macht, 2003, S. 195–199; Haber, Industry, 1971, S. 96–97; Grossmann/Weicksel, Stickstoffindustrie, 1930, S. 42–43, 129, 136, 192; Haynes, Industry, 1945, S. 120.

93 Smil, Earth, 2001, S. 112, 240, 245.

94 Slotta, Chilesalpeter, 2015, S. 108; Hirsch-Weber, Salpetermonopol, 1990, S. 288; Herlemann, Stickstofferzeugung, 1961, S. 442–443; Smil, Earth, 2001, S. 240–241.

Die seit dem 8. Mai 1919 mit dem Stickstoffsyndikat miteinander verbundenen Unternehmen der deutschen Stickstoffwirtschaft hatten nach dem Kriegsende zunächst eine Krise zu bewältigen, die nebst der Umstellung auf die Friedenswirtschaft auch durch politische Unruhen, Streiks, Kohlemangel und Inflation bedingt war.[95] Immerhin bot die Inflation ihnen die Möglichkeit, sich der während des Kriegs gegenüber dem Staat eingegangenen Schulden zu entledigen.[96] Nach der Währungsstabilisierung 1923 setzte ein Aufschwung ein, in dessen Verlauf das deutsche Stickstoffsyndikat auf dem Weltmarkt für Stickstoffverbindungen sehr schnell eine »beherrschende Stellung« erreichte, die sich u. a. daran zeigte, dass in den Jahren 1928/29 über 40 % der Weltproduktion aus seinen Fabriken stammte.[97] Von großer Bedeutung waren die während des Ersten Weltkriegs mit der Stickstoffversorgung gemachten Erfahrungen und die Produktionsinfrastruktur auch später bei den deutschen Kriegsvorbereitungen in der Zeit des Nationalsozialismus.[98]

Nach dem Zweiten Weltkrieg setzte die weltweite Produktion nach dem Hochdruckverfahren zu ihrem bisher stärksten Wachstum an. Der jährliche Ausstoß der entsprechenden Ammoniakwerke vervielfachte sich damals von rund 5 Millionen (1950) auf 11 Millionen (1960), 32 Millionen (1970), 61 Millionen (1980), 77 Millionen (1990) und 86 Millionen Tonnen Stickstoff im Jahr 2000. In diesem Zeitraum verdrängte das Haber-Bosch-Verfahren die anderen Methoden der Stickstofffixierung weitgehend, um ab der Mitte der 1990er Jahre einen Anteil von über 99 % zu erreichen.[99] Nach der Jahrtausendwende stieg die Produktion nach dem Hochdruckverfahren weiter auf deutlich über 100 Millionen Tonnen Stickstoff pro Jahr an.[100] Ein Ende dieser Entwicklung ist bis heute nicht abzusehen. In aktuellen Prognosen wird sogar davon ausgegangen, dass sich der weltweite Verbrauch von synthetischen Stickstoffdüngern bis ins Jahr 2050 verdoppeln könnte.[101]

Obschon das Hochdruckverfahren im Verlauf der Zeit verschiedentlich verbessert und ab den 1960er Jahren vor allem auch wesentlich energieeffizienter wurde, entspricht das technische Grundprinzip bis heute dem im Ersten Weltkrieg erstmals im größeren Stil verwirklichten Haber-Bosch-Verfahren.[102] Weiterhin gültig ist auch die Feststellung geblieben, wonach die ursprüngliche »Stickstofffrage« mit der großtechnischen Umsetzung des Hochdruckverfahrens zu einer Energiefrage geworden ist. Selbst in modernen Anlagen muss für die Produktion eines Kilogramms synthetischen Stickstoffdüngers eine Energiemenge eingesetzt werden, die ungefähr einem Liter Erdöl entspricht.[103] Ins-

95 Herlemann, Stickstofferzeugung, 1961, S. 431–432.
96 Szöllösi-Janze, Berater, 1996, S. 115.
97 Herlemann, Stickstofferzeugung, 1961, S. 431, 433.
98 Johnson, Mobilization, 2006, S. 16.
99 Smil, Earth, 2001, S. 109, 245.
100 Galloway u. a., Transformation, 2008, S. 889; Erisman u. a., Century, 2008, S. 636.
101 Sutton u. a., Nutrient, 2013, S. 10; Matschullat/Vogt/Wessels, Stickstoff, 2015, S. 55.
102 Smil, Earth, 2001, S. 96, 109, 130; Smil, Weltbevölkerung, 1997, S. 41; Ertl, Weg, 2015, S. 165.
103 Wissemeier, Düngemitteltypen, 2015, S. 208.

gesamt dürften gegenwärtig zwischen 1,5 und 2 % des weltweiten Energieangebots für die industrielle Stickstofffixierung verwendet werden.[104]

Die besondere Bedeutung des Haber-Bosch-Verfahrens ergibt sich nicht nur aus den hohen Produktionszahlen, sondern auch aus dem Umstand, dass gegenwärtig zwischen 80 und 90 % des mit ihm gebundenen Stickstoffs als Düngemittel und damit auch für die Produktion von Lebensmitteln eingesetzt wird.[105] Je nach Berechnung wird davon ausgegangen, dass zwischen einem Drittel und der Hälfte der aktuellen Weltbevölkerung dank dem Haber-Bosch-Verfahren überhaupt ernährt werden kann.[106] Das ursprünglich im Ersten Weltkrieg aufgrund von Rohstoffmangel als Ersatzverfahren zur großindustriellen und wirtschaftlichen Reife gebrachte Hochdruckverfahren kann somit als Schlüsselinnovation bezeichnet werden, die eine wichtige Voraussetzung für das Bevölkerungswachstum des 20. und 21. Jahrhunderts bildet und von dem folglich Milliarden von Menschenleben abhängen – und wohl auch in Zukunft abhängen werden.[107] Vaclav Smil bezeichnete das Haber-Bosch-Verfahren daher auch als die wichtigste Erfindung des 20. Jahrhunderts.[108]

Fazit

Die strategische Bedeutung chemisch fixierten Stickstoffs wurde bereits im 19. Jahrhundert erkannt und seine mögliche globale Verknappung unter dem Schlagwort der »Stickstofffrage« international diskutiert. Durch die Blockade der Alliierten im Ersten Weltkrieg wurde das zuvor erst theoretisch erörterte Szenario einer langsamen, globalen Verknappung der Schlüsselressource Stickstoff für die Mittelmächte auf einen Schlag Realität und damit gewissermaßen zur *deutschen* »Stickstofffrage«.

Da die fehlenden Stickstoffverbindungen nicht mit eigentlichen Ersatzstoffen kompensiert werden konnten, mussten sie stattdessen mittels geeigneter Ersatzverfahren im Inland erzeugt werden. Die Munitionskrise rückte zunächst die Versorgung der Rüstungsindustrie mit Salpetersäure in den Vordergrund. Mit der beschleunigten, staatlich unterstützten Errichtung von Anlagen zur Ammoniakoxidation gelang es, die Versorgung zumindest soweit aufrechtzuerhalten, dass der Krieg fortgesetzt werden konnte. Die deutsche »Stickstofffrage« war damit allerdings längst nicht gelöst. Um das Angebot an kritischen Stickstoffverbindungen insgesamt zu erhöhen, war ein starker, staatlich vorangetriebener Ausbau der industriellen Stickstofffixierung erforderlich, der ebenfalls bereits kurz nach Kriegsbeginn einsetzte. Dabei wurden anfänglich sowohl das Kalkstickstoff- als auch das Hochdruckverfahren, später aber fast nur noch das Hochdruckverfahren berücksichtigt.

104 Ertl, Weg, 2015, S. 165; Sutton u. a., Nutrient, 2013, S. 17.
105 Galloway u. a., Transformation, 2008, S. 889; Erisman u. a., Century, 2008, S. 637; Ertl, Weg, 2015, S. 165.
106 Erisman u. a., Century, 2008, S. 637; Wissemeier, Düngemitteltypen, 2015, S. 205; Soentgen, Haber, 2015, S. 154; Ertl, Weg, 2015, S. 165; Smil, Weltbevölkerung, 1997, S. 42.
107 Smil, Weltbevölkerung, 1997, S. 44.
108 Smil, Earth, 2001, S. xiii.

Obschon sowohl das Hochdruck- als auch das Ammoniakoxidationsverfahren der BASF bereits kurz vor Kriegsbeginn erfunden und teilweise auch technisch verwirklicht worden waren, erfolgte ihre wirtschaftlich aussichtsreiche Umsetzung bzw. die Entwicklung zur Marktreife erst mit der Realisierung einer industriellen Massenproduktion im Rahmen der Kriegswirtschaft des Ersten Weltkriegs. Insofern kann in beiden Fällen gesagt werden, dass es sich um Innovationen handelt, für die der kriegsbedingte Rohstoffmangel ein wichtiger Impulsgeber war.

Zur Beurteilung des Erfolgs dieser kriegswirtschaftlichen Maßnahmen ist festzuhalten, dass die deutsche Stickstoffwirtschaft den Bedarf trotz starker Produktionssteigerungen während des gesamten Kriegs nie zu mehr als zwei Dritteln befriedigen konnte, was vor allem die Landwirtschaft schwer traf. Die deutsche »Stickstofffrage« während des Ersten Weltkriegs konnte somit nicht gelöst werden. Eine positivere Bilanz kann hingegen gezogen werden, wenn die aufgrund des Rohstoffmangels vorangetriebenen Innovationen und die neue Produktionsinfrastruktur hinsichtlich ihrer Bedeutung für die globale Stickstoffversorgung nach dem Ersten Weltkrieg beurteilt werden: Da die deutsche Erzeugung von industriell fixiertem Stickstoff im Jahr 1918 annähernd dem landwirtschaftlichen Bedarf des Jahres 1913 entsprach, konnte am Beispiel Deutschlands weltweit erstmals bewiesen werden, dass ein industrialisiertes Land seinen zivilen Stickstoffbedarf durch die chemische Bindung des Luftstickstoffs decken und die *globale* »Stickstofffrage« somit grundsätzlich gelöst werden konnte.

Dass dem auch tatsächlich so war, zeigte sich im weiteren Verlauf des 20. Jahrhunderts, als sich die Innovation des Haber-Bosch-Verfahrens in einem Diffusionsprozess weltweit verbreitete und als Quelle gebundenen Stickstoffs sowohl den Chilesalpeter als auch die anderen industriellen Verfahren weitgehend verdrängte. Mit der Lösung der globalen »Stickstofffrage« ermöglichte die Luftstickstofffixierung mittels Hochdruckverfahren das starke Wachstum der Weltbevölkerung im 20. und 21. Jahrhundert und bildet bis heute eine wichtige Grundlage für die Ernährung von Milliarden von Menschen.

Literatur

Aereboe, Friedrich: Der Einfluss des Krieges auf die landwirtschaftliche Produktion in Deutschland. Stuttgart 1927.

Aleklett, Kjell: Peeking at Peak Oil. New York 2012.

Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, ihre Chemie und Technologie. Leipzig 1917.

Bown, Stephen R.: A Most Damnable Invention. Dynamite, Nitrates, and the Making of the Modern World. New York 2005.

Bueb, Julius; Warmbold, Hermann: Ausführungen über die Produktions- und Absatzverhältnisse der Industrie stickstoffhaltiger Düngemittel. In: Ausschuss zur Untersuchung der Erzeugungs- und Absatzbedingungen der deutschen Wirtschaft (Hrsg.): Die deutsche Chemische Industrie. Verhandlungen und Berichte des Unterausschusses für Gewerbe: Industrie, Handel und Handwerk. Berlin 1930, S. 143–187.

Burchardt, Lothar: Friedenswirtschaft und Kriegsvorsorge. Deutschlands wirtschaftliche Rüstungsbestrebungen vor 1914. Boppard am Rhein 1968.

Caro, Nikodem: Die Stickstofffrage in Deutschland. Vortrag, gehalten am 23. April 1907 im polytechnischen Verein zu München. Berlin 1908.

–: Die Stickstoffgewinnung im Kriege. In: Schwarte, Max (Hrsg.): Die Technik im Weltkriege. Berlin 1920, S. 537–551.

Crookes, William: The Wheat Problem. Based on Remarks Made in the Presidential Address to the British Association at Bristol in 1898. London 1899.

Cushman, Gregory T.: Guano and the Opening of the Pacific World. A Global Ecological History. New York 2013.

Erisman, Jan Willem u. a.: How a Century of Ammonia Synthesis Changed the World. In: Nature Geoscience 1 (2008), H. 10, S. 636–639.

Ertl, Gerhard: Der mühsame Weg zum Haber-Bosch-Prozess und dessen Mechanismus. In: Ertl, Gerhard; Soentgen, Jens (Hrsg.): N. Stickstoff – ein Element schreibt Weltgeschichte. München 2015, S. 161–168.

Eucken, Walter: Die Stickstoffversorgung der Welt. Eine volkswirtschaftliche Untersuchung. Stuttgart 1921.

Fehr, Sandro: Die »Stickstofffrage« in der deutschen Kriegswirtschaft des Ersten Weltkriegs und die Rolle der neutralen Schweiz. Nordhausen 2009.

–: Die Vulnerabilität der chemieindustriellen Basis von Rüstung und Krieg in der Schweiz während des Ersten Weltkriegs. In: Jaun, Rudolf; Rieder, David (Hrsg.): Schweizer Rüstung. Politik, Beschaffungen und Industrie im 20. Jahrhundert. Baden 2013, S. 30–45.

–: Energie für den Krieg. Schweizer Unternehmen als Zulieferer und Produzenten in der deutschen Stickstoffwirtschaft während des Ersten Weltkriegs. In: Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte 56 (2015), H. 2, S. 479–513.

–: Stickstoff als Schlüsselressource im Ersten Weltkrieg. In: Ertl, Gerhard; Soentgen, Jens (Hrsg.): N. Stickstoff – ein Element schreibt Weltgeschichte. München 2015, S. 179–190.

–: Die Schweiz und die internationale Stickstoffproblematik. In: Krämer, Daniel; Pfister, Christian; Segesser, Daniel Marc (Hrsg.): »Woche für Woche neue Preisaufschläge«. Nahrungsmittel-, Energie- und Ressourcenkonflikte in der Schweiz des Ersten Weltkrieges. Basel 2016, S. 133–150.

Galloway, James N. u. a.: Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. In: Science 320 (2008), H. 5878, S. 889–892.

Geyer, Martin H.: Hindenburg-Programm. In: Hirschfeld, Gerhard; Krumeich, Gerd; Renz, Irina (Hrsg.): Enzyklopädie Erster Weltkrieg. Paderborn 2003, S. 557–558.

Grossmann, Hermann: Die Stickstofffrage und ihre Bedeutung für die deutsche Volkswirtschaft. Berlin 1911.

–; Weicksel, Paul: Die Stickstoffindustrie der Welt. Berlin 1930.

Haber, Fritz: Über die Darstellung des Ammoniaks aus Stickstoff und Wasserstoff. Vortrag, gehalten beim Empfang des Nobelpreises in Stockholm am 2. Juni 1920. In: Haber, Fritz (Hrsg.): Fünf Vorträge aus den Jahren 1920–1923. Berlin 1924, S. 1–24.

Haber, Ludwig Fritz: The Chemical Industry, 1900–1930. International Growth and Technological Change. Oxford 1971.
Haynes, Williams: American Chemical Industry, Bd. 2, The World War I Period: 1912–1922. New York 1945.
Helfferich, Karl: Der Weltkrieg, Bd. 2, Vom Kriegsausbruch bis zum uneingeschränkten U-Bootkrieg. Berlin 1919.
Herlemann, Hans-Heinrich: Die Stickstofferzeugung in den wichtigsten Produktionsländern der Welt. In: Fachverband Stickstoffindustrie e.V. (Hrsg.): Der Stickstoff. Seine Bedeutung für die Landwirtschaft und die Ernährung der Welt. Düsseldorf 1961, S. 423–448.
Hirsch-Weber, Wolfgang: Chiles Salpetermonopol in seiner Bedeutung für Staat und Gesellschaft. In: Ibero-amerikanisches Archiv 16 (1990), H. 2, S. 273–340.
Hohensee, Jens: Der erste Ölpreisschock 1973/74. Die politischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der arabischen Erdölpolitik auf die Bundesrepublik Deutschland und Westeuropa. Stuttgart 1996.
Huber, Robert: Zur Stickstoff-Frage. Eine Studie. Bern 1908.
Janke, Fritz: Geschichte, Technik und Wirtschaft des Kalkstickstoffs. In: Grossmann, Hermann (Hrsg.): Der Kalkstickstoff in Wissenschaft, Technik und Wirtschaft. Stuttgart 1931, S. 1–134.
Jevons, William Stanley: The Coal Question. An Inquiry Concerning the Progress of the Nation and the Probable Exhaustion of our Coal-Mines. London 1866.
Johnson, Jeffrey Allan: Die Macht der Synthese (1900–1925). In: Abelshauser, Werner (Hrsg.): Die BASF. Eine Unternehmensgeschichte. München 2003, S. 117–219.
–: Technological Mobilization and Munitions Production: Comparative Perspectives on Germany and Austria. In: MacLeod, Roy; Johnson, Jeffrey Allan (Hrsg.): Frontline and Factory: Comparative Perspectives on the Chemical Industry at War, 1914–1924. Dordrecht 2006, S. 1–20.
Justrow, Karl: Der technische Krieg, Bd. 2, Waffenwirkung und Kampfesweise im Zukunftskrieg. Berlin 1939.
König, Wolfgang: Technikgeschichte. Eine Einführung in ihre Konzepte und Forschungsergebnisse. Stuttgart 2009.
Lau, Kurt: Kalkstickstoff für den Krieg! Zur Entstehung des Stickstoffwerkes Piesteritz. Piesteritz 1978.
Ludendorff, Erich: Urkunden der Obersten Heeresleitung über ihre Tätigkeit 1916/18. Berlin 1920.
Malthus, Thomas Robert: An Essay on the Principle of Population as it Affects the Future Improvement of Society. With Remarks on the Speculations of Mr. Godwin, M. Condorcet and Other Writers. London 1798.
Matschullat, Jörg; Vogt, Richard; Wessels, Martin: Stickstoff ist grün – Eutrophierung auch. In: Ertl, Gerhard; Soentgen, Jens (Hrsg.): N. Stickstoff – ein Element schreibt Weltgeschichte. München 2015, S. 55–66.
Michalka, Wolfgang: Kriegsrohstoffbewirtschaftung, Walter Rathenau und die »kommende Wirtschaft«. In: Michalka, Wolfgang (Hrsg.): Der Erste Weltkrieg. Wirkung, Wahrnehmung, Analyse. München 1994, S. 485–505.
Mittasch, Alwin: Geschichte der Ammoniaksynthese. Weinheim 1951.
–: Salpetersäure aus Ammoniak. Geschichtliche Entwicklung der Ammoniakoxydation bis 1920. Weinheim 1953.
Moellendorff, Wichard von: Das Tagebuch Wichard v. Moellendorffs vom 13. August bis zum 14. Oktober 1914. In: Tradition. Zeitschrift für Firmengeschichte und Unternehmerbiographie 16 (1971), H. 2, S. 78–92.
Nagel, Alfred von: Stickstoff. Die technische Chemie stellt die Ernährung sicher. Ludwigshafen am Rhein 1969.
Ost, Hermann: Lehrbuch der chemischen Technologie. Leipzig 1919.
Poppenberg, Otto: Pulver und Sprengstoffe. In: Schwarte, Max (Hrsg.): Die Technik im Weltkriege. Berlin 1920, S. 92–114.
Rabius, Wilhelm: Kritische Betrachtungen zur voraussichtlichen Lösung der Stickstoffrage. Jena 1907.
Ropohl, Günter: Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. Karlsruhe 2009.

Roth, Regina: Staat und Wirtschaft im Ersten Weltkrieg. Kriegsgesellschaften als kriegswirtschaftliche Steuerungsinstrumente. Berlin 1997.
Schmidt, Albrecht: Die industrielle Chemie in ihrer Bedeutung im Weltbild und Erinnerungen an ihren Aufbau. Berlin 1934.
Schölzel, Christian: Walther Rathenau. Eine Biographie. Paderborn 2006.
Schumpeter, Joseph Alois: Konjunkturzyklen. Eine theoretische, historische und statistische Analyse des kapitalistischen Prozesses. Göttingen 1961.
Segesser, Daniel Marc: Der Erste Weltkrieg in globaler Perspektive. Wiesbaden 2010.
Slotta, Rainer: Chilesalpeter – bis 1913 unersetzlich: Bergbau, Aufbereitung und Export. In: Ertl, Gerhard; Soentgen, Jens (Hrsg.): N. Stickstoff – ein Element schreibt Weltgeschichte. München 2015, S. 101–116.
Smil, Vaclav: Weltbevölkerung und Stickstoffdünger. In: Spektrum der Wissenschaft 1997, H. 9, S. 38–44.
–: Enriching the Earth. Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production. Cambridge, Massachusetts 2001.
Soentgen, Jens: Fritz Haber. In: Ertl, Gerhard; Soentgen, Jens (Hrsg.): N. Stickstoff – ein Element schreibt Weltgeschichte. München 2015, S. 149–160.
Stevenson, David: 1914–1918. Der Erste Weltkrieg. Düsseldorf 2006.
Stoltzenberg, Dietrich: Fritz Haber. Chemiker, Nobelpreisträger, Deutscher, Jude. Weinheim 1994.
Strachan, Hew: The First World War, Bd.1, To Arms. Oxford 2001.
Sutton, Mark A. u. a.: Our Nutrient World. The Challenge to Produce More Food and Energy With Less Pollution. Edinburgh 2013.
Szöllösi-Janze, Margit: Berater, Agent, Interessent? Fritz Haber, die BASF und die staatliche Stickstoffpolitik im Ersten Weltkrieg. In: Berichte zur Wissenschaftsgeschichte 19 (1996), H. 2–3, S. 105–117.
–: Fritz Haber, 1868–1934. Eine Biographie. München 1998.
–: Losing the War, but Gaining Ground: The German Chemical Industry During World War I. In: Lesch, John E. (Hrsg.): The German Chemical Industry in the Twentieth Century. Dordrecht 2000, S. 91–121.
Thoss, Bruno: Materialschlacht. In: Hirschfeld, Gerhard; Krumeich, Gerd; Renz, Irina (Hrsg.): Enzyklopädie Erster Weltkrieg. Paderborn 2003, S. 703–704.
–: Munitionskrise. In: Hirschfeld, Gerhard; Krumeich, Gerd; Renz, Irina (Hrsg.): Enzyklopädie Erster Weltkrieg. Paderborn 2003, S. 727–728.
Voigtländer-Tetzner, Walter: Die Bindung des Luftstickstoffs 1895–1940, Bd. 1, 1895–1918. Unveröffentlichtes Manuskript im Unternehmensarchiv der BASF SE. Ludwigshafen 1940.
Waeser, Bruno: Die Luftstickstoff-Industrie. Mit besonderer Berücksichtigung der Gewinnung von Ammoniak und Salpetersäure. Leipzig 1922.
Wissemeier, Alexander H.: Können neue, innovative Düngemitteltypen das moderne Stickstoffproblem lösen? In: Ertl, Gerhard; Soentgen, Jens (Hrsg.): N. Stickstoff – ein Element schreibt Weltgeschichte. München 2015, S. 205–216.

Ersatz für Genuss-, Nahrungs- und Futtermittel

Coffarom – Versuche zur Erzeugung eines synthetischen Kaffeearomas durch Tadeus Reichstein, Hermann Staudinger und die Firma Haarmann & Reimer[1]

Claus Priesner

Anders als die großen Kolonialmächte Großbritannien und Frankreich besaß das 1871 gegründete deutsche Kaiserreich nur kurzzeitig Kolonien, die als Rohstoffquellen genutzt werden konnten. Um von ausländischen Rohstofflieferungen unabhängig zu werden, sah sich das Reich deshalb gezwungen, gewisse strategisch wichtige Produkte wie Schießpulver oder Kunstdünger aus heimischen Ressourcen zu gewinnen. Angesichts einer ähnlichen Zwangslage hatten die Chemiker schon im 18. Jahrhundert nach einem Verfahren zur Erzeugung »künstlicher« Soda gesucht und damit letztlich die Entstehung der chemischen Industrie initiiert. Dass Großbritannien im 19. Jahrhundert die weltweit bedeutendste Chemieindustrie besaß, war unter anderem seiner kolonialen Wirtschaftsstruktur geschuldet: Die synthetische Soda und der Chlorkalk, der aus einem bei der Soda-Synthese anfallenden Nebenprodukt gewonnen wurde, fanden nämlich hauptsächlich in der stark expandierenden Baumwollverarbeitung Verwendung, die vom British Empire dominiert wurde. Die Fähigkeit, Soda »künstlich« zu gewinnen und dadurch die limitierte Verfügbarkeit der »natürlichen« Soda zu kompensieren, trug erheblich zum wirtschaftlichen Aufstieg Großbritanniens bei.[2] Als 1871 mit der Gründung des Deutschen Reichs ein einheitlicher Wirtschafts- und Rechtsraum entstanden war, in dem Erfindungen zudem durch ein klug konzipiertes Patentgesetz wirkungsvoll geschützt wurden, entwickelte sich auch dort eine chemische Industrie. Wirtschaftspolitisches Ziel des Deutschen Reichs war es, Produkte, die im eigenen Land nicht oder nicht ausreichend verfügbar waren, wie z. B. der Textilfarbstoff Indigo, aus heimischen Rohstoffen künstlich zu erzeugen. Die auf vielerlei Ebenen stattfindenden Bemühungen, natürliche Substanzen durch synthetische zu ersetzen, führten zu bemerkenswerten Innovationen und ermöglichten letztlich den rasanten Aufstieg der deutschen chemischen Industrie, die um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert schließlich bedeutender und größer war als die britische und weltweit als führend galt.

Auch die hier vorgestellte Erforschung des Kaffeearomas, die letztlich das Ziel hatte, dieses eines Tages künstlich zu erzeugen oder zumindest zu imitieren, gehört in den Kontext der in Folge des Ersten Weltkriegs aufgenommenen Ersatzstoffforschung. Zwar

1 Der Aufsatz basiert auf Aktenmaterial, das Elisabeth Vaupel im Archiv der Symrise AG in Holzminden entdeckt und mir dankenswerterweise zur Auswertung zur Verfügung gestellt hat. Die Symrise AG ist ein weltweit führender Hersteller von Duft- und Geschmacksstoffen, der 2003 aus der Fusion der Dragoco Gerberding & Co. AG und der Haarmann & Reimer GmbH, beide Holzminden, hervorgegangen ist.

2 Zur Bedeutung der Baumwolle für die Entwicklung des britischen Imperiums und des globalen Kapitalismus siehe Beckert, King Cotton, 2014.

blieben die entsprechenden Bemühungen insofern ergebnislos, als es nicht gelang, ein marktfähiges Surrogat für das Kaffeearoma zu erzeugen, das dem echten Bohnenkaffee Konkurrenz gemacht hätte. Dieser Misserfolg bedeutet allerdings nicht, dass die entsprechenden Forschungsarbeiten irrelevant oder nutzlos gewesen wären. Wie sie in den Kontext der Ersatzstoffforschung jener Zeit eingebunden waren und worin ihre chemiegeschichtliche Relevanz besteht, sollen die folgenden Ausführungen verdeutlichen.[3]

Die Revolution der Heißgetränke

Im Zeitalter der Aufklärung begann der Siegeszug eines Getränks, das heute das meistkonsumierte Genussmittel der Welt ist. Pro Tag werden mehr als zwei Milliarden Tassen Kaffee getrunken.[4] Kaffee kam den Zielen der Aufklärer, die Welt rational zu betrachten, durch seine anregende und wachmachende Wirkung sehr entgegen.[5] Vor der Verbreitung des Kaffees trank man in Europa hauptsächlich Kaltgetränke wie Wein oder Bier, letzteres auch als Suppe mit Einlage. Der Grund für diese Präferenz war, dass das Trinkwasser damals besonders in den Städten häufig stark mit Bakterien und Schadstoffen belastet war. Bier wurde zwar kalt getrunken, aber mit heißem Wasser gebraut; zudem enthielt es wie Wein etwas Alkohol, der eine gewisse keimtötende Wirkung besaß. Kaffee dagegen wurde mit kochendem Wasser aufgebrüht und heiß getrunken und schützte so vor Krankheiten. Überdies wirkte das Coffein, das 1820 von dem Chemiker Friedlieb Ferdinand Runge (1794–1867) isoliert und 1895 von dem späteren Chemie-Nobelpreisträger Emil Fischer (1852–1919) erstmals synthetisch hergestellt worden war, belebend und konzentrationsfördernd.[6] Die beim Rösten der Kaffeebohnen gebildeten Aromastoffe verliehen dem Getränk zudem einen angenehmen Geschmack und verlockenden Duft.

Auch ein anderes Heißgetränk wurde im 17. und 18. Jahrhundert immer häufiger konsumiert, der Tee.[7] Tees in Form von Kräuteraufgüssen waren in Europa zwar schon lange bekannt, wurden allerdings nur zu medizinischen Zwecken und nicht als anregendes Genussmittel verwendet. Die diversen schwarzen Tees waren zwar oft billig, aber geschmacklich mangelhaft. Der Kaffee dagegen war etwas bis dato Unbekanntes; sein Geschmack, sein Geruch, sein Aussehen und seine Wirkung waren neu und überraschend. Allerdings war Bohnenkaffee ziemlich teuer und musste importiert werden, was den wirtschaftspolitischen Zielen und Vorstellungen des Merkantilismus widersprach. Der herrschende Adel fürchtete zudem, dass die anregende Wirkung des Kaffees, der häufig

3 Siehe Priesner, Coffarom, 2014, S. 22–35; ders., Kaffeefälscher, 2016, S. 52–57.

4 Siehe https://www.coffee-perfect.de/kaffeewissen/weltweiter-kaffeekonsum.html (21.12.2020).

5 Siehe u. a. Standage, Getränke, 2007, S. 122–157; Albrecht, Kaffeetrinken, 1994, S. 28–39; Sandgruber, Genüsse, 1986, S. 59–91; Schivelbusch, Paradies, 1980, S. 25–95.

6 Priesner, Runge, 2005, S. 263–264. Runge wurde durch Goethe angeregt, sich mit dem Kaffee und seinen anregenden Eigenschaften auseinanderzusetzen. 1832 bestimmten Christoph Heinrich Pfaff (1773–1852) und Justus von Liebig (1703–1773) die Summenformel des Coffeins. Die schon von Ludwig Medicus (1847–1915) 1875 postulierte chemische Struktur des Coffeins fand durch die Synthese Emil Fischers im Jahr 1895 ihre Bestätigung, s. Remane, Fischer, 1984.

7 Rohrsen, Tee, 2013; Standage, Getränke, 2007, S. 160–179.

in geselliger Runde in Kaffeehäusern konsumiert wurde, unliebsame politische Debatten befördern könnte. Aus der Sicht des Adels und des Klerus war das aufstrebende Bürgertum durch seine wachsende wirtschaftliche Macht ohnedies im Begriff, zu große politische Bedeutung zu erlangen. Immerhin löste der Journalist und Rechtsanwalt Camille Desmoulins (1760–1794) mit einer Rede vor einem damals bekannten Pariser Kaffeehaus am 12. Juli 1789 einen Bürgerprotest aus, der schließlich zum Sturm auf die Bastille und zur Französischen Revolution führte.[8]

Während es viele qualitativ schlechte, aber billige »echte« Tees gab, die ebenso viel Coffein enthielten wie die besseren und teureren Teesorten, war die Situation beim Kaffee anders. »Echter« Bohnenkaffee war als importabhängiges Konsumgut extrem teuer. Daher wurden schon Ende des 18. und besonders im 19. Jahrhundert viele Versuche unternommen, ihn durch einheimische Produkte zu ersetzen, die allerdings kein Coffein enthielten. Um den Absatz dieser Ersatzkaffees zu befördern, wurden besonders in Preußen hohe Einfuhrzölle auf echten Bohnenkaffee erhoben. Diese Politik hatte einen blühenden Kaffeeschmuggel zur Folge, den König Friedrich II. mit eigens geschulten »Kaffeeschnüfflern« zu unterbinden suchte:

> Am 21. Januar 1781 erschien das berühmte Kaffee-Edict, welches große Staatskaffeebrennereien zu errichten befahl. Nur der Adel, die Geistlichkeit, das Militär und die höheren Beamten […] sollten ferner noch ihren Kaffee selbst brennen [rösten] dürfen, unter der Bedingung, dass jeder von ihnen mindestens zwanzig Pfund jährlich verbrauchte. Das gesamte übrige Publikum durfte nur gebrannten Kaffee kaufen, der in amtlich verschlossenen Büchsen, 24 Loth für einen Taler […] feilgehalten wurde. […] Keine der Maßregeln des Königs hat im Volke eine so große Aufregung hervorgerufen, wie diese Beschränkung des Verkehrs. […] Nun sah der Bürger sich genötigt, ein ihm zum Bedürfnis gewordenes Lebensmittel für das Dreifache des Preises zu kaufen, während der Adel und die übrigen Privilegierten ihren Kaffee dreimal billiger erhielten (zu 10 Groschen das Pfund), dazu kam die empörende Spionage, welche dem Schmuggelhandel auf diesem Felde begegnen sollte. Eine ganze Legion von Steuerbeamten, vom Volk Kaffeeriecher genannt, ging auf den Straßen umher und spürte dem Geruch von gebranntem Kaffee nach. Diese Leute hatten das Recht, in die Häuser zu dringen und in allen Winkeln nach ungebranntem und unversteuertem Kaffee zu suchen.[9]

Letztlich waren es jedoch der hohe Preis des Bohnenkaffees sowie die Auswirkungen der von Napoleon zwischen 1806 und 1814 verhängten »Kontinentalsperre«, die zur weiten Verbreitung diverser Ersatzkaffees führten. Bei der Beurteilung dieser Surrogate kam es den Konsumenten in erster Linie auf die Farbe an und kaum auf den Geruch und

8 Standage, Getränke, 2007, S. 155.
9 Eberty, Geschichte, 1870, S. 35–36.

Geschmack. In Norddeutschland setzte sich der bitter schmeckende Zichorienkaffee durch, der aus den Wurzeln einer Wegwarten-Art gewonnen wurde; in Süddeutschland dominierte der aus Gerstenmalz hergestellte Malzkaffee und in Österreich der Feigenkaffee.[10]

Die Erfindung des Zichorienkaffees

Die Zichorie war schon lange als Heilpflanze bekannt, vor allem wegen ihrer verdauungsfördernden Wirkung.[11] Medizinisch verwendet wurden Abkochungen oder mit Honig hergestellte, sirupöse Zubereitungen der Blätter oder des ausgepressten Saftes. Die Wurzel der Wegwarte enthält viel Inulin, ein Gemisch aus diversen Polysacchariden mittlerer Molekülgröße.[12] Beim Rösten entsteht daraus zum Teil 5-(Hydroxymethyl)-furfural (5-Oxymethylfurfurol), das ein kaffeeähnliches Aroma besitzt. Auf die Bedeutung derartiger Furan-Abkömmlinge für das Aroma des Bohnenkaffees wird weiter unten noch zurückzukommen sein.

J. D. Timme (?-1772), der »Kunst- und Lustgärtner« des Fürsten von Schwarzburg-Sondershausen in Arnstadt, machte die Zichorie zum Ausgangsmaterial eines Ersatzkaffees.[13] Um 1750 experimentierte er mit der Wurzel der »Edelzichorie« und erhielt aus dem getrockneten, gerösteten und pulverisierten Rohmaterial einen dunkel gefärbten, ziemlich bitteren Extrakt. 1769 gründete ein gewisser Christian Gottlieb Förster zusammen mit Christian von Heine in Braunschweig die erste Fabrik zur Erzeugung von Zichorienkaffee und erhielt ein Fabrikationsprivileg von Herzog Carl zu Braunschweig und Lüneburg (1713–1780). Im Jahr 1770 erteilte auch König Friedrich II. von Preußen (1712–1786) eine entsprechende Konzession, worauf 1771 eine weitere Fabrik in Berlin errichtet wurde. Das Geschäft lief allerdings weniger gut als erwartet, da man Probleme mit der Beschaffung des Ausgangsmaterials hatte. Förster und Heine zerstritten sich, Heine schied aus dem Unternehmen aus, die Fabrik in Braunschweig wurde geschlossen und 1773 in Wandsbek neugebaut, was den Bankrott der Firma allerdings nicht verhindern konnte. Unter neuer Geschäftsleitung erlebte das Unternehmen aber einen kontinuierlichen Aufschwung, der durch die »Kontinentalsperre« Napoleons noch verstärkt wurde. In den 1820er Jahren existierten bereits zahlreiche Fabriken in Nord-, Mittel- und Südwestdeutschland. Die 1828 von Johann Heinrich Franck (1792–1862) gegründete Firma in Vaihingen (Württemberg) entwickelte sich schließlich zum führenden Unternehmen der Branche. Im Jahr 1868 wurde der Betrieb wegen der Verfügbarkeit eines Eisenbahnanschlusses nach Ludwigsburg verlegt. 1879 entstand eine erste Tochterfirma, 1913 existierten bereits 27 Fabriken in elf Staaten. Der enorme Aufschwung war nicht einer Mangelsituation geschuldet, sondern den »hervorragenden gesundheitlichen

10 Eine Übersicht über die bis 1900 erschienenen Werke zum Kaffee und seinen Surrogaten bietet Mueller, Bibliographie, 1960. Siehe auch Hünersdorff/Hasenkamp, Coffee, 2002.

11 Siehe z. B. Fuchs, Kreüterbuch, 1543, Kapitel CCLXII und Tafel CCCLXXXVII.

12 Beyer, Lehrbuch, 1968, S. 338.

13 Schmid, Geschichte, 1938.

Eigenschaften der Edelzichorie und der Vervollständigung in ihrer Verarbeitung. Sie ist daher eine ständige Begleiterin des Kaffees geblieben.«[14] Diese Feststellung findet sich in einem Aufsatz zur Geschichte des Zichorienkaffees aus dem Jahr 1938, demzufolge dieser Typ Ersatzkaffee von einem beträchtlichen Teil der Bevölkerung als Heißgetränk konsumiert wurde. Bohnenkaffee galt damals immer noch als Luxusgetränk, weite Kreise der Bevölkerung tranken hingegen Ersatzkaffee.

Der Malzkaffee und die Firma Kathreiner

Der Wirtschaftshistoriker Roman Rossfeld vertritt die Ansicht, dass das vielfach zu beobachtende Phänomen, wonach ein bestimmtes Produkt aus unterschiedlichen Gründen knapp und teuer und dann durch ein Ersatzprodukt verdrängt oder ersetzt wird, im Falle des Kaffees nicht ganz zutrifft. Vielmehr sei die weite Verbreitung des Bohnenkaffees eine Folge des starken Konsums von Ersatzkaffee.[15] Diese Einschätzung ist gut belegt und erscheint plausibel: Der zunächst den gesellschaftlichen Eliten vorbehaltene Genuss echten Bohnenkaffees wurde, nicht zuletzt aus wirtschaftspolitischen Gründen, so verteuert, dass ein Vordringen dieses Produkts in breite Bevölkerungskreise ausgeschlossen war. Die breite Bevölkerung musste stattdessen mit einheimischen Ersatzprodukten vorliebnehmen. Man sollte nicht vergessen, dass »reiner Bohnenkaffee, wie wir ihn heute üblicherweise genießen, erst nach dem ›Wirtschaftswunder‹ der 1950er-Jahre zu einem zunehmend erschwinglichen und alltäglichen Produkt« wurde.[16] Konrad Adenauer (1876–1967) machte den Wählern 1953, rechtzeitig zur Bundestagswahl, ein Geschenk. Er senkte die Kaffeesteuer von 10 DM auf 3 DM pro Kilo. Die von Kritikern befürchteten Steuerausfälle blieben aus. Der Kaffeekonsum stieg sogar, so dass die Steuereinnahmen höher als vor dieser Maßnahme waren.

Die meisten Konsumenten der diversen Ersatzkaffees legten keinen besonderen Wert darauf, dass dieser dem »echten« Kaffee ähnelte. Beim Zichorienkaffee wurde allerdings sein mangelnder Nährwert angegriffen. Die sogenannte »Lebensreformbewegung«, die die Industrialisierung und die damit verbundene zivilisatorische Entwicklung kritisierte und die Rückkehr zu einer »natürlichen« Lebensweise propagierte, argumentierte, dass sowohl Bohnen- als auch Zichorienkaffee für die Ernährung nutzlos seien. Man würde also ein überflüssiges Produkt durch ein anderes, ebenso überflüssiges, ersetzen. Überdies mache der echte Kaffee auch noch »nervös«. Der Hygieniker Max von Pettenkofer (1818–1901) bezeichnete den Bohnenkaffee daher als »Peitsche ohne Hafer«.[17] Zu den Kaffeekritikern gehörten auch John Harvey Kellog (1852–1943), der Erfinder der »Cornflakes«, Maximilian Bircher-Benner (1867–1939), dem wir das »Bircher-Müsli« verdanken, und der Pfarrer und prominente Lebensreformer Sebastian Kneipp (1821–1897), der ebenfalls Vorbehalte gegenüber dem Bohnenkaffe hatte.

14 Ebd., S. 155.
15 Rossfeld, Genuß, 2002, S. 226–255.
16 Ebd., S. 226.
17 Ebd., S. 233.

Im Jahr 1882 stellte der Glarner Armenarzt und Fabrikinspektor Fridolin Schuler (1832–1903) fest, dass die Fabrikbevölkerung den Genussmitteln im Allgemeinen einen außerordentlich hohen Wert beimesse und ein starkes Bedürfnis danach bekunde, da die stete Aufmerksamkeit der Arbeiter unabweislich die Zufuhr von Genussmittel verlange.[18]

Schuler kam es offenbar darauf an, dass die Genussmittel auch eine anregende Wirkung besaßen, die im Falle des Kaffees durch das Coffein zustande kam. Er verteufelte den Gebrauch von Ersatzkaffee zwar nicht, solange dieser dem Bohnenkaffee in mäßigen Dosen zugemischt werde, konstatierte jedoch: »Ein wahres Unglück ist's aber, dass mit solcher Frechheit Kaffee-Extrakte, -Essenzen etc. dem Arbeiter angeboten werden, die angeblich die wirksamen Stoffe des eigentlichen Kaffees enthalten, in Wirklichkeit aber die werthlosesten Präparate ohne die mindeste Verwandtschaft mit den Kaffeebohnen sind.«[19] Damit nahm Schuler eine damals kaum verbreitete Position ein, indem er verlangte, dass der Ersatzkaffee dem echten Kaffee hinsichtlich seiner Inhaltsstoffe und seiner anregenden Wirkung zumindest ähnlich sein solle.

Die Kreierung von »Kathreiners Malzkaffee« machte schließlich alle Kritik der Lebensreformer obsolet. Anstelle der praktisch kalorienfreien Zichorienwurzel wurde in diesem Kaffeesurrogat nun Gerstenmalz als Grundmaterial verwendet (Abb. 1).

Der Münchner Kaufmann Franz Kathreiner (1794–1866) gründete 1829 ein Kleinunternehmen, das sich zunächst auf die Herstellung von Lampenöl spezialisiert hatte und ab 1842 als Gewürz-, Farben- und Kolonialwarenhandlung betrieben wurde. 1870 übernahm der aus einer alten Kaufmanns-, Handwerker- und Ratsherrenfamilie stammende Emil Wilhelm das Geschäft, 1876 trat Adolph Brougier in das als »Franz Kathreiners Nachfolger« (im Folgenden kurz »Kathreiner«) firmierende Unternehmen ein. Unter der Leitung von Wilhelm und Brougier entwickelte sich die Firma bis zum Ende des 19. Jahrhunderts zu einer der größten und bedeutendsten deutschen Lebensmittelhandlungen. Ihr Angebot umfasste Wein, Champagner, Schokolade und Tee; Hauptstandbein war indes der Import von Kaffeebohnen.

Im Jahr 1890 engagierte Kathreiner den Lebensmittelchemiker Heinrich Trillich, einen langjährigen Mitarbeiter Max von Pettenkofers an der »Kgl. Untersuchungsanstalt für Nahrungs- und Genußmittel« in München. Er erhielt den Auftrag, die Kritik, die die Lebensreformbewegung dem Zichorienkaffee entgegenbrachte, durch Entwicklung eines nahrhaften Malzkaffees zu entkräften. Trillich, einer der fähigsten Nahrungsmittel-Chemiker seiner Zeit, kam nach eigenen Worten auf die Idee, »dem Kaffeemalz koffeinfreien Bohnenkaffee-Extrakt zuzusetzen, womit eine höchstmögliche Annäherung an den Geschmack des echten Bohnenkaffees erzielt wurde«.[20] Es gelang, den Pfarrer Sebastian Kneipp als Mitstreiter und Werbeträger zu gewinnen; schon 1891 brachte Kathreiner mit dem bis heute erhältlichen »Kneipp Malzkaffee« einen der größten Verkaufserfolge in der Geschichte der Ersatzkaffees heraus. Zwar gab es auch vorher schon Malzkaffees, aber erst »Kathreiner's Malzkaffee« konnte dank des Zusatzes von Bohnenkaffee ge-

18 Ebd., S. 231.

19 Ebd.

20 Ilgen, Mocca, 2004, S. 80. Siehe auch Trillich, Malzkaffee, 1891, S. 540–547; ders., Kaffeesurrogate, 1889.

Abb. 1 Die Reklame für Kathreiner's Malzkaffee zeigt, dass dieser Ersatzkaffee aus Gerste hergestellt wurde, ca. 1906.

schmacklich überzeugen. Zichorienkaffee dagegen entsprach dem Publikumsgeschmack immer weniger. Interessant ist dabei auch ein chemisch-physiologischer Aspekt: Getreidemalz enthält kein Inulin, weshalb beim Rösten des Malzes auch kein 5-(Hydroxymethyl)-furfural entsteht, jene Substanz, die dem Zichorienkaffee ein kaffeeähnliches Aroma verleiht. Dieser Mangel wurde durch die Zugabe von Bohnenkaffeeextrakt ausgeglichen, so dass der Malzkaffee kein reiner Ersatzkaffee war.

Die Firma Franck beherrschte den Zichorienmarkt und verdrängte nach und nach alle anderen Anbieter von Zichorienkaffee, meist durch Aufkauf. Da diese Strategie im Falle von Kathreiner aber nicht gangbar war, brachte man 1907 den Malzkaffee »Enrilo« auf den Markt. Kathreiner Paroli bieten konnte man aber erst mit dem 1911 eingeführten »Kornfranck«, in dem Roggenmalz anstelle des von Kathreiner genutzten Gerstenmalzes verwendet wurde. Bald setzten jedoch Bestrebungen ein, diese Konkurrenzsituation durch Verhandlungen zu entschärfen, was dazu führte, dass die Firma Franck mit der 1890 in München entstandenen »Kathreiner Malzkaffee Fabrik« ab 1913 eine Holding bildete, die »Internationale Nahrungs- und Genußmittel AG« (künftig als INGA bezeichnet) in Schaffhausen in der Schweiz, zu der 32 Fabriken und Beteiligungen gehörten und deren Aktienkapital 60 Millionen Schweizer Franken betrug. Die INGA spielte bei der Erforschung des Kaffeearomas eine maßgebliche Rolle.

Ersatzkaffee und Weltkrieg

Die Herstellung der unterschiedlichen Ersatzkaffees war im Deutschen Reich schon lange vor dem Ersten Weltkrieg ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. 1895 existierten dort 250 Betriebe mit 5710 Beschäftigten, die gewerbsmäßig Ersatzkaffee produzierten; dazu kamen noch die vielen Hausfrauen, die Malzkaffee selbst herstellten.[21] 1907 wurden im Deutschen Reich 1 600 000 Doppelzentner Zichorie im Wert von 5,75 Millionen Reichsmark geerntet. Der Wert des Friedensverbrauchs von Kaffeeersatz lag bei ca. 30 Millionen Reichsmark, der von echtem Kaffee belief sich auf ca. 150–250 Millionen Mark für ein bis zwei Millionen Doppelzentner Rohkaffee, wobei die auffallend große Marge den stark schwankenden Preisen für Rohkaffee geschuldet war. In Friedenszeiten war es kein Problem, die Nachfrage nach Zichorien- und Malzkaffee zu befriedigen. Nach Ausbruch des Ersten Weltkriegs änderten sich die Verhältnisse allerdings dramatisch. Wegen der britischen Seeblockade gab es bald keinen Bohnenkaffee mehr zu kaufen, so dass die Nachfrage nach heimischen Kaffeesurrogaten signifikant anstieg. Gleichzeitig wurde die Fläche, auf der Getreide zur Herstellung von Kaffeeersatz angebaut wurde, zur Kultivierung von Brotgetreide benötigt, so dass der Bezug von Ersatzkaffee ab 1916 rationiert werden musste (Abb. 2).[22]

Nicht nur der Kaffee wurde durch Imitate ersetzt, sondern auch viele andere Produkte des täglichen Bedarfs. Eine Wiener Hausfrau schilderte die damalige Situation wie folgt:

> Das war dann, wie der Krieg immer weiter gegangen ist, bald nur mehr eine einzige Ersatz Misere. Es war einfach nix mehr da, und nirgends was zum Herkriegen, für alles hat's auf einmal nur noch Ersatz gegeben. Da hat's geheißen Ersatz-Butter, Ersatz-Fett, der Kaffee war aus Eicheln und Zichorienwurzeln und wer weiß aus was alles, das ganze Ersatz-Bier und der Ersatz-Käse waren zusammengemischt, und was die Raucher als Ersatz-Tabak verheizt haben.[23]

Seit Oktober 1917 durfte Malzkaffee nur noch für Heer und Marine fabriziert werden. Dies löste in der Bevölkerung beträchtlichen Unmut aus, denn,

> eine Tasse heißen ›Kaffees‹ als erstes Frühstücksgetränk ist für die meisten Deutschen ein derartiges Gewohnheitsbedürfnis, dass Kaffee-Ersatz ein Zwang der Notwendigkeit ist; die im Frieden gebräuchlichen Ersatzstoffe aber reichen – selbst in der friedensmäßig erzeugten Menge – auch nicht annähernd aus, den riesenhaft gestiegenen Bedarf zu decken.

Zu diesem Fazit kam ein Teilnehmer der in eben diesem Monat in Berlin stattfindenden 15. Hauptversammlung des »Vereins Deutscher Nahrungsmittelchemiker«, deren Diskus-

21 Zu diesen und den folgenden Angaben siehe Klassert, Kaffee-Ersatzstoffe, 1918, S. 80–92.
22 Vgl. Becker (2002), S. 185; 214–215; 223–227.
23 Zitiert nach Dosedla, Habsburg, 2008, S. 30.

Abb. 2 Lebensmittelkarte für Kaffeeersatz, um 1917.

sionen in der »Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel« vom 1. Februar 1918 wiedergegeben sind. Betrüger versuchten, die Situation auszunützen, indem sie schlecht schmeckende oder gesundheitsschädliche Ersatzkaffeemischungen, die z. B. Eichenrinde enthielten, auf den Markt brachten. Die Fachleute diskutierten über Möglichkeiten, den Mangel mit gesundheitlich vertretbaren Alternativsubstanzen in den Griff zu bekommen und einen »Ersatz für den Ersatzkaffee« zu kreieren, an den denkbar geringe Ansprüche gestellt wurden. Ein Experte drückte es so aus:

> Vom Kaffee-Ersatz ist also zu verlangen: Gutes Färbevermögen, in den meisten Fällen gleichbedeutend mit Ausgiebigkeit, kein abschreckender Geschmack (ich drücke mich vorsichtig aus), Gehalt an Aromastoffen, Abwesenheit von schädlichen Stoffen, von verdorbenen Stoffen, von reinen Beschwerungsmitteln.

Als Farblieferant komme »ernstlich nur Zucker bzw. ein in Karamel überführbarer Stoff in Frage«. Dazu zählten »Apfelschnitte, Birnenschnitte […] Vogelbeeren, Zichorie, Löwenzahn, Runkelrübe, Zuckerrübe […], Roggen, Gerste […], geröstetes Brot […], Feigen, Datteln, Eicheln, echte und Rosskastanie […], Lupinen, Erbsen, Bohnen, Linsen etc.« Mithin kam also fast jede kohlenhydrathaltige Substanz als möglicher Ersatzstoff in Frage, entscheidend war letztlich nur ihre ausreichende Verfügbarkeit, ohne dass dazu Anbauflächen für andere wichtige Agrarprodukte in Anspruch genommen wurden.

Schließlich wurde die Frage erörtert, ob es sinnvoll sei, eine Anregung des Chemie-Nobelpreisträgers Emil Fischer aufzugreifen und den Ersatzkaffees zumindest während

des Kriegs synthetisches Coffein zuzusetzen. Diese Idee hatte bereits der Schweizer Friedrich Schuler geäußert. Wie andere namhafte Chemiker beschäftigte sich auch Emil Fischer während des Kriegs intensiv mit der Entwicklung technischer Synthesen für diverse Ersatzstoffe, die für die Kriegsführung unverzichtbar waren.[24] Seiner Meinung nach sollten gute Surrogate eine wichtige Eigenschaft des Kaffees besitzen, nämlich seine belebende und wachmachende Wirkung. Diese Idee wurde im Zweiten Weltkrieg verwirklicht, indem an die kämpfende Truppe, insbesondere Kampfpiloten, Aufputschmittel (»Fliegerschokolade«, »Pervitin«) verteilt wurden.[25] Sie waren pharmakologisch wesentlich problematischer als das Coffein, weil sie den heute als »Crystal Meth« bezeichneten Stoff N-Methylamphetamin enthielten. Fischers Vorschlag wurde während des Ersten Weltkriegs nicht aufgegriffen. Man fürchtete, dass das in höheren Konzentrationen toxisch wirkende Coffein bei unsachgemäßer Zumischung stellenweise zu konzentriert vorliegen und zu Vergiftungen führen könnte.

Es ging also in der Debatte der Nahrungsmittelexperten vor und während des Ersten Weltkriegs nicht um einen möglichst gleichwertigen Ersatzstoff, der dem natürlichen Original in allen wichtigen Aspekten so nahe wie irgend möglich kommen würde, sondern lediglich um ein entfernt ähnliches Produkt, bei dem im Wesentlichen nur die Farbe einigermaßen übereinstimmen sollte, während Geschmack und Aroma als nahezu irrelevant galten. Forschung mit dem Ziel, synthetischen Bohnenkaffee zu erzeugen, fand nicht statt. Offenbar waren die meisten Konsumenten mit dem bereits lange vor Kriegsausbruch aus volkswirtschaftlichen Gründen propagierten Malz- und Zichorienkaffee zufrieden und bereit, diesen als Ersatzkaffee zu akzeptieren.

Hermann Staudinger und die Entwicklung von Ersatzstoff-Synthesen

Der Chemiker Hermann Staudinger (1881–1965) wird gewöhnlich mit seinen bahnbrechenden Forschungen zur Struktur der Polymeren in Verbindung gebracht, für die er 1953 mit dem Chemie-Nobelpreis ausgezeichnet wurde.[26] Tatsächlich hat sich Staudinger vor seiner Beschäftigung mit Polymeren aber intensiv mit Problemen beschäftigt, die in das Gebiet der Ersatzstoffforschung fallen, wobei im weiteren Sinne auch seine Arbeiten zur Struktur und Synthese künstlicher und natürlicher Polymere als Ersatzstoffforschung betrachtet werden können. Da die große Importabhängigkeit, die hinsichtlich vieler tropischer Naturstoffe im Deutschen Reich herrschte, volkswirtschaftlich problematisch war, arbeitete Staudinger daran, einige aus dem Ausland importierte, kommerziell besonders wichtige Rohstoffe durch kostengünstigere Substitute zu ersetzen, die auf chemischem Wege erhalten werden sollten. Neben seinen Arbeiten zum Kaffeearoma sind hier besonders zwei Forschungsgebiete zu nennen, nämlich die Synthese eines

24 Knorr, Arbeiten, 1919, S. 132–149; Duisberg, Emil Fischer, 1919, S. 149–164. Fischer befasste sich nur mit dem Coffein, aber nicht mit anderen Inhaltsstoffen des Kaffees, s. Hünersdorff/Hasenkamp, Coffee, 2002, S. 508.

25 Siehe Pieper, Nazis, 2002; Kemper, Pervitin, 2002, S. 122–133.

26 Zu Staudinger und seinen Arbeiten zur Makromolekularchemie siehe Priesner, Staudinger, 1980; ders., Staudinger, 2013, S. 82–85; Girnus, Staudinger, 2004, S. 317–320; Olby, Staudinger, 1980, S. 1–4.

künstlichen Pfeffers und die Suche nach synthetisch hergestellten Insektiziden, die den importierten, insektizid wirkenden Naturstoff Pyrethrum ersetzen sollten. Dabei fällt auf, dass Staudinger die Anregung zu diesen typischen Ersatzstoffthemen in beiden Fällen dem Chemiker und Juristen Paul Immerwahr (1866–1926), dem Schwager des späteren Chemie-Nobelpreisträgers Fritz Haber (1868–1934), zu verdanken hatte, der offensichtlich ein starkes finanzielles Interesse an den Projekten hatte.[27] Die Arbeiten über synthetischen Pfefferersatz sollten dazu beitragen, den während des Ersten Weltkriegs herrschenden Mangel an natürlichem Pfeffer zu beheben, der wegen der britischen Seeblockade damals kaum mehr nach Deutschland importiert werden konnte.[28] Das für den scharfen Geschmack des Pfeffers verantwortliche Molekül, das Piperin, war zwar bekannt, aber nicht leicht zu synthetisieren. Es zeigte sich jedoch, dass die im Piperin vorhandene Dioxymethylengruppe, die die Synthese erschwerte, für den scharfen Geschmack gar nicht essentiell war. Diese Erkenntnis ebnete den Weg zur Synthese des relativ gut zugänglichen β-Dihydrocinnamenylacrylsäurepiperidids, das sogar schärfer schmeckte als das Naturprodukt. In den Jahren 1916/17 wurde die technische Synthese ausgearbeitet und zusätzlich noch eine einfachere Malonsäure-Synthese entwickelt. In seinen »Arbeitserinnerungen« bemerkte Staudinger dazu:

> Von 1917 an kamen erhebliche Mengen des Dihydrocinnamenylacrylsäurepiperidid, das mit indifferenten Stoffen verdünnt war und dem Aromastoffe wie Phellandren zugesetzt waren, als synthetischer Pfeffer in den Handel.[29] Weitere Versuche wiesen darauf hin, dass gerade bei schlechter Ernährung, bei Kartoffel- und Rübennahrung, dieselbe bei Zusatz von Pfeffer viel besser verwertet wird als ohne dieses Gewürz.[30]

Wie Staudinger erläuterte, rentierte sich die Herstellung von Kunstpfeffer allerdings nur unter Kriegsbedingungen:

> In der Nachkriegszeit wurde die Herstellung von synthetischem Pfeffer aufgegeben und erst wieder während des zweiten Weltkrieges aufgegriffen. […] In Friedenszeiten ist trotz der guten Eigenschaften des synthetischen Pfeffers eine technische Herstellung desselben infolge des niedrigen Preises des Naturpfeffers nicht rentabel, ganz abgesehen davon, dass es schwierig ist, die Aromastoffe des natürlichen Pfeffers genau nachzuahmen.[31]

Die Insektizidarbeiten, die in den Jahren 1910 bis 1916 durchgeführt, also schon vor Kriegsausbruch aufgenommen worden waren, konnten Staudinger und sein Schüler Leo-

27 Vaupel, Staudinger, 2010; Vaupel, Ersatzgewürze, 2011, S. 96–99; Roth/Vaupel, Insekten, 2017, S. 164–166.
28 Staudinger, Arbeitserinnerungen, 1961, S. 55–61; Vaupel, Ersatzgewürze, 2011, S. 91–122.
29 Auf den Gewürztütchen stand nur »Pfefferersatz«, vgl. Vaupel, Ersatzgewürze, 2011, S. 114.
30 Staudinger, Arbeitserinnerungen, 1961, S. 60.
31 Ebd., S. 60–61.

pold Ružička (1887–1976) erst viele Jahre nach dem Abschluss ihrer Arbeiten publizieren.[32] Untersucht wurden die im »Dalmatinischen Insektenpulver« enthaltenen biogenen Insektizide, deren Identifizierung und Synthese angestrebt wurden. Wie sich herausstellte, handelte es sich bei dem aus gemahlenen Chrysanthemenblüten gewonnenen Insektenpulver um Gemische verschiedener Pyrethrine. Die US-Marine entwickelte 1917 ein Verfahren zur Herstellung eines Pyrethrum-Extrakts, bei dem die bis dahin unmittelbar als »Insektenpulver« verwendeten gemahlenen Chrysanthemenblüten mit Petroleum extrahiert wurden. In Zubereitungen dieses Extraktes konnten die Wirkstoffe nun zur Bekämpfung von Fliegen und Stechmücken versprüht werden. Er verlor allerdings schnell an Wirkung, da er nicht licht- und luftstabil war. Die synthetische Herstellung der Pyrethrine, äußerst kompliziert gebauten Naturstoffen, erwies sich jedoch als sehr schwierig.[33] Die Bemühungen Staudingers und seiner Schüler konzentrierten sich folglich darauf, einen haltbaren Extrakt aus den Chrysanthemenblüten zu isolieren.[34] Synthetisch hergestellte, licht- und luftstabile Ersatzstoffe für die natürlichen Pyrethrine, die sog. Pyrethroide, kamen erst nach dem Zweiten Weltkrieg auf den Markt. In ihrer chemischen Struktur waren sie den natürlichen Pyrethrinen nur noch entfernt ähnlich. Die Arbeiten Staudingers und seiner Schüler über die insektiziden Wirkstoffe des Pyrethrums zeigen auf der einen Seite die immensen Schwierigkeiten, die bei der Identifizierung und Synthese komplexer Naturstoffe auftreten, stützen aber auf der anderen Seite die These, dass Ersatzstoffforschung sinnvoll und nützlich war und ist. Die Entwicklung der heute in großem Stil verwendeten, licht- und luftstabilen Pyrethroide wäre ohne Staudingers und Ružičkas Forschungen zu diesem Thema nicht möglich gewesen. Ihre grundlegenden Arbeiten legten die Basis für die in den 1930er Jahren einsetzende, wirtschaftlich so wichtige Entwicklung der synthetischen Pyrethroide, auch wenn die beiden Pioniere, die das Arbeitsgebiet der Pyrethrumforschung einst als erste betreten hatten, an dieser Entwicklung nicht mehr selbst beteiligt waren.[35] Während es bei der Synthese eines künstlichen Pfefferersatzes um relativ einfach zu lösende Probleme ging, mussten beim angestrebten Ersatz des dalmatinischen, aus Chrysanthemenblüten gewonnenen Insektenpulvers durch ein synthetisch hergestelltes Insektizid bereits weitaus größere Schwierigkeiten überwunden werden. Im ersten Fall galt es im Wesentlichen, einen einzigen Naturstoff durch ein Syntheseprodukt zu ersetzen, im zweiten Fall hatte man es mit insgesamt sechs wirksamen Inhaltsstoffen zu tun, von denen damals allerdings erst vier bekannt und noch dazu schwer zu synthetisieren waren. Beim Kaffeearoma waren die Verhältnisse sogar noch komplizierter als beim dalmatinischen Insektenpulver. Mit den Arbeiten über das Kaffeearoma betrat Staudingers Arbeitsgruppe absolutes Neuland, das sich zudem als besonders schwieriges Terrain erwies.[36]

32 Staudinger/Ružička, Isolierung, 1922.

33 Staudinger/Ružička, Stoffe, 1924, S. 177–458. Zu den Gründen, warum diese Publikation erst 1924 erscheinen konnte, siehe Roth/Vaupel, Insekten, 2017, S. 166–167.

34 Harder, Bestimmung, 1927.

35 Zur späteren Entwicklung der Pyrethroide siehe Roth/Vaupel, Insekten, 2017, S. 167–184.

36 Arthur von Weinbergs Behauptung, dass »in Bezug auf das Aroma von Kaffee-Ersatzmitteln […] während des [Ersten Welt] Kriegs erhebliche Fortschritte erzielt worden seien«, trifft keineswegs zu und ist nicht mit Quellenhinweisen belegt, siehe Weinberg, Emil Fischers Tätigkeit, 1919, S. 871.

Tadeus Reichstein und die Erforschung des Kaffeearomas

Aus Staudingers großem Schülerkreis an der ETH Zürich ragen zwei Nobelpreisträger hervor, die beide mit der Analyse von Naturstoffen und deren Synthese betraut waren. Der eine, Leopold Ružička, wurde schon genannt; er beschäftigte sich mit der Erforschung der Pyrethrine. Der andere, Tadeus Reichstein (1897–1996), hatte von Staudinger den Auftrag bekommen, das Kaffeearoma zu erforschen. Wie oben dargelegt, reichte die Suche nach Kaffeesurrogaten zwar bis ins 18. Jahrhundert zurück, allerdings wurde dabei nie die Nachahmung des Geschmacks bzw. des Aromas von Bohnenkaffee angestrebt. Im Wesentlichen war man mit einem dunkel gefärbten, wässrigen Heißgetränk als Kaffeeersatz zufrieden. Dessen Geschmack konnte stark variieren, denn Malzkaffee schmeckt deutlich anders als Zichorienkaffee. Diskutiert wurde lediglich, ob man den diversen Ersatzkaffees Coffein zusetzen solle, um ihnen eine anregende Wirkung zu verleihen.

Reichsteins Biographie und sein wissenschaftlicher Werdegang verdienen Beachtung.[37] Er kam 1897 in Włocławek zur Welt, einem Teil Polens, der damals zu Russland gehörte. Sein Vater Isidor war Chemieingenieur, der kurz nach der Geburt seines Sohnes nach Kiew in der Ukraine übersiedelte und dort ein florierendes Unternehmen als Berater von Zuckerfabriken aufbaute. Nach gewalttätigen Pogromen verließ die jüdische Familie 1906 das Land und siedelte in die Schweiz über. Reichstein verbrachte ein Jahr in einem deutschen Internat, wo er zahlreichen Schikanen ausgesetzt war. Im Jahr 1907 gelangte er nach Zürich zu seiner Familie und erhielt zusammen mit seinen vier Brüdern 1914 die Schweizer Staatsbürgerschaft. Nach der Reifeprüfung studierte er von 1916 bis 1920 an der ETH Zürich Chemie. Seine Doktorarbeit[38] schrieb er unter Anleitung von Hermann Staudinger. Nach der Promotion 1922 begann Reichstein auf Anregung Staudingers und finanziert von der INGA mit der Erforschung des Kaffeearomas. Diese Arbeiten erstreckten sich bis Ende 1931. Wesentliche Impulse für die praktische Laborarbeit hatte Reichstein dabei Ružička zu verdanken, mit dem er während seiner Doktorandenzeit ein Labor an der ETH teilte. Ružička war durch seine Pyrethrin-Arbeiten mit den damals verfügbaren Methoden der Mikroanalyse von organischen Molekülen vertraut. Für Reichsteins Forschungen war ferner die Zusammenarbeit mit dem Feinmechaniker Joseph von Euw entscheidend, der viele Apparate für ihn konstruierte und baute. Da es sich bei dem Projekt um sogenannte Industrieforschung handelte, durfte Reichstein seine Ergebnisse nicht, wie üblich, in wissenschaftlichen Fachzeitschriften publizieren. Im Wesentlichen geben nur seine einschlägigen Patentschriften sowie die umfangreichen Schriftwechsel und Dokumente, die heute im Archiv der Firma Symrise (ehemals Haarmann & Reimer) in Holzminden aufbewahrt werden, Aufschluss über seine Methoden und Forschungsergebnisse.

Schon vor Abschluss der Kaffeeuntersuchungen wurde Reichstein 1930 Assistent von Ružička an der ETH, wo er sich bereits 1929 mit dem Thema »Die Zusammensetzung der Aromastoffe der gerösteten Zichorie und Arbeiten in der heterocyclischen Reihe« für das

37 Tamm, Reichstein, 2003, S. 321–322.

38 Das Thema der Dissertation lautete: Über das offenkettige Tropin und einige seiner Homologen.

Fach Organische Chemie habilitiert hatte.[39] Reichstein wurde 1938 auf den Lehrstuhl für Pharmazeutische Chemie an der Universität Basel berufen, 1946 wurde er dort Ordinarius für Organische Chemie. 1960 gab er die Leitung des Instituts ab und konzentrierte sich bis zu seiner Emeritierung 1967 ganz auf seine vielfältigen Forschungsarbeiten. Er starb 1996 in Basel.

Reichstein gelang 1933 die erste Totalsynthese von Vitamin C (L-Ascorbinsäure), die auch technisch genutzt wurde.[40] Die selektive Oxidation einer Hydroxylgruppe des als Zwischenprodukt auftretenden Zuckers D-Sorbit zu L-Sorbose mittels Acetobacter suboxydans war eine der ersten biochemischen Reaktionen, die industriell genutzt wurden. Nach Abschluss der Arbeiten am Kaffeearoma begann Reichstein 1932 die Hormone der Nebennierenrinde (Corticosteroide) zu untersuchen, von denen er 29 isolieren und strukturell bestimmen konnte.[41] Für diese Arbeiten wurde er 1950 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet, den er sich mit seinem Kollegen Ružička teilte. Obwohl die Inhaltsstoffe des Kaffees chemisch nichts mit den Hormonen der Nebennierenrinde zu tun haben, gibt es Bezüge zwischen den zwei Forschungsgebieten. In beiden Fällen handelte es sich darum, komplizierte Naturstoffgemische zu trennen und die chemische Struktur der jeweils nur in sehr geringen Mengen isolierten Einzelkomponenten zu ermitteln. Bei den Analysen des Kaffeearomas mit seiner Vielzahl von nur in winzigen Mengen vorhandenen Inhaltsstoffen hatte sich Reichstein das methodische und praktische Rüstzeug erarbeitet, das es ihm ermöglichte, die Hormone der Nebennierenrinde zu isolieren, zu trennen und zu charakterisieren. Das bei den Arbeiten über das Kaffeearoma erarbeitete Know-how und die in diesem Kontext erworbenen Fähigkeiten, winzige Substanzmengen zu handhaben und zu analysieren, sollten ihm bei der Strukturaufklärung der Corticosteroide ungemein zugute kommen.

Die Isolierung des Kaffeearomas

Unter »Aroma« wird im Folgenden die Gesamtheit aller Geruchs- und Geschmacksstoffe verstanden, die im Kaffee enthalten sind. Erstere sind oft, aber nicht immer, leichtflüchtig, letztere in der Regel schwerflüchtig. Man beachte, dass auch relativ hochsiedende Stoffe, etwa Campher mit einem Schmelzpunkt von 177 °C oder Vanillin mit einem Schmelzpunkt von 82 °C, einen intensiven Geruch haben können. Da es keine lineare Beziehung zwischen Geruchsintensität und Siedepunkt gibt, ist nur die Stärke der Wechselwirkung zwischen den Molekülen des Geruchsstoffs und den jeweiligen Rezeptoren in Nase und Mund maßgeblich. Zunächst ist jedoch festzuhalten, dass es »das« Kaffeearoma nicht gibt. Vielmehr existieren viele ähnliche, aber doch unterschiedliche Aromen, abhängig von der Kaffeesorte, dem genauen Verlauf des Röstprozesses, der Verarbeitung und der Zubereitung des Kaffees. Das Aroma findet sich nämlich nicht fertig in der

39 Die Ergebnisse seiner Coffarom-Forschungen durfte Reichstein wegen seines Vertrags mit der INGA nicht publizieren.

40 Siehe Bächi, Vitamin C, 2009.

41 Siehe Haller, Cortison, 2012, S. 92–126.

Kaffeebohne vor, sondern entsteht in chemisch komplizierter Weise erst während der einzelnen Bearbeitungsschritte der rohen Bohne.[42] Reichstein und Staudinger wollten daher eine Art »Standard-Aroma« synthetisieren, das dem natürlichen weitgehend entsprach. Um das Aroma des Bohnenkaffees imitieren zu können, musste aber erst seine Zusammensetzung ermittelt werden. Dazu musste man es vom restlichen Kaffeemehl abtrennen.

Ein Aroma braucht eine geruchs- und geschmacksneutrale, indifferente Trägersubstanz, die die Aromastoffe aufnimmt und verdünnt. Konzentrierte Aromastoffe riechen und/oder schmecken meist unerträglich intensiv und entfalten ihren angenehmen Duft erst in mehr oder minder großer Verdünnung. Eine geeignete Trägersubstanz ist nicht leicht zu finden, da sie möglichst keinen Eigengeschmack haben und zudem das Aroma möglichst lange unverfälscht erhalten soll. In vielen Speisen bilden Fette die Geschmacks- bzw. Aromaträger. Auch Reichstein und die Firma Haarmann & Reimer gingen davon aus, dass das Kaffeearoma hauptsächlich von Fetten oder Proteinen fixiert würde, die im gerösteten Kaffee enthalten waren; das sollte die Forschungen allerdings in eine falsche Richtung lenken, denn tatsächlich sind diverse Kohlenhydrate die geeigneten Trägersubstanzen. Dieser Erkenntnis verdankt der Nescafé seine Entstehung. Der für die Firma Nestlé tätige Chemiker Max Morgenthaler (1901–1980)[43] hatte schon von 1930 bis 1934 an der Entwicklung eines löslichen Kaffeeextrakts gearbeitet. Auch ihm war es nicht gelungen, das aus Kaffeebohnen extrahierte Naturaroma auf wasserlösliche Pulverkaffees zu übertragen und dort zu binden. Nestlé stellte daher die Arbeiten ein. Morgenthaler forschte jedoch auf eigene Kosten weiter und fand heraus, dass der Schlüssel zum Erfolg in der verwendeten Trägersubstanz lag. Als solche eigneten sich Kohlehydrate wesentlich besser als Fette oder fettähnliche Substanzen. Es zeigte sich sogar, dass die in der Kaffeebohne enthaltenen Fette soweit wie möglich entfernt werden mussten. Morgenthaler verwendete eine sirupartige Mischung aus Maltodextrin und Glucose, die aus Weizenmehl, Reis oder Kartoffelstärke gewonnen wurde, als Matrixmaterial. Am 1. April 1938 kam der Nescafé auf den Markt und war sofort ein großer Erfolg.[44]

Die Versuche, das Gesamtaroma des Bohnenkaffees zu isolieren, reichen bis in die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts zurück. In einem 1951 von Staudinger und Reichstein veröffentlichten Artikel über das Kaffeearoma wurde auf den Chemiker und Hüttenmann Wilhelm August Lampadius (1772–1842) hingewiesen, der sich angesichts des damaligen Mangels an Kolonialwaren schon 1812 mit dem Thema »Ersatzkaffee« beschäftigt hatte und sich 1832 der Erforschung des Kaffeearomas zuwandte.[45] Auch der bekannte Chemiker Justus von Liebig (1803–1873) hatte sich, wenn auch erfolglos, mit Versuchen zur Herstellung eines Kaffeeextrakts beschäftigt.[46]

42 Zu neueren Studien, die die Rolle der Chlorogensäuren im Rohkaffee wie im Röstkaffee beleuchten und die dabei ablaufenden Maillard-Reaktionen darstellen, siehe Martinetz/Lohs, Faszination, 1988, S. 141–144.

43 Siehe Schwenk, Morgenthaler, 1997, S. 121.

44 Pfiffner, Winner, 2002, S. 123–147.

45 Reichstein/Staudinger, Kaffeearoma, 1951, S. 4692–4694. Siehe Lampadius, Stärkezucker, 1812.

46 Brock, Liebig, 1999, S. 197–198.

Das Deutsche Reichspatent DRP 457 266, erteilt am 24. Januar 1925 und ausgestellt auf die INGA, nennt »Dr. Hermann Staudinger in Zürich« als Erfinder. Obwohl davon auszugehen ist, dass Reichstein der eigentliche Bearbeiter des Projektes war, wurde er weder als Erfinder noch als Miterfinder genannt. Staudinger war offenbar der Meinung, dass er als ehemaliger Doktorvater Reichsteins und Initiator des Themas die alleinige Urheberschaft an diesem Patent beanspruchen durfte, eine Haltung, die zumindest kritisch gesehen werden kann. Das Patent trägt den Titel »Verfahren zur Gewinnung der Aromastoffe aus geröstetem Kaffee« (Abb. 3).

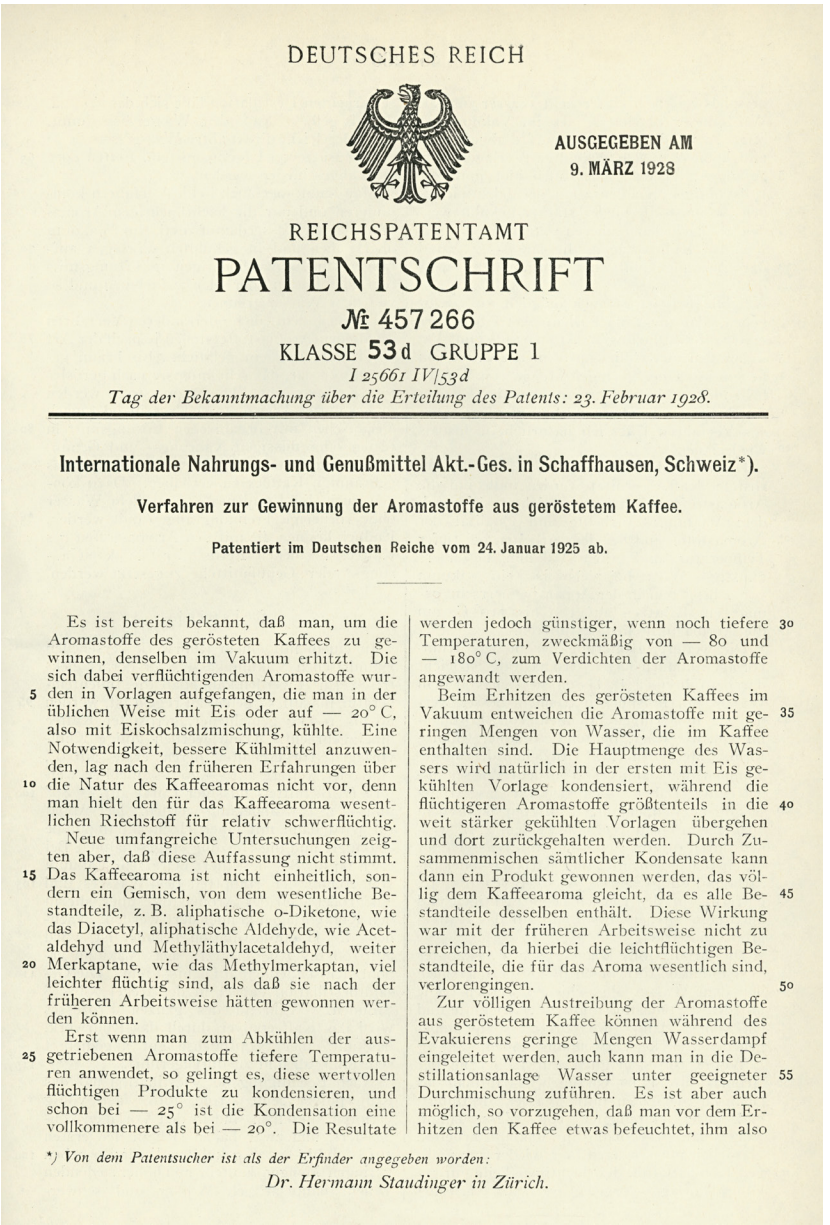
Bei seiner Lektüre wird deutlich, dass die Isolierung der Aromastoffe des Bohnenkaffees durch Erhitzen des gerösteten Kaffees im Vakuum und Auffangen des Destillats in einer auf -20 °C gekühlten Vorlage damals bereits bekannt waren. »Eine Notwendigkeit, bessere Kühlmittel anzuwenden, lag nach den früheren Erfahrungen über die Natur des Kaffeearomas nicht vor, denn man hielt den für das Kaffeearoma wesentlichen Riechstoff für relativ schwerflüchtig.«[47] Dies war laut Staudinger allerdings eine falsche Annahme:

> Das Kaffeearoma ist nicht einheitlich, sondern ein Gemisch, von dem wesentliche Bestandteile, z. B. aliphatische o-Diketone, wie das Diacetyl,[48] aliphatische Aldehyde, wie Acetaldehyd und Methyläthylacetaldehyd, weiter Merkaptane, wie das Methylmerkaptan, viel leichter flüchtig sind, als dass sie nach der früheren Arbeitsweise hätten gewonnen werden können.

Man müsse demnach die Destillationsvorlage weitaus stärker, nämlich bis auf -180 °C abkühlen (Kühlung mit flüssigem Stickstoff), um alle entweichenden Substanzen aufzufangen. Zudem könne man mehrere unterschiedlich stark gekühlte Vorlagen anlegen und so mehrere Fraktionen erhalten (was für die Untersuchung der Einzelkomponenten natürlich unerlässlich ist, im Patent aber nicht geschützt wird). »Durch Zusammenmischen sämtlicher Kondensate kann dann ein Produkt gewonnen werden, das völlig dem Kaffeearoma gleicht, da es alle Bestandteile desselben enthält.« Bei einem Druck von 2–5 mm genüge ein Erhitzen auf 100–110 °C, um die Aromastoffe abzudestillieren. Die Weiterbehandlung erfolge durch Lösen der unterschiedlichen Fraktionen in geeigneten organischen Lösungsmitteln bzw. durch Aufnahme in Fetten oder Ölen. Unerwünschte Beimengungen (z. B. Essigsäure) ließen sich durch Schütteln mit Wasser oder Carbonatlösungen entfernen. Sinnvoll sei auch eine zweite Vakuumdestillation des Gesamtgemischs mit Wasser oder unter Durchleiten von Wasserdampf. Schließlich erhielte man »ein gelbliches bis braun gefärbtes Öl, das sehr intensiv nach geröstetem Kaffee riecht.« Nach der obigen Patentschrift wurden für einen Versuchsansatz 80–100 kg Röstkaffee extrahiert, wobei allerdings keine Angaben zur Menge des erhaltenen Aromas gemacht wurden. Das Verfahren zur Extraktion des Gesamtaromas war zwar für die 1920er Jahre

47 Dieses und die folgenden Zitate sind dem DRP 457 266 entnommen.

48 Das Diacetyl (Dimethyldiketon, 2,3-Butandion) wurde 1929 als wichtiger Bestandteil des Butteraromas erkannt, siehe Ullmann, Enzyklopädie, 1931, S. 823.



DEUTSCHES REICH

AUSGEGEBEN AM
9. MÄRZ 1928

REICHSPATENTAMT

PATENTSCHRIFT

№ 457 266

KLASSE 53d GRUPPE 1

I 25661 IV/53d

Tag der Bekanntmachung über die Erteilung des Patents: 23. Februar 1928.

Internationale Nahrungs- und Genußmittel Akt.-Ges. in Schaffhausen, Schweiz*).

Verfahren zur Gewinnung der Aromastoffe aus geröstetem Kaffee.

Patentiert im Deutschen Reiche vom 24. Januar 1925 ab.

Es ist bereits bekannt, daß man, um die Aromastoffe des gerösteten Kaffees zu gewinnen, denselben im Vakuum erhitzt. Die sich dabei verflüchtigenden Aromastoffe wurden in Vorlagen aufgefangen, die man in der üblichen Weise mit Eis oder auf — 20° C, also mit Eiskochsalzmischung, kühlte. Eine Notwendigkeit, bessere Kühlmittel anzuwenden, lag nach den früheren Erfahrungen über die Natur des Kaffeearomas nicht vor, denn man hielt den für das Kaffeearoma wesentlichen Riechstoff für relativ schwerflüchtig.

Neue umfangreiche Untersuchungen zeigten aber, daß diese Auffassung nicht stimmt. Das Kaffeearoma ist nicht einheitlich, sondern ein Gemisch, von dem wesentliche Bestandteile, z. B. aliphatische o-Diketone, wie das Diacetyl, aliphatische Aldehyde, wie Acetaldehyd und Methyläthylacetaldehyd, weiter Merkaptane, wie das Methylmerkaptan, viel leichter flüchtig sind, als daß sie nach der früheren Arbeitsweise hätten gewonnen werden können.

Erst wenn man zum Abkühlen der ausgetriebenen Aromastoffe tiefere Temperaturen anwendet, so gelingt es, diese wertvollen flüchtigen Produkte zu kondensieren, und schon bei — 25° ist die Kondensation eine vollkommenere als bei — 20°. Die Resultate werden jedoch günstiger, wenn noch tiefere Temperaturen, zweckmäßig von — 80 und — 180° C, zum Verdichten der Aromastoffe angewandt werden.

Beim Erhitzen des gerösteten Kaffees im Vakuum entweichen die Aromastoffe mit geringen Mengen von Wasser, die im Kaffee enthalten sind. Die Hauptmenge des Wassers wird natürlich in der ersten mit Eis gekühlten Vorlage kondensiert, während die flüchtigeren Aromastoffe größtenteils in die weit stärker gekühlten Vorlagen übergehen und dort zurückgehalten werden. Durch Zusammenmischen sämtlicher Kondensate kann dann ein Produkt gewonnen werden, das völlig dem Kaffeearoma gleicht, da es alle Bestandteile desselben enthält. Diese Wirkung war mit der früheren Arbeitsweise nicht zu erreichen, da hierbei die leichtflüchtigen Bestandteile, die für das Aroma wesentlich sind, verlorengingen.

Zur völligen Austreibung der Aromastoffe aus geröstetem Kaffee können während des Evakuierens geringe Mengen Wasserdampf eingeleitet werden, auch kann man in die Destillationsanlage Wasser unter geeigneter Durchmischung zuführen. Es ist aber auch möglich, so vorzugehen, daß man vor dem Erhitzen den Kaffee etwas befeuchtet, ihm also

*) *Von dem Patentsucher ist als der Erfinder angegeben worden:*
Dr. Hermann Staudinger in Zürich.

Abb. 3 Deutsches Reichspatent 457 266 der INGA über ein Verfahren zur Gewinnung der Aromastoffe aus geröstetem Kaffee vom 24.1.1925. Als Erfinder wird lediglich Staudinger genannt, Reichsteins Name bleibt unerwähnt.

labortechnisch anspruchsvoll, aber durchaus beherrschbar. Die eigentliche Schwierigkeit wurde in dem Patent allerdings nicht erwähnt, nämlich die Isolierung einzelner Komponenten des Gemischs und deren chemische Charakterisierung. Hier ging Reichstein an die Grenzen des damals Möglichen, denn zur Trennung der Bestandteile stand lediglich die fraktionierte Destillation zur Verfügung, da der erste Gaschromatograph erst 1951 gebaut wurde.[49] Ebenso konnten die einzelnen Komponenten nur mit Hilfe klassisch organisch-chemischer Analyseverfahren identifiziert werden, da spektroskopische Methoden damals ebenfalls noch nicht bekannt waren, was bei der großen Flüchtigkeit vieler Komponenten und der winzigen, verfügbaren Substanzmengen – manchmal nur Bruchteilen eines Gramms – mit enormen experimentellen Schwierigkeiten verbunden war. Zudem darf nicht vergessen werden, dass es sich bei den Aromastoffen vielfach um noch unbekannte Moleküle handelte und für diese auch Synthesen entwickelt werden mussten. Bedenkt man die Vielschichtigkeit der Probleme, so ist Reichsteins Leistung und die einiger anderer beteiligter Chemiker in höchstem Maß bewundernswert.

Die Entdeckung des Furfurylmercaptans

Es zeigte sich bald, dass das Kaffeearoma ein äußerst komplexes Gemisch unterschiedlichster Substanzen darstellt. Nicht nur deren Charakterisierung erwies sich als mühsam und schwierig, sondern auch deren Synthese, besonders wenn es um Synthesen in technischem Maßstab ging. Die genaue Zusammensetzung des Kaffeearomas ist bis heute nicht bekannt. Bis 1994 wurden insgesamt 835 Einzelkomponenten identifiziert.[50] An eine vollständige Imitation des Aromas war somit nicht zu denken. Deshalb konzentrierte sich Reichstein auf die mengenmäßig wichtigeren Komponenten. Er fand heraus, dass ein wesentlicher Bestandteil des Kaffeearomas eine Substanz mit der Bezeichnung Furfurylmercaptan ist. Da die Verbindung bislang unbekannt war, ließen sich Staudinger und Reichstein den entsprechenden Syntheseweg patentieren.[51] In der Patentschrift heißt es einleitend: »Furfurylmercaptan ist bisher nicht bekannt und nach den gewöhnlichen Methoden kaum zugänglich, da das […] Ausgangsmaterial zu seiner Darstellung […] ein sehr zersetzlicher Köper ist. Es wurde nun gefunden, daß man das Mercaptan sehr leicht […] erhalten kann.« Die Eigenschaften des Furfurylmercaptans wurden wie folgt beschrieben: »Das Furfurylmercaptan […] ist ein farbloses Öl […]. Es besitzt einen äußerst unangenehmen Geruch und zeigt auch sonst die Reaktionen der Mercaptane […]. In Wasser ist es unlöslich, leicht dagegen in verdünnten Alkalien. Mit organischen Solvenzien ist es mischbar.« Der in der Patentschrift erwähnte üble Geruch ist typisch für alle Mercaptane, ebenso ihre mehr oder minder große Giftigkeit. Erst in sehr hoher Verdünnung schlägt ihr Gestank in Wohlgeruch um. Da die Geruchs- und Geschmacksempfin-

49 Siehe Struppe, Entdeckung, 2011.

50 Grosch, Kaffee, 1996, S. 127. Siehe auch Vitzthum, Inhaltsstoffe, 1975, S. 49–64; ders., Chemie, 1975, S. 16–31.

51 Staudinger, Hermann; Reichstein, Tadeus, Verfahren zur Herstellung von Furfurylmercaptan, DRP 484 244. Als Anmelder erscheint die INGA, das Patent wurde am 17.12.1926 erteilt.

dung immer konzentrationsabhängig ist, tritt dieses Phänomen auch bei anderen Aromakomponenten auf. Als Verwendungszweck des Furfurylmercaptans wurde im Patent die Herstellung von synthetischem Kaffeearoma genannt. In einem Zusatzpatent wurde 1927 auch noch die Synthese von Furfurylmercaptan-Abkömmlingen geschützt, die nach derselben Methode wie im Hauptpatent hergestellt wurden.

Das Coffarom-Patent

Mit dem deutschen Reichspatent 489 613 ließen sich Staudinger und Reichstein als Erfinder sowie die INGA als Anmelderin im Jahr 1925 ein »Verfahren zur Herstellung eines Produktes, welches für die Aromatisierung von Nahrungs- und Genußmitteln, insbesondere von Kaffeesurrogaten, bestimmt ist«, schützen. Das Patent wurde allerdings erst 1930 bekannt gemacht. Offenbar wollte die INGA einerseits ihre Priorität wahren, andererseits aber erst an die Öffentlichkeit treten, sobald auch die Synthese der wichtigsten weiteren, bisher noch unbekannten Aromakomponenten geschützt war. Die lange Zeitspanne zwischen Patenterteilung und –bekanntmachung ist jedenfalls auffallend. Einleitend heißt es in der Patentschrift:

> Gegenstand der Erfindung ist die Herstellung von künstlichem Kaffeearoma durch Vermischen der im ätherischem Öl des gerösteten Kaffees nachgewiesenen oder in ihrer Wirkung ähnlichen Substanzen, welche entweder künstlich hergestellt oder aus Naturprodukten gewonnen werden, sowie die Verwendung der erhaltenen Produkte, um das Aroma des gerösteten Kaffees anderen Stoffen zu verleihen.[52]

Dieser Satz bringt das Ziel der Coffarom-Forschung knapp und präzise auf den Punkt. Es ging darum, das natürliche Aroma zu analysieren und ein synthetisches Aroma zu mischen, das aus den gefundenen Substanzen und/oder aus »in ihrer Wirkung ähnlichen«, aber im Naturaroma nicht enthaltenen Molekülen bestand. Hintergrund dieser Strategie war die teilweise sehr schwierige und aufwendige Synthese vieler Naturstoffe.

In den auch »Kaffeeöl« genannten Kaffeeextrakten, die nach diesem Patent hergestellt wurden, seien »sehr viele verschiedenartige Körper« gefunden worden. Neben den Mercaptanen handelte es sich dabei um weitere organische Sulfide, Aldehyde und Ketone, Alkohole, Säuren und Säureester, Phenole, N-Heterocyclen und Kohlenhydrate. Beeindruckend ist die analytisch-experimentelle Leistung Reichsteins bei der Isolierung und Identifizierung dieser zahlreichen Komponenten.

Weiter hätten die Untersuchungen ergeben, dass »im Gegensatz zu der früheren Annahme […] flüchtige schwefelhaltige Verbindungen der Merkaptanreihe oder Derivate derselben« besonders wichtig für das Aroma seien. »Bemerkenswert ist, dass gleiche oder ähnliche Wirkungen wie durch die im Kaffeearoma aufgefundenen schwefelhaltigen

52 Dieses und alle folgenden Zitate aus DRP 489 613.

Körper durch synthetisch hergestellte Produkte, die einen ähnlichen Bau besitzen, aber die nicht im natürlichen Aroma vorkommen, hervorgerufen werden können.« Die Erfinder wiesen darauf hin, dass das Aroma »nach der Sorte des Kaffees und der Art des Röstens stark variiert«. Um ein Kunstaroma zu erhalten, sei es daher »nicht notwendig, alle Bestandteile, die im natürlichen Aroma aufgefunden sind, zuzusetzen, sondern es genügen einzelne dieser Stoffe, um ein brauchbares Aroma zu erhalten«.

Die Erfinder bedachten auch, dass einige der Komponenten des natürlichen Aromas beim Rösten bzw. beim Kochen des Kaffees miteinander reagieren können, indem sich beispielsweise aus Säuren und Alkoholen Ester bilden. »Man kann diese Esterbildung nun in dem Gemisch [des synthetischen Aromas, C.P.] dadurch hervorrufen, daß man dasselbe nach dem Zusammenmischen der Bestandteile erwärmt.« Auf diese Weise erhält man ein mehr oder minder naturähnliches (kein naturidentisches!) Synthesearoma, das »entweder rein hergestellt oder mit festen oder flüssigen Verdünnungsmitteln vermischt werden« kann. Letzteres ist der Normalfall, da das reine Coffarom natürlich nur in stark verdünnter Form in den Surrogaten enthalten sein darf.

Da ein Patent kein bestimmtes, eindeutig beschriebenes Gemisch schützen kann[53] und dies auch gar nicht beabsichtigt war, wurden nun einige Beispiele für synthetische Aromamischungen aufgezählt. Dieses Vorgehen war zwar ungewöhnlich, aber zweckmäßig. Dadurch wurde verhindert, dass ein Konkurrent lediglich einen oder zwei Bestandteile hinzufügte oder die Mischungsverhältnisse variierte und so den Patentschutz umgehen konnte. Der Patentschutz war de facto also ziemlich weit gefasst. Um einen Eindruck von den Konzentrationen der jeweils zugesetzten Aromakomponenten zu geben, sei aus der genannten Patentschrift zitiert: »Von dem obenstehenden Gemische werden etwa 2 bis 10 Teile zur Aromatisierung von 1000 Teilen Nahrungs- oder Genußmitteln gebraucht, z. B. werden 3 Teile der Mischung von [Beispiel] Nr. 3 in 10 Teilen Rüböl gelöst, mit 100 Teilen Getreidekaffee oder Zichorie innig vermengt und weiter 1000 Teile Kaffeesurrogate zugemischt.«

Schließlich wurden auch Produkte geschützt, die aus einer Mischung von synthetischem und natürlichem Kaffeearoma bestehen. Man stellte dazu ein synthetisches Aroma her, fügte gerösteten, gemahlenen Kaffee hinzu und destillierte das Gemisch nach eintägigem Stehen. »Die so gewonnene Kaffee-Essenz soll zur Herstellung von Mokkalikör Verwendung finden; sie entspricht in der Stärke ungefähr 100 000 Teilen von natürlichem Kaffee.« Hintergrund dieses Patentanspruchs war, dass es juristisch unzulässig war, eine völlig kaffeefreie Schokolade als »Mokkaschokolade« zu deklarieren. Wie eine mit Coffarom aromatisierte Schokolade zu bezeichnen sei, war daher heftig umstritten.[54]

53 Chemikalien oder Chemikaliengemische sind nicht patentierbar, sondern nur Verfahren zu ihrer Herstellung.

54 Siehe dazu etwa den Brief der Firma Heinrich Franck Söhne an Haarmann & Reimer, 21.12.1928 nebst Anlage, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 13, Mappe 4. Derzeit muss Mokkaschokolade mindestens 3% gerösteten Kaffee enthalten, siehe Ternes u.a., Lebensmittel-Lexikon, 2005, S. 1212.

Der Vertrag der INGA mit Haarmann & Reimer

Anfang 1928 glaubte die INGA, die Produktion des Coffaroms aufnehmen zu können. Zwar waren immer noch einige chemische Probleme ungeklärt, aber weitere Fortschritte konnte man nur in Zusammenarbeit mit einem versierten industriellen Partner erzielen. Als solcher bot sich die Firma Haarmann & Reimer an, die auf dem Gebiet der synthetischen Duft- und Geschmacksstoffe bereits über einen hervorragenden Ruf verfügte. Das 1875 von Wilhelm Haarmann (1847–1931) und Ferdinand Tiemann (1848–1899) gegründete Unternehmen firmierte seit dem Eintritt von Karl Ludwig Reimer (1845–1883) im Jahr 1876 unter dem Namen »Haarmann & Reimer« (H&R). Zwei Jahre zuvor hatten Haarmann und Tiemann, beide Schüler des großen deutschen Chemikers August Wilhelm von Hofmann (1818–1892), ein Verfahren zur Synthese des Aromastoffs Vanillin aus Coniferin entdeckt, einem Inhaltsstoff des Baumsaftes von Nadelhölzern. H&R nutzte diese Synthese industriell und war damit die erste chemische Fabrik weltweit, die mit dem »künstlichen Vanillin« einen synthetischen Aromastoff auf den Markt brachte.[55] In der Folgezeit kamen weitere Aromastoff-Synthesen hinzu, beispielsweise die des im Waldmeister enthaltenen Cumarins und die des Veilchenaromastoffs Ionon. H&R besaß Tochterfirmen in den USA, was für eine internationale Vermarktung des Coffaroms natürlich von Vorteil war.

Am 25. Februar 1928 trafen sich Max Kerschbaum als Vertreter von H&R, Fritz Bon als Vertreter der INGA, Albert Beitter als Repräsentant der Firma Franck und Tadeus Reichstein in Frankfurt/Main. Bon führte aus, dass die INGA ein Produkt mit der Bezeichnung »Coffarom« besitze, das in erster Linie für den Kaffeesurrogate-Markt gedacht sei, aber auch in anderen geeigneten Branchen verwertet werden solle. Man wolle sich daher mit einer Firma zusammentun, »die auf dem Gebiet der Anwendung künstlicher Riechstoffe, Essenzen etc. speziell in der Nahrungsmittelbranche große praktische Erfahrungen besitzt, sowie eine geeignete Verkaufsorganisation.«[56] Weitere Verhandlungen fanden vom 12. bis 19. März 1928 in Holzminden zwischen Kerschbaum und Reichstein statt. Laut Protokoll sollte H&R die Kosten »für die Ausarbeitung und Einrichtung der Fabrikation einer Anzahl von Bestandteilen des Aromas und die Kosten für die Aufmachung und Einführung der verschiedenen Aromaformen und die Propaganda« übernehmen. H&R hatte Versuche mit Coffarom angestellt und war »zu der Überzeugung [gelangt], dass das Produkt brauchbar« sei. Das Coffarom sollte in drei Varianten auf den Markt kommen: als »Coffarom F« in fester, fettlöslicher Form besonders für Schokoladenfabriken, als »Coffarom W« in flüssiger, wasserlöslicher Form zur Herstellung von Getränken und Gefrorenem und als »Coffarom P« als Pulver »für amerikanische Produkte wie ›Candies‹, ›Chewing-gum‹, Gelatine-Produkte usw.«.[57] Die Aromatisierung von Ersatzkaffees wollte die INGA selbst durchführen. Dazu sollte das wasserlösliche Coffarom W verwendet werden.

55 Siehe Vaupel, Vanille, 2002; Vaupel, Ersatz, 2017.

56 Besprechungsprotokoll vom 25.2.1928; Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 13, Mappe 4.

57 Protokoll der Verhandlungen zwischen Reichstein und Kerschbaum im März 1928, ebd.

Im April 1928 wurde ein Vertragsentwurf diskutiert, in dem die INGA die Rechte zur Verwertung eines Verfahrens zur Herstellung des Coffaroms, dessen alleiniger Fabrikation und dessen Vertrieb an H&R abtrat. Angebote und Lieferungen an die Hersteller von Kaffeesurrogaten durften nur in Nord- und Südamerika erfolgen, Ländern, in denen die INGA offenbar keine eigenen Interessen verfolgte. Die aus diesen Rechten entstehenden Kosten sollte H&R tragen. »Der aus dem Vertrieb des Kaffeearomas erzielte Reingewinn wird unter die Kontrahenten in der Weise verteilt, dass H & R 40 %, die Inga 60 % erhalten, wobei die Inga die Befriedigung der Ansprüche der Herren Prof. Dr. Staudinger und Dr. Reichstein übernimmt.«[58] Eine geringfügig überarbeitete Fassung des Vertrags wurde dann im November 1928 unterzeichnet.[59]

Coffarom als Industrieprodukt

Obwohl wichtige Komponenten des Kaffeearomas identifiziert worden waren, erwies es sich in der Praxis als sehr schwierig, daraus eine Mischung zu komponieren, die sowohl geruchlich als auch geschmacklich überzeugte und industriell produziert werden konnte. Dabei stellte nicht nur das passende Mischungsverhältnis ein Problem dar, sondern auch die geeignete Trägersubstanz. Im oben zitierten Reichspatent wurde als Matrixmaterial »Rüböl« verwendet, ein pflanzliches Öl ohne nennenswerten Geruch oder Geschmack.[60] Fetten wurde damals eine besondere Fähigkeit zur Aufnahme von Aromen zugeschrieben. Dies war grundsätzlich richtig, allerdings hatte man dabei nicht bedacht, dass Fette leicht ranzig werden und allmählich verharzen, was die Herstellung stabiler und haltbarer Mischungen erschwerte. Dokumente aus dem Firmenarchiv von H&R geben interessante Einblicke in die Forschungspraxis. Zwar lag die Hauptlast der Aromaforschung auf den Schultern Reichsteins; ein für die praktische Umsetzung der Resultate maßgeblicher Partner war aber der bei H&R für dieses Projekt zuständige Chemiker Dr. Max Kerschbaum (1871–1962).[61] Reichstein und ihn verband, wie es scheint, eine vertrauensvolle, fast freundschaftlich zu nennende, kollegiale Beziehung.

Kerschbaum schickte Reichstein im Mai 1928 einen Brief mit einem Laborbericht, der eine Beschreibung enthielt, wie bei H&R eine Charge Kaffee extrahiert wurde.[62] Aus dieser geht hervor, dass man 200 Kilogramm Röstkaffee fein mahlte, mit 2500 Litern Wasser versetzte, erhitzte und mit Wasserdampf destillierte. Das Resultat waren 800 Liter Destillat, das mit Kochsalz versetzt und dann mit Ethylether extrahiert wurde. Man erhielt schließlich ca. 250 Gramm »Neutralöl«, das »schön kaffeeartig« roch, sowie etwa 27 Gramm eines Gemischs von Fettsäuren.

58 Vertrag zwischen der INGA und H&R, 14.4.1928, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 13, Mappe 4.

59 Vertrag zwischen der INGA und H&R, 28.11.1928, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 101, Mappe 3.

60 Heute wird Rüböl in der Regel als Rapsöl bezeichnet.

61 Zu Max Kerschbaum liegen keine biographischen Informationen vor. Seine Lebensdaten lassen sich aus einer Notiz über seinen Tod in der Chemiker-Zeitung 86 (1962), S. 324 erschließen.

62 Kerschbaum an Reichstein, 18.5.1928, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 129, Mappe 5.

Der Destillationsrückstand »roch schwach kaffeeartig, süsslich in der Richtung Fleischextrakt, schmeckt jedoch stark, zuletzt etwas bitterlich«. Daraus wurde mit Ether ein Extrakt gewonnen, der »starke Geruchseigenschaften in der Richtung Fleischextrakt« aufwies, »mit einem anfänglichen Einschlag nach Fettsäuren (Valeriansäure). Diese Fraktion scheint mir für das Zustandekommen des Kaffeegeschmacks sehr wichtig zu sein.«

Der hier geschilderte Arbeitsablauf unterschied sich deutlich von dem im DRP 457 266 beschriebenen (fraktionierte Vakuumdestillation, Kühlung mit flüssigem Stickstoff), obwohl der eben zitierte Bericht mehr als drei Jahre nach der Erteilung des Patents entstand. Der Ansatz hatte bereits halbtechnische Dimensionen und die angewendeten Methoden waren so grob, dass alle (oxidations)empfindlichen Substanzen dabei verloren gingen oder zerstört wurden. Bedenkt man, welche Mengen zu handhaben waren, so handelte es sich bei dem letztlich gewonnenen Untersuchungsmaterial um relativ kleine Quantitäten, die sich aber immer noch gut untersuchen ließen; allerdings ist zu beachten, dass es sich hierbei um komplizierte Stoffmischungen handelte. Besonders bemerkenswert ist Kerschbaums Einschätzung, dass ausgerechnet in dem bei Normaldruck schwer oder gar nicht flüchtigen Rückstand der Wasserdampfdestillation eine für den Kaffeegeschmack besonders wichtige Komponente enthalten sei. Um das erwähnte Furfurylmercaptan konnte es sich dabei keinesfalls gehandelt haben. Die Lektüre des Arbeitsberichts vermittelt den Eindruck, dass die in Holzminden angewandten Extraktionsmethoden weit hinter den im entsprechenden Patent beschriebenen zurückblieben. Berichte über die Anwendung dieses Verfahrens liegen auch aus späterer Zeit vor.[63] Wie es scheint, ging es bei diesen Extraktionsversuchen um die Auffindung schwerflüchtiger Geschmacksstoffe.

Reichstein untersuchte die ihm übersandten Fraktionen und schrieb Kerschbaum im Juni 1928, er habe aus dem »Neutralöl« drei Fraktionen hergestellt, von denen eine wahrscheinlich großenteils aus Acetylfuran nunmehr korrekt bestehe und auch noch weitere Ketone enthalte (»Ketongemisch«).[64] Ferner habe er ein Gemisch von Alkoholen erhalten, das aber nicht näher bestimmt werden konnte. Das von Ketonen und Alkoholen befreite Extraktstoffgemisch »hat den starken ›Erdgeruch‹, den ich synthetisch bis jetzt leider noch nicht wiedergeben konnte, und der für den wässrigen Aufguss, sowie die Haltbarkeit beim Lagern sehr wichtig wäre«.[65] Im Jahr 1928 gab es also noch erhebliche praktische Probleme bei der Ermittlung der Zusammensetzung des echten Kaffeearomas und damit verbunden auch bei der Herstellung des Coffaroms. Bei der Untersuchung der Einzelkomponenten kamen mikrochemische Methoden zum Einsatz. Einen Bestandteil des oben erwähnten »Ketongemischs« konnte Reichstein Jahre später bestimmen. Ein grundsätzliches Problem bereitete die schwierige Abtrennung winziger Mengen einer unbekannten Substanz aus einer großen Menge Ausgangsmaterial und die Durchführung chemischer Reaktionen zur Identifizierung dieser Substanzen, wenn das Untersuchungsmaterial nur aus wenigen Milligrammen bestand. Dazu musste er speziell angefertigte

63 Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 129, Mappe 5.

64 Man kann Acetylfuran auch als Furanyl-Methyl-Keton auffassen.

65 Reichstein an Kerschbaum, 6.6.1928, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 129, Mappe 5.

Laborgeräte benutzen und peinlich auf extrem sauberes und präzises Arbeiten achten, um keine Verunreinigungen durch Fremdstoffe einzuschleppen. Die heute üblichen physikalisch-spektroskopischen Verfahren der Strukturaufklärung konnten nicht eingesetzt werden, weil sie damals noch unbekannt waren.

Da sich die Zusammensetzung des natürlichen Kaffeearomas nur schwierig bestimmen ließ und ein dem Naturaroma weitgehend ähnliches synthetisches Aroma nicht zu erhalten war, schlug Staudinger vor, eine Mischung aus natürlichem und künstlichem Aroma zu verwenden. In einem Brief an Kerschbaum vom Juni 1928 schrieb er:

> Wenn noch Mängel vorhanden sind, müsste man schliesslich dazu übergehen, Naturaroma und synthetisches Aroma gemischt zu verwenden, z. B. 1 Teil Naturaroma, resp[ective] natürlichen Kaffee, und 5–10 Teile synthetisches Aroma. In ähnlicher Weise wurde ja auch beim synthetischen Pfeffer vorgegangen. Die mir mitgegebenen Proben von Coffarom entsprechen in der Qualität nicht den Proben, wie ich sie hier habe, und die schon längere Zeit [gemeint: vor längerer Zeit, C.P.] von Herrn Dr. Reichstein hergestellt worden sind. Allerdings ist hier das Coffarom in Triacetin gelöst und nicht in Fett oder Glykol.[66]

Die weiteren Bemühungen bestanden im Wesentlichen in serienartig durchgeführten Mischversuchen. Interessant ist die Bemerkung, wonach ein von Reichstein schon früher fabriziertes Coffarom günstigere Eigenschaften aufwies als die zuletzt gesandten Proben. Eher beiläufig wurde hier ein ganz wesentlicher Punkt angesprochen, nämlich das Problem der Trägersubstanz. Beim »Triacetin« handelt es sich um Glycerintriacetat, eine Substanz, die eine gewisse strukturelle Nähe zu den Kohlenhydraten aufwies und sich damit besser eignete als die sonst verwendeten Öle.

Die Probleme bei der Komposition der Einzelbestandteile waren, wie eine Bemerkung Kerschbaums vom April 1928 zeigt, nach wie vor ungelöst: »Es ist immer dasselbe Lied: Geruch gut, Geschmack nicht befriedigend. Ich denke aber, wir kommen auch noch näher an die Geschmackstoffe heran.«[67] Auch Reichstein war unzufrieden:

> Es wird für mich immer eine große Enttäuschung sein, wenn man immer noch ein brauchbares Produkt nicht liefern kann. Wenn es aber für die Fabrikation ungenügend ist, so bleibt kein anders übrig als weiter zu suchen. – Allerdings habe ich keine sehr große Hoffnung die eigentlichen Geschmacksstoffe synthetisch nachbilden zu können. – Den einzigen Weg sehe ich in einer Vervollkommnung des eigentlichen Aromas und Ersatz der Geschmacksstoffe durch Pepton,[68] Caramel usw.

66 Staudinger an Kerschbaum, 14.6.1928, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 13, Mappe 4.
67 Kerschbaum an Reichstein, 14.8.1928, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 129, Mappe 5.
68 Peptone sind Abbauprodukte von Proteinen, etwa von Pepsin. Sie bilden amorphe, wasserlösliche Pulver, siehe Ullmann, Enzyklopädie, 1931, S. 319.

Eine undatierte »Anleitung«, vermutlich aus dem Jahr 1928, gibt unter anderem folgende Rezepturen für die Herstellung von mit Coffarom versetzten Essenzen:

> Essenz für feine Konditorei-Waren, Gefrorenes u.s.w. 1 kg Zucker wird in einer Kupferpfanne unter ständigem Umrühren erhitzt. Sobald die flüssige Masse unter Schäumen steigt, wird dieselbe vom Feuer genommen und mit ½ Ltr. Wasser abgelöscht. Nach dem Erkalten werden 6 g Coffarom W zugesetzt.
> Kaffee-Sirup: 400 g Caramel (leicht gebrannter Zucker), 600 g Wasser, 0,5 bis 0,8 g Coffarom W.[69]

Offensichtlich hinterließen sehr kleine Mengen Coffarom bereits einen deutlichen Geschmacks- und Geruchseindruck, auch wenn dieser nicht nahe genug an das natürliche Vorbild herankam. Die Versuche wurden fortgesetzt und Kerschbaum berichtete im Februar 1929 an Albert Beitter von der Firma Franck:

> An dem Coffarom wird eifrig gearbeitet, sowohl in Zürich wie hier [in Holzminden, C.P.]. Reichstein ist an der Untersuchung des Ausgangsmaterials, das hier auf andere Weise als bisher hergestellt wurde.[70] Wir hoffen einige neue für den Geschmack wichtige Stoffe aus diesem Material herauszuschälen. Es wird allerdings noch einige Monate dauern, bis man an eine Neu-Komposition des Coffaroms denken kann. Ich habe die begründete Hoffnung, daß sich die neue Untersuchung lohnen wird und dass wir doch noch zu einem brauchbaren Produkte kommen. Das Kaffee-Aroma ist, wie Sie wissen, ein sehr kompliziertes Problem.[71]

Kurz darauf schien das Coffarom-Projekt plötzlich eine enorme Dynamik zu entwickeln, wie sich aus einem Schreiben Reichsteins an Kerschbaum ergibt:

> Gestern hatte ich eine Unterredung mit Geheimrat Aust von Kathreiner. Diese Firma verkauft im Monat ca. 450 Waggons Malzkaffee und wäre bereit ihr ganzes Produkt zu aromatisieren, falls eine wirklich gute Ware damit erzielt wird. Das gäbe natürlich einen tüchtigen Umsatz von ca. 3000 kg Reinaroma im Monat. Zunächst ist natürlich daran zu denken, wie man ein gutes Produkt herausbekommen könnte.[72]

Legt man eine Verdünnung von einem Teil »Reinaroma« auf 1000 Teile Malzkaffee zugrunde, könnten 3000 Kilogramm Coffarom 3000 Tonnen Malzkaffee aromatisieren.

69 Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 13, Mappe 1. Coffarom W war die wasserlösliche Form von Coffarom.

70 Einzelheiten zu dieser Methode der Kaffeeextraktion sind unbekannt, im Wesentlichen blieb der Extraktionsprozess immer gleich.

71 Kerschbaum an Beitter, 22.2.1929, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 13, Mappe 4.

72 Reichstein an Kerschbaum, 30.10.1929, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 129, Mappe 5.

Zugleich liefert das Zitat Informationen über die Menge an Malzkaffee, die Kathreiner 1929 erzeugte. Der Kneipp-Malzkaffee, der 1891 auf den Markt gekommen war, enthielt, wie erwähnt, einen Extrakt von entcoffeiniertem Kaffee. Kathreiner, ein Gesellschafter der INGA, war demnach bereit, diesen Naturextrakt durch Coffarom zu ersetzen, sofern dieses den Qualitätsanforderungen entsprach. Reichstein war, wie sein letzter Satz zeigt, aber durchaus bewusst, dass es genau an diesem Punkt noch haperte.

Kerschbaum bremste Reichsteins Begeisterung, indem er auf praktische Probleme aufmerksam machte:

> Die Größe des Umsatzes in Reinaroma bei einem Gelingen der Aromatisierung des Malzkaffees hat mich etwas erschüttert im Gedenken an die große Zahl von verhältnismäßig schwierig herzustellenden Körpern, die Sie ja selbst kennen. Von einer Anzahl derselben […] wissen wir noch gar nicht, ob sie sich in großen Ansätzen herstellen lassen; die bisherigen Ansätze blieben im Rahmen des Fabriklaboratoriums und waren zunächst für Mengen von 10000 Kilo Coffarom (4%) [entsprechend 400 kg Reinaroma] berechnet.[73]

Kerschbaums Sorgen erwiesen sich allerdings als unbegründet, da es nie zu einem solchen Großauftrag kam.

Viel Mühe wurde auch auf den Versuch verwendet, Coffarom in seiner fettlöslichen Form[74] zur Aromatisierung von Mokkaschokolade zu verwenden. Hier ergaben sich neben praktischen auch rechtliche Probleme. Es war nämlich unklar, ob man eine mit Coffarom aromatisierte Schokolade überhaupt als »Mokkaschokolade« bezeichnen dürfe, da sie keinen Kaffee enthielt. Zudem zeigten sich die Schokoladenhersteller recht zurückhaltend. In einem Brief an Reichstein vom 13. Mai 1930 wunderte sich Kerschbaum:

> Merkwürdigerweise verhalten sich die Schokoladenfabriken, auf die wir am meisten bauten, besonders ablehnend. Sie sind sehr konservativ und ängstlich und wollen an dem althergebrachten Kaffeegeschmack ihrer Präparate nichts ändern. In dieser Branche braucht die Einführung viel Zeit und gute Worte. – Es ist immer nur der fehlende Kaffeegeschmack, der beanstandet wird. Stollwerk stellte bei der Verwendung in [der Schokoladensorte mit dem Markennamen] Cream einen gummiartigen Geschmack fest, der die Verwendung ausschließt.[75]

Es ist bemerkenswert, wie betriebsblind die Forscher allmählich wurden. Weshalb sollten die angeblich so konservativen Erzeuger einen Aromastoff einsetzen, der dem Image ihrer Firmen schaden würde? Die Schokolade musste lediglich 3% Kaffee enthalten, wenn sie als »Mokkaschokolade« bezeichnet werden sollte; dessen Preis spielte daher nur eine

73 Kerschbaum an Reichstein, 30.10.1929; ebd.

74 Man wollte Coffarom auf wasser- und fettlösliche Trägersubstanzen aufbringen, um unterschiedliche Produkte aromatisieren zu können.

75 Kerschbaum an Reichstein,13.5.1930; Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 2, Mappe 2.

untergeordnete Rolle. Es wäre sehr schwierig gewesen, mit Coffarom einen deutlichen Preisvorteil zu erzielen und selbst noch Gewinn zu machen. Die Klage, es fehle doch »nur« am Geschmack, grenzt an Realsatire. Die einzelnen Probengemische wurden in zahlreichen Testreihen von diversen Prüfern auf Geschmack und Geruch untersucht, mit teils recht unterschiedlichem Ergebnis, da es keine messbaren Parameter gab. Im März 1931 berichtete Kerschbaum von einem solchen Test:

> Heute erhielt ich von Dr. Freudenberger die Beurteilung der Nummern 607-12. Er stellt genau das Gegenteil von uns fest und erteilt schon dem synth[etischen] Phenolgemisch (60) die Note »Unangenehmer jauche- und holzteerartiger Geschmack«. Diese Beurteilung wirkt etwas verheerend auf unser Programm. Ich frage mich, ob wir hier gar nicht mehr in der Lage sind, einigermaßen objektiv zu prüfen.[76]

Man verhandelte auch über die Aromatisierung des Ersatzkaffees »Enrilo«, dem Malzkaffee der Firma Franck. Davon wurden 1931 ca. 700 t jährlich verkauft. Bei einem Zusatz von »nur 4–6 gr Coffarom pro 100 kg ergibt dies sehr wenig Verbrauch. Doch sollte man die Versuche auf alle Fälle sehr genau verfolgen und unterstützen, da sich der betreffende Herr der Sache sehr zu widmen scheint und man auf sein Urteil wohl hören darf«, schrieb Reichstein im Juli 1931 an Kerschbaum.

Die zitierten Dokumente beleuchten die grundsätzlichen Schwierigkeiten bei der Produktion des Coffaroms: Trotz Hunderter Mischungsversuche hatte man letztlich kein Produkt erhalten, das sich zur Aromatisierung von Ersatzkaffee oder Schokolade eignete.

Die Einstellung der Coffarom-Forschung

Im Dezember 1931 berichtete Reichstein in einem Schreiben an Kerschbaum von einem Gespräch mit Fritz Bon, einem Vertreter der INGA, und erläuterte seine Einschätzung der Lage: Er schlug vor »eine kleine Marke einfach einmal zu riskieren« und eine Produktion in kleinem Maßstab zu versuchen. Erforderlich sei allerdings, dass »sich ein Herr der Fabrikation selber energisch mit der Sache befasst«. Dies war aber wohl nicht der Fall. Die Idee mit der »kleinen Marke« wurde, allerdings in etwas modifizierter Form, aufgegriffen. Am 19. März 1932 richtete Reichstein ein Schreiben an »Herrn Direktor Roepke« von der Zichorien-Kaffeesurrogat- und Kaffee-Essenzfabrik »Pfeiffer & Diller« in Horchheim bei Worms, die 1916 vom Ersatzkaffeehersteller Franck übernommen worden war (Abb. 4). Aus dem erwähnten Brief geht hervor, dass »Versuche mit Coffarom S, die den Zweck haben ein neues aromatisiertes Kaffeesurrogat unter einer kleinen Marke versuchsweise herauszubringen, an zwei Orten untersucht werden sollen, nämlich in Linz [vermutlich Linz am Mittelrhein, C.P.] und Horchheim«. Über die Ergebnisse dieser Versuche liegen keine Unterlagen vor. Weiter heißt es in dem Schreiben:

76 Kerschbaum an Reichstein, 26.3.1931; Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 2, Mappe 6.

Abb. 4 Briefkopf der Kaffee-Essenz-Fabrik Pfeiffer & Diller in Horchheim bei Worms, 1909.

> Mit Ende des Jahres [1931, C.P.] habe ich die Arbeiten mit Coffarom abgeschlossen, da das vorliegende Produkt meines Erachtens ein brauchbares Material für die Fabrikation darstellt und bis zu einem Grade bearbeitet wurde, wo sich weitere Aufwendungen in chemisch-laboratoriumsmässiger Richtung nicht lohnen. Das Produkt wird seit zwei Jahren mit mäßigem Erfolg in zwei Arten, nämlich Coffarom F (fettlöslich) und Coffarom W (wasserlöslich) an beliebige Interessenten verkauft, soweit sie außerhalb der Kaffeesurrogatbranche stehen. Nachdem wir nun das Produkt soweit verbessert haben, als es in unserer Macht steht, ist es Zeit, der wichtigeren, wenn auch schwierigeren Frage näher zu treten, wie weit sich das Produkt für die Industrie der Kaffee-Surrogate direkt verwenden lässt. Es ist vorgesehen für diesen Zweck eine spezielle neue Coffarom-Nummer zu schaffen, die dem besonderen Zweck angepasst ist, nämlich das Coffarom S (für Surrogate), welches nicht in den Handel kommt, sondern lediglich an Firmen des Konzerns abgegeben wird, zu einem Preis, der um ein Vielfaches geringer ist, als der [der] auf dem freien Markt verkäuflichen Produkte Coffarom F und W.[77]

Die Korrespondenz wurde noch bis 1935 fortgesetzt, enthielt aber keine neuen Resultate der Aromaforschung. Reichstein sah seine Aufgabe im Wesentlichen als beendet an. »Gestern war ich bei Herrn Dr. Bon um über die Fortsetzung der ganzen Arbeit zu sprechen«, teilte er Kerschbaum im November 1931 mit. »Ich sagte ihm, dass ich von der Fortsetzung der rein chemischen Arbeit zur Aufklärung weiterer Bestandteile [des natürlichen Aromas, C.P.] und Veränderung der Dosierung [der Coffarom-Mischungen, C.P.] keine einschneidende Verbesserung des Coffaroms mehr erwarte. Da ich glaube, dass für den Fall dass sich das bisherige [Produkt, C.P.] für die Verwendung in Surrogaten als

77 Brief Reichstein an Roepke, 19.3.1932; Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 129, Mappe 7. Haarmann & Reimer brachte das künstliche Kaffeearoma von ca. 1930 bis ca. 1962 in den Handel, vgl. Ellmer (1931), S. 848 und Römpp (1962), 958. In fettlöslicher Form diente es zur Aromatisierung von Kakao, Schokolade usw., in wasserlöslicher Form zur Herstellung von Sirupen, Likören und Zuckerwaren.

völlig ungeeignet erweisen sollte, auch keine große Wahrscheinlichkeit dafür besteht, dass in dieser Hinsicht von weiteren Arbeiten ein wesentlich anderes Resultat zu erwarten wäre. – Ich bin zwar der Meinung, dass eine Verwendung für Kaffeesurrogate durchaus in Frage kommt, die Entscheidung darüber muss aber den Herren aus der Fabrikation überlassen werden.«[78]

Aus diesen Sätzen spricht viel Enttäuschung. Reichstein hatte etwa zehn Jahre mehr oder weniger ausschließlich an der Erforschung des natürlichen und der Synthese eines künstlichen Kaffeearomas gearbeitet. Dabei konnte er ca. 70 Aromabestandteile isolieren, chemisch charakterisieren und synthetisieren. Er hatte Hunderte von Versuchsmischungen hergestellt und getestet. Es wurden alle Möglichkeiten einer Nutzung des Coffaroms in Erwägung gezogen, einschließlich seiner Nutzung als Medikament.[79] Man war subjektiv mit den gefundenen Mischungen zufrieden. Und dennoch waren die »Herren aus der Fabrikation« nicht bereit, weiter in einen »Coffarom-Kaffee« zu investieren, um ihn auf einem umkämpften Markt zu positionieren. Dann solle man die Arbeiten eben einstellen, sagte sich Reichstein, wohl wissend, dass weitere Laborversuche sinnlos wären. Wie obiger Brief erkennen lässt, war ihm allerdings klar, dass es Konsequenzen für seine eigene finanzielle Situation haben würde, wenn er seine Zusammenarbeit mit der INGA aufgäbe: »Falls ich mein Verhältnis zur Inga dadurch auflöse, so müsste ich mich natürlich nach einer anderen Arbeit umsehen. Was da in Frage kommt, ist mir noch absolut schleierhaft, dagegen glaube ich, dass ich am Poly [gemeint ist das Polytechnikum in Zürich, die heutige ETH, C.P.] bleiben werde, wenigstens wenn es sich irgend einrichten lässt.« In der Tat blieb Reichstein als Ružička Assistent an der ETH, wo er 1934 zum Titular- und 1937 zum außerordentlichen Professor ernannt wurde, ehe er 1938 den Ruf nach Basel erhielt.

Reichsteins Aromaforschungen wurden in einem 1930 erschienenen, mit Helmut Beitter publizierten Artikel zusammengefasst. Bei diesem Koautor handelt es sich vermutlich um den Sohn von Albert Beitter, den oben erwähnten Repräsentanten der Firma Franck. Die kurze Arbeit trug den Titel »Die Zusammensetzung der Aromastoffe von gerösteter Cichorie« und korrigierte einen Artikel, den die beiden Autoren 1915 zu diesem Thema veröffentlicht hatten.[80] Sie listeten eine Reihe weiterer Aromakomponenten auf, die sie in der Zwischenzeit nachgewiesen hatten. Zweck der Analyse war es nicht, nach einer möglichst vollständigen Liste aller Aromastoffe zu trachten, sondern vielmehr zu ermitteln, »welche von den Stoffen, die im Kaffee aufgefunden wurden, auch hier vorkommen und worin die Hauptunterschiede bestehen.«[81]

Da die Firma Franck Zichorienkaffee herstellte, lag die Untersuchung der Zichorie bzw. die Beteiligung Beitters an deren Erforschung nahe. Zu beachten ist, dass auch hier verschiedene Furanderivate gefunden wurden, allerdings ohne Schwefel. Aus diesem Ergebnis konnte geschlussfolgert werden, dass schwefel- oder sauerstoffhaltige Abkömm-

78 Reichstein an Kerschbaum, 14.11.1931, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 2, Mappe 7.
79 Man testete die Wirkung von Coffarom-Mischungen als Kreislaufmittel, jedoch ohne Erfolg.
80 Siehe Grafe, Untersuchungen, 1915, S. 13.
81 Reichstein/Beitter, Zusammensetzung, 1930, S. 816–817.

linge des Furans generell für das Aroma sehr unterschiedlicher Pflanzenarten von Bedeutung sind, sobald diese geröstet werden.

Die Vermarktung des Coffaroms

Die Erforschung und Nachahmung des echten Kaffeearomas war damit an die Grenzen des damals Möglichen gelangt. Die beteiligten Chemiker waren im Großen und Ganzen der Meinung, ein recht brauchbares Imitat gefunden zu haben, das sich zudem sowohl in fett- wie in wasserlöslicher Form verwenden ließ. Es erwies sich jedoch als schwierig, den potentiellen Kunden, also den Herstellern von Surrogatkaffee und Schokolade, diese grundsätzlich positive Einschätzung zu vermitteln. Dies war eine Folge unterschiedlicher Wahrnehmungen: Reichstein, Kerschbaum und andere Chemiker hatten viel Forschungsaufwand investiert und ein beachtliches Verständnis der chemischen Zusammensetzung des Kaffeearomas erreicht. Aus ihrer Sicht stellten die von ihnen hergestellten Aromamischungen einen Erfolg dar, weil sie für die damaligen Verhältnisse dem Naturaroma so nahe wie irgend möglich kamen. Die Fabrikanten von Ersatzkaffees und Schokolade legten dagegen ganz andere Kriterien an. Sie interessierte nur, inwieweit sich der Geschmack des mit Coffarom versetzten Produkts und der des echten Kaffees ähnelten. Wenn beide Aromaeindrücke differierten, blieben sie lieber bei ihren herkömmlich aromatisierten Produkten.

Immerhin nahm H&R die Herstellung von Coffarom auf und formulierte für die Firmenvertreter Richtlinien bezüglich seiner Vermarktung (Abb. 5, Abb. 6, Abb. 7).

Kerschbaum schrieb dazu an seinen Duzfreund Richard Franck (1871–1931), den Geschäftsführer der Firma Franck:

> Aus dem beiliegenden Schreiben an unsere Vertreter wirst Du ersehen, dass wir nach Möglichkeit bestrebt sind, Eure Surrogatinteressen zu wahren, wozu ich noch bemerken möchte, das nach unseren letzten Versuchen und Kalkulationen schon der Preis dieses Produktes seine Verwendung zur Aromatisierung von Surrogaten m. E. völlig ausschließt.[82]

Der letzte Satz bezog sich auf fremde Surrogathersteller, denn der INGA sollte, wie aus einer Notiz vom Dezember 1929 hervorgeht, ein anderer Preis in Rechnung gestellt werden: »H&R beabsichtigt das 4%ige Coffarom zu ca. 65–70 Mk [Reichsmark pro Kilo] zu verkaufen, während die ›Inga‹ etwa 15–20 % dieses Preises zu zahlen hätte.«[83]

Der Absatz lief, wie aus einem Brief Kerschbaums vom März 1931 hervorgeht, allerdings nicht wie erhofft: »Wir haben in 1930 für ca. 27 000 Mark Coffarom verkauft, die Abrechnung wird nach Fertigstellung der Bilanz an die Inga gehen. Mit einem besseren Produkt wird man, denke ich, das Zehnfache verkaufen können.«[84] […] »Das allgemeine

82 Kerschbaum an Richard Franck, 15.3.1930, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 13, Mappe 4.
83 Besprechungsnotiz vom 12./13.12.1929, ebd.
84 Kerschbaum an Reichstein, 20.3.1931, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 2, Mappe 6.

Abb. 5 Faltblatt mit Produktinformationen über Coffarom aus dem Firmenarchiv von Haarmann & Reimer, 1930er Jahre.

HAARMANN & REIME

chemische Fabrik zu Holzminden G. m. b

HOLZMINDE

Nach Beendigung langjähriger wissenschaftlicher Arbeit sind wir jetzt in der Lage, das Aroma des gebrannten Kaffees auf den Markt zu bringen unter dem geschützten Namen:

Coffarom

Patentiert in allen Kulturstaaten

Die künstliche Herstellung des Kaffee-Aromas ist ein altes Problem, mit dem sich schon viele Chemiker beschäftigt haben (Payen C. r. 23. 244 (1846), Boutron und Frémy, Personne C. r. 66419 (1868), Bernheimer M. 1. 456 (1880), Jäckle Z. Unters. Nahrungs- und Genußmittel 457—472(1898), Erdmann B. 35. 1846(1902), Grafe M. 33. 1389 (1912), E. Fischer, Deutsches Museum Vortrag (28. 10. 1915). Die Schwierigkeiten der Untersuchung des gebrannten Kaffees wurden hauptsächlich bedingt durch die große Anzahl und die Empfindlichkeit der verschiedenartigsten chemischen Körper, durch deren Zusammenwirken das Kaffeearoma entsteht. Es ist uns in Gemeinschaft mit befreundeten Forschern zum erstenmal gelungen, dieses komplizierte Gemisch zu entwirren, die einzelnen Körper zu charakterisieren und schließlich das Gemisch synthetisch wieder aufzubauen. Die Forschungsergebnisse sind in zahlreichen in- und ausländischen Patenten niedergelegt (D. R. P. Nr. 489 613).

Das COFFAROM ist zusammengesetzt aus den Riech- und Geschmacksstoffen, die im natürlichen gebrannten Kaffee enthalten sind. Es ist jedoch coffeinfrei. Die pharmakologisch - toxikologische Untersuchung (Prof. Dr. K. Spiro, Basel) hat ergeben, daß gegen die Verwendung des COFFAROM zur Aromatisierung von Genußmitteln keine wissenschaftlichen Bedenken bestehen. Weiterhin wurde von Prof. Dr. Ph. Ellinger, Heidelberg festgestellt, daß einzelne Bestandteile(Merkaptane der Furanreihe) eine leicht anregende Wirkung haben, sodaß das COFFAROM, obwohl ihm die spezifische Coffeinwirkung fehlt, auch als Anregungsmittel den natürlichen Kaffee zu ersetzen geeignet ist.

Als besondere Vorteile sind hervorzuheben:

Wesentliche Verbilligung — Vereinfachte Verarbeitung

Keine Verluste an wertvollen leicht flüchtigen Aromastoffen bei der Lagerung.

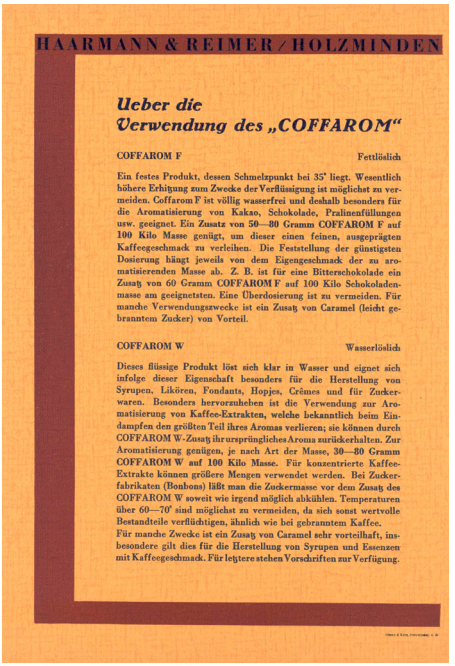
Für die Verwendung in der Nahrungs- und Genußmittel-Industrie bringen wir das künstliche Kaffeearoma in zwei Formen in den Handel, die sich nur durch ihre Löslichkeit unterscheiden:

COFFAROM F Fettlöslich,
COFFAROM W Wasserlöslich.

1 kg COFFAROM entspricht dem Aroma von 50 kg gebranntem Kaffee.

Preis pro kg = RM 70.—

Über die Verwendung siehe nächste Seite!



HAARMANN & REIMER / HOLZMINDEN

Ueber die Verwendung des „COFFAROM"

COFFAROM F — Fettlöslich

Ein festes Produkt, dessen Schmelzpunkt bei 35° liegt. Wesentlich höhere Erhitzung zum Zwecke der Verflüssigung ist möglichst zu vermeiden. Coffarom F ist völlig wasserfrei und deshalb besonders für die Aromatisierung von Kakao, Schokolade, Pralinenfüllungen usw. geeignet. Ein Zusatz von 50—80 Gramm COFFAROM F auf 100 Kilo Masse genügt, um dieser einen feinen, ausgeprägten Kaffeegeschmack zu verleihen. Die Feststellung der günstigsten Dosierung hängt jeweils von dem Eigengeschmack der zu aromatisierenden Masse ab. Z. B. ist für eine Bitterschokolade ein Zusatz von 60 Gramm COFFAROM F auf 100 Kilo Schokoladenmasse am geeignetsten. Eine Überdosierung ist zu vermeiden. Für manche Verwendungszwecke ist ein Zusatz von Caramel (leicht gebranntem Zucker) von Vorteil.

COFFAROM W — Wasserlöslich

Dieses flüssige Produkt löst sich klar in Wasser und eignet sich infolge dieser Eigenschaft besonders für die Herstellung von Syrupen, Likören, Fondants, Hopjes, Crèmes und für Zuckerwaren. Besonders hervorzuheben ist die Verwendung zur Aromatisierung von Kaffee-Extrakten, welche bekanntlich beim Eindampfen den größten Teil ihres Aromas verlieren; sie können durch COFFAROM W-Zusatz ihr ursprüngliches Aroma zurückerhalten. Zur Aromatisierung genügen, je nach Art der Masse, 30—80 Gramm COFFAROM W auf 100 Kilo Masse. Für konzentrierte Kaffee-Extrakte können größere Mengen verwendet werden. Bei Zuckerfabrikaten (Bonbons) läßt man die Zuckermasse vor dem Zusatz des COFFAROM W soweit wie irgend möglich abkühlen. Temperaturen über 60—70° sind möglichst zu vermeiden, da sich sonst wertvolle Bestandteile verflüchtigen, ähnlich wie bei gebranntem Kaffee.

Für manche Zwecke ist ein Zusatz von Caramel sehr vorteilhaft, insbesondere gilt dies für die Herstellung von Syrupen und Essenzen mit Kaffeegeschmack. Für letztere stehen Vorschriften zur Verfügung.

Abb. 6 Produktinformation zum Coffarom aus dem Firmenarchiv von Haarmann & Reimer, 1930er Jahre.

Abb. 7 Coffarom-Etikett aus dem Firmenarchiv von Haarmann & Reimer, 1930er Jahre.

Urteil war sehr gut, die kaffeeartige Note unverkennbar.« Es wurde sogar erwogen, Briefpapier oder Verpackungsfolien mit Coffarom zu »parfümieren«. Kerschbaum hielt wenig von dieser Idee:

> Dies Problem ist sehr schwierig und wenig aussichtsvoll wegen der leichten Flüchtigkeit und teilweisen Zersetzlichkeit der wichtigsten Coffarom-Bestandteile. […] Eines Versuches wert ist die Idee, entweder die Innenseite der Briefumschläge oder noch besser kleine Kartons (ungeleimt) mit einer 2–5 % Lösung von Coffarom F in Äther zu tränken und letztere den Briefen beizulegen. Einige Tage wird der Geruch anhalten und sich dem Briefpapier mitteilen.[85]

Im Juni 1931 berichtet Reichstein von einem Treffen mit Bon und Wilhelm Franck, einem Sohn Richard Francks. Demnach sei dort bei der INGA bzw. Firma Franck »nicht beabsichtigt so weit zu gehen um einen Kaffee vorzutäuschen, es soll lediglich die Aromamenge zugegeben werden, die etwa einem Zusatz von 5 % Bohnenkaffee entspricht. Ich glaube, dass für diesen Zweck unser Aroma sicher gut sein wird.«[86] Offensichtlich sollte also nur ein mit Bohnenkaffee aromatisiertes Kaffeesurrogat durch einen mit Coffarom aromatisiertes ersetzt werden. Der bessere Aromaeindruck des echten Bohnenkaffees war zumindest zu dieser Zeit also unstrittig.

Die Bemühungen, fettlösliches Coffarom zur Aromatisierung von Schokolade zu verwenden, stießen nach wie vor auf Vorbehalte, wie Kerschbaum 1931 in einem Brief an Reichstein festhielt: »Unser umfangreiches Angebot an Schokoladefabriken und deren intensive Bearbeitung hat leider sehr wenig Erfolg gehabt. Als Grund dieses Misserfolgs sind 2 Ursachen festzustellen. 1) der jetzige Preis. 2) der abweichende Geschmack der Coffarom-Schokolade gegenüber der Kaffeebohnenschokolade.«[87]

Obwohl Kerschbaum die spürbaren Unterschiede zwischen dem Geschmack der Coffarom-Schokolade und dem von Mokkaschokolade zugab, war ihm absolut unverständlich, warum die Schokoladenfabrikanten kein Coffarom verwenden wollten, nur weil die Coffarom-Schokolade nicht nach Bohnenkaffee schmeckte.

Wilhelm Heinrich Franck, der nun als Nachfolger seines Vaters für die Coffarom-Vermarktung zuständig war, äußerte sich 1931 in einem Schreiben an Kerschbaum wie folgt:

> Es ist eigentlich schade, dass wir in einer Zeit, die für Verwertung des synthetischen Kaffeearomas ganz besonders günstig ist, stillhalten und zuwarten müssen, da die unvollkommene Qualität des Coffaroms eine praktische Verwertung noch nicht zulässt. Umso mehr würde ich es begrüßen, wenn Sie bald die Zauberformel finden würden, mit deren Hilfe eine, wenn auch nicht 100%ige Aroma-

85 Kerschbaum an Reichstein, 30.5.1931, ebd.
86 Reichstein an Kerschbaum, 2.6.1931, ebd.
87 Kerschbaum an Reichstein, 12.11.1931, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 2, Mappe 7.

> tisierung unserer Kaffee-Ersatzstoffe, so doch eine geschmackliche Verbesserung derselben möglich wäre.[88]

In der Tat war es nicht die Uneinsichtigkeit der Fabrikanten, die der Vermarktung des Coffaroms im Wege stand, sondern dessen mangelnde Qualität. Die ersehnte Zauberformel fand Kerschbaum nicht.

Die endgültige Einstellung der Coffarom-Forschung wird aus einem Schreiben Fritz Bons, des Vertreters der INGA, an die Geschäftsleitung der Firma H&R aus dem Jahr 1932 ersichtlich, in dem es heißt: »Wir betrachten die wissenschaftlichen Arbeiten über die Zusammensetzung des Kaffeearomas als abgeschlossen. Das Laboratorium in Albisrieden [wo Reichstein arbeitete, C.P.] wird geschlossen und es fällt daher die in §10 [des Vertrags zwischen der INGA und H&R, C.P.] vorgesehene Mitbeteiligung Ihrerseits an den Spesen des genannten Laboratoriums ab 1. ds. [dieses Monats, C.P.] dahin.« Ferner machte die INGA den Vorschlag, dass man sich künftig die Kosten für die Aufrechterhaltung der Coffarom-Patente von 3100 Franken pro Jahr so aufteilen sollte, dass die INGA 1600 und H&R 1500 Franken übernehmen, »was im selben Verhältnis wäre wie Ihre bisherige Beteiligung an den Totalausgaben, nämlich rund etwas weniger als 1/3, repräsentiert durch die von uns jeweils vergüteten jährlichen Fr. 10.000.«[89] Damit ist auch bekannt, dass die Aufwendungen für die Arbeiten in Albisrieden bei etwa 10.000 Schweizer Franken lagen, das Gehalt Reichsteins eingeschlossen. H&R teilte der INGA daraufhin mit, dass

> an der Aufrechterhaltung der Patente nur dann ein Interesse [bestehe], wenn die INGA in absehbarer Zeit selbst zur Verwendung des Coffarom kommen kann. Der freihändige Absatz des Coffaroms scheint nach den Resultaten unserer bisherigen intensiven Bemühungen nicht über einen beschränkten Umfang zu steigern zu sein.[90]

Coffarom heute

Damit wäre die Geschichte des Coffaroms eigentlich zu Ende, wenn es nicht eine interessante Werbeanzeige der Firma H&R gäbe.[91] Im Jahr 1997 wurde unter dem Slogan »Für echten Kaffeegeschmack« in der damaligen H&R-Firmenzeitschrift »Contact« für einen Aromastoff geworben, der mit dem von Reichstein und Staudinger entdeckten und synthetisierten Furfurylmercaptan eng verwandt ist, nämlich Furfurylthioacetat (Abb. 8).

88 Wilhelm H. Franck an Kerschbaum, 21.11.1931, Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 13, Mappe 4.

89 Bon an H&R, 13.1.1932; Firmenarchiv Symrise (ehemals H&R), Holzminden, Box 101, Mappe 3.

90 H&R an INGA, 16.1.1932; ebd.

91 Ich danke Elisabeth Vaupel für diesen Hinweis.

Abb. 8 Reklame für den von H&R hergestellten Geschmacksstoff Furfurylthioacetat, der zur Komposition eines authentisch wirkenden Kaffeearomas genutzt wird, 1997.

Die Anzeige richtet sich nicht an Endverbraucher, sondern an Geschäftskunden, die den Geschmacksstoff zur Aromatisierung ihrer Produkte nutzen sollten. Nachforschungen bei der Firma Symrise, ehemals H&R, gestalteten sich schwierig. Ein ehemaliger Mitarbeiter des Marketings bei H&R lieferte allerdings einige interessante Informationen.[92] Demnach wird Coffarom von Symrise bis heute produziert. Es handelt sich dabei genau wie ehedem um ein sogenanntes Hochkonzentrat, von dem 3 Gramm auf 100 kg neutrale Zuckermasse aufgebracht werden. Für die Kakaoverarbeitung zu Mokkaschokolade kann Coffarom nicht ohne weiteres verwendet werden, da seine Konsistenz die durch das Conchieren erzeugte Glätte der Schokoladenmasse beeinträchtigt. Das Coffarom wird daher, vermischt mit anderen Komponenten, zu einem »gängigen Aroma« verarbeitet, das in einer Konzentration von 100 Gramm auf 100 Kilogramm verwendet wird.[93]

Aus chemiehistorischer Sicht ergeben sich folgende Schlussfolgerungen: Obwohl Coffarom als Aromatisierungsmittel für Ersatzkaffees keine wirtschaftlich bedeutende Rolle spielte, wird es nach wie vor hergestellt und in diversen, nicht näher bezeichneten

92 Ich danke Peter Lobitz für seine hilfreichen Informationen.

93 Lobitz an Priesner, E-Mail, 28.7.2016. Herr Lobitz wies ausdrücklich darauf hin, dass diese Aussagen seinem persönlichen Kenntnisstand entsprechen. Es handelt sich nicht um aktuelle und von der Firma Symrise autorisierte Angaben.

Produkten verwendet. Beim heute hergestellten Coffarom handelt es sich um ein Erzeugnis, das im Vergleich zu den Mischungen aus den 1920er und 1930er Jahren modifiziert wurde und als Hauptbestandteil Furfurylthioacetat enthält. Letzteres besitzt gegenüber dem von Reichstein und Kerschbaum eingesetzten Furfurylthiol erhebliche Vorteile, wie der Chemiker Sebastian Schönauer (TU München) bestätigte:

> Das Thioacetat [ist] im Vergleich zum Thiol wesentlich stabiler und eher geruchsneutral als das sehr unstabile und sehr penetrant riechende Thiol. Das macht die Lagerung und Handhabung leichter und eventuell kann das Thioacetat schon unter Hitzeeinwirkung oder mithilfe von Enzymaktivität abgespalten und das Thiol quasi ›in situ‹ im betreffenden Produkt gebildet werden. Das wäre natürlich ein massiver Vorteil im Vergleich zum freien Furfurylthiol, das ja äußerst schnell zum Abbau […] neigt. Diese Vermutungen fußen aber nicht auf wissenschaftlichen Publikationen, die ich jetzt zitieren könnte, sondern vielmehr auf meiner mehrjährigen Erfahrung im Umgang mit Thiolen und von anderen Synthesen, bei denen Thioacetate oft die Zwischenstufen bildeten.[94]

Diese Ausführungen erklären einen Teil der Schwierigkeiten, mit denen Reichstein und Kerschbaum zu kämpfen hatten. Dass auch sie schon mit Derivaten des Furfurylthiols experimentierten, ergibt sich aus der Patentschrift zur Synthese des Thiols.

Fazit

Die Arbeiten zur Synthese eines künstlichen Kaffeearomas brachten die Kenntnisse über den Charakter und die Zusammensetzung des natürlichen Aromas erheblich voran; sie trugen dazu bei, die damals verfügbaren Verfahren der klassischen organischen Mikroanalyse weiterzuentwickeln und an die Grenze des Möglichen zu führen. Durch die hier vorgestellten Arbeiten wurden nicht nur konkrete Erkenntnisse über das Kaffeearoma gewonnen, sondern durch die im Verlauf dieses Projekts erarbeiteten Methoden auch die Bearbeitung neuer Forschungsfelder, etwa die Erforschung von Hormonen, erheblich erleichtert. Dass es nicht gelang, ein dem natürlichen Aroma ebenbürtiges Surrogat herzustellen, kann angesichts der Komplexität der Aufgabe nicht überraschen. Auch mit den heute verfügbaren, wesentlich verbesserten Verfahren wäre dies kaum lösbar. Die Intention des geschilderten Forschungsprojekts bestand darin, ein Naturstoffgemisch zu analysieren und durch eine Mischung ähnlich gebauter, aber synthetisch gewonnener Stoffe zu ersetzen. Diese Strategie hatte in anderen Fällen bereits mehrfach zu Produkten geführt, die sich erfolgreich am Markt behaupten konnten. Man denke etwa an das chemisch erzeugte Vanillin, das bis heute in großem Stil eingesetzt wird, obwohl die natürliche Vanille durchaus auf dem Markt erhältlich ist. Der Ersatz eines Natur- durch ein synthetisch hergestelltes Ersatzprodukt lohnt sich allerdings nur dann, wenn der Zugang

94 Schönauer an Priesner, E-Mail, 17.8.2016. Ich danke Herrn Schönauer für seine Informationen.

zu dem entsprechenden Naturstoff beschränkt oder dieser, wie bei der Vanille, erheblich teurer als das Syntheseprodukt ist. Die hier vorgestellten Forschungsarbeiten wurden in der Zwischenkriegszeit, in den Jahren 1921 bis 1931, durchgeführt. Sie waren in erster Linie wirtschaftlich motiviert, da man davon ausging, dass für ein wirklich gutes synthetisches Kaffeearoma bzw. den damit fabrizierten Ersatzkaffee ein großer Markt vorhanden sein würde. Zudem hatte die 1916 im Deutschen Reich eingeführte Zwangsbewirtschaftung der Rohstoffe für Kaffeesurrogate und Kaffeeersatz deutlich gemacht, dass in einer Kriegssituation gegebenenfalls sogar die Versorgung von Bevölkerung und Militär mit Kaffeeersatz unsicher werden konnte. Staudinger hatte mit seinen während und wegen des Ersten Weltkriegs aufgenommenen, in kurzer Zeit erfolgreich abgeschlossenen Arbeiten über die Synthese eines künstlichen Pfeffer-Scharfstoffs jedenfalls bewiesen, dass ein relativ einfach gebauter Geschmacksstoff zufriedenstellend durch ein synthetisch hergestelltes Imitat ersetzt werden kann. Er war sich allerdings darüber im Klaren, dass ein solcher Ersatz nur in einer besonderen Mangelsituation, etwa einem Krieg, sinnvoll war.

Dass sich das Coffarom wirtschaftlich als Fehlschlag erwies, war Entwicklungen auf dem internationalen Kaffeemarkt geschuldet. Echter Bohnenkaffee wurde tendenziell billiger, so dass ein mit Coffarom versetzter Malz- oder Zichorienkaffee sich schon aus diesem Grund nur schwer hätte vermarkten lassen. Zudem waren die eingefleischten Liebhaber von Ersatzkaffee kaum an einem Aroma-Imitat interessiert, sondern mit den verfügbaren Produkten zufrieden. Anders verhielt es sich dagegen mit den Personen, die im Krieg gegen ihren Willen zu Konsumenten von Ersatzkaffee geworden waren, weil es echten Bohnenkaffee nicht mehr beziehungsweise nur zu völlig überteuerten Preisen zu kaufen gab. Staudinger, Reichstein, Kerschbaum und die INGA gingen bei ihrem Projekt jedoch davon aus, dass der Kaffeepreis dauerhaft hoch bleiben würde und sich ein mit einem chemisch gewonnenen Surrogat aromatisierter Ersatzkaffee aus eben diesem Grunde auf dem Markt durchsetzen und behaupten könnte. An diesen Fehleinschätzungen scheiterte das Coffarom. Ein weiterer, allerdings wichtiger Faktor, der zu diesem Scheitern beitrug, dürfte die Entwicklung des Nescafés durch Max Morgenthaler im Jahr 1936 gewesen sein. Was die Konsumenten tatsächlich überzeugte, war ein sofort löslicher Instant-Kaffee, also etwas völlig Neues, Zeitsparendes und Praktisches. Diesen Bedarf konnte nur der Nescafé decken.

Literatur

Albrecht, Peter: Kaffeetrinken als Symbol sozialen Wandels im Europa des 17. und 18. Jahrhunderts. In: Sandgruber, Roman; Kühnel, Harry (Hrsg.): Genuss & Kunst: Kaffee, Tee, Schokolade, Tabak, Cola; Ausstellung Schloß Schallaburg 1994. Innsbruck 1994, S. 38–39.

Bächi, Beat: Vitamin C für alle! Pharmazeutische Produktion, Vermarktung und Gesundheitspolitik (1933–1953). Zürich 2009.

Becker, Ursula: Kaffee-Konzentration. Zur Entwicklung und Organisation des hanseatischen Kaffeehandels. Stuttgart 2002.

Beckert, Sven: King Cotton. Eine Geschichte des globalen Kapitalismus. München 2014.

Beyer, Hans: Lehrbuch der Organischen Chemie, 15./16. Aufl. Leipzig 1968.
Brock, William H.: Justus von Liebig. Eine Biographie des großen Naturwissenschaftlers und Europäers. Braunschweig/Wiesbaden 1999.
Dosedla, Heinrich: Von Habsburg bis Hitler. Österreich vor dem Anschluss. Wien u.a. 2008.
Duisberg, Carl: Emil Fischer und die Industrie. In: Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft 52 (1919), Abt. A, S. 149–164.
Eberty, Felix: Geschichte des preußischen Staats, Bd. 5, 1763–1806. Breslau 1870.
Fuchs, Leonhardt: New Kreüterbuch. Basel 1543.
Ellmer, A.: Riechstoffe. In: Fritz Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Bd. 8. Berlin/Wien 1931, S. 729–852.
Girnus, Wolfgang: Hermann Staudinger. In: Lexikon der bedeutenden Naturwissenschaftler, Bd. 3. München 2004, S. 317–320.
Grafe, V.: Untersuchungen über die Zichorie. In: Biochemische Zeitschrift 68 (1914), S. 13–22.
Grosch, Werner: Warum riecht Kaffee so gut? In: Chemie in unserer Zeit 30 (1996), Nr. 3, S. 126–133.
Haller, Lea: Cortison. Geschichte eines Hormons, 1900–1955. Zürich 2012.
Harder, Hugo: Über die Bestimmung des wirksamen Bestandteils des Insektenpulvers und über die Herstellung technisch haltbarer Pyrethrinlösungen. Diss. ETH Zürich 1927.
Hünersdorff, Richard von; Hasenkamp, Holger G.: Coffee. A Bibliography, 2 Bde. London 2002.
Ilgen, Volker: Mocca Faux. In: Trödler und Sammler (2004), Nr. 4, S. 76–84.
Kemper, Wolf-R.: Pervitin – Die Endsieg-Droge? Wach und leistungsstark durch Methamphetamin. In: Pieper, Werner (Hrsg.): Nazis on Speed. Drogen im 3. Reich, 2 Bde. Lörbach 2002, S. 122–133.
Klassert, M.: Kaffee-Ersatzstoffe. In: Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel sowie der Gebrauchsgegenstände 35 (1918), S. 80–92.
Knorr, Ludwig: Über die wissenschaftlichen Arbeiten und die Persönlichkeit Emil Fischers. In: Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft 52 (1919), Abt. A, S. 132–149.
Lampadius, Wilhelm August: Stärkezucker und Kastanienkaffee, zwey neue Stellvertreter des indischen Zuckers und Kaffee's. Freyberg 1812.
Martinetz, Dieter; Lohs, Karlheinz: Faszination Kaffee. In: Wissenschaft und Fortschritt 38 (1988), S. 141–144.
Mueller, Wolf: Bibliographie des Kaffee, des Kakao, der Schokolade, des Tee und deren Surrogate bis zum Jahre 1900. Bad Bocklet u.a. 1960.
Olby, Robert: Hermann Staudinger. In: Dictionary of Scientific Biography, Bd. 13. New York 1980, S. 1–4.
Pfiffner, Albert: »A real Winner one Day«: Die Entwicklung des »Nescafés« in den 1930er Jahren. In: Rossfeld, Roman (Hrsg.): Genuß und Nüchternheit. Geschichte des Kaffees in der Schweiz vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Baden 2002, S. 123–147.
Pieper, Werner (Hrsg.): Nazis on Speed. Drogen im 3. Reich, 2 Bde. Löhrbach 2002.
Priesner, Claus: H. Staudinger, H. Mark und K. H. Meyer – Thesen zur Größe und Struktur der Makromoleküle. Weinheim 1980.
–: Friedlieb Ferdinand Runge. In: Neue Deutsche Biographie, Bd. 22. Berlin 2005, S. 263–264.
–: Hermann Staudinger. In: Neue Deutsche Biographie, Bd. 25. Berlin 2013, S. 82–85.
–: Von Coffarom zu Nescafé. Ein synthetisches Kaffeearoma. In: Chemie in unserer Zeit 48 (2014), Nr. 1, S. 22–35.
–: Die Kaffeefälscher. In: Kultur & Technik 40 (2016), Nr. 3, S. 52–57.
Reichstein, Tadeus; Beitter, Helmut: Die Zusammensetzung der Aromastoffe von gerösteter Cichorie. In: Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft 63 (1930), S. 816–826.
Reichstein, Tadeus; Staudinger, Hermann: Das Kaffeearoma. In: Ciba-Zeitschrift 11 (1951), Nr. 127, S. 4692–4694.
Remane, Horst: Emil Fischer. Leipzig 1984.
Römpp, Hermann: Chemie-Lexikon, 5. Aufl, Bd. 1. Stuttgart 1962
Rohrsen, Peter: Der Tee. Anbau, Sorten, Geschichte. München 2013.

Rossfeld, Roman (Hrsg.): Genuß und Nüchternheit. Geschichte des Kaffees in der Schweiz vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Baden 2002.

–: »Ein Mittel Kaffee ohne Kaffee zu machen«: Zur Geschichte der schweizerischen Zichorien- und Kaffeesurrogat-Industrie im 19. und 20. Jahrhundert. In: Rossfeld, Roman (Hrsg.): Genuß und Nüchternheit. Geschichte des Kaffees in der Schweiz vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Baden 2002, S. 226–255.

Roth, Klaus; Vaupel, Elisabeth: Von Insekten, Chrysanthemen und Menschen. Pyrethrum – Geschichte eines Bio-Insektizids. In: Chemie in unserer Zeit 51 (2017), Nr. 3, S. 162–184.

Sandgruber, Roman: Bittersüße Genüsse. Kulturgeschichte der Genußmittel. Wien u.a. 1986.

Schivelbusch, Wolfgang: Das Paradies, der Geschmack und die Vernunft. Eine Geschichte der Genußmittel. München u.a. 1980.

Schmid, Günther: Geschichte des Zichorienkaffees. In: Deutsche Lebensmittel-Rundschau 1938, Nr. 10, S. 113–116; Nr. 11, S. 128–129; Nr. 12, S. 139–142; Nr. 13, S. 153–155.

Schwenk, Ernst: Max Morgenthaler. In: Neue Deutsche Biographie, Bd. 18. Berlin 1997, S. 121.

Standage, Tom: Sechs Getränke, die die Welt bewegten. Düsseldorf 2007.

Staudinger, Hermann: Arbeitserinnerungen. Heidelberg 1961.

Staudinger, Hermann/ Ružička, Leopold: Über Isolierung und Konstitution des wirksamen Teils des dalmatinischen Insektenpulvers. In: Helvetica Chimica Acta 7 (1922), S. 177–201.

–: Insektentötende Stoffe I-X. In: Helvetica Chimica Acta 9 (1924), S. 177–458.

Struppe, Hans Georg: Die Entdeckung der Gaschromatographie. In: Nachrichten aus der Chemie 59 (2011), Nr. 11, S. 1057–1062.

Tamm, Christoph: Tadeus Reichstein. In: Neue Deutsche Biographie, Bd. 21. Berlin 2003, S. 321–322.

Ternes, Waldemar u.a. (Hrsg.): Lebensmittel-Lexikon, 4. Aufl. Hamburg 2005.

Trillich, Heinrich: Die Kaffeesurrogate. Ihre Zusammensetzung und Untersuchung. München 1889.

–: Über Malzkaffee und Kaffeesurrogate. In: Angewandte Chemie 4 (1891), S. 540–547.

Ullmann, Fritz (Hrsg.): Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Bd. 8. Berlin u. a. 1931.

Vaupel, Elisabeth: Vanille und Vanillin – Seit 500 Jahren als Gewürz begehrt. In: Pharmazeutische Zeitung 147 (2002), Nr. 38, S. 24–31.

–: Hermann Staudinger und der Kunstpfeffer. In: Chemie in unserer Zeit 44 (2010), Nr. 6, S. 396–412.

–: Ersatzgewürze (1916–1948). Der Chemie-Nobelpreisträger Hermann Staudinger und der Kunstpfeffer. In: Technikgeschichte 78 (2011), Nr. 2, S. 91–122.

–: Ersatz für die Naturvanille. Rezeption und rechtliche Behandlung der Aromastoffe Vanillin und Ethylvanillin in Deutschland (1874–2011). In: Ferrum. Nachrichten aus der Eisenbibliothek 89 (2017), S. 44–55.

Vitzthum, O. G.: Flüchtige Inhaltsstoffe des Röstkaffees. In: Drawert, F. (Hrsg.): Geruch- und Geschmacksstoffe. Internationales Symposium aus Anlaß des einhundertjährigen Bestehens der Firma Haarmann & Reimer GmbH, 2. bis 4. Oktober 1974. Bad Pyrmont u. a. 1975, S. 49–64.

–: Chemie und Bearbeitung des Kaffees. Berlin 1975

Weinberg, Arthur von: Emil Fischers Tätigkeit während des Krieges. In: Die Naturwissenschaften 7 (1919), S. 868–873.

Die Verwertung von Tierkadavern zur Herstellung von Tierersatzfutter

Ulrike Thoms

Der Verzehr von Fleisch ist seit vielen Jahren Gegenstand intensiver (ernährungs)wissenschaftlicher, aber auch gesellschaftlicher Debatten. Wenig bedacht wird dabei zumeist der bei Schlachtung und Verarbeitung anfallende Abfall. So stehen der deutschen Jahresproduktion von rund 8 Millionen Tonnen Fleisch 2,6 t sogenannter Schlachtnebenprodukte gegenüber, worunter unter anderem Häute und Felle, Blut, Klauen und Fleischabschnitte zu verstehen sind. Ebenso wenig bedacht wird auch, was mit jenen Tieren geschieht, welche die Schlachtreife erst gar nicht erreichen. Auf die 328 Millionen geschlachteten Rinder, Schweine, Hühner, Schafe und Ziegen entfallen in der EU 2,45 Millionen gefallene Tiere, die vor Erreichen der Schlachtreife verenden oder auf Grund seuchenpolizeilicher Vorschriften getötet werden.[1] Für deren Beseitigung waren seit dem Mittelalter die gesellschaftlich geächteten Abdecker verantwortlich, die die gefallenen Tiere zumeist außerhalb der Städte verscharrten. Mit der wachsenden Wertschätzung von Eiweiß veränderte sich jedoch die Perspektive auf die Kadaver dieser Tiere, die damit vom Abfall- zum Wertstoff wurden. Es sah so aus, als ob mit ihnen der alte Traum der Ernährungsforscher zur Erzeugung von Nahrung aus sonst wertlosen Stoffen wahr würde. Diese Ideen folgten dem Modell der rationellen Volksernährung, das darauf zielte, Bedürfnisse möglichst kostengünstig zu befriedigen.[2] Es leistete einer Ökonomisierung der Fleischproduktion Vorschub, die spätestens mit der Publikation von Ruth Harrisons »Tiermaschinen« aus dem Jahr 1970 in den Fokus der Kritik von Tierschützern wie Verbrauchern geriet. Dennoch nahmen Produktion und Absatz von Tiermehlfutter weiterhin zu. Erst als im Zuge der BSE-Krise Prionen als Überträger der Erkrankung identifiziert und in Tiermehl britischer Herkunft nachgewiesen wurden, erging 2001 nach zähen Auseinandersetzungen ein absolutes Verfütterungsverbot für Tiermehl, das aber schon 2004 auf Nutztiere eingeschränkt wurde.

Der Krieg wird oft als »Vater aller Dinge« bezeichnet, weil er gängige ökonomische Regeln für eine Weile außer Kraft setzt und damit Bedingungen für die Entwicklung von Innovationen schaffen kann. Dieser Aufsatz untersucht, welche Rolle die Produktion von Futterersatzstoffen vor dem Hintergrund des Ersten Weltkriegs spielte. Der Technikhistoriker Ulrich Wengenroth hat für die Zeit des Nationalsozialismus die These von der »Flucht in den Käfig« formuliert.[3] Demnach investierte der nationalsozialistische Staat in Anbetracht seiner Autarkiepolitik massiv in Verfahren und Stoffe, deren Einsatz jegliche Wirtschaftlichkeitsüberlegungen unberücksichtigt ließ, wie sich nach Kriegsende und dem Eintreten normaler Bedingungen zeigte. Nachdem sich gezeigt hat, dass diese These für die Ersatzfutterproduktion im Nationalsozialismus eben nicht gilt,[4] soll hier

1 Verarbeitung tierischer Nebenprodukte, www.stn-vvtn.de (5.9.2020).
2 Zu diesem Konzept vgl. Thoms, Anstaltskost, 2005.
3 Wengenroth, Flucht, 2002.
4 Thoms, Wertvolles, 2016.

nun untersucht werden, wie es sich im Falle des Tierfutters aus Kadavern verhält, das im Ersten Weltkrieg produziert wurde. Es ist zu fragen, ob die damalige Produktion von Tiermehl katalytische Wirkungen für die spätere Entwicklung der Futtermittelindustrie entfaltete oder ob die Nutzung dieses Rohmaterials unter Friedensbedingungen wieder aufgegeben wurde. Dazu setzen sich die folgenden Ausführungen insbesondere mit der Geschichte des 1916 gegründeten Kriegsausschusses für Ersatzfutter und seinen Bemühungen um Produktionssteigerung und Popularisierung des Tiermehls auseinander. Dabei werden die Geschichte des Tiermehls und die Aktivitäten des Kriegsausschusses nicht isoliert betrachtet, sondern in den Kontext der Vor- und Nachkriegsgeschichte des aus Tierkadavern erzeugten Fleischmehls eingeordnet.

Die Ernährungswirtschaft im Ersten Weltkrieg

Bekanntlich war das Deutsche Reich auch bezüglich der Nahrungsmittelversorgung völlig unvorbereitet in den Ersten Weltkrieg gezogen. Das sollte sich rächen: Schon im letzten Quartal des Jahres 1914 begannen die Preise für die rasch knapper werdenden Lebensmittel zu steigen. Der Staat reagierte zunächst nur mit dem Höchstpreisgesetz vom 4. August 1914 und der Kontrolle der Klein- und Großhandelspreise. Dazu wurden in Gemeinden mit mehr als 100 000 Einwohnern Preisprüfungsstellen eingerichtet, um Wucher und Schleichhandel zu bekämpfen. Die Hoffnungen auf eine Lenkung des Marktes erfüllten sich freilich nicht. Erst mit dem 25. Januar 1915 setzte eine systematische Erfassung und Verteilung von Lebensmitteln ein, die zunächst nur Brotgetreide und Mehl umfasste und ab Oktober 1915 auf Kartoffeln[5] und ab April 1916 auf alle Grundnahrungsmittel ausgedehnt wurde.[6]

Die gesamte Kriegsernährung baute auf den Grundnahrungsmitteln Brot und Kartoffeln auf. Folglich war Fleisch nicht nur Nahrung, vielmehr war das Vieh auch ein Konkurrent um die schnell knapp werdenden Nahrungsressourcen. Denn ein Großteil der Futtermittel wurde importiert. So stammten 95 % der Futtergerste aus Russland. Als diese Importe mit Kriegsbeginn entfielen, entstand ein beträchtlicher Versorgungsengpass. Daher war schon am 31. Juli 1914, also noch vor Kriegsausbruch, ein Ausfuhrverbot für Brotgetreide verfügt worden. Am 4. August 1914 wurden Höchstpreise für Getreide festgesetzt, am 28. Oktober das Verfüttern von mahlfähigem Brotgetreide verboten.[7] Zwei Tage später verfügte das Ministerium für Landwirtschaft, Domänen und Forsten, dass Schlachthöfe das Blut der Schlachttiere zu sammeln und zu Blutmehl zu verarbeiten hätten. Ende des Jahres wurden alle Haushalte verpflichtet, Küchenabfälle zu sammeln, um sie als Futtermittel zu nutzen.[8]

5 Bekanntmachung des Bundesrates vom 9.10.1915.

6 Skalweit, Kriegsernährungswirtschaft, 1928; Aeroboe, Einfluss, 1927, S. 76–77.

7 Das Ausfuhrverbot wurde geregelt mit der Verordnung vom 31.7.1914, Reichsgesetzblatt (künftig zitiert als: RGBl) 1914, S. 260; die Höchstpreise mit Gesetz vom 4.8.1914, ebd., S. 339; das Verbot des Verfütterns von mahlfähigem Brotgetreide während des Krieges mit Bekanntmachung vom 28.10.1914, ebd., S. 460. Am 5.1.1915 wurde das Verfüttern von Brotgetreide, Mehl und Brot generell verboten, RGBl 1915, S. 6.

8 Lanzerath, Verwertung, 1938.

Gleichzeitig stellten statistische Erhebungen aus dem Jahr 1914 ein grobes Missverhältnis zwischen den verfügbaren Futtermengen und der Anzahl der Schweine fest. Auf behördliche Anordnung wurden daher Anfang 1915 fünf Millionen Schweine geschlachtet, um die Ernährungsbilanz auszutarieren. Freilich zeigten sich schnell die fatalen Folgen dieses Schweinemordes:[9] Der Schweinebestand sank von rund 25 Millionen Tieren im Jahr 1914 auf 17 Millionen im Jahr 1915, also annähernd um ein Drittel, wodurch auch der Futterbedarf zurückging. Doch infolge des Schweinemords stand den Verbraucherinnen und Verbrauchern nicht nur weniger Fleisch, sondern auch weniger Fett zur Verfügung. Wegen der ausbleibenden Importe von Chilesalpeter fehlte der Landwirtschaft zudem der wichtige Dünger. Nachdem die Fleischpreise wegen des Überangebots an Konservenfleisch zunächst gefallen waren, begannen sie durch den vom Schweinemord verursachten Mangel an Schlachtvieh dramatisch zu steigen, so dass Ende 1915 ein Höchstpreis für Schweinefleisch festgesetzt werden musste.[10] Infolgedessen entwickelte sich ein lebhafter Schwarzmarkt.

In dieser Situation wurden alle denkbaren Futterreserven mobilisiert und auf Initiative des Landwirtschaftsministeriums 1916 der »Kriegsausschuss für Ersatzfutter« gegründet. Zu dessen Aufgaben zählten auch die Verfahren zur Futterherstellung aus einheimischen Stoffen, deren Fabrikation in die Wege geleitet werden sollte. Von vornherein war vorgesehen, dass er auch die Finanzierung entsprechender Vorhaben übernehmen sollte. Diese Aufgabenstellung spiegelt sich in der Zusammensetzung dieses Ausschusses wieder. Die organisatorische Federführung hatte Dr. Eberhard Ramm (1861–1935) vom Landwirtschaftsministerium, Direktor war jedoch Bankdirektor Schroeder, außerdem gehörten ihm Vertreter der Reichsfuttermittelstelle, der Bezugsvereinigung der deutschen Landwirte, Franz Lehmann (1860–1942) von der landwirtschaftlichen Versuchsstation Göttingen, Max Delbrück (1850–1919) vom Institut für Gärungsgewerbe in Berlin sowie Nathan Zuntz (1847–1920) von der Landwirtschaftlichen Hochschule an.

Die Gründung dieses Ausschusses war eine vergleichsweise späte Reaktion auf die wachsenden Probleme der Nahrungsmittelversorgung. Wohl war schon am 13. August 1914 die Kriegsrohstoffabteilung unter Walther Rathenau (1867-1922) gegründet worden, die die Erfassung und Verteilung kriegswichtiger Rohstoffe und die Produktion von Ersatzstoffen organisierte. Unter ihrem Dach sollten im Laufe des Kriegs schließlich 300 »kriegswirtschaftliche Rohstoffe« bewirtschaftet werden, was vor allem eine Steuerung über Preise, aber auch den Einstieg in die Eigenproduktion bedeutete.[11] Für die Bewirtschaftung der einzelnen Rohstoffe bzw. Rohstoffgruppen waren zahlreiche Kriegsausschüsse und Zentralstellen zuständig, die zeitweise bis zu 30 000 Angestellte beschäftigten. Die Koordination all dieser verschiedenen Organisationen war aufwendig, zumal sie oftmals miteinander konkurrierten. Das letzte Wort bei der Verteilung der Lebensmittel

9 Dazu Skalweit, Schwein, 1917, S. 9ff, 34ff; Skalweit, Kriegsernährungswirtschaft, 1928, S. 83ff; Roerkohl, Hungerblockade, 1991; Regulski, Klippfisch, 2012, S. 55–61, Güll, »Schweinemord«, 2004.

10 Hartewig, »Anarchie«, 1991.

11 Vgl. Schreyer, Kriegswirtschaftsorganisationen, 1985, S. 185, dort zitiert: Goebel, Rohstoffwirtschaft, 1930, S. 10.

hatten die Kommunen, so dass die Versorgung im Reich höchst unterschiedlich ausfiel. Das Kriegsernährungsamt, das alle Bemühungen reichsweit bündeln und koordinieren sollte und der Ungleichbehandlung hätte entgegenwirken können, wurde aber erst im Mai 1916 gegründet,[12] während im Herbst 1916 das »Hindenburg-Programm für die Erzeugung von Heeresbedarf« in Kraft trat. Dieses sollte im Interesse der Schwerindustrie neue Kriegswirtschaftsorganisationen schaffen und die vorhandenen straffer organisieren. Daraus entstand im Oktober 1917 unter anderem das Reichswirtschaftsamt.

Rückblende: Die Produktion und Nutzung von Fleisch- und Tiermehl vor 1914

Vor dem Hintergrund der rasch prekär werdenden Ernährungssituation stellte die Verbesserung der Futtermittelversorgung eine ganz zentrale Aufgabe dar, nicht zuletzt deswegen, weil die Versorgung mit dem Statussymbol Fleisch die Stimmung an der Front und in der Heimat stark beeinflusste. Daneben ging es aber auch um die Versorgung mit Fett und Milch. Die Verwertung von Kadavern zur Herstellung von Tier- und Knochenmehl war allerdings keine aus der Not der Stunde geborene Augenblicksidee, sondern eine lang zurückreichende Praxis, die in der ernährungsphysiologischen Wertschätzung tierischen Eiweißes begründet war. Vor allem der Chemiker und Ernährungsforscher Justus Liebig (1803–1873) hatte immer wieder die Bedeutung tierischen Eiweißes propagiert und betont, dass Masttiere ohne Zufuhr von genügend Eiweiß kein Fleisch ansetzen. Ein findiger deutscher Ingenieur machte sich Liebigs Bekanntheit zunutze. Er ließ seit 1863 in Argentinien aus dem dort reichlich und zu niedrigen Preisen verfügbaren Rindfleisch Fleischextrakt herstellen und verkaufte ihn unter der werbewirksamen Bezeichnung »Liebigs Fleischextrakt«. Dabei wurde auch das ausgekochte Fleisch verwertet, also getrocknet, gemahlen und als Liebig'sches Fleischfuttermehl mit einem Rohproteingehalt zwischen 68,9 und 77,77 % in den Handel gebracht.[13] Insgesamt wurden davon in den 1870er Jahren immerhin 612 000 t produziert und vor allem an die allesfressenden Schweine, aber auch an Pflanzenfresser verfüttert. Die Produktion des Fleischmehls aus Reststoffen ging nicht mit der Beschränkung seiner Nutzung für die Tierernährung einher. Hintergrund dafür war eine primär chemisch-physiologische Sicht auf den Ernährungsprozess, der vorrangig in naturwissenschaftlicher und ökonomischer Perspektive betrachtet wurde. Hier kam es darauf an, den Nahrungsbedarf mit möglichst geringem Aufwand zu befriedigen. Dazu wurden auch unkonventionelle Ideen entwickelt, um die Belastungen von Staat und Kommunen durch die Ernährung von Anstaltsinsassen zu verringern. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die epochemachenden Versuche des französischen Mediziners und Physiologen François Magendie (1783–1855) zur Verwendung von Gelatine aus Abfallknochen in den Pariser Armenanstalten zu nennen, mit denen die Rolle und Bedeutung der Proteine in der Ernährung erstmals wissen-

12 Bekanntmachung des Bundesrates vom 22.5.1916, RGBl. 1916, S. 402.

13 Dazu: Schenke, Fleischfuttermehl, 1903, S. 36–54. Ein Überblick über die frühe Tiermehlproduktion, der allerdings die Entwicklung im Ersten Weltkrieg und die Zeit nach 1950 nicht thematisiert, bei Spiekermann, Fleisch, 2001.

schaftlich nachgewiesen konnte,[14] sowie die Bemühungen jener Ernährungsreformer, die Fleischmehl zur Aufbesserung der Eiweißversorgung einführen wollten. Die entsprechenden Produkte wurden vorrangig an Soldaten und Gefängnisinsassen geprüft[15] und waren als »Carne pura« oder als Fleischmehl im Handel.[16] Allerdings stellten alle bisher erwähnten Produkte qualitativ hochwertige Markenprodukte dar und wurden auch als solche beworben. Zwar waren sie aus Resten, aber nicht aus minderwertigen Überbleibseln hergestellt, sondern aus Resten von hochwertigem, reinem Muskelfleisch. Da die Produktion an Orten stattfand, an denen Fleisch massenhaft erzeugt wurde, stand das Ausgangsprodukt billig zur Verfügung. Entsprechend niedrig sollte der Preis des Endproduktes gehalten werden. Doch durch das recht aufwendige Herstellungsverfahren war Fleischmehl nicht billig, so dass der wirtschaftliche Erfolg begrenzt blieb: Für die Tierernährung war es zu teuer, während Menschen ein Stück Fleisch auf dem Teller dem Mehl vorzogen.

Die Situation erwies sich beim Kadavermehl anders. Es fiel im Zuge der Mechanisierung der Abdeckereien an. Abdecker, regional auch Wasenmeister genannt, hatten die unappetitliche Aufgabe, das Fleisch gefallener oder getöteter Tiere durch Verscharren oder Verbrennen zu entsorgen, um auf diese Weise die Verbreitung gefährlicher Krankheitserreger zu verhindern.[17] Ihre Tätigkeit ging mit erheblichen Geruchsbelästigungen einher, weswegen die Abdeckereien weit vor den Toren der Stadt lagen. Doch mit dem Wachstum der Städte und der Bevölkerung, mit der Zunahme des Lebensstandards und des Fleischverzehrs fielen in den Schlachthöfen immer größere Mengen an Schlachtabfällen an, die auf diese Weise nicht mehr zu bewältigen waren. Zudem wies die moderne Bakteriologie nach, wie langlebig die Erreger von Tuberkulose und Milzbrand auch im Boden sind, so dass die Desinfektion der Abfälle notwendig erschien.[18]

Neue technische Apparaturen, wie sie vor allem in den seit den 1870er Jahren errichteten modernen Schlachthäusern zum Einsatz kamen, versprachen sowohl größere Sicherheit als auch rationellere und rentablere Verfahren, mit denen sich größere Mengen Schlachthausabfälle verarbeiten ließen.[19] In dem 1882 eingeführten Kafilldesinfektor von Rietschel & Henneberg in Berlin wurde das Rohmaterial beispielsweise bei Temperaturen von bis zu 130 Grad und unter 4 bis 5 Atmosphären Druck gekocht. Der Dampf wurde abgeführt und kondensiert, das Fett extrahiert und für technische Zwecke verwendet. Was dann noch übrig blieb, war ein geruchfreies Fleisch- und Knochenmehl, das wegen seines Stickstoff- und Phosphorgehaltes zunächst vor allem als Dünger, bald aber auch als Tierfutter Verwendung fand.[20]

14 Thoms, Anstaltskost, 2005, S. 303–304; Stahnisch, Hunger, 2004.

15 Siehe die beiden Bände von Meinert, in denen er über seine Versuche in Gefängnisanstalten und in Kasernen berichtet: Meinert, Armen- und Volksernährung, 1880.

16 Carne pura, 1882; Kux, Carne-pura-Kochbuch, 1883.

17 Zur Geschichte des Gewerbes vgl. Schulz, Entwicklung, 1910; Krayer, Entwicklung, 1954, S. 1–7; zur Praxis vgl. Haefcke, Verwerthung, 1897, S. 6–12.

18 Ebd.

19 Lanzerath, Verwertung, 1938; Schober, Entwicklung, 1949; Haefcke, Verwerthung, 1897, S. 12ff.

20 Krayer, Entwicklung, 1954, S. 58.

Es gab zahlreiche ähnliche Verfahren, die häufig auch patentiert wurden.[21] Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war vor allem das System Podewils erfolgreich, das in den Schlachthöfen von 20 Städten eingesetzt wurde.[22] Es hatte den entscheidenden Vorteil, eine kontinuierliche Verarbeitung der Abfälle zu erlauben, bei der ein zeitaufwendiges Umfüllen vom Koch- in den Trockenapparat entfiel. Allerdings vermied die Firma selbst noch in einer Broschüre aus dem Jahr 1917, mit einer Verwertung des anfallenden Mehls als Tierfutter zu werben, sondern sprach nur von seinem Einsatz als Dünger.[23] Die Fachpresse berichtete freilich schon darüber, dass die »Abdeckereien mit nicht erlahmender Ausdauer« versucht hätten, den früher nur als Düngemittel verwendeten Fleischguano als Futtermittel auf den Markt zu bringen. Dabei wurde auf das Beispiel der Hamburger Abdeckerei verwiesen, die zwischen 1896 bis 1901 erfolgreich 747 639 kg Tierkörpermehl ausschließlich als Futtermittel abgesetzt hatte.[24]

Um den Wert des Tierkörpermehls als Futtermittel zu prüfen, wurden seit dem letzten Drittel des 19. Jahrhunderts zahlreiche Fütterungsversuche unternommen. Dabei ging es vor allem um die Frage, ob das Futter hochwertiges Eiweiß liefere und ob das Eiweiß in Relation zu seinem Futterwert einen angemessenen Preis habe. Ein Problem bestand in der Abneigung insbesondere des Milchviehs gegenüber dem Geruch des Kadavermehls, ein weiteres in den Befürchtungen, dass das Fleischmehl negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Schlachttiere haben und den Geschmack ihres Fleisches und die Gesundheit der Konsumenten beeinträchtigen könnte. Dabei waren die Meinungen durchaus geteilt: Befürworter des neuen Futtermittels betonten die Steigerung der Lebendgewichtzunahme und den höheren Fettgehalt der Milch, seine Gegner dagegen stellten »diese Fütterungsart als einen gewaltsamen Eingriff in die organische Natur der Herbivoren hin und warnte[n] vor den voraussichtlich nicht ausbleibenden schädlichen Einwirkungen.«[25] Tatsächlich kamen die Versuche zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Während Hermann Haefcke in seinem Handbuch des Abdeckereiwesens aus dem Jahr 1906 die Unbedenklichkeit und Nützlichkeit der Verfütterung an Schweine konstatierte,[26] stellte die 1903 erschienene Übersichtsarbeit von V. Schenke fest, dass nur Geflügel, Fische und Schweine das Futter einigermaßen problemlos aufnahmen. Schenke schien zudem der Preis zu hoch, die Qualität zu wechselnd, zumal sie nicht regelmäßig kontrolliert wurde. Hinzu kamen Befürchtungen bezüglich der Verschleppung von Infektionskrankheiten, hatte doch ein Gutachten des Reichsgesundheitsamtes 1901 konstatiert, dass die Verarbeitungsmethoden die Verbreitung gefährlicher Keime nicht vollkommen ausschließe. All diese Nachteile machten den Kauf von Kadavermehl so riskant, dass Überblicksarbeiten empfahlen:

21 Vgl. das englische Patent: Improvements in the Process and Apparatus for Extracting Fat and Ether Constituents from Animal Carcasses vom 9.12.1889, vgl. unter depatisnet.dpm.de (3.3.2014).

22 Schenke, Fleischfuttermehl, 1903, S. 36–54.

23 Siehe die Ausführungen in der Broschüre »Das System Podewils« o.J. [1917].

24 Schenke, Kadavermehl, 1903.

25 Ebd., siehe auch: »Schweinemast«, 1908.

26 Haefcke, Handbuch, 1906, S. 170–173.

> Zur Zeit ist daher nur ratsam, in Bezug auf eine allgemeine Verwendung des Kadavermehles oder Tierkörpermehles – eine andere die Herkunft verschleiernde Bezeichnung ist auszuschließen – eine abwartende Haltung anzunehmen, bis noch weitere einwandfreie, wissenschaftliche Versuche seine wirtschaftliche Rentabilität und seine Unschädlichkeit mit Sicherheit klargestellt haben.[27]

Die landwirtschaftliche Praxis ließ sich von diesen Warnungen aber nicht abschrecken, sie »glaubte nicht an die Gefahr, und man tat recht daran.«[28] Um die Jahrhundertwende bürgerte sich der Einsatz von Tiermehl in der Fütterungspraxis ein und die rechtlichen Regelungen zogen nach. Das am 17. Juni 1911 erlassene »Reichsgesetz betr. die Beseitigung von Tierkadavern« erklärte das Vergraben von Kadavern zur Ausnahme, behandelte das Kochen und Dämpfen der Abfälle und ihre Verarbeitung zu Futtermitteln dagegen als Normalfall.[29] Erleichtert wurde diese Entwicklung durch die Verbesserung der Herstellungsverfahren, wodurch die »riechenden und unangenehm schmeckenden Beimengungen« entfernt wurden. Dies erleichterte es entscheidend, auch Milchvieh an die Aufnahme des Tiermehls zu gewöhnen.[30] Weil es die Aufstellung »rentabler Futterrationen« ermöglichte und sogar noch die »Ausnützung der stickstofffreien Extraktstoffe und des Fettes der Rauhfutterstoffe erhöhte«,[31] weil es also der durchgreifenden Ökonomisierung der Tierhaltung entgegenkam, setzte es sich allmählich in der Praxis durch.

Der Kriegsausschuss für Ersatzfutter und die Eiweißnot

Im Ersten Weltkrieg spielten die früher erhobenen Einwände schon keine entscheidende Rolle mehr. Bedingungslos förderten die Behörden die Kadaververwertung zu Futterzwecken. Sie suchten die Kooperation mit den Produzenten von Maschinen, sie schlossen Produktionsverträge über die Lieferung von Tiermehl, sie überwachten den Markt und erschlossen vorhandene Ressourcen. Für all dies war vor allem der eingangs erwähnte Kriegsausschuss für Ersatzfutter zuständig.

Wie andere Organisationen der Kriegswirtschaft hatte dieser Ausschuss den Status einer Behörde. Der Erlass des Reichskanzlers vom 27. Februar 1916 konstatierte explizit:

> Der Kriegsausschuß für Ersatzfutter G.m.b.H. in Berlin ist aus Anlass des Krieges unter Beteiligung des Reiches und des Preussischen Staates errichtet worden. Unter Mitwirkung von Reichs- und Staatsbeamten soll er dahin wirken, dem herr-

27 Schenke, Kadavermehl, 1903, S. 53.

28 Haefcke, Handbuch, 1906, S. 164.

29 Reichsgesetz betr. die Beseitigung von Tierkadavern, in: RGBl 1911, S. 248, siehe auch die Ausführungsbestimmungen zum Gesetz über die Beseitigung von Tierkadavern vom 29. März 1912, RGBl 1912, S. 230. Wie bei der Verfügung betr. der Ausführungsbestimmungen handelte es sich hierbei um ein Rahmengesetz, welches in den Ländern höchst verschieden ausgelegt und angewandt wurde.

30 Patent Eiweiß- und Fleisch-Extract Cie., 1898.

31 Schenke, Fleischfuttermehl, 1903; Schenke, Kadavermehl, 1903.

> schenden Futtermittelmangel abzuhelfen, und dadurch zur wirtschaftlichen Durchhaltung während des Kriegs beizutragen. Die Tätigkeit des Kriegsausschusses dient der Landesverteidigung, und er steht in Bezug auf die von ihm gegebenen Lieferungsaufträge und die von ihm bei amtlichen Stellen gestellten Anträge einer Reichs- oder Staatsbehörde gleich.[32]

Die Zentralstelle sollte Maßnahmen zur Beschaffung der notwendigen Rohstoffe ergreifen, deren Bezugspreise regeln, Forschungen zum Ausbau oder zur Verbesserung der bekannten Verfahren veranlassen, neu angelegte Fabriken mit Vorschüssen oder Darlehen unterstützen oder selbst Fabrikationsanlagen errichten und schließlich den Absatz durch die Festsetzung der Absatzpreise regulieren.[33] Detailliert wurden die Verfahren benannt, für deren Förderung der Ausschuss zuständig war, nämlich:

> die Herstellung und der Absatz von Futterhefe nach dem Verfahren des Instituts für Gärungsgewerbe, Berlin, die Verfahren der Strohaufschließung nach den Verfahren von Minck, Dr. Oexmann, Franz Lehmann, das Verfahren zur Holzaufschließung von Windesheim, die Vermahlung von Heidekraut zu Futtermehl.[34]

Die Kadaververwertung spielte zunächst also gar keine Rolle, doch zählte nach §3, Absatz 7 der Satzung auch die Herstellung von »Futterstoffen nach etwa noch bekannt werdenden Verfahren«[35] zu den Aufgaben des Ausschusses.

Für die Erledigung des umfangreichen Arbeitsprogramms standen der Zentralstelle immerhin 455 Mitarbeiter zur Verfügung. Sie verteilten sich auf eine Direktion und Rechtsabteilung sowie auf zehn Abteilungen, die jeweils für ein bestimmtes Ersatzfutter zuständig waren.[36] Von Fall zu Fall wurden sie von wissenschaftlichen Experten unterstützt, wie etwa dem späteren Nobelpreisträger Emil Fischer (1853–1919), der ein Verfahren zur Aufschließung von Stroh entwickelte,[37] und dem Tierphysiologen Wilhelm Ellenberger (1848–1929), der zahlreiche Fütterungsversuche durchführte.

Zum Stammkapital des Kriegsausschusses in Höhe von 250.000 Mark hatten das Deutsche Reich und der Preußische Staat (vertreten durch das Finanzministerium) je 100.000 Mark beigetragen, 40.000 Mark kamen von der Bezugsvereinigung der deutschen Landwirte und 10.000 Mark vom Verein der Spiritusfabrikanten Deutschlands. Die Geschäftsführung lag in den Händen eines ehrenamtlichen Ausschusses, der sich vornehmlich aus Vertretern der verschiedenen Ministerien zusammensetzte. Er bestimmte einen hauptamtlichen Geschäftsführer, dessen Vertrag jederzeit kündbar war und fasste

32 Erlass vom 27.2.1916, Bundesarchiv Berlin (künftig abgekürzt als BA Berlin), R 8816/104.

33 Ebd.

34 Kriegsausschuss für Ersatzfutter G.m.b.H. Berlin, Satzungen in der von der Gesellschafter-Versammlung am 3. September 1915 festgesetzten Fassung, Berlin 1916, § 3, BA Berlin, R 8816/13.

35 Ebd.

36 Tätigkeitsbericht Kriegsersatzfutterausschuss 1917, BA Berlin, R 8816/13.

37 Weinberg, Emil Fischers Tätigkeit, 1919.

bei den betreffenden Versammlungen, notfalls auch einmal telegraphisch oder schriftlich, die betreffenden Beschlüsse. Diese bedurften immer der Zustimmung von Finanzministerium und Reichsschatzamt, die im Verwaltungsausschuss vertreten waren.[38]

Zwischen dem 15. Februar 1915 und dem 20. Mai 1921 kam der Verwaltungsausschuss zu insgesamt 54 Besprechungen zusammen. Anfangs traf man sich sogar mehrmals in der Woche; nach Kriegsende fanden die Treffen sporadischer statt, da es nun nur noch um die Abwicklung der Gesellschaft ging. Bis Ende 1915 spielten die im Statut vorgesehenen Arbeitsgebiete und damit die pflanzlichen Ersatzfuttermittel eine entscheidende Rolle. Die Verarbeitung von Kadavern stand erstmals am 18. November 1915 auf der Tagesordnung, nachdem auf der vorangegangenen Sitzung vom 2. November ein Artikel des renommierten Physiologen Nathan Zuntz (1847–1920) debattiert und heftig kritisiert worden war.[39] Zuntz beschäftigte sich seit langem mit dem sogenannten Eiweißminimum; seit Ausbruch des Kriegs gehörte die Sicherung der Volksernährung zu seinen Arbeitsgebieten. Im Jahr 1915 veröffentlichte er im Verlag der Zentral-Einkaufsgesellschaft die sechzehnseitige Broschüre »Besteht eine Eiweißnot?«[40] Darin legte er dar, dass die bisherigen Eiweißminima zu hoch gegriffen seien. Dementsprechend trat er schon im ersten Kriegsjahr für eine massenhafte Schlachtung der Schweine ein, wie sie 1915 mit dem erwähnten Schweinemord dann auch in die Tat umgesetzt wurde. Mit diesen Ratschlägen war er keineswegs allein; vielmehr demonstrierte der Erfolg der Dänen bei der Konzeption ihrer Kriegsernährung, dass die Ratschläge durchaus Sinn machten. Sie hatten die Ratschläge des Ernährungsreformers Mikkel Hindhede (1862–1945) beherzigt, mit bestem Erfolg.[41]

Für Vertreter der Landwirtschaft, die von der Fleischerzeugung lebten, waren diese Thesen unannehmbar. Die Teilnehmer der Sitzung empörten sich, eine hinreichende Fütterung nach den Normen von Zuntz sei nicht möglich, weil das nötige Futter nicht mehr erhältlich sei, zudem rate Zuntz zum Ausweichen auf Futtermittel, die es schon gar nicht mehr gebe.[42] Der Vorsitzende des Ausschusses hielt es für unangebracht, »daß Professoren staatlicher Institute in dieser Weise gegen Unternehmungen, die vom Staate gefördert werden, auftreten«. Andere Behördenvertreter forderten, Kritiker sollten ihre Meinung gegenwärtig nicht in der Öffentlichkeit, sondern in nur Fachkreisen zugänglichen Denkschriften niederlegen.[43] Der Vertreter der Reichsfuttermittelstelle fragte, ob es nicht möglich sei, in der Öffentlichkeit den Gegenbeweis anzutreten. Andere schlossen sich der Meinung an, eine theoretische Polemik sei nutzlos, doch müsse eine Widerlegung erfolgen, »damit nicht einzelne Regierungsstellen stutzig werden, zumal es sich

38 Tätigkeitsbericht des Kriegsersatzfutterausschusses 1917, BA Berlin, R 8816/13.

39 Eine kurze Biographie unter: http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/people/data?id=per397 (5.9.2020).

40 Zuntz, Eiweißnot, o.J. [1915].

41 Overgaard, Mikkel Hindhede, 2011.

42 Protokoll der 17. Sitzung des Kriegsausschusses für Ersatzfutter vom 2. November 1915, BA Berlin, R 8816/11, BA Berlin, R8816/11.

43 Ebd.

um anerkannte Ernährungsphysiologen handelt.«[44] Zwei Ausschussmitglieder erklärten sich zu entsprechenden Publikationen bereit. Der erste von ihnen war Ferdinand Jost von Lochow (1884–1931),[45] der zweite Felix Hoesch (1866–1933), der einen Artikel für die Neue Preußische (Kreuz)Zeitung verfasste und eine Broschüre konzipierte, die sich bald zu einem Buch von 185 Seiten auswuchs. Sein Wort hatte besonderes Gewicht, war er doch Mitglied der zweiten Kammer des preußischen Landtages, aber auch Ingenieur und Agrarwissenschaftler, Autor zahlreicher einschlägiger Fachbücher und Mitglied vieler wissenschaftlicher Vereinigungen für Züchtungskunde.[46] Entsprechend herzlich bedankte sich der Ausschussvorsitzende Ramm persönlich für die Publikationen, »die den Kriegsausschuss ins richtige Licht stellen, damit die unglaubliche Auffassung unserer 3 Freunde aus dem wissenschaftlichen Lager hinreichend gekennzeichnet wird und wir die zur Arbeit erforderliche Ruhe endlich genießen dürfen.«[47]

Das Buch setzte mit einem breiten Überblick über Industrie und Landwirtschaft ein, enthielt ein Kapitel »Deutsche Organisationskunst« und endete mit einem Ausblick, der auf die verständnisvolle Handelspolitik, Neuschöpfungen der Wissenschaft sowie Erfahrungen im Eigenbetrieb zur Sicherung der Nahrungsmittelversorgung abhob. Es endete mit dem Appell:

> Ein Entfremden zwischen den Erzeugern und Verbrauchern darf sich nicht festnisten. Denn geeint müssen die Daheimgebliebenen dem Volk in Waffen jubelnd entgegentreten, wenn die Millionen ruhmgekrönt wiederkehren, sie werden durchhalten in Kampf und Not, sie werden siegen.[48]

Zunächst befasste sich der Ausschuss lediglich mit Strohfutter, Heidemehl, Hefe, Holzfutter und diskutierte verschiedene Verfahren sowie die mit Produzenten geschlossenen Verträge. Die erwähnte Publikationsaffäre brachte Schwung in die Frage der tierischen Ersatzfuttermittel, so dass sich der Ausschuss schließlich am 18. November 1915 erstmals ausführlich mit der Herstellung von Kraftfutter aus Leimleder beschäftigte.[49]

44 Ebd.
45 Aufhammer, Lochow, 1987.
46 Zu Hoeschs Biographie vgl. Abgeordnete in den norddeutschen und deutschen Reichstagen 1867–1918; Löwe, Hoesch, 1966; Seelig, Ökonomierat Hoesch, 2008.
47 Ramm an Hoesch, 30.11.1915, BA Berlin, R 8816/1, Bl. 153.
48 Hoesch, Die wirtschaftlichen Fragen, 1916.
49 Ebd.

Tabelle1 Produktion und Produktionsplanung für Ersatzfuttermittel des Kriegsersatzfutterausschusses im Mai 1916

Futterart	Zahl der Fabriken am 15. Mai 1916			Produktion			
	Fertig	Im Bau	In Planung	Bis 15. Mai 1916 erzeugt	Ab 15. Mai 1916 zu erwartende Mengen	Voraussichtliche Gesamterzeugung bis Ende Mai 1916	Voraussichtliche Gesamterzeugung 1917
Futterhefe	5	9		90	Unbestimmt	30 000	72 000
Strohkraftfutter	6		20	Ca. 6000	6000	60 000	100 000–500 000
Heidemehl I (Blätter, Blüten, Früchte)	9	11	Unbestimmt	Ca. 650	600–1000	6000	120 000
Heidemehl II (halb und ganz verholzte Stengel)				Ca. 150	400–7000	3000	6000
Leimkraftfutter	9	6			Ca. 1000–2000	Ca. 8000–10 000	10–12000
Blutmehl	2	23	„zahlreiche“	Ca. 400			17 000–18 000
Tierkörpermehl	6	20	„zahlreiche“				„schwer schätzbar“
Fleischmehl			„zahlreiche“				„schwer schätzbar“
Darmschleimfutter			„zahlreiche“				„schwer schätzbar“
Pansentrockenfutter			„zahlreiche“				„schwer schätzbar“
Scheidemandel Eiweißersatz	3		„zahlreiche“	Ca. 1250	366	Ca. 3700	4000–5000
Blutfutter der Hannoverschen Kraftfutterfabrik Hämelerwald	1		„zahlreiche“		500	3500	6000
Hafer-Ersatzschrot Sonnenfeld						Noch nicht zu bestimmen	
Verschiedene Knochenfuttermittel			Ca. 14		3500	22 000	45 000
Miesmuschelmehl		In Vorbereitung				50 000	
Getrocknete Weintrester	1					9500	5000
Getrocknete Apfeltrester							15 000
Schilf							
Seegras, frisch	In Vorbereitung						
Seegrasmehl							
Seetang							
Holzfutter nach versch. Verfahren	2					unbestimmt	„wahrscheinlich einige Tonnen“
Sulfitfutter	1					Unbestimmt	„wahrscheinlich einige Tonnen“
Pressfutter	1		3			50 000	

Quelle: BA Berlin, R 8816/13, Bl. 9.

Leimlederkraftfutter

> Leimleder ist die in Gerbereien anfallende, überwiegend aus Bindegewebe bestehende, fettreiche untere Hautschicht mit Hautmuskulatur und etwa anhaftenden Muskelstücken, die bei den Vorbereitungen zum Gerben der Häute entfernt und im Wesentlichen zur Bereitung von Leim benutzt wird.[50]

Mit diesem Produkt beschäftigte sich eine Denkschrift, die niemand anderes als Andreas Hermes (1878–1964) verfasst hatte. Hermes war studierter Landwirt. Er hatte beim renommierten Tierzüchter Johannes Hansen (1863–1938) in Poppelsdorf studiert, 1905 in Jena promoviert, bevor er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an die Tierzuchtabteilung der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft in Berlin ging. 1911 wurde er dann als Direktor der landwirtschaftlichen Abteilung am Internationalen Landwirtschaftsinstitut in Rom berufen. Doch mit Kriegsausbruch kehrte er nach Deutschland zurück, wo er zunächst im stellvertretenden Generalstab, dann in verschiedenen Funktionen der Kriegsernährungswirtschaft tätig war.[51]

Leimleder war besonders deswegen als Eiweißquelle interessant, weil es »bisher weder als Nahrungsmittel benutzt, noch in der einen oder anderen Form der Landwirtschaft dienstbar gemacht worden« war.[52] Zwar diente es der Lederleimindustrie als Rohstoff. Doch deren Produkte fanden infolge des Kriegs keinen Absatz und mussten teuer eingelagert werden. Daher stand weder zu befürchten, dass die Kriegsproduktion dieser Industrie Konkurrenz machen, noch, dass ein Mangel an diesem Rohstoff auftreten würde. Allerdings fürchtete man Spekulationen und hielt deswegen die Festsetzung von Höchstpreisen und die Regelung von Produktionsbedingungen für nötig. Wie berechtigt dies war, zeigte sich im Kriegsverlauf, in dem die für die Futterproduktion verfügbaren Mengen zunächst kontingentiert und dann reduziert wurden. Das Potential dieses Produkts wurde auf 1000 Waggons im Jahr geschätzt. Angesichts von 21 Millionen zu fütternden Schweinen war dies ein Tropfen auf den heißen Stein, doch zielte die Verordnung nur darauf, das Durchhalten bis Kriegsende zu erleichtern.

Bevor der Kriegsausschuss aktiv in die Förderung des Leimkraftfutters einstieg, untersuchte er eingehend dessen physiologisches und wirtschaftliches Potential und die Bedeutung verschiedener Produktionsmethoden. Sein Urteil fasste er in einer 13seitigen Denkschrift zusammen, der jeweils drei bis vier Gutachten nach der Prüfmethode von

50 Vgl. die Bekanntmachung über den Verkehr mit Leimleder vom Dezember 1915, BA Berlin, R 8816/104, Bl. 6. Siehe auch die heutige Definition unter: http://www.lederzentrum.de/wiki/index.php/Leimleder (13.7.2018)

51 1919 übernahm Hermes die Leitung der Abteilung Land- und Forstwirtschaft im Reichswirtschaftsministerium, 1920 die Leitung des nach seinem Konzept neu aufgebauten Reichsministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, das er aber nach kurzer Zeit schon wieder abgab, vgl. Haushofer, Hermes, 1969. Diese Denkschrift ist im Bestand des Ausschusses für Kriegsersatzfutter nicht auffindbar. Hier findet sich nur die Denkschrift »Ersatzfuttermittel« vom 9.10.1916, eine Denkschrift »Die nächsten Aufgaben des Kriegsausschusses« vom 15.6.1916 sowie eine nicht betitelte Denkschrift vom 1.11.1918 über die Aufgaben des Kriegsausschusses nach Friedensschluss, vgl. BA Berlin, R 8816/104, 41–48.

52 Bekanntmachung über den Verkehr mit Leimleder vom Dezember 1915, a.a.O.

Bader, Leffer und Röhm & Haas beigegeben waren.[53] Diese Gutachten stammten von verschiedenen landwirtschaftlichen Kontroll- und Versuchsstationen (Möckern, Wien, Brandenburg, Rheinpreußen), dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Landwirtschaft in Bromberg, dem Tierphysiologischen Institut der Königlichen Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin und nicht zuletzt vom renommierten Dresdener Veterinärphysiologen Wilhelm Ellenberger (1848–1929),[54] der ausgedehnte Fütterungsversuche an allerdings nur wenigen Schweinen durchführte.[55] Demnach stellte es mit rund 60 % Rohprotein ein sehr gutes Kraftfuttermittel von gleichem Nährwert wie Bohnen und Wickenschrot dar. Das größte Hindernis bei der Verwendung des Leimleder-Kraftfutters war sein Geruch, der bei den Tieren zur Ablehnung des Futters führte und von dem man fürchtete, es werde auf das produzierte Fleisch übergehen. Doch nach Ellenbergers Erfahrung ließ sich dieses leicht abstellen, indem man die Tiere direkt vor der Schlachtung mit anderem Futter ernährte.[56] Andere Experimentatoren erkannten zwar den hohen Proteingehalt an, betonten aber, die Leimsubstanz könne allenfalls eiweißsparend wirken, weswegen der Preis viel zu hoch sei.[57]

Diese physiologischen Überlegungen wurden durch umfangreiche Erkundigungen über die verfügbaren Mengen und Preise sowie eingehende Prüfungen der wirtschaftlichen Möglichkeiten dieses Futters ergänzt.[58] Der projektierte Preis von 62 Mark pro Doppelzentner galt als hoch. Trotzdem hatte Leimlederfutter den Ruf eines Umsatzgenerators, weil die Genossenschaften »jeden Posten glatt abnehmen«. Es flossen also auch Überlegungen zur Verfügbarkeit des Rohstoffes ein, »auf dem Wege der Gesetzgebung den Rohstoff [...] in die Hand bekommen« zu können, weil die Preise, die bei Verarbeitung auf Futter gezahlt wurden, deutlich über denen lagen, die bei Verarbeitung auf Ammoniak zu erzielen waren. Für den Fall, dass die Futterpreise die Mast nicht mehr lukrativ erscheinen ließen, war der Ausschuss aber auch bereit, die Schweinehöchstpreise heraufsetzen.[59] Schließlich verhandelte der Ausschuss am 2. November 1915 mit Carl Ewald, der drei einschlägige Patente besaß, über eine Erfinderentschädigung für den Inhaber, über eine Lizenzgebühr, die Bereitstellung von Rohmaterial und schließlich über eine Versuchsphase.

Nur zwei Wochen später, am 30. November 1915, wurde ein weiterer, ganz ähnlicher Lizenzvertrag zum Verfahren Baader geschlossen. Dieses lieferte zwar ein gröberes Futter, eignete sich aber besser für kleinere Betriebe. Zudem standen täglich 6 bis 7 Waggons dieses Produkts bereit. Vorangegangen waren Fütterungsversuche der Physiologen Fingerling und Zuntz mit 300 Doppelzentnern. Sie wiesen einen Rohproteingehalt von 65 %

53 Vgl. die »Denkschrift über die Verarbeitung von Leimleder als Futtermittel« und den Anhang »Chemische Analysen, Ergebnisse von Ausnützungs- und Verdauungsversuchen des nach dem Verf[ahren] von Bader, Leffer und Röhm & Haas hergestellten Leimkraftfutters«, BA Berlin, R 8816/104, 18.

54 Stürzbecher, Ellenberger, 1959, S. 453.

55 Ellenberger/Grimmer, Fütterungsversuche,1915; dies., Neue Versuche, 1916; dies., Neue Versuche, 1917.

56 Ellenberger/Grimmer, Fütterungsversuche, 1915, S. 373–374.

57 Ueber Leimkraftfutter, 1917, S. 144.

58 Vgl. undatierte »Denkschrift über die Verarbeitung von Leimleder als Futtermittel«, BA Berlin, R 8816/104.

59 Vgl. Protokoll der 18. Sitzung des Kriegsausschusses für Ersatzfutter vom 18.11.1915, BA Berlin, R 8816/11.

nach, doch traten bei den Versuchstieren Nierenstörungen auf, derentwegen die Rationen des Baaderschen Produktes verringert werden mussten. Das Verfahren wurde auch deswegen empfohlen und angewandt, weil das Produkt für den Kriegsausschuss rentabel war. Denn der Ausschuss kaufte Leimlederfutter für 52 Reichsmark pro Doppelzentner, verkaufte es aber für 56 Mark an die Bezugsvereinigung. Von der Differenz erhielt der Erfinder eine Mark Lizenzgebühr, der Rest ging an den Ausschuss. Die Bezugsvereinigung wiederum verkaufte den Doppelzentner schließlich für 60 Mark an die Landwirte. Mit anderen Worten: Die beteiligten Stellen handelten nicht selbstlos, sie wirtschafteten in die eigene Tasche; es ging nicht allein um die Behebung von Not, vielmehr war das ganze Vorgehen »rein auf den wirtschaftlichen Gedanken abgestimmt.«[60] Ganz offen konstatierte schon die Denkschrift über »Die nächsten Aufgaben des Kriegsausschusses« vom 15. Juni 1916:

> Wo nun gar Not eine Zwangslage schafft, wird der Preis fast zur Nebensache, wenn nur Betriebsmittel überhaupt geboten werden. Von dieser Sachlage kann und muss der Kriegsausschuss so gut Gebrauch machen, wie jeder private Erwerbsmann, er wird die Lage benutzen, um die teueren Anlagen, die er ins Leben ruft, nach Kräften und rasch zu amortisieren.[61]

Scheidemandel-Eiweißersatz

Mit 73 Mark pro Doppelzentner wurde für Scheidemandel-Eiweißersatz ein noch deutlich höherer Preis fällig.[62] Da der Proteingehalt des Scheidemandel'schen Futters auf 80 % beziffert wurde, wovon 95 % als verdaulich bezeichnet wurden, galt dieser Preis aber als gerechtfertigt.

Auch hier veranlasste der Kriegsauschuss ausgedehnte Versuche, die 1916 unter anderem am Landwirtschaftlichen Institut Königberg, auf der akademischen Gutswirtschaft Dikopshof sowie der Königlichen Versuchsstation Hohenheim durchgeführt wurden,[63] allerdings erst, nachdem im Februar 1916 ein Liefervertrag mit der Firma geschlossen worden war.[64] Auffällig ist die Oberflächlichkeit der Versuche, so dass sich vermuten lässt, dass sie eher als eine Pflichtübung durchgeführt wurden. Angesichts der großen Futtermittelnot scheint jedes Mittel im Kampf gegen diese recht gewesen zu sein und selbst Zuntz' Hinweis auf Nierenstörungen durch zu große Rationen führte nicht zu

60 Verhandlungsbericht über die 20. Sitzung des Kriegsausschusses für Ersatzfutter vom 30.11.1915, BA Berlin, R 8816/9. Ähnliche Vereinbarungen wie für das Bader'sche Futter wurden für das Leffer'sche Leimkraftfutter getroffen. Es stellte ein feineres Produkt dar, doch konnte die Methode wegen des höheren apparativen Aufwands nur in größeren Betrieben eingesetzt werden.

61 Die nächsten Aufgaben des Kriegsausschusses, 15.6.1916, in: BA Berlin, R 8816/1, Bl. 7.

62 Vgl. das Gutachten von Zuntz zum Leimkraftleder, BA Berlin, R 8816/104.

63 Vgl. die Zusammenstellung der Versuchsergebnisse, BA Berlin, R 8816/104; Vorläufige orientierende Versuche, 1916.

64 Siehe Protokoll der 27. Sitzung des Kriegsausschusses für Ersatzfutter vom 17.2.1916, BA Berlin, R 8816/9.

weiteren Nachprüfungen. Man vermied diese Nebenwirkung durch die Verminderung der Rationen. Der Vertrag, den der Ausschuss mit der Herstellerfirma schloss, sicherte ihr die Belieferung mit 150 000 Doppelzentnern Knochen zu; im Gegenzug verpflichtete sich die Firma zur Ablieferung von 60 000 Doppelzentnern Futter.[65]

Dieses Produkt ist ein interessanter Fall, da es sich bei diesem von der Aktiengesellschaft für Chemische Produkte, vormals H. Scheidemandel, hergestellten Futter um ein Markenprodukt handelte, das Gegenstand einer ausgedehnten Diskussion um die Monopolisierung der Produktion wurde und zum Vorwurf der Bevorzugung führte.[66] Darüber zeigte sich die Firma sehr erzürnt. Sie betonte, dass sie »die Pionierarbeiten für die Herstellung der Ersatzfutter aus Knochen und Leimleder geleistet« habe und preislich weit unter den Preisen liege, die der Kriegsausschuss nach anderer Seite bewilligt hatte.[67] Weil sie sich in ihrer geschäftlichen Ehre gekränkt und in ihrem Ansehen gefährdet sah, rief die Gesellschaft das im Vertrag vereinbarte Schiedsgericht an, um die üble Nachrede zu unterbinden. Schließlich wurde der Konflikt beigelegt.[68]

Aus einer Aufstellung des Ausschusses über Investitionen in die verschiedenen Kraftfutter geht hervor, dass die Firma Scheidemandel tatsächlich acht Millionen Reichsmark investiert hatte, die sich allerdings als Fehlinvestition erwiesen. Denn ihre insgesamt elf Fabriken erreichten die für 1917 vorgesehene Erzeugung von 8400 t nicht einmal annähernd. Zwar gelang es zwischen 1916 und 1917, die Produktion des Scheidemandel-Eiweißersatzes von 1389 auf 2800 t zu steigern. Doch schon 1918 war sie mit 44 t nahezu ohne Bedeutung.[69]

Tiermehl

Mochte es die Produktion von Tiermehl auch erst spät auf die Tagesordnung des Ausschusses für Kriegsersatzfutter geschafft haben, zählte es zweifellos zu den Zukunftsprojekten des Ausschusses. Denn zu den vorhandenen sechs Fabriken sollten zwanzig weitere hinzukommen. Konkret umgesetzt wurden zuerst die Pläne zur Verwertung von im Felde gefallener Tiere. Sie waren schon von der Kriegsrohstoffabteilung diskutiert worden, bevor sie am 22. Dezember 1915 auf der Agenda des Kriegsausschusses standen.[70] Vorangegangen waren gemeinsame Versuche des Ausschussmitglieds Müller mit dem Physiologen Schmidt in Halle. Deren Resultate veranlassten den Ausschuss, über

65 Vertrag Aktiengesellschaft chem. Produkte vormals H. Scheidemandel mit Kriegsausschuss für Ersatzfutter GmbH, 2.6.1916, BA Berlin, R 8816/104.

66 Die einschlägige Presse berichtete immer wieder über die Firma, vgl. Aktiengesellschaft, 1917, S. 33; S. 64–65; Der Scheidemandel-Konzern, 1912.

67 Aktiengesellschaft für chem. Produkte vormals H. Scheidemandel an Vorstand des Kriegsausschusses für Ersatzfutter GmbH, 9.8.1917, BA Berlin, R 8816/104.

68 Aktiengesellschaft für chem. Produkte, vormals H. Scheidemandel an Vorstand des Kriegsausschusses für Ersatzfutter, 17.8.1917, ebd.

69 Tätigkeitsbericht 1918, BA Berlin, R 8816/3; Unterlagen über die Sitzung in der Reichsfuttermittelstelle am 27.7.1917 mittags 12 Uhr über Mischfutterherstellung, BA Berlin, R 8816/104.

70 Siehe Protokoll der 22. Sitzung des Kriegsausschusses für Ersatzfutter, 22.12.1915, in: BA Berlin, R 8816/9.

die Umsetzung in kommunalen Kadaververwertungsanstalten nachzudenken, eine Fragebogenerhebung zu ihrem Ausstattungsniveau mit modernen Geräten durchzuführen und ihre Modernisierung zu veranlassen.[71] Zu diesem Zeitpunkt hatte der Ausschuss in Kooperation mit der Militärverwaltung im östlichen Kriegsgebiet bereits Kadaververwertungsanstalten eingerichtet, die bis zum 15. April 1916 schon 4 Waggons Tierkörpermehl zu einem Preis von 24 Mark pro Doppelzentner hergestellt hatten. Verschiedene Kommandanturen des Westens hatten weitere 25 Blut-, bzw. Kadaververwertungsapparaturen bestellt und andere vorhandene Anlagen im Okkupationsgebiet in Betrieb genommen. Der Kriegsersatzfutterausschuss kalkulierte, dass sich aus den 130 000 gefallenen Pferden pro Kriegsjahr ca. 2500 t Tiermehl herstellen ließen. Hinzu kamen 100 t Fett, die bei den Militärverwaltungen für die technischen Zwecke der Kriegsmaschinerie höchst willkommen waren. Durch eine bessere Organisation der zivilen Abdeckereien ließen sich zusätzlich 7500 bis 9000 t Tierkörpermehl und 2700 bis 3700 t Fett gewinnen, hinzu kamen 2700 bis 2800 t Tierkörpermehl und 120 t Fett aus den bisher unzureichend genutzten Schlachtabfällen. Am 29. Juni 1916 wurde die schon länger vorbereitete Bekanntmachung über die »Verarbeitung der in Abdeckereien und Schlachtbetrieben anfallenden Tierkörper und Tierkörperteile sowie von Schlachtabfällen auf Futtermittel während des Krieges« veröffentlicht,[72] die zur Fortsetzung der mit dem Tierkadaverbeseitigungsgesetz von 1911 angestrebten Modernisierung der Schlachthöfe führte. Daher hatten viele kommunale Schlachthöfe im Juni 1916 bereits moderne Verwertungsapparate, mit denen sie nebenbei auch Tierkörpermehl aus den Schlachthauskonfiskaten und Schlachtabfällen herstellen und damit etwa eigene Schweinemastbetriebe unterhalten konnten.[73] Entsprechende Erhebungen zeigen eine große Vielfalt der eingesetzten Verfahren wie der erzeugten Produkte und Mischungen.[74]

Für die Förderung der Schlachthausmodernisierung stellte das Finanzministerium insgesamt eine Million Reichsmark zur Verfügung. Entsprechende Zuschüsse wurden auf Antrag gewährt.[75] Allerdings waren den meisten Abdeckereien die Bedingungen des Finanzministeriums für Gewährung der Zuschüsse zu hart, der Zinssatz zu hoch und die Amortisationszeit zu kurz bemessen. Von anderer Seite wurde aber auch »darauf aufmerksam gemacht, daß die Abdeckereien zurzeit sehr grosse Erträgnisse abwerfen, und

71 So publizierten Fachzeitschriften Listen mit Bezugsquellen, vgl. exemplarisch: Allgemeine Vorschläge 1916, S. 360–33. Die enthaltene Liste nennt Apparate der Firmen Töhrig & Leuchs, Darmstadt; J. G. Grotkaß, Bremen, David Grove, Charlottenburg, Rud. A. Hartmann, Berlin; Hedwigshütte, Maschinenfabrik, Viersen; Richard Heike, Hohenschönhausen; Franz Hochmuth, Dresden; Gebr. Karges, Braunschweig; Karl Niessen, München; L. A. Riedinger A.G., Augsburg; Venuleth & Ellenberger, Darmstadt.

72 Verarbeitung, 1916, S. 631.

73 Eine Aufstellung der Schlachthöfe, die bereits vor Erlass der Bundesratsverordnung vom 23.6.1916 Verwertungsapparate zur Herstellung von Tierkörpermehl und Mischfutter aus den Schlachthauskonfiskaten und Schlachtabfällen besaßen, BA Berlin, R 8816/104.

74 Haefcke, Stand, 1916.

75 Als erster Antragsteller beantragte Kommunalverband Arnswald eine Förderung in Höhe von 15.000 Reichsmark, vgl. Niederschrift über die 41. Sitzung des Kriegsausschusses für Ersatzfutter vom 3.4.1917, Tagesordnung, BA Berlin, R 8816/12.

daß es auffallend erscheint, daß dieselben noch öffentliche Mittel zur Modernisierung in Anspruch nehmen müssen«. Daher sollte in Zukunft der Bedarf im Einzelfall kritisch geprüft werden.[76]

Tabelle 2 Darlehen zur Aufstellung von Kadaververwertungsapparaten aus öffentlichen Mitteln (1916)

Gewährt:	29 301 472 Mk.
Gezahlt:	16 179 534 Mk.
Davon amortisiert	3 875 816 Mk.

Quelle: BA Berlin, R 8816/104.

Schon aus dieser Bemerkung lässt sich schließen, dass mit der Förderung auch eine bislang nicht gekannte Kontrolle und Überwachung der Abdeckereien einsetzte. Wie es scheint, berechtigter Weise, da die Abdeckereien mitunter Futter zurückhielten oder Abdeckereifleisch nicht ordnungsgemäß entsorgten, sondern zur menschlichen Ernährung freigaben. Nach dem Tätigkeitsbericht des Kriegsausschusses über das Jahr 1916 wurden nun insgesamt 656 Abdeckereien kontrolliert, von denen 405 mehr als 150 Stück Großvieh verarbeiteten, womit sie unter die Verordnung von Juni 1916 fielen. Von den 441 Schlachthöfen, die unter die Bundesratsverordnung fielen, waren 104 schon mit modernen Apparaten ausgestattet. 37 von ihnen war erst jüngst modern ausgestattet worden, 35 Schlachthöfe hatten diese Anlagen kürzlich in Betrieb genommen, 14 hatten entsprechende Anlagen bestellt. 134 Schlachthöfe nutzten die Möglichkeit, die Abfälle Abdeckereien zu überlassen, während 94 der restlichen Betriebe auf Veranlassung des Ausschusses entsprechende Apparate aufstellten. Weitere 57 Abdeckereien hatten inzwischen entsprechende Pläne gefasst, während der Ausschuss noch mit 121 Betrieben in entsprechenden Verhandlungen war.

Ab dem 2. September 1917 setzte eine systematische Revision der Abdeckereien durch Kontrollbeamte ein. Ein entscheidendes Problem war der begründete Verdacht, dass nicht alle Hersteller ihr Futter auch an den Kriegsersatzfutterausschuss ablieferten. Diesem Befund suchte man 1917 durch eine Erhöhung der Preise entgegenzuwirken.

Tabelle 3 Die Preise für tierisches Ersatzfutter 1917 (Preise in M. pro Tonne) vor und nach der Preiserhöhung im Jahr 1917

Tierkörper- und Kadavermehl	vor Erhöhung	nach Erhöhung
Fleischmehl	300	500
Blutmehl	425	650
Leimgallerte	270	450
Fett	320	350

Quelle: Tätigkeitsbericht 1917, S. 28.

76 Ebd.

In der Praxis litt der Betrieb der Abdeckereien erheblich unter den Kriegsbedingungen. Im April 1917 legte Ausschussmitglied Schroeder dar:

> Es ist in sehr weitem Umfang die Gelegenheit geschaffen, in Schlachthöfen und Abdeckereien diese Produkte zu gewinnen. Aber leider stossen wir auch hier wieder auf die grossen Schwierigkeiten, die in den Kriegsverhältnissen begründet sind. Die Abdeckereien müssen für den Antransport der Kadaver Pferde haben und Fuhrwerk, die Pferde müssen natürlich mit dem nötigen Futter versehen werden. – und wenn wir die Pferde bekommen haben und auch die erforderlichen Wagen, dann haben wir nicht das Futter, um die Pferde zu erhalten! Ferner müssen wir für die Abdeckereien gelernte Arbeiter haben; die sind zum grössten Teil eingezogen; und da stossen wir wiederum auf grosse Schwierigkeiten bei der Reklamation, obgleich die Heeresverwaltung vollständig die Zweckmässigkeit der Kadaververarbeitung anerkennt und uns behilflich ist, durch Aufstellung von fahrbaren Verarbeitungsapparaten aus den Okkupationsgebieten, die Futtermittel aus Kadavern zu gewinnen, begegnen wir im Innern bei der Frage der Reklamation der gelernten Arbeiter grossen Schwierigkeiten. Es stehen eine ganze Menge von Abdeckereien, die Futter und Fett liefern könnten, still, weil es nicht gelingt, die Leute freizubekommen. Es ist also trotz aller Mitwirkung der Behörden der tatsächliche Zustand der, daß es an Pferden, Transportgelegenheiten und sachverständigen Arbeitern fehlt, um diese wertvolle Quelle der Futtergewinnung so auszunutzen, wie es wünschenswert wäre und hätte möglich sein können.

Trotz dieser Klage entwickelte sich die Produktion von Tiermehl dank verbesserter Erfassung und maschineller Ausstattung gerade zwischen 1917 und 1918 sehr positiv. Hatte die Tiermehlproduktion noch 1908 ganze 1500 t betragen, verdoppelte sie sich zwischen 1917 und 1918 von rund 20 000 auf 42 000 t, während die Herstellung der meisten anderen Ersatzfutter und vor allem die Herstellung des Leimkraftfutters stark zurückging.[77] Der Kriegsausschuss hatte dies erwartet, weil diese Rohmaterialien schon Gegenstand lohnender industrieller Verwertung waren, die nur im Krieg teilweise eingestellt werden musste. Doch da ihre Wiederaufnahme erwartet wurde, investierte der Kriegsausschuss auch weiterhin in die Tiermehlproduktion.[78]

Die Leistungen des Kriegsausschusses und sein Beitrag zum Aufbau der Tiermehlindustrie

Tatsächlich dachte der Kriegsausschuss selbst schon früh an die Zeit nach dem Krieg und legte seit 1916 verschiedene Denkschriften über seine Tätigkeit nach Kriegsende vor. Schon in seinem ersten Tätigkeitsbericht über die Jahre 1915/16 war zu lesen:

77 Vgl. den Jahresbericht des Kriegsausschusses für Ersatzfutter für 1918, BA Berlin, R 8816/13.
78 Die nächsten Aufgaben des Kriegsausschusses, BA Berlin, R 8816/3, Bl. 3 der Denkschrift.

Tabelle 4 Die Produktion von Ersatzfutterstoffen durch den Kriegsausschuss für Ersatzfutter 1916–1918 (in Tonnen)

	1916	1917	1918
Mineralhefe	1168	175 881	2528
Strohkraftfutter	41 276	3383	63 809
Pressfutter	-	32 328	78 318
Rübsamenstroh und -stoppelmehl	-	45 601	1692
Heidemehl I	-	9399	9838
Heidemehl II	-	152	2570
Heidehäcksel	-	1266	1452
Klee- und Kleespreumehl	-	5145	835
Leimkraftfutter	1581	4107	994
Eiweißersatz	1389	2800	44
Eiweißsparfutter	131	2377	198
Knochenkraftfutter	7558	6130	55
Osseinfutter	-	226	451
Phosphorsaurer Futterkalk	-	4444	5531
Knochenschrot	566	7377	1481
Knochenmehl	173	1806	1760
Tierkörpermehl	-	20 000	42 000
Schilfrohrmehl	-	4043	5045
Schilfrohrhäcksel	-	-	2874
Seetangmehl	-	442	246
Seegrasmehl	-	880	1415
Weintrestermehl	-	5325	5351
Rebholzmehl	-	-	591
Obsttrestermehl	-	207	7887
Mischfutter	-	101 640	141 800
Pressfutter	30	45 601	78 316
Mischfutter ingesamt	-	77 640	102 890
Pansenmischfutter	1191	-	-
Blutfutter	1764	-	-
Gesamtproduktion	7084	175 881	247 807

Quelle: Zusammengestellt und berechnet nach BA Berlin, R 8816/13.

> Es ist leider nicht zu verkennen, daß die Ergebnisse der Arbeiten des Kriegsausschusses für Ersatzfutter nicht so rasch sich haben erzielen lassen, als daß in der Zeit der größten Not er als Helfer hätte eingreifen können. Man hätte in weiser Voraussicht diese Organisation im Frieden vorbereiten oder doch bald nach Ausbruch des Krieges ins Leben rufen sollen. Das ist nicht geschehen, und kostbare Zeit wurde verloren. Aber die Arbeiten des Kriegsausschusses werden nicht nutzlos sein; selbst wenn der Krieg bald ein Ende finden sollte, werden normale Zeiten so rasch nicht wiederkehren. Der Bedarf wird groß sein, und Zufuhr aus dem Auslande wird nicht oder nur beschränkt möglich sein. Diese sollte aber auch in Zukunft nicht in dem früheren großen Maße wieder aufleben.

Die Umsetzung der Pläne stieß auf Probleme, nicht zuletzt bei der Bereitstellung von Baumaterialien und Arbeitern. Von den geplanten drei Reichsfutterwerken in Jessenitz, Danzig und Regensburg nahm daher nur das Werk in Jessenitz noch im Krieg die Produktion von Mischfutter aus Tiermehl auf, während die beiden anderen Werke erst Ende 1918 fertiggestellt werden konnten. Trotzdem gingen die Mitglieder des Kriegsersatzfutterausschusses zuversichtlich davon aus, dass sich die Gewinnung von Futtermitteln aus tierischen Abfällen – Leimgallerte, Knochenleim, Leimkraftfutter, Tierkörpermehl, Blutmehl – in Deutschland fest einbürgern werde. Die einzige Frage war, wie die Produktion künftig zu organisieren sei, ob zentral durch den Kriegsausschuss, durch örtliche Organisationen oder durch die Privatindustrie.[79] Mochte die Begeisterung für neue Verfahren mitunter auch den Blick auf Probleme trüben: Die Bewertung der Sachlage erfolgte immer sehr differenziert und behielt stets die laufenden Verträge im Auge. Entsprechend einer Klausel liefen die vorhandenen Verträge drei Monate nach Kriegsende aus. Doch ging der Ausschuss davon aus, dass es nach Kriegsende eine »Übergangsperiode« geben werde, in der der Kriegsausschuss weiter aktiv bleibe.[80]

Die Statuten des Ausschusses aus dem Jahr 1916 hatten für die Abwicklung eine Übergangsfrist von einem Jahr nach Kriegsende vorgesehen. Faktisch zog sie sich bis zur notariell beurkundeten Auflösung am 1. Oktober 1920 hin, weil Rohstoffvorräte wie Fabrikanlagen verkauft, Verträge gelöst und Prozesse zu Ende geführt werden mussten.[81] Dabei betonte der Ausschuss stets, dass er die für seine Arbeit gemachten Aufwendungen durch Einnahmen selbst kompensiere. Bei Liquidation werde er demnach nicht nur alle geleisteten Beiträge dem Reich zurückerstatten, sondern noch einen Überschuss abliefern können.

79 BA Berlin, R 8816/3, Bl. 1.

80 BA Berlin, R 8816/1.

81 Vgl. Niederschrift über die 50. Sitzung des Kriegsausschusses für Ersatzfutter G.m.b.H. am 29.9.1920, BA Berlin, R 8816/12, S. 8; Bericht über die Tätigkeit des Kriegsausschusses für Ersatzfutter im Jahre 1919, BA Berlin, R 8816/12.

> Der Kriegsausschuß wird nach Ueberzeugung der Geschäftsführung mit einem solchen Ergebnis abschließen, daß er dem Reich und Staat wenig oder gar nicht gekostet, dagegen in schwerer Zeit beim Durchhalten erheblich mitgeholfen und daneben neue Industrien ins Leben gerufen und erprobt hat, die in einer weiteren Zukunft sicher wieder Leben gewinnen und der deutschen Volkswirtschaft zum Heile gereichen werden.[82]

Die weitere Entwicklung gab dem Ausschuss Recht: In den Fachjournalen der Tiermedizin und Landwirtschaft, die schon seit 1900 immer wieder über Tier- und Fleischmehlverwertung berichtet hatten, wuchsen die entsprechenden Publikationen zu einer Flut an, die auch nach Kriegsende nicht abebbte. Zwar erfuhren sie in der Weltwirtschaftskrise einen leichten Einbruch, nahmen mit Beginn der nationalsozialistischen Herrschaft aber einen erneuten Aufschwung.

Die Entwicklung nach Kriegsende

Die Kriegsbedingungen hatten die Entwicklung neuer und die Verbesserung vorhandener Produktionsverfahren von Tierersatzfutter gefördert. Selbst unter den schwierigen Bedingungen der Kriegswirtschaft und der damit einhergehenden Verknappung von Kadavern konnte die Tiermehlproduktion ausgebaut werden, während andere Futterarten bald an Bedeutung verloren. Am Ende stand die kontinuierliche Verarbeitung, bei der ein Umfüllen der Kessel nicht mehr notwendig war, doppelwandige Gefäße ein Anbrennen der Kadavermasse verhinderten und durch das dauernde Rühren während des Verarbeitungsprozesses ein gesonderter Mahlvorgang des Produktes entfiel. Dies trug nicht zuletzt zur Verringerung der Geruchsbelästigung bei, die ein Imageproblem dieser Industrie darstellte. Entscheidend dafür waren die Maßnahmen zur Modernisierung der Schlachthöfe, die eine hygienische Gewinnung der notwendigen Rohstoffe gewährleisteten, die Etablierung eines einheitlichen Verfahrens zur Qualitätsbewertung im Fütterungsversuch und schließlich die Bemühungen um eine Kennzeichnung der Futtermittel.[83] Davon ausgehend, schritt die Futtermittelforschung in den 1920er Jahren energisch fort, was nicht zuletzt zum Futtermittelgesetz von 1927 beitrug, das den Schutz der Käufer vor Verfälschungen und die Berechenbarkeit des Erfolgs von Futtermitteln zur Leitlinie machte und eine Deklarationspflicht einführte, die mit der klaren Definition von Bestandteilen im Futtermittelbuch einherging.[84] Von einem gesteigerten Interesse am Thema und dem Fortschreiten der Ökonomisierung der Landwirtschaft zeugt neben verschiedenen einschlägigen Dissertationen[85] auch die Begründung der Zeitschrift »Die Tierernährung« im Jahr 1929.

82 Ebd., S. 8.

83 Richtlinien (1916/17), S. 298–299; Deutsches Reich, Auskunftsstelle, 1917; Deutsches Reich, Bekanntmachung, 1918/19; Minderwertige Futtermittel, 1915; Nichtigkeit, 1917.

84 Moritz, Futtermittelgesetz, 1927; Versammlung, 1928.

85 Burggraf, Wert, 1925; Pelken, Betrachtung, 1920.

Angesichts der Autarkiepolitik des »Dritten Reichs« ist es nicht weiter überraschend, dass die Futtermittelherstellung aus Kadavern nach 1933 wieder verstärkte Aufmerksamkeit fand. Sie nahm einen wichtigen Platz in der staatlich gelenkten Organisation der Forschung in den verschiedenen Ausschüssen des landwirtschaftlichen Forschungsdienstes ein, der sich neuerlich mit zahlreichen Ersatzprodukten auseinandersetzte. Zwar findet man in den einschlägigen Publikationen auch ideologische Untertöne und der Eifer bei der Mobilisierung aller Nahrungsquellen ist unüberhörbar. Doch anders als im Bereich der menschlichen Ernährung wurden hier keine Luftschlösser gebaut.[86] Vielmehr überwiegen nüchterne Töne und die ökonomisch motivierte Bewertung, was die entsprechenden Verbände allerdings nicht vor der Gleichschaltung bewahrte: Schon 1937 wurde der 1915 gegründete Reichsverband für Abdeckereiunternehmen als Hauptabteilung IV in den Reichsnährstand eingegliedert und in die Fachgruppe Tierkörperverwertung der Wirtschaftsgruppe Chemische Industrie integriert. Als Mitteilungsblatt fungierte die »Zeitschrift für die gesamte Tierernährung«.[87] Eine weitere wichtige organisatorische Grundlage für den Ausbau der einschlägigen Industrie schuf das Tierkörperbeseitigungsgesetz von 1939.[88]

Der Krieg brachte für die Tiermehlproduktion die gleichen Versorgungsprobleme wie für die Nahrungsmittelindustrie insgesamt: Rohstoffmangel, aber auch Probleme der Brennstoffversorgung führten allerdings dazu, dass die Produktion von Nahrungsmitteln aus Abfällen auch unter veränderten politischen Bedingungen ihre Berechtigung behielt.[89] Vor diesem Hintergrund konstituierte sich im Jahr 1948 der frühere Reichsverband der Abfallverwerter neu als Arbeitsgemeinschaft Tierkörperindustrie. Aus ihr ging 1951 der Verband für Tierkörperindustrie hervor. Seinen Mitgliedern gelang es in den 1950er und 1960er Jahren, Produktion und Absatz von Tiermehl bedeutend zu steigern. 1962/63 fraß jedes deutsche Schwein pro Jahr 24,2 kg Fleisch- und Fischmehl und damit etwa viermal so viel wie 1935.[90] Die Produktion der Fleischmehlfabriken fand ihre Abnehmer, wobei die steigenden Kosten bei Energie und Löhnen durch die Ausweitung der produzierten Mengen aufgefangen werden konnten. Doch gab es seit den 1970er Jahren Probleme: Einerseits führte der zunehmende Fleischverzehr und die wachsende Ablehnung geringwertiger Fleischprodukte zu einem wachsenden Anfall von Rohprodukten,[91] die aber wegen der immer größeren Konkurrenz von billigem, importiertem Fischmehl und Sojaschrot kaum noch gewinnbringend abgesetzt werden konnten. Zusätzlicher Druck entstand seit den 1970er Jahren durch die Umweltschutz- wie Tierschutzbewegung, die sich gegen die Geruchsbelästigung durch die Betriebe und die nicht artgerechte Fütterung pflanzenfressender Nutztiere mit Fleischmehl wandten.[92]

86 Eingehend dazu Thoms, Wertvolles, 2016.
87 Wens, Verbandsleben, 1973.
88 Ostertag, Tierkörperbeseitigung, 1940.
89 Eiweißlücke, 1973.
90 Futteraufkommen, 1963, S. 112.
91 Silber, Entwicklung, 1962.
92 Urteil eines Landgerichts, 1961; Sabel, Probleme, 1990.

Steigende Löhne und Energiekosten taten ihr Übriges. Kleinere Betriebe konnten im Rationalisierungswettbewerb nicht mithalten, so dass mehr als die Hälfte aller Verwertungsbetriebe aufgeben musste. Die Tierkörperverwertung entwickelte sich zum Zuschussgeschäft. Mit den ersten BSE-Fällen des Jahres 1984 änderten sich die Vorzeichen der Diskussion: Nun wurde gestritten, inwiefern unzureichend sterilisiertes Fleischmehl für die Entstehung und Verbreitung der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit verantwortlich war.[93] In Großbritannien wurde schon 1988 die Verfütterung von Fleischmehl an Wiederkäuer verboten. Eine ähnliche Regelung trat in Deutschland erst im Jahr 1994, ein absolutes Verfütterungsverbot erst 2001 in Kraft.[94]

Damit schließt sich scheinbar der Kreis, indem die Betriebe der Fleischmehl produzierenden Industrie wieder zu den Betrieben im Sinne der Abdeckereien geworden sind, bei denen der Gesundheitsschutz des Menschen im Vordergrund steht. Gerade BSE hat zu einer kritischeren Haltung gegenüber der Agrarwirtschaft und der Massenviehhaltung geführt und viele Menschen zu Vegetariern werden lassen. Diese haben heute keine Probleme, sogar für ihre Katzen oder Hunde vegetarische oder gar strikt vegane Futtermittel zu kaufen, auch wenn dies der Natur ihrer Tiere widerspricht, die zweifelsfrei Fleischfresser sind.[95] Dieses Phänomen verdeutlicht, dass die Frage des Tierfutters nicht auf die vermeintlich unveränderlichen Gesetze der Biologie und damit auch nicht auf die tierische Ökonomie reduziert werden kann, sondern tiefgreifend kulturell geprägt ist. Die Verfütterung von Tiermehl, die sich im Ersten Weltkrieg als Ersatzfutter etablierte, war nicht neu. Insofern war der Krieg hier nicht Vater aller Dinge; doch machte er notbedingt Futtermittel aus Abfällen akzeptabel, ja, ließ sie sogar als Produkt des deutschen Erfindergeistes und damit als Triumph der Wissenschaft erscheinen. Obwohl sich die gesellschaftlichen wie wirtschaftlichen Bedingungen seither tiefgreifend verändert haben, hat die Gesellschaft auf diese Veränderungen erst verzögert und erneut nur unter Zwang reagiert. Tatsächlich sind die gesellschaftlichen Diskussionsprozesse noch lange nicht abgeschlossen, auch wenn die Verwertungsindustrie sich seit Beginn der 2000er Jahre als Entsorgungsindustrie neu etabliert hat und mit der Finanzierung aus Steuertöpfen inzwischen augenscheinlich gut zurechtkommt.

93 Lurch, Jahr, 1991.
94 Gesetz über das Verbot, 2001.
95 Dazu schon: Welche Rolle, 2002.

Literatur

– Abgeordnete in den norddeutschen und deutschen Reichstagen 1867–1918, online unter: http://zhsf.gesis.org/biorabkr_db/biorabkr_db.php (11.2.2021).
– Aktiengesellschaft für chemische Produkte vormals H. Scheidemandel in Berlin. In: Kunstdünger, Futtermittel und Leim 14 (1917), S. 33.
– Aktiengesellschaft für chemische Produkte vormals H. Scheidemandel in Berlin [Bilanz/Geschäftsbericht]. In: Kunstdünger, Futtermittel und Leim 14 (1917), S. 64–65.
– Allgemeine Vorschläge zur besseren Verwertung der Kadaver und Schlachtabfälle. In: Deutsche Schlachthof-Zeitung 16 (1916), S. 360–336.
– Ausführungsbestimmungen zum Gesetz über die Beseitigung von Tierkadavern vom 29.3.1912. In: Reichsgesetzblatt 1912, S. 230.
– Bekanntmachung des Bundesrates vom 22.5.1916. In: Reichsgesetzblatt 1916, S. 402.
– Bekanntmachung des Bundesrates vom 9.10.1915. In: Reichsgesetzblatt 1915, S. 647.
– Carne pura. Einige Gutachten über das Patent-Fleischpulver und die Patent-Fleischgemüse-Konserven. Bremen 1882.
– Das System Podewils zur Verarbeitung von Tiercadavern aus Schlachthaus-Abfällen. o.O. [München] o.J. [1917].
– Der gegenwärtige Stand der technischen Verwertung von Tierkadavern und Schlachtabfällen. In: Zeitschrift für Abfallverwertung (1916), Nr. 1, S. 4–6.
– Der Scheidemandel-Konzern und der Leimhandel. In: Kunstdünger, Futtermittel und Leim 9 (1912), S. 15–16.
– Deutsches Reich. Auskunftsstelle für Ersatz-Nahrungsmittel (Mitteilungen für Preisprüfungsstellen 1917, S. 44). In: Zeitschrift für Fleisch- und Milchhygiene 27 (1916/17), S. 299–300.
– Deutsches Reich. Bekanntmachung gegen irreführende Bezeichnung von Nahrungs- und Genussmitteln. Vom 26.6.1917. In: Zeitschrift für Fleisch- und Milchhygiene 29 (1918/19), S. 329.
– Eiweißlücke in der Dritten Welt und Nahrungsprotein aus Fleisch- und Knochenmehl. In: Fleischmehl-Industrie (1973), S. 81, 100, 104.
– Futteraufkommen aus der Inlandserzeugung. In: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland (1963), S. 113.
– Gesetz über das Verbot des Verfütterns, des innergemeinschaftlichen Verbringens und der Ausfuhr bestimmter Futtermittel. In: Die Fleischmehlindustrie 53 (2001), S. 175–177.
– Handbuch des Abdeckereiwesens. Für Verwaltungs- und Kommunalbehörden. Berlin 1906.
– Improvements in the Process and Apparatus for Extracting Fat and Ether Constituents from Animal Carcasses vom 9.12.1889. Depatisnet.dpm.de (3.3.2014).
– Minderwertige und nicht preiswerte Futtermittel. In: Berliner tierärztliche Wochenschrift 1915, S. 513–514.
– Nichtigkeit von Geschäften mit minderwertigen Ersatzmitteln (Futtermitteln). In: Kunstdünger, Futtermittel und Leim 14 (1917), S. 256–257.
– Patent Eiweiß- und Fleisch-Extract Cie G.m.b.H. In: Altona, A. E: Verfahren zur Reinigung von Eiweißstoffen vom 30.10.1898. depatisnet.dpm.de (3.3.2014).
– Reichsgesetz betr. Die Beseitigung von Tierkadavern. In: Reichsgesetzblatt 1911, S. 248.
– Richtlinien für die Bekämpfung der Missstände auf dem Gebiete der Nahrungsmittel. In: Zeitschrift für Fleisch- und Milchhygiene 27 (1916/17), S. 298–299.
– Schweinemast mit dem Fleisch gefallener Tiere. In: Deutsche Nahrungsmittel-Rundschau 6 (1908), S. 71.
– Ueber Leimkraftfutter. In: Kunstdünger, Futtermittel und Leim 14 (1917), S. 144.
– Urteil eines Landgerichts über Geruchsbelästigung durch eine Tierkörperbeseitigungsanstalt. In: TKV-Nachrichten (1961), S. 105–108.
– Verarbeitung tierischer Nebenprodukte. www.stn-vvtn.de (5.9.2020).
– Verarbeitung tierischer Nebenprodukte in Zahlen. www.stn-vvtn.de/archiv/Grafik_150721.pdf. (5.9.2020).

– Verarbeitung der in Abdeckereien und Schlachtbetrieben anfallenden Tierkörper und Tierkörperteile sowie von Schlachtabfällen auf Futtermittel während des Krieges, Bekanntmachung vom 29.6.1916. In: Reichsgesetzblatt 1916, S. 631.
– Versammlung der Futter-Abteilung, Berlin 3.2.1928. In: Zeitschrift für angewandte Chemie 41 (1928), S. 322–323.
– Vorläufige orientierende Versuche mit Ersatzfuttermitteln. In: Landwirtschaftliche Jahrbücher 46 (1916).
– Welche Rolle wird die Verwertungsindustrie in der Zukunft spielen? Ein Platz für Tiere in einer Welt von Vegetariern? In: Die Fleischmehlindustrie 54 (2002), S. 62–64.

Aeroboe, Friedrich: Der Einfluss des Krieges auf die landwirtschaftliche Produktion in Deutschland. Stuttgart 1927.
Aufhammer, Gustav: Lochow, Ferdinand von. In: Neue Deutsche Biographie, Bd. 15. Berlin 1987, S. 5.
Burggraf, R.: Wert und Bedeutung der thermochemischen Abdeckereien für die Landwirtschaft, der Kadaveranfall in denselben und dessen Verwertung. Diss. med. vet. Universität Berlin. Berlin 1925.
Ellenberger, [Wilhelm]; Grimmer [W.]: Fütterungsversuche an Schweinen mit der Subkutis (Leimleder) der zu Leder zu verarbeitenden tierischen Häute. In: Berliner tierärztliche Wochenschrift (1915), S. 373–378.
–: Neue Versuche mit Ersatzfuttermitteln. In: Deutsche tierärztliche Wochenschrift 24 (1916), S. 291–294.
–: Neue Versuche mit Ersatzfuttermitteln. In: Kunstdünger, Futtermittel und Leim 14 (1917), S. 238–240.
Goebel, Otto: Deutsche Rohstoffwirtschaft im Weltkrieg: einschließlich des Hindenburg-Programms (= Veröffentlichungen der Carnegie-Stiftung für internationalen Frieden). Stuttgart/Leipzig/Berlin 1930.
Güll, Reinhard: Der »Schweinemord« oder die »Professorenschlachtung«. In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg (2004), H. 6, S. 55.
Haefcke, Hermann: Die technische Verwerthung von tierischen Cadavern in hygienischer, technischer und volkswirtschaftlicher Hinsicht. Wien 1897.
Hartewig, Karin: »Anarchie auf dem Warenmarkt«. Die Lebenshaltung der Bergarbeiterfamilien im Ruhrgebiet zwischen Kriegswirtschaft und Inflation (1914–1923). In: Tenfelde, Klaus (Hrsg.): Arbeiter im 20. Jahrhundert. Stuttgart 1991, S. 241–276.
Haushofer, Heinz: Hermes, Andreas Anton Hubert. In: Neue Deutsche Biographie, Bd. 8. Berlin 1969, S. 670–671.
Hoesch, Felix: Die wirtschaftlichen Fragen der Zeit. Berlin 1916.
Krayer, Philipp: Entwicklung und gegenwärtige Probleme der Tierkörperbeseitigung, aufgezeigt am Beispiel einer oberhessischen Tierkörperbeseitigungsanstalt. Gießen 1954.
Kux, Auguste: Carne-pura-Kochbuch. Erste populäre Anleitung, naturhafte, schmackhafte und billige Speisen aus den Carne pura-Nahrungsmitteln zu bereiten. 5. Aufl. Berlin 1883.
Lanzerath, Anton: Die Verwertung der Kadaver- und Schlachtkonfiskate in Deutschland im Jahre 1933. Eine geschichtliche, statistische und veterinär-wirtschaftliche Studie. Euskirchen 1938.
Löwe, Hans: Felix Hoesch. Sein Leben und sein Werk. Frankfurt 1966.
Lurch, C. H.: 1991. Ein Jahr harter Arbeit, voller Risiken und mit neuem EG-Gesetz für die Tierkörperbeseitigung. In: Die Fleischmehlindustrie 43 (1991), S. 2–4.
Meinert, C. A.: Armee- und Volksernährung. Ein Versuch Professor C. von Voits Ernährungstheorie für die Praxis zu verwerten, 2 Theile. Berlin 1880.
Moritz, Alfons: Futtermittelgesetz mit den Bestimmungen des Verbandes landwirtschaftlicher Versuchsstationen im Deutschen Reiche über die Untersuchungsmethoden für Futtermittel. Berlin 1927.
Ostertag, Robert von: Die Tierkörperbeseitigung nach Maßgabe des Tierkörperbeseitigungsgesetzes vom 1. Februar 1939. Berlin 1940.

Overgaard, Svend Skafte: Mikkel Hindhede and the Science and Rhetoric of Food Rationing in Denmark 1917–1918. In: Zweiniger-Bargielowska, Ina; Duffett, Rachel; Drouard, Alain (Hrsg.): Food and War in Twentieth Century Europe. Farnham/Burrington 2011, S. 201–216.

Pelken, P.: Eine kritische Betrachtung der modernen Kadaververwertung. Diss. med. vet. Hannover 1920.

Regulski, Christoph: Klippfisch und Steckrüben. Die Lebensmittelversorgung der Einwohner Frankfurts am Main im Ersten Weltkrieg 1914–1918. Eine Studie zur deutschen Wirtschafts- und Innenpolitik in Kriegszeiten. Frankfurt a.M. 2012.

Roerkohl, Anne: Hungerblockade und Heimatfront. Die kommunale Lebensmittelversorgung in Westfalen während des Ersten Weltkrieges. Stuttgart 1991.

Sabel, Alois: Aktuelle Probleme der Tierkörperbeseitigung und Schlachtabfallentsorgung. In: Die Fleischmehlindustrie 42 (1990), S. 210–212.

Schenke, V.: Kadavermehl. In: Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen. Organ für naturwissenschaftliche Forschung auf dem Gebiete der Landwirtschaft (1903), S. 36–54. [?]

–: Fleischfuttermehl. In: Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen. Organ für naturwissenschaftliche Forschung auf dem Gebiete der Landwirtschaft (1903), S. 36–54. [?]

Schober, M.: Die technische Entwicklung der Tierkörperverwertung. In: TKV-Nachrichten 1 (1949), H. 12, S. 3–4, 9.

Schreyer, Hermann: Die Kriegswirtschaftsorganisationen im ersten Weltkrieg und ihre Archivbestände als Quellen zur Geschichte des staatsmonopolitischen Kapitalismus. In: Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte (1985), H. 3, S. 181–189.

Schulz, Franz Erdmann: Die Entwicklung der Abdeckerei in Deutschland. Posen 1910.

Seelig, Reinhard: Ökonomierat Dr. phil. h. c. Felix Hoesch. In: Geschichte der Land- und Forstwirtschaft des Kreises Osterburg 1816–1994. Kremkau 2008.

Silber, Karl: Entwicklung der Tierkörper- und Konfiskatbeseitigung in den württembergischen Tierkörperbeseitigungsanstalten seit 1950. In: TKV-Nachrichten (1962), S. 15–16.

Skalweit, August: Das Schwein in der Kriegswirtschaft, Berlin 1917 (= Beiträge zur Kriegswirtschaft H. 20/21).

–: Die deutsche Kriegsernährungswirtschaft. Stuttgart 1928.

Spiekermann, Uwe: »Fleisch giebt Fleisch«. Zur Geschichte der Tiermehlverfütterung vor dem Zweiten Weltkrieg. In: Zeitschrift für Ernährungsökologie 2 (2001), S. 7–9.

Stahnisch, Frank: Den Hunger standardisieren: François Magendies Fütterungsversuche zur Gelatinekost 1831–1841. In: Medizinhistorisches Journal. Medicine and the Life Sciences in History 39 (2004), S. 103–134.

Stürzbecher, Manfred: Ellenberger, Wilhelm. In: Neue Deutsche Biographie, Bd. 4. Berlin 1959, S. 453.

Thoms, Ulrike: Anstaltskost im Rationalisierungsprozess. Die Ernährung in Krankenhäusern und Gefängnissen im 18. und 19. Jahrhundert. Stuttgart 2005.

–: Aus Wertlosem Wertvolles schaffen: Die Mobilisierung der Fütterungswissenschaft zur Steigerung der Nahrungsmittelproduktion im Dritten Reich. In: Flachowsky, Sören; Hachtmann, Rüdiger; Schmalz, Florian (Hrsg.): Ressourcenmobilisierung, Wissenschaftspolitik und Forschungspraxis im NS-Herrschaftssystem. Göttingen 2016, S. 471–502.

Weinberg, Arthur von: Emil Fischers Tätigkeit während des Krieges. In: Die Naturwissenschaften 1 (1919), S. 868–873.

Wengenroth, Ulrich: Die Flucht in den Käfig: Wissenschafts- und Innovationskultur in Deutschland 1900–1960. In: Bruch, Rüdiger; Kaderas, Brigitte (Hrsg.): Wissenschaften und Wissenschaftspolitik. Bestandsaufnahmen zu Formationen, Brüchen und Kontinuitäten im Deutschland des 20. Jahrhunderts. Stuttgart 2002, S. 52–59.

Wens: Das Verbandsleben im Wandel von 25 Jahren. In: Die Fleischmehlindustrie 25 (1973), S. 154–156.

Zuntz, Nathan: Besteht eine Eiweißnot? Berlin o. J. [1915].

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Elisabeth Vaupel, Einführung

Abb. 1: Wien-Bibliothek im Rathaus, Wien, Plakatsammlung, P-35370
Abb. 2: Wien-Bibliothek im Rathaus, Wien, Plakatsammlung, P-7993
Abb. 3: Steuer-Warte. Nationalsozialistische Beamten-Zeitung 9 (1940), Nr. 4, 21.7.1940, S. 139
Abb. 4: Privatbesitz E. Vaupel
Abb. 5: Archiv der Firma Symrise AG, Holzminden (früher: Haarmann & Reimer)
Abb. 6: Von Werk zu Werk. Monatsschrift der Werksgemeinschaft der IG Farbenindustrie AG, Ausgabe Maingau, 28 (1937), Juli-Heft
Abb. 7: Bayer-Archiv, Leverkusen
Abb. 8: Historisches Archiv BP/Aral, Bochum
Abb. 9: Ost, Hermann: Lehrbuch der Chemischen Technologie, 8. Aufl. Leipzig, 1914, Tafel zwischen S. 4 und 5
Abb. 10: Wirtschaftsgruppe Chemische Industrie (Hrsg.): Chemie in allen Lebensbereichen. Ein Plan von der Stoffumwandlung durch die chemische Industrie. Berlin 1938
Abb. 11: Kunststoffe 4 (1914), Nr. 11, 1.6.1914, Beilage zwischen S. 210 und S. 211
Abb. 12: Pharmazeutische Zeitung, 25.1.1911
Abb. 13: Simplicissimus 23 (1918), Heft 10, 4.6.1918, S. 114
Abb. 14: Bundesarchiv-Bildarchiv, Plak 001-010-030, Grafiker: Geis
Abb. 15: Kunststoffe 9 (1919), 2.7.1919, Nr. 14, S. 195
Abb. 16: Deutsches Museum Archiv, Nachlass Hermann Staudinger, NL 88; R-6031_09.
Abb. 17: Reichs-Gesundheitsblatt 10 (1935), Nr. 25, 19.6.1935, S. 551
Abb. 18: Farbe und Lack, Nr. 13, 25.3.1931, Beilagenband, S. A 281
Abb. 19: Katalog der Ersatzmittelausstellung EMA, Wien 1918, S. 10, Wien-Bibliothek im Rathaus, Wien, Druckschriftensammlung, A-65514
Abb. 20: Kräuterwürzig-Dressing ohne Öl der Firma Carl Kühne, Hamburg, 2010er Jahre
Abb. 21: Simplicissimus 22 (1917), Nr. 21, 21.8.1917, S. 262
Abb. 22: Satirezeitschrift »Jugend« 22 (1917), Nr. 6, S. 114
Abb. 23: Ei-Ersatz der Firma Alnatura GmbH, Darmstadt
Abb. 24: Kunststoffe 9 (1919), 2.7.1919, Nr. 14, S. 195
Abb. 25: Der Vierjahresplan 6 (1942), Nr. 4, S. 214
Abb. 26: Der Vierjahresplan 4 (1940), Nr. 11, S. 494
Abb. 27: Der Vierjahresplan 7 (1943), Nr. 6, S. 225
Abb. 28: Deutsche Fleischer-Fachzeitschrift 62 (1938), Nr. 4, S. 32
Abb. 29: Deutsche Handels-Rundschau 30 (1937), S. 327
Abb. 30: Kunststoffe 8 (1918), Nr. 18, 2.9.1918, S. 215
Abb. 31: Farbe und Lack 1915, Nr. 1/2, 1.1.1915, zwischen S. 9 und 10

Helmut Maier, Legierungen

Abb. 1: Afflerbach, 1952, S. 94
Abb. 2: Ginsberg, 1959, S. 171
Abb. 3: Dunkel, 1971, S. 873
Abb. 4: Czochralski, 1920, S. 373
Abb. 5: Deutsche Technik 3 (1935), S. 219
Abb. 6: Genthe, 1939, S. 140

Andreas Zilt, Manganersatzverfahren

Abb. 1: thyssenkrupp Konzernarchiv, Duisburg, F 1072 0
Abb. 2: thyssenkrupp Konzernarchiv, Duisburg, F 1072 0
Abb. 3: thyssenkrupp Konzernarchiv Duisburg, F/Alb/22, S. 4
Abb. 4: thyssenkrupp Konzernarchiv Duisburg, F/Alb/22, S. 5
Abb. 5: thyssenkrupp Konzernarchiv Duisburg, F/Alb/22, S. 10
Abb. 6: thyssenkrupp Konzernarchiv Duisburg, F/Alb/22, S. 13
Abb. 7: thyssenkrupp Konzernarchiv Duisburg, F/Alb/22, S. 12

Peter Morris, Substitutes

Abb. 1: Illustrirte Zeitung Leipzig 147 (1916), Kriegsnummer 5. Folge, Nr. 3829 vom 16.11.1916, S. 690
Abb. 2: Das interessante Blatt 34 (1915), Nr. 42 vom 21.10.1915, S. 12, Wien-Bibliothek im Rathaus, Wien, Druckschriftensammlung, F-60487
Abb. 3: Bayer-Archiv, Leverkusen, BN 87109
Abb. 4: Bayer-Archiv, Leverkusen, BN 86010
Abb. 5: Von Werk zu Werk. Monatsschrift der Werksgemeinschaft der IG Farbenindustrie AG, Ausgabe Maingau, 28 (1937)

Manfred Rasch, Treib- und Schmierstoffe

Abb. 1: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Archiv, Mülheim an der Ruhr, LBF-014, S. 98
Abb. 2: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Archiv, Mülheim an der Ruhr, F140-003-001
Abb. 3: thyssenkrupp Konzernarchiv, Duisburg, A/678/2
Abb. 4: thyssenkrupp Konzernarchiv, Duisburg, Festschrift Thyssen & Co. 1923, S. 408
Abb. 5: Bergius, 1933, S. 25
Abb. 6: Historisches Archiv Krupp, Essen, WA 7 f 1090.53
Abb. 7: Lack- und Farben-Rundschau. Internationale Monatsschrift, 1921, Nr. 1, S. 30 unten
Abb. 8: thyssenkrupp Konzernarchiv, Duisburg, F/Alb/Hoe/13/1
Abb. 9: thyssenkrupp Konzernarchiv, Duisburg, Hoesch-Benzin 1940
Abb. 10: thyssenkrupp Konzernarchiv, Duisburg, F/Alb/403

Sandro Fehr, Ersatz für den Chilesalpeter

Abb. 1: Archiv Heimatverein Steglitz e.V., Berlin, ZM-576
Abb. 2: BASF SE, Corporate History, Ludwigshafen/Rh., L 19413-4_2-a
Abb. 3: Fehr, Stickstofffrage, 2009, S. 116, 180

Claus Priesner, Coffarom

Abb. 1: Privatbesitz E. Vaupel
Abb. 2: Deutsches Historisches Museum, Berlin, Inventar-Nr. Do 72/208.5
Abb. 3: Deutsches Reichspatent Nr. 457 266 »Verfahren zur Gewinnung der Aromastoffe aus geröstetem Kaffee«, 24.1.1925, Deutsches Museum, Bibliothek
Abb. 4: Privatbesitz E. Vaupel
Abb. 5: Archiv der Firma Symrise AG, Holzminden (früher: Haarmann & Reimer)
Abb. 6: Archiv der Firma Symrise AG, Holzminden (früher: Haarmann & Reimer)
Abb. 7: Archiv der Firma Symrise AG, Holzminden (früher: Haarmann & Reimer)
Abb. 8: Haarmann & Reimer GmbH (Hrsg.): Contact 4/1997, Rückseite

Personenregister

Adenauer, Konrad 265
Ambros, Otto 177–178

Bansen, Hugo 156, 158, 160
Beitter, Albert 281, 285, 289
Bergius, Friedrich 11, 19, 42, 62, 186–188, 203–209, 214, 216, 224–225, 228–229, 231
Bersch, Fritz 249
Beyschlag, Franz 139
Billwiller, John 186
Bircher-Benner, Maximilian 265
Birkeland, Kristian 239
Bock, Walter 179
Bon, Fritz 281, 287–288, 293–294
Bosch, Carl 26, 205, 224, 240, 245
Bouchardat, Gustave 168
Breitenbach, Paul von 184
Broche, Hans 228
Brougier, Adolph 266
Bunte, Hans 33, 189, 191, 216
Burgers jr., Franz 201
Burton, William 187

Cantieny, Georg 202
Caro, Nikodem 211–212, 239
Clouth, Franz 172
Crookes, William 238–239, 242, 253

Delbrück, Max 303
Desmoulins, Camille 263
Duisberg, Carl 46, 168
Dunstan, Wyndham 168

Eckell, Johannes 177
Eitner, Wilhelm von 216
Ellenberger, Wilhelm 308, 313
Engler, Carl 33, 191, 216, 218
Euw, Joseph von 273
Ewald, Carl 313
Exner, Wilhelm 221
Eyde, Samuel 239

Falkenhayn, Erich von 243
Fischer, Emil 31, 33, 184–185, 191, 196, 209–210, 213, 217, 262, 269–270, 308
Fischer, Franz 193–197, 199–200, 207, 209–210, 217–218, 226, 228
Förster, Christian Gottlieb 264
Franck, Johann Heinrich 264
Franck, Richard 290
Franck, Wilhelm Heinrich 293
Frank, Adolf 239
Friedlaender, Robert 208
Friedlaender-Fuld, Fritz von 208, 219
Friedrich II. von Preußen 263–264

Gareis, Fritz 10
Gentsch, Wilhelm 220
Gluud, Wilhelm 193–194, 217
Goebel, Otto 12, 13, 15
Goethe, Johann Wolfgang von 18, 262
Goldschmidt, Karl 187, 204
Günther, Fritz 44
Gwinner, Arthur von 211
Gwinner, Hans von 210–211, 213, 216

Haarmann, Wilhelm 281
Haber, Fritz 26, 33, 204, 210, 214, 240, 271
Haefcke, Hermann 306
Hansen, Johannes 312
Heine, Christian von 264
Helfferich, Karl Theodor 248
Hemptinne, Alexandre de 217
Henckel von Donnersmarck, Guido 208
Henckel von Donnersmarck, Guidotto 208
Henckel von Donnersmarck, Kraft 208
Hermes, Andreas 312
Herzog, Eduard 156
Heuck, Claus 179
Himmler, Heinrich 178
Hindenburg, Paul von 147, 249
Hindhede, Mikkel 309
Hitler, Adolf 55, 176, 180, 209, 224, 231
Hoesch, Felix 310
Hofmann, August Wilhelm von 281
Hofmann, Fritz 168, 220

Immerwahr, Paul 271

Janisch, Karl 212
Jevons, William Stanley 238

Kantorowicz, Hans 213
Kastner, Karl Wilhelm Gottlob 18, 20
Kathreiner, Franz 266
Kegel, Karl 218
Kellog, John Harvey 265
Keppler, Wilhelm 176, 180, 226
Kerner, Justinus 18

Kerpeley von Krassai, Anton 198
Kerschbaum, Max 281–288, 290, 293–294, 296–297
Keßner, Arthur 192
Kirchenbauer, Friedrich 204
Kirchhoff, Constantin 18
Kneipp, Sebastian 265–266
Kölbel, Herbert 227
Koller, Theodor 28
Kondakow, Iwan 168, 172
Konrad, Erich 179
Koppers, Heinrich 219
Krauch, Carl 55, 177, 203, 224

Lampadius, Wilhelm August 18, 275
Leblanc, Nicolas 23
Lecher, Hans 179
Lehmann, Franz 303, 308
Le Rossignol, Robert 204
Liebig, Justus von 20–21, 262, 275, 304
Lloyd, Marshall Burns 38
Lochow, Ferdinand Jost von 310
Löffler, Stephan 204
Ludendorff, Erich 147, 249–250

Magendie, François 304
Malthus, Thomas Robert 238
Marks, Arthur 170
Mège-Mouriès, Hippolyte 21
Meisenburg, Kurt 179
Melamid, Michael 216
Memmler, Karl 172
Milch, Erhard 160
Mittasch, Alwin 26, 241, 245
Moellendorff, Wichard von 183, 185, 243
Morgenthaler, Max 275, 297
Müller, Fritz 202

Napoleon Bonaparte 16, 224, 263–264
Napoleon III. 21
Nernst, Walther 33
Nestlé, Henri 21
Neuberg, Carl 44

Offner, Alfred 6
Ost, Hermann 33–35
Ostwald, Wilhelm 245

Pasteur, Louis 44
Petersen, Otto 150–151, 157–158
Pettenkofer, Max von 265–266
Pier, Matthias 224
Pohl, Max 212
Pott, Alfred 199, 201–202, 228

Ramm, Eberhard 303, 310
Rathenau, Walther 32, 141, 183, 185, 243, 303
Reichstein, Tadeus 63–64, 261, 273–279, 281–290, 293–294, 296–297
Reimer, Karl Ludwig 281
Reppe, Walter 47, 177
Reusch, Paul 195
Riedler, Alois 204
Roelen, Otto 226
Roser, Edmund 197
Runge, Friedlieb Ferdinand 262
Ružička, Leopold 272–273

Sabatier, Paul 210
Saur, Karl-Otto 160
Schacht, Hjalmar 225–226
Schieber, Walther 160
Schlack, Paul 54
Schmidt-Ott, Friedrich 220
Schoeller, Walter 213
Schrauth, Walther 213, 216
Schrödter, Emil 142–144, 147, 150
Schroeter, Georg 211–212, 216
Schuler, Fridolin 266, 270
Segall, Sali 211
Senderens, Jean Baptiste 210
Simmersbach, Oskar 219
Speer, Albert 156, 176
Spilker, Adolf 208, 216
Springorum, Fritz 143
Staudinger, Hermann 36, 63–64, 179, 261, 270–273, 275–279, 282, 284, 294, 297
Still, Carl 221, 230
Stinnes, Hugo 221

Tengelmann, Wilhelm 229
Ter Meer, Fritz 177
Thyssen, August 221
Tilden, William A. 168
Tiemann, Ferdinand 281
Timme, J. D. 264

Todt, Fritz 156
Trillich, Heinrich 266
Tropsch, Hans 217–218, 226

Vögler, Albert 148

Wacker, Alexander 46
Walther, Reinhold von 218
Weizmann, Chaim 45
Wengenroth, Ulrich 9–11, 30, 42, 45, 48, 62–63, 71, 301
Wilhelm II. 174, 189
Wilhelm, Emil 266

Zuntz, Nathan 303, 309, 313–314

Sach- und Körperschaftsregister

Abdecker 301, 305
Abdeckerei 305–306, 316–318, 322–323
Abdeckereifleisch 317
Abfall, s. auch Recycling 8, 13, 28–30, 53, 64, 67, 69, 71–72, 88–89, 101, 110, 188, 301–302, 305–307, 317, 322–323
Altmetall 88–89, 115
Asche 16–17, 29, 185
Gerbereiabfall 29
Glasstaub 29
Holzmehl 17, 244, 319
Korkabfall 29, 57
Melasse 29
Sägespäne 29
Schlachtblut, s. Blut
Schlacke 61, 71, 102, 137, 140, 152–153, 156, 159–162
Tierhaare 29
Abraumhalde 71
Accumulatorenfabrik Wilhelm Hagen KG 172
Acetaldehyd 46, 276
Aceton 13, 41, 45–48, 66–67
Acetylen 46–47, 151, 172, 175, 177, 189
Acetylcellulose 47–48
Acetylsalicylsäure 29
Actien-Gesellschaft für Anilin-Fabrication (Agfa) 246
Agrarrohstoff, s. auch Landwirtschaft 46
AG für Brennstoffversorgung 198
AG für Hüttenbetrieb 139
AG für Steinkohleverflüssigung und Steinkohleveredlung 209
AG für Stickstoffdünger 248
Aktiengesellschaft für Chemische Produkte, vorm. H. Scheidemandel 315
Aktiengesellschaft für Petroleumindustrie 187, 207
Aktivkohle 41
Alginat, s. auch Pektin 67
Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft AG (AEG) 84, 97–98, 102, 108, 183–184
Altmaterial, s. Abfall
Aluminium 58, 61, 83, 87–88, 90, 92, 95–98, 102–106, 108–113, 116–121, 125, 150–151, 153, 158, 162, 172, 223
Aluminiumabfall, s. auch Abfall 88
Aluminiumdraht 97, 113
Aluminiumindustrie 87, 109

Aluminiumkolben, s. auch Motorkolben 95–96
Aluminiumlegierung, s. auch Legierung 13, 87, 92, 120
Aluminiumleitung 97, 102
Aluminiumlot/Aluminiumlötverfahren 97, 112
Aluminiumschweißen 112
Stahl-Aluminium, s. auch Stahl 97, 102, 113, 117, 124
Ammoniak 13–14, 32, 184, 189, 198–199, 201, 221, 224, 240–241, 245, 248–249, 253, 313
Ammoniak-Synthese, s. auch Haber-Bosch-Verfahren 14, 26, 66, 221
Ammoniak-Werk, s. Leuna-Werk
Ammoniumsulfat, s. auch Dünger 241
Amt für deutsche Roh- und Werkstoffe 55
Analyse, chemische 150, 273
Analysemethoden 64, 278
Mikroanalyse 273, 296
Anhaltische Kohlenwerke AG 226
Antimon 7, 33, 91
Antioxidationsmittel (Alterungsschutzmittel, Inhibitor) 69
Anthropozän 72
Arbeitsgemeinschaft Tierkörperindustrie 322
Arbeitskräftemangel 42, 139, 152, 198, 223, 250
Aroma 63, 264, 267, 270, 272–275, 277–281, 284–285, 288, 290, 293, 296–297
Aromastoff, s. auch Coffarom, Vanillin, Cumarin 50, 70, 262, 269, 271, 273, 275–279, 281, 286, 289, 294
Aromatisierung 64, 279—281, 286-288, 290, 293, 295
Arsen 36, 91
Artillerie
Artilleriegranaten 135, 146, 148, 152
Artilleriehülsen 94
Artilleriezugmaschine 190
Artillerie-Prüfungskommission 146, 148, 154
Arzneimittel 14, 35, 42, 47, 70
Asbest 31, 33
Asphalt 191, 200
Aspirin 29
Auschwitz 178
Ausschuss
Ausschuss für Kriegsersatzfutter 316–317, 320
Fachausschuss für Zinkhüttenwesen 85
Fachausschuss für Metallverarbeitung 85
Ausstellung 6, 9–10, 28
Austausch(werk)stoff 50, 111, 120–122
Autarkie(-politik) 7–8, 10–11, 15, 41, 53–55, 64-66, 114–115, 135–136, 161–162, 180, 203, 209, 225, 230–231, 301, 322
Automobil/PKW 44, 170, 174, 183, 232
Auto(mobil)industrie 09, 111
Automobilingenieur 99
Automobilisierung 224
Automobilproduktion 105

Backpulver 20–21
Badische Anilin- & Sodafabrik AG (BASF) 27, 32, 44, 47, 55, 62, 172, 175, 179–180, 204–206, 208, 214, 221, 240–241, 245–246, 248, 251–252, 256
Bahnmetall, s. Legierung
Bakelit 55–56
Balfour-Declaration 45
Batterie 91
Batterieherstellung 7
Baumwolle 16, 31, 33, 38, 261
Baumwollersatz 37
Bauxit 13
Bayer AG 29, 41, 46, 61, 168, 172–175, 179, 213, 246
Bayerische Stickstoffwerke AG 211–212, 216
Benzin 8, 31, 186, 188–189, 193–195, 197, 209, 223–225, 230
Benzinpreis 225, 228
Benzinproduktion 225
Flugbenzin 229, 190
Synthesebenzin, s. Kohlehydrierung, -verflüssigung
Benzin-Vertrag 225
Benzol 13, 31, 184–186, 189, 194, 209, 214, 221
Benzolwäscher 185
Bergbau 53, 89, 223–224, 244
Bergbaukunde 218
Bergakademie Clausthal 2, 19
Bergakademie Freiberg 218
Bergwerk, Zeche, Hüttenwerk 120, 137, 142, 148, 201, 221
Gewerkschaft Constantin der Große 198
Gewerkschaft Deutscher Kaiser 139, 145, 149
Bergwerksgesellschaft Hibernia 229
Gewerkschaft König Ludwig 215–216
Gewerkschaft Rheinpreußen 227
Gewerkschaft Victor 227
Zeche Graf Bismarck 201
Zeche Lothringen 245
Zeche Mathias Stinnes 199, 201–202, 229

Berlin-Anhaltische Maschinenbau AG (Bamag) 211–212, 216
Bernstein 71
Beschlagnahmung 87, 243
besetzte Gebiete 83, 88, 123, 136, 140, 142, 153, 162, 196–197, 209, 217, 232
Bevölkerungswachstum 29, 255
Bier 262, 268
Biotechnologie 47–48
Bismutoxid 245–246
Blei 33, 91–92, 98–99, 111, 115, 121–122
Blockade, s. auch Kontinentalsperre 63, 89, 169, 172–173, 183, 237, 242, 244, 251, 255
Blut/Schlachtblut 57, 301–302, 316
  Blutbrot 70
  Blutkekse 70
  Blutmehl 302, 311, 320
  Blutwurst, s. Wurst
Bodenschatz 119, 219
Brauindustrie, s. auch Gärungsindustrie 100
Braunkohle 27, 72, 192, 195, 200, 208, 218–219, 224, 230
  Braunkohlebergwerk/-grube 226
  Braunkohlenkraftwerk 240, 245, 248–249
  Braunkohlenbergwerksgesellschaften 230
  Braunkohlenchemie 218
  Braunkohlengesellschaft 225
  Braunkohlentechnologie 218
  Braunkohlenschwelerei/-schwelindustrie 186, 190
  Braunkohlenforschungsinstitute 218–219
  Braunkohlenindustrie 218
  Braunkohlenstiftung 218
  Braunkohlenvorkommen 152
Braunkohlen-Benzin AG (Brabag) 209, 225–227
Braunkohlenbergwerk & Brikettfabrik Leblar GmbH 230
Braunkohlen-Industrie Aktiengesellschaft 230
Braunkohlen- und Brikett-Industrie AG (Bubiag) 226
Brennkrafttechnische Gesellschaft e.V. 196, 220–221
Brennnessel, s. auch Textilfaser 11, 38, 40
Brennstoff 189, 192–193, 202, 220
  Brennstoffversorgung 198, 322
Bronze, s. auch Legierung 83, 86–87, 94, 99, 111
Brot 52, 70, 269, 302
  Brotbacken 20
  Brotgetreide 17, 52, 268, 302
BSE (Bovine spongiforme Enzephalopathie) 64, 70, 301, 323
Buna 26, 60, 62, 174–180
  Bunawerk 173
Burbacher Hütte 198
Butadien 13, 167, 175, 177, 179
Butanol 45, 47
Butter 13, 21, 23, 268, 276
  Butter-Ersatz , s. Margarine

Cadmium 91, 123
Calcium 99, 106, 108
Calciumacetat (Graukalk) 31, 45–46, 66
Calciumcarbid 61, 143, 148–151, 153, 189, 192, 239–240, 248
Calciumcyanamid (Kalkstickstoff) 239–240
Campher 54, 274
Carbid, s. Calciumcarbid
Casein 22, 57
Cellon, s. auch Acetylcellulose 37
Cellophan 59
Celluloid 34
Cellulose 22, 34, 57
  Celluloseacetat, s. Acetylcellulose
  Methylcellulose (Tylose) 67
Chemie 20–21, 26, 42, 184, 273, 275
  Analytische Chemie 20, 150, 279
  Anorganische Chemie 23, 34, 184
  Gerbereichemie 68
  Makromolekulare Chemie 54, 270
  Organische Chemie 184
  Technische Chemie 219, 238
Chemie-Ingenieur 26, 207, 273
Chemieprodukt 14, 27, 66, 183
Chemikalie 44, 46, 72, 244, 280
Chemische Industrie/Chemie-Industrie 27, 30, 47, 55, 65, 100, 261, 281, 322
Chemische Werke Essener Steinkohle 227
Chinarinde 15, 18, 26
Chilesalpeter 63, 66, 237–239, 242, 244–246, 253, 256, 303
Chlor 36, 23
  Chloratsprengstoff, s. Sprengstoff
  Chlorindustrie 23
  Chlorkalk 261
  Perchloratsprengstoff, s. Sprengstoff
Chrom 15, 33
Citronensäure 54
Clouth Gummiwerke AG 172

Cobalt 7, 213, 226
Coffarom 64, 262, 274, 279–282, 284–297
Coffein 262–263, 266, 270, 273
Combustion Engineering Co. 202
Copolymer, s. auch Polymer 175–176, 180
Continental 168, 178–179
Corticosteroide 274
Crack-Verfahren 11, 187
Creutzfeldt-Jakob-Krankheit 323
Cumarin, s. auch Aromastoff 281

Daimler-Motoren-Gesellschaft 189
DDR 65
Dekalin 62, 212
Dellwik-Fleischer-Wassergas-Gesellschaft 199
Demobilmachung 100, 154
Derris, s. auch Pestizid 36
Desinfektion/Desinfektionsmittel 215, 305
Desoxidationsmittel 61, 143, 146, 148, 151, 153, 157–159, 162
Deutsch-Amerikanische-Petroleum AG 191, 231
Deutsch-Luxemburgische Bergwerks- und Hütten AG (Deutsch-Lux) 148
Deutsche Bank 191, 197, 211–213, 216
Deutsche Erdöl AG (DEA) 191, 196–198, 200–201, 226
Deutsche Gesellschaft für Metallkunde (DGM) 85, 106, 110, 112
Deutsche Hydrierwerke AG (Dehydag) 213, 216
Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft 312
Deutsche Petroleum AG (DPAG) 191, 211
Deutsche Vakuum-Öl AG 191
Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt 95
Deutsches Kupfer-Institut 115
Devisen 42, 55, 59
  Devisenbewirtschaftung 155–156, 231
Diätlebensmittel 50
Diamond Rubber Co. 174
Diesel, s. auch Motor 8, 188, 209, 212, 223
Dortmunder Union 148
Drehofen 196–197, 200–201
  Drehtrommel 194–196, 201
dual-use-Stoff 63, 237, 239
Druckguss 121
Dünger/Düngemittel 63–64, 70, 151, 237, 241, 255, 303, 305–306
  Düngung 238
Dunlop 179
Du Pont 175–176
Dupren 175–176
Duralumin, s. auch Legierung 95, 123
Dynamit 42

Ebonit (Hartgummi) 168
Ehrhardt & Sehmer 198
Ei
  Ei-Ersatz 13, 38, 50–52, 65, 70
Eisen 61, 83, 90, 92, 94, 96–98, 100, 102–104, 108, 111–114, 120, 136, 155
  Eisenindustrie 84
  Eisenleitung 96, 223
  Eisenoxid 245–246
  Eisenrohr 112
  Flusseisen 92, 149
  Gusseisen 92, 104
Eisenbahn, s. auch Reichsbahn 97, 99, 124, 108, 158, 184, 188
  Eisenbahnanschluss 264
  Eisenbahnarmatur 108
  Eisenbahnwagen 99, 192
  Eisenbahnzentralamt 188
  Eisenbahn-Zinklegierung, s. auch Legierung 97
Eisenhüttenkunde 61, 93, 154, 162
  Eisenhütteningenieure/-leute 154, 161–162, 198
Eisenzentrale 147–148, 152
Eisen- und Stahlwerk Hoesch 139
Eiweiß 301, 304, 306
  Eiweißersatz 70, 311, 314–315, 319
  Eiweißmangel/ -not 305, 309
Elektrizität 189, 222, 240–241, 245, 248–249
Elektrifizierung 189, 192, 223
Elektrizitätswerk 200
Elektrion 217
Elektroindustrie 96, 105, 184
Elektrotechnik 36, 57, 96–98, 101–102, 113, 117, 125
Elektrotechnischer Verein Berlin 102
Elektron, s. auch Legierung 122
Elektromotor, s. Motor
Elektrostahlverfahren 136
Elektrolyse 89, 103, 115, 244
  Elektrolyteisen 93, 114
  Elektrolytkupfer 117
Energie 200, 240, 245, 251, 322
  Energiebedarf 46, 63, 143, 150–151, 239–240, 245, 247, 250
  Energiekrise 72
  Energierohstoff/Energieträger 7, 33, 27, 34
  Energieverbund 202
  Energiewende 7

Enrilo, s. auch Kaffee-Ersatz 267, 287
Enteignung 90
Entzinnung 188
Erdöl 11–12, 31, 33, 62, 66, 190, 209, 217–218, 223, 238, 254
Erdölförderung 186, 196, 207
Erdölimport 62
Erdölprospektion 232
Erdölquelle 190, 192, 222
Erdöl-Verwertungs-AG (Evag) 208
Ernährung, s. auch Kriegsernährung 20, 70, 237–239, 243, 252, 256, 265, 271, 304, 317, 322
Ernolith 169
Ersatz/Ersatzstoff/Ersatzmittel, s. Surrogat, Austausch(werk)stoff
Baumwollersatz, s. Textilfaser-Ersatz
Butter-Ersatz, s. Margarine
Chilesalpeter-Ersatz, s. Haber-Bosch-Verfahren
Ei-Ersatz(mittel), s. Ei
Eiweiß-Ersatz, s. Eiweiß
Elfenbein-Ersatz, s. Celluloid
Ersatzfaser/Faserersatz/ Textilfaser-Ersatz, s. Brennnessel, Viskose, Papiergarn, Kunstfaser, Kunstseide
Ersatzkatalysator, s. Katalysator
Ersatzmittel-Ausstellung EMA, s. Ausstellung
Ersatzstoffbegriff 12–14, 29
Ersatzstoffforschung 12–13, 18–19, 30, 32, 55, 64, 69, 71, 84, 124–125, 162, 193, 222, 224, 261–262, 270
Ersatzstoff-Synthese 22, 41-42, 66, 270
Ersatzstoffwirtschaft 10, 26, 65, 90, 135–136, 162–163, 217
Fleischersatz, s. Eiweißersatz, Fleischextrakt, Hefeextrakt
Futterersatz(stoffe)/Ersatzfutter, s. Strohaufschließung, Kadaver-, Tier-, Fischmehl
Harzersatz, s. Kunstharz, Bakelit
Hartgummi-Ersatz, s. Ebonit
Hefeersatz, s. Backpulver
Kautschuk-Ersatz, s. Buna, Methylkautschuk, Synthesekautschuk
Kaffee-Ersatz/Ersatzkaffee, s. Zichorien-, Malz-, Getreidekaffee, Kornfranck, Enrilo
Lackrohstoffersatz, s. Kunstharz
Lederersatz, s. Kunstleder
Manganersatz, s. Ferromangan, Spiegeleisen
Metallersatz, s. Legierungen
Milchersatz/Mutter-, Kuhmilchersatz, s. Milch, Nestlé
Pfeffer-Ersatz/Ersatzpfeffer, s. Kunstpfeffer
Rohrzuckerersatz, s. Rübenzucker
Salatölersatz, s. Salatdressing
Schmiermittelersatzstoff, s. Graphit, Voltol
Seifenersatz, s. Tensid, Mersolat
Stiefel-, Schuh-, Sohlenersatz(materialien), s. Synthesekautschuk, PVC
Textilersatz(stoffe)/Ersatz-Textilfaser, s. Brennnessel, Viskose, Papiergarn, Kunstfaser, Kunstseide
Treibstoffersatz, s. Synthesebenzin
Vanilleersatz, s. Vanillin
Zuckerersatz, s. Süßstoff
Erz 6, 13, 61, 71, 85, 115, 135–136, 138, 140, 142, 148, 152–155, 159–162
Essigsäure 13, 46–48, 276
Ethanol 41–42
Ether 41, 283
Explosivstoff, s. auch Sprengstoff 48, 238, 244–245
Export/Warenausfuhr 15, 32, 53, 87, 101, 115, 117, 136–137, 151

Fachausschuss für Zinkhüttenwesen, s. Ausschuss
Fachausschuss für Metallverarbeitung, s. Ausschuss
Fachnormenausschuss Nichteisenmetall, s. auch Normung 114
Faktis (Ölkautschuk), s. auch Kautschuk 61, 169–170, 179
Farbdroge, s. auch Indigo 15
Farbstoff 39, 261
Faserstoff 54, 68
Faserstoffersatz, s. Textilfaserersatz
Faserstoffforschung 40
Faserstoffprogramm 66
Feigenkaffee, s. auch Kaffee-Ersatz 264
Fellner & Ziegler 201
Ferromangan 61, 137, 139, 142–144, 146–147, 149–150, 153, 155–161
Ferromangangemeinschaft 142, 146–147
Ferrosilicium, s. auch Legierung 61, 143, 149, 151–153, 158, 162
Fett 11, 21, 44, 284, 303–305, 316–318
Ersatzfett (Fettersatz) 21, 268
Fettmangel 35, 42, 50

Feuerwerkerei 49
Feuerwerkslaboratorium 92
Fischer-Tropsch-Synthese 11, 217, 203, 209, 226–229, 231
Fischmehl 64, 322
Fischeiweiß 56
Flachs 33
Fleisch 20, 33, 58, 301–305, 313, 322
Fleischextrakt 20, 283, 304
Fleischersatz(stoff) 8
Fleischmehl, s. auch Kadaver 64, 304–306, 311, 317, 322–323
Flint (optisches Glas) 16
Flugzeug 48, 70, 105, 188, 207, 222–223
Flugzeugbau 87, 95, 151
Flugzeugindustrie 120, 123
Flugmotor 95–96, 122
Flugzeugreifen 54
Flussmittel 88
Formaldehyd 56–57, 169
Französische Akademie der Wissenschaften 23
Französische Revolution 23, 263
Frostschutzmittel 44
Füllmittel/-stoff, s. auch Streckmittel 62, 67, 69
Furfurylmercaptan, s. auch Mercaptan 64, 278–279, 283, 294
Futter(mittel)/Tierfutter 63–64, 70, 243, 302, 305–306, 309, 313–314, 316–318, 321, 323
Futterersatz(stoff)/Ersatzfutter 64, 302–303, 307–3011, 315, 317–320, 323
Futtermittelmangel 308
Futtermittelgesetz 321
Leimkraftfutter 311–312, 314, 318

Gärung 20, 44, 47
Gärungsindustrie 45
Gaschromatograph 278
Gasöl/Treiböl 192
Gaswerk, s. auch Stadtgas 185, 199, 201
Gefrierschutzmittel 44
Gelsenkirchener Bergwerks-AG 137, 143, 201
Gemeinschaftsarbeit/Gemeinschaftsforschung 93, 136, 154, 162–163
General-Sandur-Mining-Company 137
Generator AG 198
Genussmittel, s. auch Kaffee, Tee, Schokolade 262, 266, 275
Geologie 10, 27, 207, 219
Gerbstoff 15, 20, 31, 33, 66–68
Geruch 56, 262–263, 274–275, 278, 282, 284, 287, 293, 306, 313
Geruchsbelästigung 56, 185, 305, 321–322
Geruchsstoff 274
Geschmack 18–19, 24, 42, 262, 264, 266, 269–271, 273, 275, 282, 284–287, 290, 293, 306
Geschmack(s)stoff, s. auch Süßstoff 295, 297, 284
Geschütz, s. auch Artillerie 93, 135, 150, 205
Gesellschaft zur Errichtung und Förderung einer Anstalt für Braunkohlentechnik und Mineralölchemie 219
Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute (GDMB) 85, 114
Gesellschaft für Kohlentechnik 221
Gesellschaft für Teerverwertung (GfT) 215–216
Geschoss, s. Granaten
Führungsband/Führungsring 90, 92–93, 114
Geschossfabrik 144, 146, 148
Kartuschhülse/Patronenhülse 90, 93–94
Getreide 16, 33, 268, 302
Getreidekaffee, s. auch Malzkaffee 52, 280
Gewerkschaft Constantin der Große, s. Bergwerk
Gewerkschaft Deutscher Kaiser, s. Bergwerk
Gewerkschaft König Ludwig, s. Bergwerk
Gewerkschaft Rheinpreußen, s. Bergwerk
Gewerkschaft Victor, s. Bergwerk
Gießen 103–104
Gießerei 111, 124–125, 195
Ginster 38
Gips 13, 27, 65
Glas, s. auch Flint 16, 23, 71
Glaswerke Ruhr AG 202
Glycerin 13, 35, 42, 44–45, 69, 214
Glykol, s. auch Tegoglykol 42–44, 284
Glysantin 44
Goldenberg-Werk 96, 98
Th. Goldschmidt AG 42, 44, 186–188, 204, 207–208, 221
Graphit 7, 33, 54, 193, 222
Granaten 69, 143–144, 146, 148, 150–151
Guano, s. auch Dünger 13
Gummi, s. auch Kautschuk 15, 34, 55, 60, 167–180
Hartgummi, s. Ebonit
Gutehoffnungshütte 139–142, 144, 195

Haarmann & Reimer 25, 64, 261, 273, 275, 281, 288
Haber-Bosch-Verfahren 13, 47–48, 63, 66–67, 173, 205–206, 221, 223–224, 240–241, 247, 250-251, 253–256
Halbzeug 87, 120
Hallescher Verband für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihre Verwertung 219
Hanf 33, 37
Haniel 227
Harze, s. auch Kopal, Schelllack, Sandarak 34, 56–57, 213, 216
Heer 142, 188, 190, 268
  Heeresbedarf 93, 141, 242, 244, 304
  Heeresverwaltung 85, 142–143, 150, 318
Hefe 20–21, 311
  Futterhefe
  Hefeersatz, s. Backpulver
  Hefeextrakt 50
  Hefereste, s. auch Ernolith 28
  Mineralhefe 319
Heidekraut 64, 308, 319
Heimstoff 58, 96, 116, 118
  Heimstofflokomotive, s. Lokomotivbau
Heizöl, s. auch Mineralöl 188–189, 209
Heizwert 185, 200
Herbizid, s. Pestizid
Hilfsstoff 28, 141
Hindenburg-Programm 33, 147–148, 151, 192, 196, 198, 200, 222–224, 250, 304
Hochdruck, s. auch Hydrierung
  Hochdrucktechnik/-verfahren 205–206, 212, 240–242, 245, 247–256
  Hochdruckgefäß 205–206, 225
Hochofen 139, 160–161, 201
Hochspannungsleitung, s. auch Leitungsbau 97, 102, 124
Hoechst AG 46, 172, 175
Hoesch-Benzin GmbH 203, 227–229
Holz, s. auch Lignin, Sulfitablauge 13, 19, 34, 46, 54, 64
  Holzmehl, s. Abfall
  Holzvergaser 54, 232
  Holzverkohlung 45
  Holzverzuckerung 19, 207–208
Hopfenranken 38
Hüls 177
Hülsenfrucht 20
Hüttenwerk Rheinhausen 151, 156
Hungersnot 16–18, 20, 63, 238, 247
Hydrierung 20, 62, 187, 203–204, 209–210, 213–214, 224, 229–230
  Hydrierwerk 70, 209, 213, 216, 225–226, 229, 231

IG Farbenindustrie AG 44, 62, 66, 174–180, 203, 208–209, 224–228, 230–231
Imitat/Imitation 29, 268, 278, 290, 297
Imperial Institute London 168
Import/-abhängigkeit 15–16, 23–24, 26–28, 30–33, 36–38, 40, 42–43, 45-46, 53–56, 58–64, 66, 68, 83, 87–89, 109, 135–137, 139–141, 151–152, 154–157, 159, 162, 168–170, 178, 182–186, 188, 191, 195, 222, 224–226, 241–244, 262–263, 266, 270–271, 302–303, 322
Indigo, s. auch Farbdroge 26, 262
Industrialisierung 21, 53, 253, 256, 265
Industrieforschung 273
Inflation 35, 53, 101, 108, 114, 219, 254
Ingenieur, s. auch Chemie-Ingenieur 9, 12–13, 32, 221, 304, 310
Innovation 8–11, 40, 58, 60, 67, 85–86, 123, 125, 135–136, 162–163, 180, 237, 246–247, 250, 253, 256, 262, 301
Inspektion des Kraftfahrwesens 207
Internationales Landwirtschaftsinstitut, Rom 312
Insektizid, s. Pestizid 36, 271–272
Institut für Gärungsgewerbe, Berlin 303, 308
Internationale Nahrungs- und Genußmittel AG (INGA) 267, 273–274, 276–277, 279, 281–282, 286–287, 289–290, 293–294, 297
Ionon 281
Isolierstoff/Isolierung 57
Isopren 167–168, 175

Junkers Flugzeug- und Motorenwerke 123
Jute 33, 37

Kabelwerk Oberspree 108
Kadaver, s. auch Tierkörper 64, 70, 301–302, 304–307, 309, 317–318, 321–322
  Kadavermehl, s. auch Fleischmehl 70, 305–307, 317
Käse
  Ersatz-Käse 268
Kaliwerk Gewerkschaft Desdemona 216

Kaffee
Kaffee-Ersatz/ -Surrogat/Ersatzkaffee 17, 50, 63, 265–297
Kaffeearoma, s. auch Coffarom 69, 261, 273–279, 282–284, 289–290, 293–296
Kaffeegewürz 63–64
Kaffee-Essenz 266, 275, 279, 280, 283, 285–286, 288
Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft 26, 32–33, 40, 53, 55, 68, 184, 220, 224
Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie 32
Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung 32, 60, 154, 162
Kaiser-Wilhelm-Institut für experimentelle Therapie 32
Kaiser-Wilhelm-Institut für Faserstoffchemie 32, 41
Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung 32, 62, 184, 190, 193, 209, 219–221, 227
Kaiser-Wilhelm-Institut für Landwirtschaftt 313
Kaiser-Wilhelm-Institut für Lederforschung 32
Kaiser-Wilhelminstitut für Metallforschung 32, 60, 85
Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie 32, 210
Kaiser-Wilhelm-Institut für Silikatforschung 32
Kaiser-Wilhelm-Stiftung für kriegstechnische Wissenschaft 218
Kalk 27, 46, 63, 240
Kalkstickstoff, s. auch Dünger 151, 239, 241–242, 248, 250
Kalkstickstoffverfahren 63, 239–240, 242, 246–248, 250, 253, 255
Kaolin, s. auch Füllmittel 27, 67
Karl Schmidt GmbH 123
Kartoffeln 18–19, 52, 189, 271, 302
Kartoffelstärke 56, 275
Kastanie 16, 45, 269
Katalysator, s. auch Osmium, Eisenoxid, Bismutoxid, Platin 26, 63, 213, 240–241, 245
Kathreiner (Firma) 17, 265–267, 285–286
Kautschuk, s. auch Gummi 7, 31, 33, 57, 61, 69, 172–173
Hartkautschuk, s. auch Ebonit 169, 174
Kautschukregenerat, s. Regeneratkautschuk
Synthesekautschuk, s. auch Buna, Neopren 10–11, 14, 26, 167–180
K. u. K. Gewerbeförderungsamt 221
Klebstoff 56–58
Kleidung, s. Textilien
Klima 8, 15, 72
Klöcknerwerke AG 227
Knetlegierung, s. auch Legierung 120
Knochen 56, 315
Knochenmehl 304–305, 319
Knopfindustrie 69
Kobalt 7, 213, 227
Köln-Rottweil AG 46, 152, 230
Königlich Preußische Geologische Landesanstalt 139, 216
Königliche Untersuchungsanstalt für Nahrungs- und Genußmittel 266
Königliche Versuchsstation Hohenheim 314
Königliches Eisenbahn-Zentralamt 99
Königliches Materialprüfungsamt 98
Kohle, s. auch Braunkohle, Steinkohle
Gasflammkohle 199
Kohlenhydrierung 11, 19, 54, 66, 225–232
Kohlenforschung 199, 222
Kohleveredlungsverfahren 208
Kohleverflüssigung, s. auch Fischer-Tropsch-Synthese 187, 224–232
Kohlevergasung 221
Kohlevorkommen 27, 48, 63
Kohlehydrat 45, 275
Kohlenmonoxid 217
Kohlenscheidungs-Gesellschaft mbH (KSG) 202
Kohlenwasserstoff 62, 185–187, 209–210, 217–218, 203
Kokerei 184, 195, 198
Kokereigas, s. auch Verkokung, Kohlevergasung 185, 202, 242
Kokereiprodukt 185, 216, 218, 222, 224
Kokillenguss, s. auch Gießerei, Sandguss, Spritzguss 88, 96, 104–105, 109–110, 119
Koks, s. auch Kokereiprodukt 150, 184–185, 202, 242
Halbkoks 193–196, 203
Kolonialwaren 15, 18, 275
Kolonie 24, 27–28, 46, 261
Kolophonium, s. auch Harze 56
Konservendose 58
Konstruktionslehre 84, 125
Umkonstruktion 92, 121
Kontinentalsperre, s. auch Blockade 16–19, 263–264, 275
Konzentrationslager (KZ) 231
Kopal 56
Koppelprodukt, s. auch Nebenprodukt 185

Korea-Krise 125
Kornfranck, s. auch Kaffee-Ersatz 267
Korrosion, s. auch Rost 58, 60, 91, 94, 102, 112
Korund 14
Knorr (Firma) 20
Kraftfahrzeug, s. auch Automobil 11, 118–119, 183
Kraftstoff, s. auch Benzin, Diesel, Gasöl 62, 189, 219
Kreide 67
Kreislaufwirtschaft, s. auch Recycling 72
Kriegsamt 141, 147–148
Kriegsausschuss für Ersatzfutter, s. Ausschuss
Kriegsernährung 302, 309, 312
  Kriegsernährungsamt 304
Kriegsgefangener 140, 143, 146, 148, 152
Kriegsgesellschaften 136, 141, 147, 191
  Kriegschemikalien AG 196, 219, 244
  Kriegsleder-Aktiengesellschaft 32, 68
  Kriegsmetall AG 32, 101
  Kriegsschmierölgesellschaft (KSG) 191–192, 198, 200, 217
Kriegsrohstoffabteilung (KRA) 32, 141–142, 146–148, 152, 173, 243–244, 247, 250
Kriegswirtschaft 96, 100, 135, 192, 198, 209, 231, 237, 242, 244–247, 251–252, 256, 307, 321
Krupp AG 151, 156, 198, 202, 205–206, 228
Krupp Treibstoffwerke GmbH 203, 227
Kunstguss, s. auch Gießerei 91
Kunstprodukte 21–22, 28
  Kunstaroma, s. auch Aromastoff 21, 280
  Kunstbutter, s. Margarine
  Kunstdarm, s. auch Naturdarm 21, 59
  Kunstdünger 21, 253, 261
  Kunstfaser, s. auch Textilfaserersatz 41, 66, 46–47, 68
  Kunstgewürz, s. auch Pfeffer-Ersatz 21, 42, 50
  Kunstharz, s. auch Bakelit 53, 55–58, 71, 121
  Kunsthonig 13, 21, 65
  Kunstholz 21
  Kunsthorn, s. auch Kunststoff 21–22
  Kunstkohle 21
  Kunstleder, s. auch Lederersatz 21, 54, 57
  Kunstlimonade 21
  Kunstpfeffer, s. auch Pfeffer-Ersatz 42, 271
  Kunstrum 21
  Kunstseide, s. auch Textilfaserersatz 21–22, 40, 47–48, 57
  Kunstspeisefett, s. Margarine
  Kunstwein 21
  Kunstwolle, s. auch Recycling, Lumpen, Wolle 21, 23
Kunststoff, s. auch Polymer, Bakelit, Celluloid 11, 14, 55–60, 70–72, 118
  Kunststoffabfall 72
  Kunststoffindustrie 47, 54, 70
Kupfer 13, 33, 60, 69, 87–125, 151, 183–184, 189, 223
  Kupfereinsparung 101, 109, 111, 114
  Kupferlegierung, s. Legierung, Bronze, Messing
  Kupfermangel/-not 36, 89, 94, 97, 108, 192
  Kupfersulfat/Kupfervitriolkalkbrühe 36

Lack, s. auch Öllack 30, 36, 56–58, 216
  Lackindustrie 215
  Lackrohstoff, s. auch Schellack, Kopal, Sandarak 15, 56
Lagermetall, s. auch Legierung 85, 99–100, 105–106, 108, 114, 122
Landwirtschaft, s. auch Agrarrohstoff 36, 62, 237–238, 242, 247, 249, 251–253, 256, 303, 309–310, 312, 321
Landwirtschaftliche Hochschule Berlin 303, 313
Landwirtschaftliche Versuchsstation Göttingen 303
Landwirtschaftliches Institut Königsberg 314
Lebensmittel, s. Nahrungsmittel
Lebensreformbewegung 265–266
Leder 56, 60
  Lederersatz, s. auch Kunstleder 9, 37, 56
Legierung
  Aldrey 113, 117
  Aluminiumbronze 100
  Amerikanische Legierung 105–106, 108
  Bahnmetall, s. auch Lagermetall 60, 99, 106, 121
  Bleibronze 121, 123
  Calcium-Lagermetall 99, 106, 108
  »Can«-Metall 122
  Constructal 123
  Cupal 116
  Deutsche Legierung 109
  Duralumin 95, 123
  Eisenbahn-Zink-Legierung (E.Z.I.) 97, 99
  Elektron 122
  Feldgrau-Lagermetall 99
  Gusslegierung 106, 109
  Kaiserbronze 86

Knetlegierung 120
Legierungsforschung 60, 124
Legierungsnomenklatur 86
Lurgimetall 60, 107
Manganbronze 94
Marinebronze 94
Österreichische Legierung 92
Phosphorbronze 100
Quarzal 122
Raffinal 103
Rotguss 98, 100
Rübelbronze 94, 105
Silumin 60, 105–107, 124
Spandauer Legierung 60, 92, 105–107, 124
Spritzgusslegierung 120
Zamak 110, 121
Zünderlegierung, s. auch Zünder 91–92, 101, 110, 124
Leichtmetall, s. auch Aluminium, Magnesium 122, 151
Leim, s. Klebstoff 188, 312
Leimleder 64, 310, 312–313, 315
Leitungsbau, s. auch Hochspannungsleitung 116
Leuchtgas, s. auch Stadtgas 193, 215
Leuna-Werk 70, 173, 176, 208, 221, 223–226, 249
Lloyd-Loom-Möbel 38, 70
Lichtbogenverfahren 63, 238–239, 240, 245, 247
Lignin 35, 71
LKW 182, 188, 190, 222, 232
Lösungsmittel 28, 40, 45–46, 62, 276
Löten 97, 112
Lokomotivbau 121–122
Heimstofflokomotive 117
Lonza-Werke 248
Luftfahrt 95
Luftfahrtindustrie 87–106
Luftschiff/Luftschiffbau 87, 95–96
Luftwaffe 226, 230, 232
Lumpen (Alttextilien) 23, 38
Lunkerbildung 86, 94, 110
Lupine 51–52, 269
Lurgi Apparatebau GmbH 198
Lurgi Gesellschaft für Wärmetechnik mbH 198
Lurgimetall, s. auch Legierung 60, 99, 107
Luxus 38, 265

Maggi (Firma) 20
Magnesium 110, 113, 119, 123
Magnesiumlegierung, s. auch Legierung 118
Makromolekül, s. auch Chemie/makromolekulare Chemie 54, 68, 270
Malzkaffee, s. auch Kaffee-Ersatz 264–268, 270, 272, 284, 286–287, 297
Mangan 33, 41, 61, 137, 139, 141–143, 146–153, 155–162, 190, 213
Manganerz 61, 137–142, 144, 146, 148, 153–156, 158–161
Manganerzgesellschaft mbH 146, 148, 153–154
Manganoxid 246
Manganstahl, s. auch Stahl 61
Manganverteilungsstelle, Düsseldorf 142, 152, 154
Mansfelder Kupferwerke 89, 115
Margarine 13–14, 21–23, 70–71
Marine 21, 112, 188, 212, 215, 268, 272
Marineheizöl 185
Marne-Schlacht 141, 243
Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG (MAN) 199, 202
Massenfabrikation 26, 92, 110, 253, 256
Material, s. auch Werkstoff 7, 12, 14–16, 26, 28, 33, 55, 60, 65, 69, 71, 72, 111, 179, 212
Materialprüfung 84
Materialprüfungsamt 98
Materialwissenschaftler 86
Messing, s. auch Legierung 85–86, 88, 91, 92–94, 96, 104, 108–109, 111, 114
Maybach 96
Mercaptan 276, 278–279
Merkantilismus 15–16, 28, 262
Mersolat, s. auch Waschmittel 70
Mess- und Regeltechnik 207
Metall(e), s. auch Nichteisenmetall, Eisen, Zinn, Mangan, etc.
Altmetall, s. Abfall
Deutsche Metalle, s. auch Aluminium, Zink, Magnesium 115
Metallersatz (Ersatzmetalle), s. Deutsche Metalle, Legierung
Metallforschung 114–115, 124–125
Metallindustrie 100, 115, 124–125
Metallkrise 115
Metall-Meldestelle 83
Metallographie 84
Metallurgie 85–86, 111, 137, 161

Metallwirtschaftsverband 60, 83, 115, 123
Rettungsmetall 91, 90, 110
Sparmetall 85, 98, 100–101, 106, 119
Metallgesellschaft AG 85, 107, 198
Methanol 13, 47, 178
Methylkautschuk, s. auch Kautschuk/Synthesekautschuk 61, 168–180
Methylisopren 168, 173, 179
Mikrobiologie, s. auch Biotechnologie 46–47
Mikrochemie, s. auch Analyse 283
Milch 21, 304, 306
Frischmilchersatz 21
Kondensmilch 21, 70
Muttermilchersatz 21
Militär 12, 33, 99, 183, 185, 190–191, 207, 218, 223–224, 263, 297
Militärversuchsamt 146, 154, 162
Mineralöl, s. auch Erdöl 186, 188, 193, 203, 207, 217–218, 222, 224–225, 231, 244
Mineralölwerke Albrecht & Co. 191
Mineralogie 219
Minette, s. auch Erz 139–140, 142, 154, 155, 159
Modernisierung 11, 316–317, 321
Modernisierungsschub 61, 67, 125, 154, 162
Montanwachs 186, 191
Motor
Elektromotor 97–98, 189
Flugzeugmotor, s. Flugzeug
Motorkolben 104
Spiritusmotor 122, 189
Verbrennungs-/Dieselmotor 124, 184, 187–190
Motorisierung 44, 61, 169, 183, 189–190, 222
Munition, s. auch Geschoss 190, 243
Munitionsproduktion 45, 84, 89, 90, 243
Munitionskrise 63, 120, 141, 144, 243–255

Nachhaltigkeit 8, 72, 136, 162–163
Nährwert 20, 265, 313
Nahrungsmittel 11, 16, 19, 30, 42–43, 49–50, 63–64, 67, 70, 189, 255, 263, 302–303, 312
Nahrungsmittelersatz 14
Naphthalin 62, 189, 194, 205, 209–215
Nationaler Technikstil 69, 109, 117
Nationalsozialismus 7, 30, 53–54, 203, 225–227, 232, 254, 301, 321
Natrium 99, 106, 213
Natriumchlorat, s. auch Sprengstoff, Pestizid 49, 70, 244
Naturdarm, s. auch Kunstdarm 58–59
Naturstoff 26, 270–273, 297, 296
Naturstoffchemie 19
Nebenprodukt, s. auch Koppelprodukt 22, 28, 89, 184–186, 189, 200, 203, 221, 227, 241–242, 261
Nekal, s. auch Tensid 44, 69
Neopren 175–176
Nescafé 275, 297
Nestlé (Firma) 275
Neuer Plan 226
Neustoff 50, 71
Neutrale Länder 89, 183, 242
Nichteisenmetall, s. auch Kupfer, Zink, Nickel, Mangan, etc. 60, 83–84, 106, 114
Nickel 33, 90, 105, 213–214
Nitrocellulose 34–35, 45, 48
Nitroglycerin (Dynamit) 35, 42
Nobelpreis 31, 36, 184, 205, 217, 262, 269–272, 274, 308
Normung 113, 123
N. V. Carbo-Union Industrie Maatschappij 202

Oberkommando der Wehrmacht 120
Oberschlesische Hydrierwerke AG 231
Oberschlesische Kokswerke & Chemische Fabriken AG 196, 198, 220
Oberste Heeresleitung (OHL) 147, 222
Ölpreiskrise, s. auch Erdöl 7, 11, 237
Ölsaaten 33
Öllack, s. Lack 57
pflanzliche Öle 193
Ölschiefer 186, 216–217, 232
Österreich-Ungarn 30, 45, 92, 185–186, 264
Opium 26
Osmanisches Reich 190, 223
Osmium, s. auch Katalysator 240
Dr. C. Otto & Comp. GmbH 185, 199

Panzer 169, 190, 209, 232
Panzerstahl 93
Papiergarn 36, 38, 65, 70
Paraffin/Paraffinöl 186, 191–192, 200
Patent 149, 186, 205, 207, 211, 213, 217, 226, 261, 276, 279–280, 283
Peak Oil 237
Pech 191, 210
Pektin, s. auch Alginat 50, 67
Penicillin 46
Perlon 54

Pestizid
Insektizid 36, 209, 272
Herbizid 49, 70
Peters Union AG, Bad Homburg 172
Petrochemie 11, 44, 48, 58, 60
Petroleum, s. auch Erdöl 188–189, 197, 211, 272
Pfeffer 42, 271, 284
Pfeffer-Ersatz 42–43, 271–272
Pfeiffer & Diller 287–288
Pflanzenschutz, s. Pestizid 36
Pharmaindustrie, s. auch Arzneimittel 35, 70, 168
Phenol 13, 56–57, 194, 201, 203, 279, 287
Phoenix AG für Bergbau und Hüttenbetrieb 138, 143
Phosphor 93, 160–161
Phosphat, s. auch Dünger, Guano 7, 33, 305
Photographischer Film 34
Pintsch AG 198
Piperin, s. auch Pfeffer 42
Plantage 167
Planwirtschaft 189
Platin 7, 33, 245–246
Polymer, s. auch Kunststoff 41, 168
Polyacryl 55
Polyethylen 59
Polystyrol 55
Polyvinylchorid (PVC) 55, 58, 60
Polymerisation 173, 178–180
Porzellan, s. auch Kaolin 71
Pottasche 23
Pott-Broche-Anlage 228–230
Pressen 110–111
Pressmessing 94, 112
Presszink, s. Zink
Pressstoff, s. auch Kunstharz 56
Preussag 231
Preußisches Ministerium für Handel und Gewerbe 219
Preußisches Kriegsministerium 13, 32, 87, 141, 183, 185, 190, 195–196, 204–205, 242, 246–248
Preußisches Kultusministerium 219–220
Preußisches Ministerium für Landwirtschaft, Domänen und Forsten 247, 302
Propeller 94
Protein, s. Eiweiß 14, 20, 22, 70, 275, 284, 304, 313–314
Protektorat 159, 184
Protolverfahren, s. auch Glycerin 45, 55
Pyrethrum, s. auch Pestizid 36, 66, 271–272
Pyrethrin 66, 272–273
Pyrethroid 36, 272

Raffination 120, 213
Raffinerie 207–208, 217
Rapsöl, s. auch Ölsaaten 282
Raffinal, s. Legierung
Rawack & Grünfeld 152
Recycling, s. auch Abfall 7, 38, 41, 153, 162, 179
Regeneratkautschuk, s. auch Kautschuk, Recycling 61, 167, 169–170, 172, 175, 178–180
Reichsbehörden, -organisationen und -unternehmen
Reichsamt für Luft- und Kraftfahrtwesen 104
Reichsamt des Innern 191
Reichsamt für wirtschaftliche Demobilmachung 100
Reichsamt für Wirtschaftsausbau 47, 55, 66, 224, 229
Reichsbahn 49, 99, 107, 117, 121
Reichseisenbahnamt 184
Reichsgesundheitsamt 306
Reichsfuttermittelstelle 303, 309
Reichsfutterwerk 320
Reichsluftfahrtministerium 123
Reichsmarineamt 191, 196, 210–212, 215
Reichspost 117
Reichsschatzamt 248, 309
Reichsstelle für Eisen und Stahl 155–158
Reichsstelle für Metalle 120
Reichsstelle für Sparmetalle 101, 106
Reichsstickstoffwerke Piesteritz 63, 70
Reichsvereinigung Eisen 156, 159, 161
Reichswehrministerium 115
Reichswerke Hermann Göring 231
Reichswirtschaftsamt 304
Reichswirtschaftsministerium 158, 312
Reichsverband für Abdeckereiunternehmen, s. auch Abdecker 322
Reichsverband der Abfallverwerter, s. auch Abfall 322
Reichsverband der Deutschen Metallindustrie 100
Reifen, s. auch Gummi, Kautschuk 167–172, 174–175, 177, 179–180
Reißwolle 38, 65
Renault 109

Reparation 53, 114
Ressource 8, 11–13, 44, 55, 66, 71, 73, 141, 163, 238–239, 243, 250, 261, 307
Erneuerbare Ressource 72
Ressourcendebatte 125
Ressourcenkonflikt 72
Ressourcenverknappung 72, 237
Rheinisch-Westfälisches Kohlen-Syndikat (RWKS) 184
Rheinische AG für Braunkohlenbergbau und Brikettfabrikation 226, 230
Rhenania-Ossag AG 231
J. D. Riedel AG 216
Röchling'sche Eisen- und Stahlwerke 160
Röhm & Haas 313
Roheisen, s. auch Eisen 143, 152, 157–159
Rohöl, s. auch Erdöl 186–188, 190, 208, 217
Rohrkolbenschilf 38
Rohrzucker, s. Zucker
Rohstoff
mineralischer Rohstoff, s. auch Erz, Kaolin, Ton, Sand etc. 34–35
nachwachsender/pflanzlicher Rohstoff, s. auch Agrarrohstoff 18, 34–35, 54
Rohstoffarmut/-mangel 8, 33, 41, 62, 65, 68, 123, 135, 237, 247, 251, 255–256, 322
Rohstoffbewirtschaftung 32, 141, 147, 155, 162
Rohstoffersatz/-ersatzverfahren 190, 200, 207, 221
Rohstoffkommissar 117
Rohstoffströme 34
Rolls-Royce 95
Rost/Rosten, s. auch Korrosion 88, 112
Rote Armee 159
Rotenon, s. auch Pestizid 36
Rübenzucker, s. Zucker
Rückgewinnung, s. auch Recycling 41, 61, 155–156, 192–193
Rührwerk 206, 230
Ruhrbenzin AG 227
Ruhrchemie 226–227
Ruhröl GmbH 229
Rüstungsproduktion 13, 33, 83, 89, 123, 146–147, 156, 196
Rüstungswirtschaft 45, 141–142, 162
Rütgerswerke AG 198, 211, 216

Salatdressing 50
Salpeter, s. Chilesalpeter
Salpetersäure 23, 32, 48, 63, 239, 244–245, 247–248, 255
Salze
Kalisalze 27
Magnesiumsalze 27
Steinsalz 27
Sandarak 56
Sand 16, 27
Sandguss, s. auch Gießerei 96
Sauerstoff 61, 137, 239, 241, 244–245, 289
Schalker Verein 137
Schellack 56–57
Schlachthof 28, 70, 302,305–306, 316–318, 321
Schlachtabfall 305, 316
Schlachtnebenprodukt, s. auch Blut, Knochen 301
Schlacke, s. Abfall 61, 71, 102, 137, 140, 152–153, 156, 159–162
Schmierstoff, s. auch Graphit, Voltol 62, 183, 188, 190, 192, 209, 222, 224
Schmieröl, s. auch Erdöl, Schwelung, Verkokung 188, 192, 195–196, 200, 213, 217–218, 223, 226
Schokolade 64, 266, 280, 286–288, 290, 293, 295
Schrott, s. auch Abfall, Metall 88
Schütte-Lanz 95
Schuhe, Schuhwaren 9, 169
Schuhsohle 37, 169
Schuhcreme 213
Schwefel 23, 33, 36, 61, 65, 93, 137, 210, 289
Schwefelgewinnung, s. auch Gips 13, 65
Schwefelsäure 13, 183, 241, 244
Schweinemord 303, 309
Schweißen, s. auch Verbindungstechnik 95, 97, 112
Schwelung, s. auch Verkokung 188, 193, 195
Schwelanlage 201, 203
Schwerspat (Bariumsulfat) 65
Schwindmaß 88, 106
Seide, s. auch Kunstseide 33
Seife 20, 23, 28, 35, 213
Kriegsseife (K-Seife) 67
Seifenersatz, s. auch Tenside 44
Seifenindustrie 56
Seifenstreckmittel, s. auch Füllmittel 67
Serendipität, s. auch Zufallsentdeckung 71

Siemens 102, 113
Siemens-Schuckert 98
Siemens-Martin-Stahl, s. auch Stahl 136, 139, 144, 146, 150, 160, 198–199
Silicium 96, 102, 105–106, 113
Silikat, s. auch Sand, Glas 67
Silumin, s. Legierung
Sisal 33
Soda (Natriumcarbonat) 23–24, 261
Soja, s. auch Futter 322
Sonderweg 135
Spiegeleisen 61, 137–140, 142–144, 149, 155–160
Spiritus, s. Ethanol, Kartoffeln 189, 222
Sprengstoff/ -mittel 30, 34–35, 48, 63, 70, 184, 214, 239, 244
Chloratsprengstoff 63, 244
Explosivstoff 239
Perchloratsprengstoff 63, 244
Spitzguss, s. auch Legierung 105, 109–110, 120
Stacheldraht 135
Stadtgas, s. auch Leuchtgas 185, 222
Stahl, s. auch Siemens-Martin-Stahl 53, 61, 97, 120, 196, 198
Granatenstahl 143–144, 146–147, 153
Stahlguss 94–95
Stahlindustrie 61, 84, 135–136, 139, 142, 146–147, 151–152, 154–158, 160–162, 199
Standard Oil 176, 187, 225
Stapelfaser, s. auch Textilfaser 40–41, 66
Steingut 16
Steinkohle, s. auch Kohle 32, 186, 195–196, 201, 209, 218, 220, 223, 224, 229–230, 238
Steinkohlenschwelung 203, 228
Steinkohlenteer 13, 27, 62
Steinkohlenteerdestillation 189, 210
Stickoxid 245
Stickstoff 205, 221, 237–240, 246–256, 276, 283, 305
Stickstofffixierung, s. auch Haber-Bosch-Verfahren 239, 254–255
Stickstoffsyndikat 254
Stickstoffwerke Rauxel 227
Stollwerk (Firma) 286
Stoffströme 30, 33
Straßenbahn 96, 99
Streckmittel, s. auch Füllmittel 62, 67
Streichholzindustrie, s. auch Zündmasse 49
Stroh 17, 64, 308
Strohaufschließung 308
Stroh(kraft)futter, s. auch Futtermittel 310–311, 319
Strukturaufklärung 36, 274, 284
Sudetenländische Bergbau AG 231
Sudetenländische Treibstoffwerke AG 231
Süßstoff 51
Sulfitablauge, s. auch Abfall, Holz, Zellstoff 71
Surrogat, s. auch Ersatz 15–16, 18–22, 28–30, 36, 50, 65, 262, 264, 270, 280, 288, 290, 296–297
Synthese, chemische 20, 24–28, 42, 46–48, 54, 64, 66, 217, 278
System Podewils 306

Tabak 15
Tabak-Ersatz 268
Tambora 17–18
Technikwissenschaften 33, 53
Technische Chemie, s. Chemie 219
Technologisches Gewerbemuseum, Wien 221
Tee 15, 262, 266
Teer 189, 194, 200, 209
Teeröl 186, 188, 216, 229
Teerdestillation 189, 210
Tegoglykol, s. auch Frostschutzmittel 44
Telegraphie 97
Tensid, s. auch Waschmittel 44
Terpentin 68, 214
Tetralin 62, 211–216
Textilien 36
Heimtextilien 38
Kleidung 38
Papiertextilien 39
Textilfarbstoff, s. Farbstoff
Textilfaser, s. Baum-, Zellwolle, Kunstseide, Perlon, Viskose
Textilfaserersatz/Ersatz-Textilfaser, s. auch Papiergarn, Zellwolle, Brennnessel, Kunstseide, Viskose etc. 14, 40, 66, 209
Textilfasermangel 23, 36, 40, 66–67
Textilforschung 41
Textilhilfsmittel 44
Textilindustrie 34, 38, 54
Textilpflege 70
Textilrohstoffe 41
Technische Hochschule
TH Berlin-Charlottenburg 193, 204, 219
TH Breslau 219–220
TH Hannover 204
TH Karlsruhe 189, 191–192, 199, 216

Thomas-Stahl, s. auch Stahl 136, 148, 150, 157
Thomas-Stahlerzeugung 154
Thomas-Stahlwerk 143–144, 149, 159
Thomas-Stahlverfahren 136, 146, 150, 156, 159, 161
Thyssen & Co. AG 92, 137, 139–141, 156–157
Thyssen'sches Hüttenwerk 139, 155, 201
Tieftemperaturverkokung, s. auch Schwelung 62, 192, 196–198, 201, 203, 217–218, 220
Tierärztliche Hochschule, Berlin 211
Tierfutter, s. Futter/-mittel, Fischmehl, Tierkörpermehl 63–64, 70, 302, 305–306, 323
Tierkörper, s. auch Kadaver 316–317
Tierkörperbeseitigungsgesetz 322
Tierkörpermehl 64, 306, 311, 316, 319–320
Tierkörperverwertung 322–323
Tierschutz 64, 322
Toluol, s. auch Trinitrotoluol (TNT) 48, 184–185
Ton 27, 67
Tonerde 53, 88
Torf 38, 219–220
Tran 193
Transformator 97–98, 113
Treibstoff, s. Kraftstoff 11
Trinitrotoluol (TNT), s. auch Sprengstoff 48
Tropenhölzer/Edelhölzer 15

U-Boot/-Krieg 135, 169, 188, 207, 212, 222
Überwachungsstelle für unedle Metalle 116–117, 119
Umschmelzen/Umschmelzindustrie 88, 120
Umwelt
Umweltproblem 8, 15, 71–72
Umweltschutz 64
Union Rheinische Braunkohlen Kraftstoff AG 230
Uran 240
Urteer 195, 199, 203

Vanadin 155
Vanille 24–25, 43, 296–297
Vanille-Aroma 24
Vanille-Ersatz/-Surrogat, s. auch Vanillin 25
Vanillin 25–26, 43, 274, 281, 296
Veganismus 52, 70, 323
Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) 96, 113
Verband für Tierkörperindustrie 322
Verbindungstechnik, s. Löten, Schweißen 98, 102, 112–113
Verbrauchslenkung 41, 123
Verbundwerkstoff 57, 124
Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh) 85, 136, 142–144, 146–151, 153–155, 157, 162–163, 199
Verein Deutscher Gießereifachleute 85
Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 191, 216
Verein der Spiritusfabrikanten Deutschlands 308
Verfahren, s. auch Bergius-, Haber-Bosch-, Kalkstickstoff-, Lichtbogenverfahren etc. 11, 13–16, 18–19, 26, 28, 41, 44–48, 58, 62–67, 71, 89, 92, 97, 112, 137, 146, 148,–149, 151, 156, 159–162, 186–187, 191, 193–195, 197–199, 203–205, 207, 210–211, 213, 217, 221–224, 226–228, 231, 237, 239–242, 245–248, 250–251, 253–256, 261, 272, 276–277, 279–281, 284, 296, 301, 303, 305–306, 308, 310, 313–314, 316, 320
Verkaufsvereinigung für Teererzeugnisse GmbH (VfT) 215
Verkokung 193–195
Tieftemperaturverkokung, s. auch Schwelung 62, 192, 196–198, 201, 203, 217–218, 220
Versailler Vertrag 154, 253
Vertrag von Rapallo 155
Verunreinigung 24, 34, 60, 85, 88, 91, 102–103, 110, 114125, 210, 284
Verwendungsverbot, s. auch Verbrauchslenkung 41, 117, 124–125, 157
Verwissenschaftlichung 61, 68, 84, 125, 154, 162
Verzinnung 58, 94
Vierjahresplan 55, 62, 65–66, 118, 155–156, 161, 209, 224, 227, 231
Viskose 40, 65, 67
Volkswagen 123
Voltol, s. auch Schmierstoff 62, 217
Vulkanisation, s. auch Kautschuk, Schwefel 57, 170

Wachs(e) 28, 216
Bohnerwachs 213
Alexander Wacker-Werke 46, 172
Währungsreform/-stabilisierung 65, 101, 254
Waffen- und Munitionsbeschaffungsamt (Wumba) 144, 147–148, 154, 162, 250
Waschmittel 12, 35, 44, 54, 70

Wasserkraft/-werk 63, 151, 190, 239–240, 245, 248
Wasserstoff 204–207, 210–212, 217, 221, 224, 226, 240
Wehrmacht 54, 117, 121, 158, 203, 224, 232
Weichmacher 54, 56–58
Weißblech, s. auch Verzinnung 58, 188
Weißmetall (WM), s. auch Lagermetall, Legierung, Zinn 99–100, 121–122
Weltausstellung, s. auch Ausstellung 28
Weltkrieg, Erster 30, 32, 36, 38, 40–42, 45–50, 53–54, 60–62, 64–70, 83, 100, 110, 112, 114, 116, 118, 120–121, 123–125, 135–137, 139, 141, 146, 153–156, 158, 160, 162, 183, 187, 203–204, 217, 222, 224, 228, 232, 237, 246, 253–256, 268, 304, 307, 323
Weltkrieg, Zweiter 30, 71, 123, 125, 135, 142, 155, 157, 161, 202, 209, 222–224, 232, 254, 270, 272, 302
Weltwirtschaftskrise 155, 203, 209, 225, 253, 321
Werkstoff, s. auch Material 12–14, 50, 55–56, 60, 71–72, 83, 95–96, 109, 111–112, 114, 116, 118–119, 122–125, 137, 144, 148, 150, 152, 154, 158, 162
  Deutscher Werkstoff, s. auch Ersatz, Austausch(werk)stoff 54–55
  Werkstoffkommission 90
  Werkstofftechnik 61, 68, 154, 162
  Werkstofftechniker 86
  Werkstofftradition 112
Werschen-Weißenfelser Braunkohlen AG 226
Wertstoff, s. auch Abfall 28, 71, 202, 220, 301
Wintershall AG 227
Wissenstransfer 125
Wolle, s. auch Textilfaser 23, 33
Württembergischer Dampfkessel-Revisionsverein 192
Wurst
  Wurstwarenindustrie 58
  Wurstfabrikation 59
  Blutwurst 70

Zeche, s. Bergwerk
Zellgas, s. Cellophan
Zellstoff, s. auch Holz, Sulfitablauge 11, 34, 54, 57, 188
Zellwolle 11, 40, 66
Zeppelin 48, 95, 102
Zichorie 16, 264, 268–289, 273, 280, 289
  Zichorienkaffee, s. auch Kaffee-Ersatz 264–267, 270, 273, 289, 297
Zink 85, 88, 90–92, 96–98, 102, 108–111, 113–115, 118–122, 125
  Feinzink 94, 115, 120–121
  Presszink 91, 93
  Zinklegierung, s. auch Legierung 86, 92, 97, 119–121
  Zinkweiß 49
  Walzzink 91, 93, 109
Zinkberatungsstelle 119
Zinn, s. auch Ver-/Entzinnung 33, 58, 88, 91, 98–99, 109–112, 121–122
Zoll 15, 115
Zucker 18–19, 24, 45, 51, 268, 274, 285
  Zuckerrübe 19, 269
  Zuckerersatz, s. auch Süßstoff 51
  Zuckerrohr 19
Zünder, s. auch Geschoss 87, 90–92, 112
  Zünderfertigung 92, 120
  Zünderlegierung 91-92, 101, 110, 124
Zündmasse/Zündmittel 49, 239
Zufallsentdeckung, s. auch Serendipität 87, 24, 44
Zustandsdiagramm 85

Autorinnen und Autoren

Sandro Fehr, Dr. phil., studierte Geschichte und Politikwissenschaft. Nach Abschluss des Studiums war er an der Abteilung für Wirtschafts-, Sozial- und Umweltgeschichte des Historischen Instituts der Universität Bern tätig, wo er 2012 mit einer verkehrshistorischen Arbeit promovierte. Er forscht und publiziert hauptsächlich zur Geschichte der Luftfahrt und zur Kriegswirtschaft im Ersten Weltkrieg und ist Gymnasiallehrer an der Kantonsschule Rychenberg in Winterthur.

Helmut Maier, Prof. Dr., ist Projektleiter am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschafts- und Technikforschung (IZWT) der Bergischen Universität Wuppertal. Nach dem Studium der Elektrotechnik (Dipl.-Ing.) promovierte er 1990 an der TU Braunschweig in Naturwissenschaftsgeschichte (Dr. rer. nat.). 2005 habilitierte er sich mit einer Arbeit zur Geschichte der NS-Rüstungsforschung an der BTU Cottbus (Dr. phil. habil.). 2007–2020 bekleidete er den Lehrstuhl für Technik- und Umweltgeschichte an der Ruhr-Universität Bochum. Er forscht zur Geschichte der Energie und Werkstoffe, der technisch-wissenschaftlichen Gesellschaften sowie zur NS-Wissenschafts- und Technikgeschichte.

Peter J. T. Morris, Dr., ist Senior Research Fellow Emeritus des Science Museums in London und Honorary Research Associate am University College London. Er wurde mit dem Edelstein Award der American Chemical Society und dem Wheeler Award der Royal Society of Chemistry ausgezeichnet. Von 2001–2012 war er Herausgeber von »Ambix«, der Zeitschrift der Society for the History of Alchemy and Chemistry. Zurzeit arbeitet er an einem Buch über die Geschichte des Synthesekautschuks in Deutschland während der NS-Zeit und zusammen mit Peter Reed an einer Biografie von Henry Enfield Roscoe. Er ist ferner Mitherausgeber der sechsbändigen »Cultural History of Chemistry«, die 2021 bei Bloomsbury erscheinen wird.

Claus Priesner, Prof. Dr., studierte Diplom-Chemie. Nach seiner Promotion 1977 war er am Deutschen Museum tätig, und von 1984–2012 Fachredakteur der Neuen Deutschen Biographie für die Ressorts Naturwissenschaften, Medizin, Pharmazie, Mathematik, Kartographie, Forschungsreisen, Technik, Montanwesen sowie Land- und Forstwirtschaft. Habilitation 1997; zahlreiche Veröffentlichungen zur Geschichte der Alchemie, Chemie, des Berg- und Hüttenwesens sowie zur Geschichte der Drogen.

Manfred Rasch, Prof. Dr., war von 1992–2018 Leiter des heutigen thyssenkrupp Corporate Archives 1975–1982 Studium der Geschichte und Mathematik für Lehramt Sekundarstufe II an der Ruhr-Universität Bochum, 1984–1986 Referendariat, bis 1992 Wissenschaftlicher Assistent und Archivar am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr, 1989 Promotion zu einem wissenschaftsgeschichtlichen Thema, seit 1990 Lehrtätigkeit an der Ruhr-Universität Bochum, 2003 Honorarprofessor. Zahlreiche Publikationen zur Wirtschafts-, Wissenschafts- und Technikgeschichte des 19. und 20. Jahrhunderts, insbesondere des Ruhrgebiets.

Ulrike Thoms, Dr. phil., promovierte 2001 nach einem Studium der Geschichte, Germanistik und Kommunikationswissenschaften mit einer Arbeit zur Ernährungsgeschichte. Es folgten zahlreiche weitere Studien aus diesem Themenfeld sowie Publikationen zur Körper- und Medizingeschichte, zur Wirtschafts- und Sozialgeschichte und zur Wissenschaftsgeschichte. Langjährige Mitarbeiterin am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin, seit 2017 Gymnasiallehrerin für Deutsch und Geschichte in Berlin-Neukölln.

Andreas Zilt, M.A., Leiter des thyssenkrupp Corporate Archives in Duisburg, Studium der Technik-, Wirtschafts- und Unternehmensgeschichte an der Ruhr-Universität Bochum, Veröffentlichungen vor allem zur Geschichte der Stahlindustrie. Zurzeit arbeitet er mit Manfred Rasch und Johan van Ikelen an einer Publikation über die Entstehung der Küstenhüttenwerke in Europa und Übersee. Er forscht zur technikhistorischen Entwicklung der Eisen- und Stahlindustrie, der technisch-wissenschaftlichen Gesellschaften und zur Technikgeschichte im Nationalsozialismus und im deutschen Wiederaufbau.

Bisher erschienen

Band 1 Dirk Bühler
Museum aus gegossenem Stein: Betonbaugeschichte im Deutschen Museum
http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies1-9

Band 2 Panagiotis Poulopoulos
New Voices in Old Bodies: A Study of ›Recycled‹ Musical Instruments with a Focus on the Hahn Collection in the Deutsches Museum
http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies2-6

Band 3 Hartmut Petzold
Eine Berliner Waage im Münchner Deutschen Museum: Geschichte, Hintergründe und Aktualität eines Museumsobjekts
http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies3-2

Band 4 Astrid Mignon Kirchhof (ed.)
Pathways into and out of Nuclear Power in Western Europe, Austria, Denmark, Federal Republic of Germany, Italy, and Sweden
http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies4-8

Band 5 Walter Chinaglia
Towards the Rebuilding of an Italian Renaissance-Style Wooden Organ
http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies5-4

Band 6 Wilhelm Füßl (Hrsg.)
Von Ingenieuren, Bergleuten und Künstlern. Das Digitale Porträtarchiv »DigiPortA«
http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies6-1

Band 7 Andrea Geipel, Johannes Sauter, Georg Hohmann (Hrsg.)
Das digitale Objekt – Zwischen Depot und Internet
http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies7-7

Band 8 Charlotte Holzer
Das Kleid aus Glas: Eine Restaurierungsgeschichte im Deutschen Museum
http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies8-3