

Karl Otto Henseling

# Ursprünge des industriellen Stoffwechsels zwischen Mensch und Natur

Schriftenreihe des IÖW 187/08



i | ö | w

INSTITUT FÜR  
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG



Karl Otto Henseling

# Ursprünge des industriellen Stoffwechsels zwischen Mensch und Natur

Schriftenreihe des IÖW 187/08  
Berlin, September 2008

ISBN 978-3-932092-90-9

# Impressum

Herausgeber:  
Institut für ökologische  
Wirtschaftsforschung (IÖW)  
Potsdamer Straße 105  
D-10785 Berlin  
Tel. +49 – 30 – 884 594-0  
Fax +49 – 30 – 882 54 39  
E-mail: [mailbox@ioew.de](mailto:mailbox@ioew.de)  
[www.ioew.de](http://www.ioew.de)

Neugestaltete Ausgabe 2009

## Zusammenfassung

In zwei Jahrhunderten industrieller Entwicklung hat der Mensch in einem weitaus größeren Maß in seine natürliche Umwelt eingegriffen, als in den davor liegenden Jahrtausenden. Mit der Industriellen Revolution wurde auch der Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur einem revolutionären Wandel unterzogen. Die Grenzen des „fossilen Zeitalters“ zeigen sich nicht nur in Form des Klimawandels. Eine andere bisher zu wenig beachtete Gefahr für Umwelt und Gesundheit sind die schleichenden Vergiftungen, die von der rasant gestiegenen Zahl und Menge synthetischer Verbindungen ausgehen, die alle Lebensbereiche durchdringen. Wie sich die chemische Industrie im Gesamtzusammenhang der Industrialisierung entwickelt hat, ist Schwerpunkt der folgenden Darstellung.

Dieser Text ist eine aktualisierte und überarbeitete Fassung der ersten Kapitel des Buches „Ein Planet wird vergiftet“, das 1992 in der Reihe rororo-aktuell (Aktuell 13013) erschienen ist. Eine Fortsetzung ist unter dem Titel „Am Ende des fossilen Zeitalters. Alternativen zum Raubbau an den natürlichen Lebensgrundlagen“ 2008 im oekom verlag, München, erschienen (ISBN 978-3-86581-122-6).

## Abstract

Within two centuries of industrial development men have intervened in natural environment to a far greater extent than in the previous millennia. Along with industrial revolution, the metabolism between human and nature underwent a revolutionary change as well. The limits of the fossil age are not only apparent in climate change. A different, yet insufficiently noticed danger for environment and health comes from advancing toxications which derive from the rapidly increasing number and amount of synthetic compounds, which interfuse all areas of life. The focus of the following paper is on how the chemical industry has been developed, in the general context of industrialisation. This paper is an updated and revised version of the first chapters of “Ein Planet wird vergiftet”, which was published in 1992 in the rororo-aktuell (Aktuell 13013) series. The sequel to this book was published by oekom in 2008, under the title “Am Ende des fossilen Zeitalters. Alternativen zum Raubbau an den natürlichen Lebensgrundlagen” (ISBN 978-3-86581-122-6).

## Danksagung

Späte positive Reaktionen auf meine Buchveröffentlichung „Ein Planet wird vergiftet“ aus dem Jahr 1992 haben mich ermutigt, das Thema wieder aufzugreifen. Bei den detailreichen Diskussionen über ein neues europäisches Chemikalienrecht (REACH) ist der problematische Kontext, in dem die Chemie und die Chemische Industrie im Gesamtzusammenhang einer nicht nachhaltigen Entwicklung zu sehen sind, weitgehend in den Hintergrund gedrängt worden. Ich danke insbesondere dem Arbeitskreis Umweltchemikalien/Toxikologie des BUND, Kolleginnen und Kollegen im Umweltbundesamt und dem IÖW dafür, dass sie mich dabei unterstützt haben, die Debatte über diesen Kontext weiterzuführen.

Mein persönlicher Dank gilt Philip Maschke, der die technische Bearbeitung des Manuskripts übernommen hat, Thomas Korbun, der die Veröffentlichung in der Schriftenreihe ermöglichte und Jochen Luhmann, der mich durch beständigen Gedankenaustausch unterstützt hat.

## Der Autor

**Dr. Karl Otto Henseling** ist Wissenschaftlicher Oberrat im Umweltbundesamt und Gesellschafter des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). Er war von 1975 bis 1991 in der Curriculumentwicklung und Lehrerfortbildung tätig und hat in dieser Zeit zahlreiche Beiträge zur Umweltbildung erstellt. Von 1992 bis 1994 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages. Seit 1994 ist er im Umweltbundesamt tätig. Seine Arbeitsschwerpunkte dort sind Stoffstromanalysen und -management, Ressourcenschutz und Nachhaltige Entwicklung.  
**Kontakt: [karl-otto.henseling@t-online.de](mailto:karl-otto.henseling@t-online.de)**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Der Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur ist eine kulturelle und politische Gestaltungsaufgabe.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Kohle und Eisen: Revolutionäre Umwandlung der stofflichen Basis menschlichen Wirtschaftens .....</b>	<b>13</b>
	Eingriff in geologische Stoffkreisläufe .....	13
	Formen vorindustrieller Umweltnutzung: Waldverwüstung und nachhaltigere Alternativen.....	15
	Kohlenutzung und vorindustrieller Holzangel .....	16
	Nutzbarmachen der Steinkohle.....	17
	Die „Veredelung“ der Steinkohle: Kokereien und Gasanstalten .....	19
	Nebenprodukte der Kokereien und Gasanstalten.....	21
	Der Einfluss der Kokereinebenprodukte auf die menschliche Gesundheit.....	22
	Steinkohlenqualm und schädlicher Hüttenrauch .....	24
	Verdünnung bis zur „Unschädlichkeitsgrenze“ .....	25
	Eisen und Stahl.....	26
	Ausbreitung der Maschinen und Fabriken .....	29
<b>3</b>	<b>Industrialisierung der lebendigen Natur: Land- und Forstwirtschaft.....</b>	<b>31</b>
	Die Bedeutung der Kolonien für die industrielle Entwicklung .....	31
	Die Begründung der industrialisierten Landwirtschaft in Deutschland .....	33
	Anfänge der "Chemisierung der Landwirtschaft" .....	34
	Verflechtung von Industrie und Landwirtschaft.....	37
	Zucker: Treibstoff der industriellen Entwicklung .....	38
	Entstehung der Rübenzuckerindustrie in Deutschland.....	39
	Rübenanbau, Monokultur und Mechanisierung .....	40
	Die Auswirkungen der Rübenzuckerfabrikation auf die Umwelt.....	41
	Der Schnaps und die Industrielle Revolution.....	42
	Industrialisierte Forstwirtschaft .....	43
	Ökologische Folgen forstlicher Monokulturen.....	44
<b>4</b>	<b>Naturaneignung und Chemie .....</b>	<b>46</b>
	Experimentelle Grundlagen .....	47
	Naturwissenschaftler im 18. und 19. Jahrhundert .....	48
	Vom Kopf auf die Füße: moderne Verbrennungslehre und Stöchiometrie.....	50
	Vom praktischen Nutzen chemischer Formeln .....	52
<b>5</b>	<b>Synthetische Soda - Ursprung der chemischen Grundstoffindustrie.....</b>	<b>54</b>
	Sodaherstellung nach LEBLANC: Schwerchemie des 19. Jahrhunderts .....	55
	Verfahrensablauf.....	56
	Die Sulfat- und Sodaöfen: Hölle auf Erden.....	58
	Das lästige Salzsäuregas: Ursprung der Chlorchemie .....	61

	Der Sodarückstand: Quelle großer "Unannehmlichkeiten" und Anstoß zur Entwicklung der Entschwefelungstechnik .....	64
<b>6</b>	<b>Zwischenbilanz: Umwelt und Gesellschaft um 1900 .....</b>	<b>67</b>
	Die Gewerbeordnung: Rechtliche Grundlage der industriellen Produktionsweise .....	68
	Ortsübliche Belastung .....	69
	Die Überschreitung des Gemeinüblichen und Regelmäßigen: Flussverunreinigungen um 1900 ...	70
	Stand der Technik und Wirtschaftlichkeit .....	72
	Der Kampf um die Reinhaltung der Flüsse, des Bodens und der Luft.....	73
	Umweltpolitik und behördlicher Handlungsspielraum .....	75
<b>7</b>	<b>Die Teerfarbenindustrie: Keimzelle der modernen Chemieindustrie.....</b>	<b>78</b>
	Ursprünge der Teerfarbenindustrie .....	78
	Fuchsin .....	79
	Entstehung der deutschen Teerfarbenindustrie .....	85
	Die Alizarinsynthese.....	87
	Farbenindustrie und Wissenschaft .....	88
	Azo-Farbstoffe .....	92
	Indigo .....	95
	Zwischenprodukte .....	96
	Expansion der deutschen Teerfarbenindustrie .....	98
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>103</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Koksofenbatterie um 1895.....	20
Abb. 5.1:	Verfahrensschema des Leblanc-Sodaverfahrens .....	57
Abb. 5.2:	Arbeit am Handsodaofen .....	58
Abb. 5.3:	Rotierender Sodaofen.....	60
Abb. 5.4:	Schornstein der Musprattschen Sodafabrik ca. 1830.....	62
Abb. 7.1:	Teerfarbenfabrikation um 1870 .....	85
Abb. 7.2:	Der Benzolring als Affenreigen.....	90
Abb. 7.3:	Indigoterie .....	95

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Globale Energieströme und -potentiale .....	14
Tab. 2.2:	Der Bedarf an Kohle zur Herstellung von einer Tonne Roheisen in verschiedenen Epochen.....	27
Tab. 2.3:	Roheisenproduktion des Ruhrgebietes (OBAB Dortmund) 1840-1900.....	28
Tab. 2.4:	Entwicklung der Zahl von Dampfkesseln in Preußen in ausgewählten Industriezweigen.....	30
Tab. 5.1:	Baumwollimporte Englands .....	54
Tab. 5.2:	Seifenverbrauch in England .....	55
Tab. 5.3:	Baumwollverarbeitung und Chemikalienbedarf.....	56
Tab. 7.1:	Entwicklung der Anzahl der Betriebe, der Beschäftigten und der Durchschnittsdividenden in der chemischen Industrie .....	100



# 1 Der Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur ist eine kulturelle und politische Gestaltungsaufgabe

Klimakatastrophe, Artensterben oder Schadstoffe in Nahrungsmitteln beschreiben verschiedene Seiten eines globalen Problems, des gestörten Stoffwechsels zwischen Mensch und Natur. Die Lebensgrundlagen auf der Erde nachhaltig zu sichern setzt eine umfassende Neubesinnung des Verhältnisses von Mensch und Natur voraus. Sie beginnt mit einer Analyse der Fehlentwicklungen und zeigt Alternativen für einen dauerhaften Umgang mit den natürlichen Ressourcen auf.

Im Verlauf der Erdgeschichte haben sich immer komplexere Lebensformen herausgebildet. Die Abläufe der natürlichen Evolution sind für unser modernes Zeitempfinden unvorstellbar langsam. Ineinandergreifende biologische und geologische Stoffkreisläufe haben zu weitgehend stabilen Gleichgewichten in der stofflichen Zusammensetzung der Biosphäre geführt. Schließlich wurde die Stufe erreicht, die die Entstehung des Menschen ermöglichte.

Bis zur Industriellen Revolution wirtschaftete die Menschheit eingebunden in natürliche Energieströme und Stoffkreisläufe. Sie nutzte überwiegend regenerative Rohstoffe und Energien. Umweltzerstörungen waren in Einzelfällen bereits massiv, jedoch regional begrenzt. Global gesehen hielten sich die Eingriffe des Menschen in die Biosphäre in der Größenordnung natürlicher Veränderungen.

In zwei Jahrhunderten industrieller Entwicklung hat der Mensch in einem weitaus größeren Maß in seine natürliche Umwelt eingegriffen, als in den davor liegenden Jahrtausenden. Mit der Industriellen Revolution wurde der Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur einem revolutionären Wandel unterzogen. Durch die unbeschränkte Ausbeutung fossiler Energieträger griff der Mensch mit weitreichenden Folgen in geologische Stoffkreisläufe ein. Der globale Klimawandel ist Folge des gestörten Kohlenstoffkreislaufs. Auch andere Stoffe werden aus tieferen Erdschichten in die wirtschaftlichen Stoffströme gebracht und gelangen in Konzentrationen in die biologischen Stoffkreisläufe, die die natürlichen Toleranzgrenzen überschreiten.

Durch den massiven Einsatz von Maschinen und synthetischen Stoffen wie Düngemitteln und Pestiziden in Land- und Forstwirtschaft hat der Mensch die lebende Natur einer neuartigen und intensiveren Nutzung unterzogen. Ökosysteme wurden damit verstärkten Belastungen ausgesetzt und die natürlichen Nährstoffkreisläufe wurden unterbrochen.

Mit der chemischen Industrie entstand eine Schlüsselindustrie, die eine Vielzahl neuartiger Stoffe in den Wirtschaftsprozess einbringt und in die Umwelt entlässt. Viele dieser Stoffe kommen in der Biosphäre nicht oder nur in geringsten Mengen natürlich vor. Sie sind aber heute im Gewebe von Lebewesen zu finden, deren Stoffwechselsysteme sich diesen Substanzen im Verlauf der Evolution nicht anpassen konnten. Mit diesen Stoffen wird auch der menschliche Organismus völlig neuen Einflüssen und Belastungen ausgesetzt.

Wissenschaft und Technik sind seit Beginn der Industrialisierung in besonderem Maß darauf ausgerichtet, die Natur durch wirtschaftliche Nutzung zu beherrschen. Die Natur als Ganzes wird in eine Fülle weitgehend isolierter Forschungsgegenstände aufgeteilt. Die Naturwissenschaften gliedern sich in weitgehend unabhängige Einzeldisziplinen und diese wieder in Spezialgebiete auf. Ganzheitliche Naturbetrachtungen haben demgegenüber einen geringeren Stellenwert. Komplexe

Wirkungen menschlicher Eingriffe in die Natur werden meist erst als Folge des globalen Experiments der massenhaften industriellen Anwendung nachträglich wahrgenommen.

Parallel zu atomistischen Naturwissenschaften hat sich eine hinsichtlich der Naturnutzung ähnlich zergliederte Wirtschaftsweise herausgebildet. Mit der Befreiung aus den Fesseln des Feudalismus hat sich die Wirtschaft auch der gesamtgesellschaftlichen Verantwortung weitgehend entziehen können. Die Gewerbefreiheit beinhaltet implizit die Freiheit, die natürlichen Existenzgrundlagen - Pflanzen und Tiere, mineralische Rohstoffe, Boden, Luft und Wasser - unbeschränkt der wirtschaftlichen Ausbeutung zu unterwerfen. Statt sich Gedanken über einen langfristig ausgewogenen Stoffwechsel des Menschen mit der Natur zu machen, überließ man dessen Entwicklung lieber gedankenlos der „unsichtbaren Hand“ des Adam Smith.<sup>1</sup>

Dabei waren die katastrophalen Folgen einer schrankenlosen Naturausbeutung schon bald nach Entstehen der ersten Industrien deutlich zu erkennen. Verpestete Luft und verseuchtes Wasser waren bereits im 19. Jahrhundert drängende Umweltprobleme. In Deutschland waren diese Probleme um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert Gegenstand heftiger politischer Auseinandersetzungen. Die sozialen Katastrophen zweier Weltkriege und das durch Inflation und Weltwirtschaftskrise verschärfte Massenelend haben das Bewusstsein für die damals bereits akuten Umweltprobleme für mehr als ein halbes Jahrhundert verschüttet.

In diesem Text werden die Entstehungshintergründe und wichtige Entwicklungslinien des industriellen Stoffwechsels mit der Natur skizziert. Dabei wird analysiert, auf welcher Basis und mit welchem Natur- und Gesellschaftsverständnis sich neue industrielle Formen der Naturnutzung durchsetzen konnten. Ausgangspunkte der Betrachtung sind der Übergang von regenerierbaren zu nicht regenerierbaren Rohstoffen und Energiequellen und die Entwicklung industrieller Methoden in Land- und Forstwirtschaft. Mit der Entwicklung der Chemie von einer spekulativen zu einer exakten Naturwissenschaft werden wissenschaftliche Grundlagen neuer Formen industrieller Naturaneignung beschrieben. Die Entstehungsgeschichte der Sodaindustrie zeigt Wurzeln der chemischen Grundstoffindustrie – und erste gravierende Umweltprobleme. In einer Zwischenbilanz werden die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen beleuchtet, unter denen sich der industrielle Stoffwechsel mit der Natur entwickelt hat. Mit der Teerfarbenindustrie, die im 19. und frühen 20. Jahrhundert der innovativste Zweig der chemischen Industrie war, wird die Keimzelle der modernen Chemieindustrie beschrieben.

---

1 Adam Smith (1723-1790), Begründer der modernen Volkswirtschaftslehre, vertrat die Auffassung, das allgemeine, gesellschaftliche Glück werde maximiert, indem jedes Individuum versucht, sein persönliches Glück im Rahmen seiner ethischen Gefühle zu erhöhen. Durch eine unsichtbare Hand werde gleichzeitig auch das allgemeine, gesellschaftliche Glück erhöht. Diese Auffassung hat Smith differenziert begründet. Populär wurde seine Theorie in der vulgären Kurzfassung: Das eigennützige Streben der Menschen trage durch das Wirken einer unsichtbaren Hand automatisch zum Wohl der gesamten Gesellschaft bei.

## 2 Kohle und Eisen: Revolutionäre Umwandlung der stofflichen Basis menschlichen Wirtschaftens

Für die Entwicklung des Stoffwechsels zwischen Mensch und Natur waren die massenhafte Nutzung der Kohle und die Massenstahlerzeugung auf Koksbasis entscheidende Neuerungen. Durch den Zugriff auf fossile Energieträger, zunächst vor allem die Kohle, konnte die Abhängigkeit menschlichen Wirtschaftens von den unmittelbar gegebenen Energieströmen und Stoffkreisläufen aufgehoben werden. Stattdessen griff man in geologische Stoffkreisläufe ein, die natürlicherweise Zeiträume umfassen, die ein Vielfaches der Dauer der bisherigen Menschheitsentwicklung ausmachen.

### Eingriff in geologische Stoffkreisläufe

Kohle, Erdöl und Erdgas werden dadurch gebildet, dass - abhängig von den klimatischen und geologischen Bedingungen in den verschiedenen erdgeschichtlichen Epochen - fortwährend ein geringer Teil der organischen Substanz aus dem ständigen Kreislauf von Werden und Vergehen in der Biosphäre<sup>2</sup> ausgegliedert, chemisch umgewandelt und gespeichert wird. Ein kleiner Bruchteil der so aus den biologischen Stoffkreisläufen ausgegliederten Substanzen gelangt auch ohne menschliches Zutun nach Jahrtausenden an die Erdoberfläche und wird durch bakterielle Zersetzung oder andere Prozesse wieder für biologische Stoffkreisläufe verfügbar. Mit den in Form von Kohle, Erdgas oder Erdöl aus der Biosphäre ausgegliederten Stoffen, vor allem Kohlenstoff, Kohlenwasserstoffen und Schwefelverbindungen, wurde auch der zur Bildung dieser Stoffe aufgewendete Anteil an Sonnenenergie gespeichert.<sup>3</sup>

Der Anteil der jährlich in fossilen Energieträgern festgelegten Energie beziehungsweise Stoffe ist verglichen mit dem Gesamtumsatz in der Biosphäre verschwindend gering. Erst die Ansammlung über Jahrtausende hat die fossilen Energievorräte der Erde entstehen lassen. Die folgenden Zahlen sollen einen Eindruck von der Größenordnung geben, in der sich die fossilen Energievorräte im Rahmen globaler Energiebilanzen bewegen und welchen Anteil der Weltenergieverbrauch des Menschen im Verlauf von zweihundert Jahren industrieller Entwicklung daran bereits genommen hat:<sup>4</sup>

- 
- 2 Die Biosphäre ist der Gesamtlebensraum aller lebenden Organismen auf der Erde. Die Biosphäre umfasst die Gewässer, die oberste, wenige Dezimeter dicke Bodenschicht und die unteren Luftschichten.
  - 3 Die der Entstehung aller fossilen Energieträger zugrunde liegenden organischen Stoffe entstammen direkt oder indirekt der Photosynthese von Pflanzen. Unter Photosynthese versteht man die Umwandlung von Kohlendioxid und Wasser zu Traubenzucker unter Aufnahme von Sonnenenergie, die in den grünen Teilen von Pflanzen stattfindet.
  - 4 Berechnet nach: Bachofen, R.: Bio-Energie - Energie aus lebenden Systemen, in: Bio-Energie. fischer alternativ, Magazin Brennpunkte, 9. Jg. Bd. 13, Frankfurt a.M. 1978. Der Fischer Weltatlas 2006. Wikipedia.org: <http://de.wikipedia.org/wiki/Weltenergieverbrauch002>. Mohr, H.: Energie aus Biomasse - eine oftmals überschätzte Ressource, in: VDI nachrichten, [http://www.vdi-nachrichten.com/vdi\\_nachrichten/aktuelle\\_ausgabe/akt\\_ausg\\_detail.asp?cat=1&ID=3250](http://www.vdi-nachrichten.com/vdi_nachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=1&ID=3250), Stand 18.8.2000.

**Tab. 2.1: Globale Energieströme und -potentiale**

Jährliche Sonneneinstrahlung auf der Erde:	1,9	$\times 10^{14}$	= 190 000 000 000 000 t	SKE <sup>5</sup>
In fossilen Energieträgern gespeicherte Energie:	7,5	$\times 10^{12}$	= 7 500 000 000 000 t	SKE
Jährlich neu gebildete fossile Energieträger:	1,3	$\times 10^4$	= 13 000 t	SKE
Verbrauch an fossilen Energieträgern 2004	1,46	$\times 10^{10}$	= 14 600 000 000 t	SKE
Jährliche Energiefixierung durch Photosynthese (globale Nettoprimärproduktion, NPP) <sup>6</sup>	11,8	$\times 10^{10}$	= 118 000 000 000 t	SKE
Jährlich maximal energetisch nutzbare NPP	4,7	$\times 10^9$	= 4 720 000 000 t	SKE

Der Vergleich der Zahlen führt zu folgenden Erkenntnissen:

- Die Sonne ist die weitaus ergiebigste Energiequelle der Erde.
- Der heutige Verbrauch an fossilen Energieträgern entspricht etwa dem Millionenfachen der in der gleichen Zeit neu gebildeten Menge.
- Bei gleich bleibender Verbrauchsrate würden in weniger als tausend Jahren die in einigen hundert Jahrillionen angesammelten fossilen Energieträger verbraucht werden – eine wegen des bereits vorher eintretenden katastrophalen Klimawandels nur theoretische Betrachtung.
- Der Verbrauch an fossilen Energieträgern durch den Menschen beträgt bereits mehr als zwölf Prozent der Energie- und Stofffixierung der Biosphäre durch Photosynthese (Nettoprimärproduktion).
- Da von der durch Photosynthese gebildeten Biomasse maximal 4 % energetisch genutzt werden können, kann günstigstenfalls ein Drittel des heutigen Verbrauchs an fossilen Energieträgern durch Biomasse ersetzt werden.<sup>7</sup>

sind Durch die gemessen an geologischen Zeiträumen blitzartige Freisetzung langfristig gebundener Stoffe in die Biosphäre ergeben sich abrupte Veränderungen vor allem in der Zusammensetzung der Erdatmosphäre. Der in den fossilen Energieträgern enthaltene Kohlenstoff wird als Kohlendioxid in die Luft abgegeben. Die drastische Senkung der globalen Kohlendioxidemissionen ist heute eine der wichtigsten umweltpolitischen Forderungen. Der Schwefel entweicht, sofern er nicht durch Entschwefelungsanlagen zurückgehalten wird, als Schwefel-dioxid, Hauptverursacher des sauren Regens.

5 1 t SKE entspricht der Energiemenge, die in einer Tonne Steinkohle mit einem bestimmten Brennwert enthalten ist. 1 t SKE =  $7 \times 10^6$  kcal =  $2.93 \times 10^{10}$  J

6 NPP Landbiosphäre = 60 GtC und NPP Ozeane = 45 GtC; eigene Umrechnung in SKE, nach: Joos, F.: Einführung in den Kohlenstoffkreislauf, Vorlesungsskript Sommersemester 2006, <http://www.climate.unibe.ch/~joos/vorlesung.html#CCycle>.

7 Vgl. Mohr, H., a.a.O.

Die fossilen Energieträger und darunter vor allem die Kohle enthalten nicht nur die chemischen Elemente, die in den abgestorbenen Lebewesen, aus denen sie entstanden, enthalten waren. Im Verlauf der geologischen Prozesse, denen die fossilen Rohstoffe unterworfen waren, sind je nach Art der Kohle oder des Öls sehr unterschiedliche Stoffe in verschiedenen Konzentrationen dazugekommen. Zu diesen während geochemischer Prozesse in die fossilen Energieträger gelangten Substanzen gehören u.a. mineralische Stoffe einschließlich verschiedener (Schwer-)Metallverbindungen, Schwefelverbindungen und auch radioaktive Substanzen. Auch diese Stoffe können durch die Verbrennung in die Biosphäre gelangen und dort als Schadstoffe wirken.

Die globalen klimatischen und ökologischen Aspekte der Nutzung fossiler Energieträger wurden erst im 20. Jahrhundert allmählich deutlich. Am Beginn des Industriezeitalters machten sich schädliche Auswirkungen der Nutzung fossiler Energieträger auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit bereits in lokalem oder regionalem Umfang bemerkbar.

## Formen vorindustrieller Umweltnutzung: Waldverwüstung und nachhaltigere Alternativen

Der Zustand der Wälder war zu Beginn der Industrialisierung sehr unterschiedlich. Neben Wäldern in gutem Zustand und Resten naturnaher Wälder fanden sich viele Regionen, in denen die Wälder ein sehr trauriges Bild boten. Neben Rodungen zur Gewinnung von Acker- und Weideland waren die Waldweide, übermäßige Wildbestände und übermäßige Holzentnahme für gewerbliche Zwecke und der Holzhandel Ursachen für Waldverwüstungen. Die Gewerbe mit großem Brennholzbedarf waren Salz- und Salpetersiedereien, Brauereien, Ziegeleien und Kalköfen, Aschenbrenner und Glashütten, Berg- und Hüttenwerke etc. Diese Gewerbe brannten im wahrsten Sinn des Wortes gewaltige Löcher in die Wälder. Bergbau und Hüttenwesen strapazierten die Wälder nicht nur durch ihren großen Holzbedarf, sondern auch durch die emittierten Schadstoffe, den "schädlichen Hüttenrauch".

Da Holz in vorindustrieller Zeit wichtigster Werkstoff und Energielieferant war, lassen sich an dieser Ressource unterschiedliche – nachhaltige und nicht nachhaltige Formen der Naturnutzung – nachweisen. Die regional unterschiedlichen Auswirkungen der Gewerbe mit hohem Holzbedarf auf den Zustand der Wälder lassen sich auf die jeweils ausgeübten Wirtschaftsweisen, nachhaltiges Wirtschaften oder Raubbau, zurückführen. Zwei Beispiele aus dem Bereich der Salinen und der Eisenmetallurgie sollen das belegen. Die Lüneburger Salzsiedereien beanspruchten die umliegenden Holzvorkommen durch Raubbau so stark, dass die Entwaldung und Heidebildung in der Umgebung Lüneburgs zu einem Standardbeispiel vorindustrieller Waldverwüstung wurde. Die Saline Reichenhall wirtschaftete dagegen schon seit dem 16. Jahrhundert nach dem Prinzip des "ewigen" Waldes. In einer Schrift aus dem Jahr 1661 wird der Begriff erläutert:

*"Gott hat die Wäld(er) für den Salzquell erschaffen, auf daß sie ewig wie er kontinuierern mögen; also solle der Mensch es halten: ehe der alte ausgehet, der junge bereits zum Verhacken hergewachsen ist."*<sup>8</sup>

Durch entsprechende Forstordnungen wurde dafür gesorgt, dass für die Saline nur soviel Holz geschlagen wurde, wie in den Wäldern nachwuchs. Ähnlich unterschiedliche Wirtschaftsweisen sind auch aus dem Bereich der Eisenerzeugung überliefert. Zeitgenössische Berichte über schlimme

---

8 Radkau, J./Schäfer, I.: Holz. Ein Naturstoff in der Technikgeschichte. Reinbek 1987, S. 99.

Waldverwüstungen - beispielsweise aus der Oberpfalz - nennen rücksichtslosen Kahlschlag zur Deckung des Holzkohlebedarfs der Hochöfen und Hammerwerke als Ursache für den traurigen Zustand der Wälder. Die im Siegerland betriebene Haubergswirtschaft war dagegen auf langfristige Sicherung der Holzversorgung angelegt. Im Haubergsystem wurden die Waldflächen auf genossenschaftlicher Grundlage im gemeinschaftlichen Interesse von Bauern, Eisenindustrie und Ledergerber genutzt: Je nach der Umtriebszeit waren die Hauberge in 16 bis 20 Schläge eingeteilt, von denen jeweils der älteste jährlich geschlagen wurde. Die Arbeit begann im Frühjahr mit dem Schlagen des Holzes, wobei von den Eichen zunächst nur die Äste abgeschlagen wurden. Das Holz wurde als Brennholz und zur Holzkohlegewinnung verwendet. Die Eichen wurden im Mai entrinde, wenn der Saft gestiegen war. Die Eichenrinde diente zur Gewinnung von Lohe für die Gerberei. Die Eichenstämme wurden zu Holzkohle verarbeitet. Im Hochsommer wurde die Fläche abgebrannt. Die Asche diente als Dünger für die Einsaat von Roggen, die nach entsprechender Bearbeitung des Bodens erfolgte. Diese Bodenbearbeitung geschah so, dass der aus den stehen gebliebenen Stümpfen und natürlicher Aussaat entstammende Baumnachwuchs nicht gefährdet war. In den heranwachsenden Schlägen wurde in einem Umfang, der den Baumwuchs nicht hinderte, Waldweide mit Schweinen und Kühen betrieben. Die Haubergwirtschaft war gesetzlich geregelt und auf eine stabile nachhaltige Wirtschaftsweise ausgerichtet:

"Die Haubergwirtschaft ermöglichte ein Gleichgewicht zwischen Industrie und Wald. Die soziale Grundlage war ein Bauerntum, das von der Landwirtschaft allein nicht leben konnte und auf das Holzgeschäft angewiesen war, und ein zunftmäßig organisiertes Eisengewerbe, das im eigenen Interesse eine Begrenzung der Eisenproduktion betrieb."<sup>9</sup>

## Kohlenutzung und vorindustrieller Holzangel

Die Entstehung der modernen Industrie und damit die ungehemmte Ausbeutung fossiler Energieträger werden häufig als zwangsläufige Folge naturbedingter Mangelsituationen, vor allem eines nahezu ausweglosen Holzangels, dargestellt. Die damit unterstellte Zwangsläufigkeit und selbstverständliche Fortschrittlichkeit der industriellen Entwicklung ist jedoch durchaus anzuzweifeln.

Die zahlreichen Berichte über Waldverwüstungen und die zeitgenössischen Klagen über Holzangel lassen keinen Zweifel daran, dass Ende des 18. Jahrhunderts eine grundsätzliche energiewirtschaftliche und -politische Neuorientierung erforderlich war.

Welcher Weg wurde zur Lösung des Energieproblems eingeschlagen und welche Alternativen gab es damals?

GLEITSMANN unterscheidet bei den historischen Strategien zur Lösung der Holzknappheit drei Varianten:

- die Sparstrategien, bei denen man der Holzknappheit durch rationelleren Umgang insbesondere mit Brennholz zu begegnen suchte;
- die Verlagerungsstrategien, die den Mangel an Holz durch Ausweichen auf reichlicher vorhandene Ersatzstoffe wie Braun- oder Steinkohle auszugleichen trachteten und

---

9 Radkau, J./Schäfer, I., a.a.O., S. 110.

- die Entwicklung regenerativer, vielseitiger Formen der Holznutzung wie der Haubergwirtschaft, bei der die wirtschaftlichen Aktivitäten den natürlichen Gegebenheiten angepasst waren.<sup>10</sup>

Mit der massenhaften Nutzung der Stein(- und Braun)kohle als Energiebasis für die weitere industrielle Entwicklung hat sich die Verlagerungsstrategie historisch durchgesetzt. Die beiden anderen Strategien wurden dadurch weitgehend bedeutungslos. Die durch die Kohlenutzung (Verlagerungsstrategie) erreichte Entlastung des Holzmarktes wurde in Deutschland erfolgreich zur Wiederaufforstung genutzt.

Mit der Sparstrategie, die im 18. Jahrhundert eine wesentliche Rolle spielte, konnte bis zur Industrialisierung kein ausreichender Erfolg erzielt werden, obwohl diesbezügliche Bemühungen auch von der Obrigkeit stark gefördert worden sind. In Preußen wurde unter Friedrich d. Großen 1863 ein amtliches Preisausschreiben über „einen Stubenofen, so am wenigsten Holz verzehret“ veranstaltet. In dieser Zeit wurden "Holzsparöfen" in verschiedenen Varianten konstruiert. Der Erfolg dieser Bemühungen blieb begrenzt – nicht zuletzt wegen der hohen Kosten der „Sparöfen“. In den gewerblichen Bereichen, die Holz oder Holzkohle als Energieträger verwendeten (Glashütten, Metallurgie, Salzsiedereien etc.), konnten erst im späten 19. Jahrhundert neue energieeffiziente Prozesstechnologien entwickelt werden.

Die am Beispiel der Haubergwirtschaft dargestellte Strategie der regenerativen Nutzung natürlicher Ressourcen wurde, nachdem der Zwang zu einer effizienten Nutzung der Ressource Holz entfallen war, nicht ernsthaft weiter verfolgt. Ein solches in die natürlichen Gegebenheiten eingepasstes, auf den langfristigen Erhalt der Produktionsgrundlagen ausgerichtetes Wirtschaften entsprach und entspricht nicht der sich damals durchsetzenden Wirtschaftsauffassung. Unterstützt durch die Ideologie des Wirtschaftsliberalismus, wie sie vor allem unter Berufung auf Adam SMITH (1723-1790) formuliert wurde, gewann Ende des 18. Jahrhunderts die auf Produktionsexpansion angelegte, warenwirtschaftlich ausgerichtete Produktionsweise gesamtwirtschaftlich an Bedeutung.

Hauptziel des Wirtschaftens ist danach nicht die Befriedigung von konkreten Bedürfnissen und auch nicht die langfristige Sicherung der Existenzgrundlagen, sondern die optimale Verwertung und Mehrung von Kapital in gnadenlosem Konkurrenzkampf. Gegenüber dieser kapitalistischen Wirtschaftsauffassung konnte sich eine auf einen Gleichgewichtszustand im Stoffwechsel mit der Natur orientierte und sich dabei selbst beschränkende Wirtschaftsweise nicht behaupten.

Ob eine konsequente Weiterentwicklung der Sparstrategie und "angepasster Technologien" ausgereicht hätte, um den Holzangel des 18. Jahrhunderts zu beheben, lässt sich im Nachhinein nicht feststellen. Sicher ist jedoch, dass die explosionsartige Steigerung des Energieverbrauchs für die Befriedigung der elementaren Bedürfnisse der Menschen nicht notwendig war. Sie erfolgte nicht unter dieser Zielsetzung.

## Nutzbarmachen der Steinkohle

Steinkohle war schon im Altertum bekannt. THEOPHRASTOS (372 - 287 v. Chr.) erwähnt in einem Buch über die Steine auch die Steine, die von selbst brennen.<sup>11</sup> Die Verwendung von Steinkohle

10 Vgl. Gleitsmann, R.-J.: Das Problem vorindustrieller Holzknappheit, in: Technologie und Politik, Bd. 16, Reinbek 1980, S. 120 f.

11 Vgl. Röss, F. M.: Geschichte der Kokereitechnik, Essen 1957, S. 21.

für Schmiedefeuer ist von Griechen und Römern überliefert, war aber wohl nicht sehr weit verbreitet.

In Europa versuchte man im Mittelalter überall dort, wo die Kohle offen zu Tage trat, Verwendung für die merkwürdigen brennbaren Steine zu finden. Qualm und Gestank der brennenden Steinkohlen behinderten jedoch ihre Verbreitung als Heizmaterial. Der hohe Schwefelgehalt machte sie überdies für das Erschmelzen von Metallen unbrauchbar. In Regionen mit mangelhafter Brennholzversorgung wurde die Steinkohle trotzdem immer häufiger für Zwecke, bei denen die nachteiligen Eigenschaften nicht so ins Gewicht fielen, als Brennstoff eingesetzt. Die Londoner Schmiede gehörten zu den frühen Benutzern der Steinkohle. Sie handelten sich allerdings bereits im 13. Jahrhundert eine Beschwerde des Adels wegen Umweltverschmutzung ein, weil sie mit dem Kohlenqualm ihrer Schmiedefeuer die Luft verpesteten. Die Auffassung, der Kohlenqualm sei Ursache von Krankheiten und anderen Übeln für Mensch, Tier und Pflanze, begründete damals ein Verbot, Steinkohle für den häuslichen Gebrauch zu verwenden. Da die Kohle in den offenen Kaminen der Engländer eher schwelte als brannte, waren die gesundheitlichen Bedenken und das Verbot durchaus gerechtfertigt.

Seit dem 16. Jahrhundert wurde Steinkohle regional zunehmend für gewerbliche Zwecke verwendet. Man benutzte sie zum Brennen des Kalkes und der Ziegel und zum Heizen der Salzpflanzen und der Glas- und Keramiköfen.

Brauereien und Zuckerraffinerien hatten mit der Einführung der Steinkohlen als Brennstoff Schwierigkeiten, da ihre Produkte durch den Kohlenqualm stark im Geschmack beeinträchtigt werden konnten.<sup>12</sup>

Um der Kohle zu allgemeiner Verwendbarkeit als Heizmaterial und als Reduktionsmittel für die Metallherzeugung zu verhelfen, mussten verschiedene Probleme gelöst werden:

- Es mussten Feuerungsanlagen konstruiert werden, in denen die Kohle ohne Komplikationen verbrannt werden konnte.
- Die Verfahren des Kohlebergbaus mussten so verbessert werden, dass auch die reichen Kohlevorkommen in tieferen Erdschichten ausgebeutet werden konnten.
- Da die Steinkohle (und auch Braunkohle) im Gegensatz zu Holz nur in wenigen Gegenden gewonnen werden konnte, erforderte ihre breite Verwendung ein effektives Massentransportsystem.
- Es mussten Verfahren gefunden werden, die Kohle von ihren störenden Bestandteilen - vor allem dem Schwefel - zu befreien.

Um die reichen Kohlevorkommen in tieferen Erdschichten ausbeuten zu können, mussten neue Verfahren des Kohlebergbaus entwickelt werden. An vielen Standorten, so im Ruhrgebiet, lagen über den Kohlevorkommen stark wasserführende Schichten. Der zu Tage zu fördernden Kohle gesellte sich oft ein Vielfaches an Wasser hinzu, das die Schächte zu ersäufen drohte. Für die Entwicklung einer wirkungsvolleren Wasserhaltung war vor allem eine stärkere Antriebskraft erforderlich, als sie bis dahin zur Verfügung stand. Diese Antriebskraft wurde in der Dampfmaschine gefunden, zu deren Entwicklung und Verbreitung der Bergbau entscheidende Impulse gab.<sup>13</sup>

---

12 Vgl. Selmeier, F.: Eisen, Kohle und Dampf, Reinbek 1984, S. 113.

13 Vgl. Varchmin, J./Radkau, J: Kraft, Energie und Arbeit, Reinbek 1981, S. 83 ff.

Ursprünglich nur zum Antrieb der Wasserpumpen entwickelt, wurden die Dampfmaschinen bald auch für die Förderung der Kohle verwendet. Die Zahl der in den Steinkohlenbergwerken im Oberbergamtsbezirk Dortmund eingesetzten Dampfmaschinen stieg von 142 im Jahr 1851 bis auf 1.351 im Jahr 1874.<sup>14</sup>

Die mit der Dampfmaschine verfügbaren größeren Kräfte erforderten für den Maschinenbau einen stabileren Werkstoff als Holz. Mit der Einführung der Dampfmaschine wurde das Holz durch Eisen und Stahl als vorherrschender Werkstoff im Maschinenbau abgelöst.

Für den Transport der Steinkohle (und auch der Erze und industriellen Massenprodukte) war ein effektives Massentransportsystem erforderlich. Durch den Ausbau von Kanalsystemen und später durch den Eisenbahnbau wurde es geschaffen. Die Entwicklung der Eisenbahn war eng mit der Entwicklung des Bergbaus – und des Militärwesens - verbunden.<sup>15</sup>

In der Zeit zwischen 1830 und 1874 stieg die Steinkohlenförderung im Ruhrgebiet um mehr als das Zwanzigfache von 686.000 auf 15.540.000 Tonnen. Das deutsche Eisenbahnnetz wuchs von 6.044 km 1850 auf 25.615 km 1875.<sup>16</sup>

## Die „Veredelung“ der Steinkohle: Kokereien und Gasanstalten

Bemühungen, "den Steinkohlen den Gestank, die Wildigkeit und Unart zu benehmen"<sup>17</sup>, haben eine lange Tradition. Frühe Versuche, Steinkohle durch Erhitzen unter Luftabschluss, also durch Verkoken zu reinigen, reichen bis in das 16. Jahrhundert zurück. Auch der berühmte Chemiker und Alchemist Johann Joachim BECHER (1635-1682) stellte Versuche zur Verkokung und metallurgischen Verwendung von Steinkohle an.<sup>18</sup>

Das Prinzip der Kokserzeugung besteht darin, Steinkohle unter Luftabschluss solange auf Temperaturen bis zu etwa 1000 °C zu erhitzen, bis die flüchtigen Bestandteile entwichen sind. Die ersten Koksöfen waren den Holzkohlemeilern nachempfunden. Diese Meilerverkokung war eine geradezu unglaubliche Verschwendung und Umweltverpestung. Die bei der Verkokung entweichenden Gase und Dämpfe verqualmten die Gegend und der Teer verseuchte den Untergrund, ein großer Teil der Kohle verbrannte ungenutzt. Auch die älteren gemauerten Koksöfen (Bienenkorböfen) waren in dieser Hinsicht nicht viel besser.

Sie lieferten wenigstens eine höhere Koksausbeute. Eine Verbesserung stellten Koksöfen dar, die die entweichenden brennbaren Gase zu ihrer eigenen Feuerung verwendeten und bei denen der Teer gesammelt wurde. Von 1860 an wurden Kokereien mit außengeheizten Retorten oder Ofenkammern und mit systematischer Nebenproduktgewinnung entwickelt und gebaut.

---

14 Vgl. Holtfrerich, C.-L.: Quantitative Wirtschaftsgeschichte des Ruhrkohlenbergbaus im 19. Jahrhundert, Dortmund 1973, S. 79.

15 Vgl. Henseling, K. O.: Bronze, Eisen, Stahl, Reinbek 1981, S. 102 ff.

16 Vgl. Holtfrerich, C.-L., a.a.O., S. 132.

17 Um 1640 machte der anhaltinische Münzmeister Daniel STUMPFELT eine "Intervention den Steinkohlen den Gestank, die Wildigkeit und Unart zu benehmen"; nach Fester, G.: Die Entwicklung der chemischen Technik von den Anfängen bis zur Großindustrie, Wiesbaden 1923, S. 191 f.

18 Vgl. Fester, G., a.a.O., S. 192.

Bei den Kokereien, die hauptsächlich der (Hütten-)Kokserzeugung dienten, spielte das entstehende Gas nur eine untergeordnete Rolle. Es wurde hauptsächlich als Heizgas für die Feuerung der



**Abb. 2.1: Koksofenbatterie um 1895**

Quelle: Foto aus dem Jahr 1895. Archiv von Dr. C. Otto, Bochum

Koksöfen eingesetzt. Anders verhielt es sich dagegen bei den Gaskokereien bzw. Gasanstalten, die andere Steinkohlensorten (Gaskohle) mit erheblich höheren Gasausbeuten verwendeten.

In praktisch bedeutendem Umfang wurde die Gasbeleuchtung zuerst von William MURDOCK in England realisiert. Er richtete 1798 in der berühmten Dampfmaschinenfabrik BOULTON & WATT die erste Gasbeleuchtung in einer Fabrik ein, die 1802 öffentlich vorgestellt wurde.<sup>19</sup> Einige Jahre später wurde die neue Lichtquelle erstmals für die Straßenbeleuchtung verwendet.

<sup>19</sup> Vgl. Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 1.Aufl. Bd. VII, Berlin und Wien 1919, S. 567 f.

## Nebenprodukte der Kokereien und Gasanstalten

Die beim Verkoken von Steinkohle in den Kokereien und Gasanstalten entstehenden Gase und Flüssigkeiten wurden mit fortschreitender Industrialisierung zum Problem. Neben dem außerordentlich widerlichen Gestank, den sie verströmten, traten auch unübersehbare Folgen für die Vegetation und das Leben vor allem in den kontaminierten Gewässern auf. Eine geregelte Entsorgung oder Weiterverwendung wurde dringend erforderlich.

Bei der Verkokung von Steinkohle (Gaskohle) fallen ungefähr 65% Koks, 10% Ammoniakwasser, 18% Gas und 7% Teer an.<sup>20</sup>

Der Hauptbestandteil des Gaswassers, das Ammoniak, wurde zu einem profitablen Ausgangsstoff für die Düngemittelerzeugung und die Chemische Industrie. Von dem lästigen Teer befreiten sich die Gaswerke zunächst dadurch, dass sie ihn unter den Retorten verbrannten. Mit dem Ausbau der Eisenbahnnetze wurden große Mengen Teer zum Imprägnieren von Eisenbahnschwellen eingesetzt. Von 1860 bis 1910 wurden allein von den Rütgerswerken - Deutschlands größtem Teerverarbeitungswerk - etwa 3,25 Mill. Tonnen Teeröl zum Tränken von Eisenbahnschwellen verbraucht.<sup>21</sup>

Vor der Weiterverarbeitung wurde der Teer in Sammelzisternen gelagert, um das suspendierte Gaswasser abzutrennen. Durch Destillation wurde der Teer nach Siedebereichen in meist fünf Fraktionen aufgetrennt. Diese Fraktionen stellten immer noch ziemlich komplexe Substanzgemische dar. Der Mangel an feineren Trennmethode ließ anfänglich nur die Herstellung weniger Verkaufsprodukte zu. Dazu zählten um 1850 beispielsweise Fleckenwasser, das hauptsächlich Benzol enthielt, Kreosot, eine als Desinfektionsmittel verwendete Mischung von Phenolen, schwere Teeröle zur Imprägnierung von Holz, Pech und Asphalt zur Herstellung von Asphaltpapier oder Dachpappe etc. und Ruß für Druckfarben oder Lacke.<sup>22</sup>

Die intensive Suche nach weiteren Nutzungsmöglichkeiten führte, Hand in Hand mit der chemischen Erforschung der Bestandteile, schrittweise zu einer nahezu vollständigen Nebenproduktgewinnung und -verwertung. Zum wichtigsten Wertstoff aus der Teerverarbeitung wurde mit dem Aufkommen der Teerfarbenindustrie das Benzol, das als Ausgangsstoff für die Synthese von Farbstoffen und anderen Produkten große Bedeutung erlangte. Andere Inhaltsstoffe des Steinkohlenteers, die sich als brauchbare Ausgangsstoffe für die Farbstoffherstellung erwiesen, waren Phenol (Karbolsäure), Anthracen und Naphthalin.

Bei der Gewinnung von Wertstoffen aus Steinkohlenteer wurden beträchtliche Mengen anorganischer Grundchemikalien wie Schwefelsäure oder Natronlauge benötigt. Die Teerbestandteile wurden zur wichtigsten stofflichen Basis der industriellen organischen Chemie, vor allem der Farbstoffindustrie. Die Produktpalette dieses neuen Industriezweiges umfasste bald sehr viel mehr Artikel als nur Farbstoffe: Lösungsmittel, Pharmazeutika, Aromastoffe, Photochemikalien und vieles mehr. Bei der Herstellung von Teerfarbstoffen und anderen Produkten wurden ebenfalls große Mengen Säuren, Laugen und Salze verbraucht. Über die chemische Industrie wurden die Inhaltsstoffe des

20 Vgl. Fischer, F.: Handbuch der chemischen Technologie, Leipzig 1893, S. 43.

21 Vgl. Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. X, 1922, S. 656.

22 Vgl. Farbwerke HOECHST AG (Hrsg.): Dokumente aus Hoechster Archiven, H.26: Dr. Sells Teerdestillation in Offenbach, Frankfurt(M)-Hoechst 1967.

Steinkohlenteers und deren Reaktionsprodukte als Arbeitsstoffe, Konsumartikel oder Abfallstoffe zusammen mit den für die Verwertung benötigten Chemikalien in die Umwelt eingebracht.

In welchem Umfang der Teer und seine Bestandteile zu einem bedeutenden neuen Faktor im Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur wurden, zeigt die Entwicklung der Produktionsmengen. In Deutschland stieg die Steinkohlenteererzeugung von 90.000 Tonnen im Jahr 1883 auf über eine Million Tonnen pro Jahr vor dem Ersten Weltkrieg.<sup>23</sup> Die Weltjahresproduktion an Steinkohlenteer lag Ende des 20. Jahrhunderts in einer Größenordnung von 15 Millionen Tonnen.<sup>24</sup>

## Der Einfluss der Kokereinebenprodukte auf die menschliche Gesundheit

Bereits Ende des 19. Jahrhunderts war in Meyers Konversationslexikon zu lesen, die Arbeit in den Kokereien sei "mit mancherlei Gefahren verknüpft. Grelle Temperaturwechsel verursachen Rheumatismen, Bronchialkatarre etc., Kohlenstaub erzeugt Kohlenlunge, und bei der Arbeit an den Reinigungskästen leiden die Arbeiter durch Staub und bekommen oft Augenentzündungen. Bisweilen treten Kohlenoxydvergiftungen auf, beim Ablöschen des Koks entwickelt sich Schwefelwasserstoff, welcher den Arbeitern gefährlich wird und die Umgegend belästigt, und bei der Regeneration der Reinigungsmasse entwickeln sich giftige Gase."<sup>25</sup>

Mit den Produkten, die in den Kokereien und Gasanstalten aus den Steinkohlen gewonnen wurden, gelangten Stoffe in die Arbeitswelt, mit denen auch der menschliche Körper zuvor nicht oder nur in sehr viel geringeren Mengen in Berührung gekommen war. Zu den besonders gefährlichen, krebserregenden Inhaltsstoffen des Steinkohlenteers gehört das Benzol. Zu Beginn seiner industriellen Verwendung waren die Beschäftigten diesem Stoff ungeschützt ausgesetzt.

Der Werksarzt der Farbwerke vorm. Meister, Lucius & Brüning (Hoechst), GRANDHOMME, beschrieb die physiologischen Wirkungen des Benzols 1883 so:

*"Zur Zeit, als noch Handschuhe mittels Benzols als sog. Fleckenwasser gewaschen wurden, beobachtete man bei den Wäscherinnen den hysterischen Zuckungen und Krämpfen ähnliche Zufälle. In Färbereien, in welchen Stoffe durch Benzol entfettet werden, bedingen die Benzoldämpfe bei den Arbeitern einen Zustand förmlicher Trunkenheit. (...) Die Kranken klagen über ein lästiges Gefühl von Ameisenkriechen und Trockenheit in der Haut. (...) Schwere Fälle führen zu Delirien, Convulsionen und oft viele Stunden andauerndem Coma."*<sup>26</sup>

Gut 30 Jahre später (1915) findet sich in Ullmann's Enzyklopädie der technischen Chemie nur der vage Hinweis, dass Benzol in größerer Menge eingeatmet anästhesierend und betäubend wirke und unter Umständen den Tod herbeiführen könne.<sup>27</sup>

Der bedenkenlose Umgang mit Benzol reicht bis weit in die siebziger Jahre des 20. Jahrhunderts hinein. In einem "Benzol-Merkblatt" des Zentralamts für Arbeit in Lemgo von 1948, das noch 1977

23 Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. X, 1922, S. 656.

24 Vgl. Weissermel, K./Arpe, H.-J.: Industrielle organische Chemie., 3. Aufl., Weinheim 1988, S. 332.

25 MEYERs Konversationslexikon, Bd. XI, 1896, S. 282 f.

26 Grandhomme, W.: Die Theerfarben-Fabriken der Actien-Gesellschaft vorm. Meister Lucius & Brüning zu Höchst a.M. in sanitärer und sozialer Beziehung, Heidelberg 1883, S. 9 ff.

27 Vgl. Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. II, 1915, S. 365.

in dieser Fassung vertrieben wurde, finden sich zwar Hinweise auf erhebliche Gesundheitsgefährdungen durch akute und chronische Benzolvergiftungen. Auf den damals bereits durch eine Vielzahl von Erfahrungen und Untersuchungen weitgehend erhärteten Verdacht, dass Benzol Krebs auslösen kann, wurde in dem Merkblatt nicht eingegangen. Stattdessen findet der Arbeiter den Rat:

*"Lebe gesundheitsmäßig und Sorge für ausreichende Erholung durch Schlaf!"<sup>28</sup>*

1973 wurde Benzol in der MAK-Werte-Liste, in der von einer Kommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft die Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen für Arbeitstoffe festgelegt wurden, den beim Menschen nachweislich krebserregenden Stoffen zugeordnet, für die keine unbedenkliche Konzentration angegeben werden kann.

Auch die meisten anderen Produkte der Teeraufarbeitung, beispielsweise Phenol, Anilin oder Naphthalin, sind hoch toxische, zum Teil krebserregende und umweltschädigende Substanzen. Das gilt auch für eine Reihe von chemischen Umwandlungsprodukten wie aromatische Nitro- oder Aminoverbindungen. Für die krebserregende Wirkung von Teer oder Ruß sind die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe - kurz PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons), darunter vor allem das Benzopyren - verantwortlich. Diese Stoffe entstehen nicht nur bei der Verkokung von Kohle, sondern auch bei der unvollständigen Verbrennung verschiedener organischer Materialien. Sie sind daher auch im Zigarettenrauch und in ungereinigten Kraftfahrzeugabgasen zu finden.

In den Kokereien sind PAH neben Hitze, Staub, Unfallrisiken und anderen Schadstoffen das bedeutendste Arbeitsplatzrisiko. Da die PAH auch über die Haut aufgenommen werden, sind alle Arbeitsplätze mit direktem Kontakt zum Produktionsprozess stark betroffen. Die Folge sind schwere Hauterkrankungen einschließlich Tumoren und eine erhöhte Lungenkrebshäufigkeit. Weitere Untersuchungen sprechen für eine krebserzeugende Wirkung von Kokereigasen auf die Harnblase und den Magen-Darm-Trakt.<sup>29</sup>

An Standorten alter Kokereien oder Gaswerke sind die Böden hochgradig mit PAH und anderen gefährlichen Stoffen verseucht. Solche Standorte gehören zu den problematischsten Altlasten. In der Umgebung der 1862 von den Rütgerswerken in Erkner bei Berlin errichteten Teerverarbeitungsanlage wurden Boden und Grundwasser beispielsweise so nachhaltig verseucht, dass in Wasserproben bis zu 718 Milligramm Phenol pro Liter nachgewiesen wurden. Der Grenzwert liegt bei 0,5 Milligramm. Die Wasserversorgung in dem nahe gelegenen Wasserwerk war akut gefährdet.<sup>30</sup>

Die Teerölverordnung vom 27. Mai 1991 trägt der Gesundheitsgefährdung durch kanzerogene Teerinhaltstoffe Rechnung. Die Verordnung verbietet die Abgabe von Teerölen an den Verbraucher, schreibt geschlossene Anlagen zur Holzimprägnierung vor und verbietet die Verwendung behandelte Hölzer beispielsweise im Innenraum oder als Sandkasteneinfassungen.

---

28 Zentralamt für Arbeit, Lemgo (Hrsg.): Benzol-Merkblatt, in: ZH-Reihe Nr.1/130, Ausg. 1976, zitiert nach Koch, W.: Ein merkwürdiges Merkblatt, in: Sicher ist sicher, 11/1977, S.600 f.

29 Vgl. Katalyse/BUND/Öko-Institut/ULF (Hrsg.): Chemie am Arbeitsplatz, Reinbek 1987, S. 114 ff.

30 Vgl. Der Tagesspiegel v. 22.02.1991.

## Steinkohlenqualm und schädlicher Hüttenrauch

Die Umweltbelastungen durch Gaskokereien waren nicht zu übersehen: "Die Nachbarschaft der Gasanstalten wird hauptsächlich durch Rauch und üble Gerüche belästigt und zum Teil gefährdet. (...) Namentlich auch ist die Verunreinigung des Bodens und der Wasserläufe durch Abwässer und Abfälle der Gasanstalten zu verhindern. Undichtigkeiten der Sohle der Gasometer und der Becken, in welchen Abfälle aus den Reinigungsapparaten aufbewahrt werden, geben besonders Veranlassung zu Bodenverunreinigungen, welche sich bisweilen durch Absterben von Bäumen in Entfernungen von 300 m zu erkennen geben."<sup>31</sup>

Die wissenschaftliche Erforschung der Schadwirkung von Rauchgasen hat bereits eine lange Tradition. Der Agrarwissenschaftler Adolph STÖCKHARDT (1809-1896) von der land- und forstwissenschaftlichen Akademie in Tharand war als Gutachter bestellt worden, als es 1846 zwischen den königlich-sächsischen Hüttenwerken in Freiberg und Nachbargemeinden zu Auseinandersetzungen um Rauchschäden kam. Die Gemeinden führten Klage, weil Obst und Gemüse in den Gärten der Bewohner unter der Einwirkung des Hüttenrauchs verkümmerten. STÖCKHARDTs Gutachten "Über die Einwirkungen des Rauches der Silberhütten auf die benachbarte Vegetation" gilt als Beginn der Rauchschadensforschung in Deutschland.<sup>32</sup> Die schädliche Wirkung des Schwefeldioxids in den Rauchgasen war Ende des 19. Jahrhunderts bereits gut untersucht. In einem Übersichtsartikel aus dem Jahr 1907 heißt es:

*"STÖCKHARDT, v. SCHRÖDER und viele andere Chemiker und Botaniker haben Fichten, Laubbäumchen, Garten- und Feldgewächse unter Glaskästen und in größeren Versuchsräumen mit schwefligsäurehaltiger (=schwefeldioxidhaltiger, d.V.) Luft in verschiedenen Konzentrationen behandelt. (...) Vierjährige Fichten z.B. wurden auf diese Weise mehrere Male täglich beräuchert und die übrige Zeit unter normalen Lebensbedingungen gehalten; bei einer Konzentration von 1:100.000 treten schon nach wenigen Tagen, bei 1:1.000.000 nach einigen Wochen Krankheiterscheinungen auf, die Fichtennadeln bekommen fahle Spitzen, röten sich, vertrocknen und fallen ab, und schließlich geht das ganze Bäumchen ein. Etwas widerstandsfähiger als die Nadelhölzer sind die Laubhölzer, die meisten Gartensträucher und die Getreide. Aber sehr empfindlich sind die Blüten, ein Raucheinbruch zur Blütezeit kann die ganze Ernte vernichten."*<sup>33</sup>

Auch die zerstörerische Wirkung saurer Industrieabgase auf Baustoffe wurde schon 1879 beschrieben:

*"In der That muß unsere heutige Atmosphäre in ihrer Zusammensetzung von derjenigen früherer Jahrhunderte erheblich abweichen und glaubt man beispielsweise nicht, daß griechische und ägyptische Denkmäler der Atmosphäre England's lange widerstehen würden, eine Vermuthung, die bei der Überführung der Nadel der Kleopatra nach London ausgesprochen ist. MOHR stellt dem künftigen Schicksal dieses Denkmals kein günstiges Prognostikon und nimmt an, daß das englische Klima und die Atmosphäre Londons nicht so viel Zeit gebrauchen werde als die reinere Luft von Paris, um schädlichen Einfluß auszuüben."*<sup>34</sup> MOHR hat den Obelisken von Luxor, welcher im Jahre

31 MEYERs Konversationslexikon, a.a.O., S. 283.

32 Vgl. Stöckhardt, A.: Über die Einwirkungen des Rauchs der Silberhütten auf die benachbarte Vegetation, in: Polytechnisches Centralblatt, 16/1850, S. 257 ff.

33 Ost, H.: Der Kampf gegen schädliche Industriegase, in: Zeitschrift für angewandte Chemie, XX/1907, S. 1691 ff.

34 Kölnische Zeitung v. 22.01.1878.

1836 auf dem Place de la Concorde in Paris aufgestellt wurde, seit 28 Jahren beobachtet und so merkliche Veränderungen an demselben wahrgenommen, daß er behauptet, die 36 Jahre des Stehens in Paris hätten den Obelisken weit stärker angegriffen, als eben so viele Jahrhunderte in Aegypten."<sup>35</sup>

Die Giftwirkung von Schwefeldioxid und anderen sauren Gasen auf den menschlichen Organismus wurde - zumindest von Seiten der Verursacher - als geringeres Problem angesehen:

*"Die menschliche Lunge ist gegen alle diese Säuren, vielleicht die Flußsäure ausgenommen, weniger empfindlich als das Pflanzenblatt."*<sup>36</sup>

Epidemiologische Untersuchungen hatten allerdings schon in den siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts die schädliche Wirkung der Rauchgase auf den Atemtrakt des Menschen deutlich werden lassen:

*"Die Sterblichkeit an Luftröhrentzündung und Lungenkatarrh ist in den Stadtgemeinden überhaupt ... um mehr als das doppelte größer als in den Landgemeinden; sie steigt zu ungewöhnlicher Höhe nicht wie die Lungentuberkulose in den Städten mit Textilindustrie, sondern in denjenigen mit massenhaften Steinkohlenfeuerungen und erreicht z.B. in Essen, Bochum, Duisburg und Dortmund die höchsten Verhältniszahlen. In dem Zeitraume zwischen 1875 und 1879 starben in jeder der genannten Städte an jenen Krankheiten von je 100.000 Einwohnern jährlich 100 bis 120, während in den Stadtgemeinden der gesamten Rheinprovinz das Verhältnis 32 bis 36 betrug, in den Landgemeinden 7 bis 9."*<sup>37</sup>

Die Zunahme der Luftschadstoffe wirkte auch auf den Verursacher selbst zurück. Hatten Eisenklammern mittelalterlicher Bauwerke und eiserne Baubeschläge noch Jahrhunderte überdauert, so rosteten die neuen Produkte der Schwerindustrie in den aggressiven Industrieabgasen so schnell, dass dringend Abhilfe geschaffen werden musste. Die Hersteller von Bleimennige und Rostschutzlacken profitierten davon. Umwelt und Gesundheit wurden durch schwermetallhaltige Pigmente und giftige Lösungsmittel wiederum neuen Belastungen ausgesetzt.

## Verdünnung bis zur „Unschädlichkeitsgrenze“

Zur Vermeidung rauchgasbedingter Schäden und um entsprechenden Schadensersatzklagen vorzubeugen wurde von der Industrie ein bis weit in die Gegenwart verfolgter verhängnisvoller Weg eingeschlagen:

*"Aber hier gibt es ein ... sehr wirksames Mittel, nämlich Verdünnung bis zur Unschädlichkeitsgrenze. Die Mengen schweflige Säure und Schwefelsäure, welche die Städte Hannover und Linden aus ihren Steinkohlen in die Luft schicken ... sind absolut genommen weit größer als die von den (als sehr umweltbelastend bekannten, d.V.) beiden Freiburger oder den drei Oberharzer Hütten entwickelten Säuremengen, aber sie treten aus vielen über eine große Fläche verteilten Schornsteinen,*

35 Hasenclever, R.: über die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase, in: Chemische Industrie, 2/1879, S. 225 ff.

36 Ost, H., a.a.O., S. 1693.

37 Reich, A.: Leitfaden für die Ruß- und Rauchfrage, München/Berlin 1917 zitiert nach Brüggemeier F.-J./Rommelspacher, T. (Hrsg.): Besiegte Natur. Geschichte der Umwelt im 19. und 20. Jhr., München 1987, S. 81.

*und aus diesen in viel größerer Verdünnung aus; und die Verdünnung ist entscheidend, andernfalls würde in unserer Stadt kein Blatt mehr grünen. Das unendliche Luftmeer, welches unsere Wohnstätten umgibt, vermag diesen Schädling, die Säuren des Kohlenrauchs, bei richtiger Behandlung leicht unschädlich zu machen.*"<sup>38</sup>

Der hier gewiesene Weg, der unter dem Begriff "Hochschornsteinpolitik" bekannt wurde, wurde dann konsequent gegangen, obwohl sowohl die "Unendlichkeit des Luftmeeres" als auch die Existenz einer "Unschädlichkeitsgrenze" frühzeitig angezweifelt wurden. STÖCKHARDT sträubte sich bereits in dem Gutachten aus dem Jahr 1850 gegen die Festlegung einer Unschädlichkeitsgrenze. Er war der Auffassung,

*"daß schädliche Stoffe selbst bei einer sehr bedeutenden Verdünnung schließlich eine verderbliche Wirkung auszuüben vermögen, wenn die Einwirkung eine lang anhaltende oder massenhafte ist."*<sup>39</sup>

Trotz derartiger Bedenken setzte sich der Bau hoher Schornsteine als Mittel zur Abwehr der schädlichen Wirkungen von Rauchgasen allgemein durch und bestimmte bis in neuere Zeit den Stand der Technik. Umweltschäden wurden so zwar nur verlagert, die Verursacher konnten jedoch - zumal bei mehreren benachbarten Emittenten - nicht mehr eindeutig festgestellt und damit auch nicht haftbar gemacht werden.

Ein trauriges Beispiel für die Zählebigkeit der Hochschornsteinpolitik findet sich in Unterlagen der Bezirksplankommission Halle aus den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts. Im Zusammenhang mit der Forderung nach einer deutlichen Verminderung der von dem VEB Chemische Werke Buna ausgehenden Umweltbelastungen heißt es dort:

*"Erschwerend wirkt in diesem Zusammenhang die für das gesamte Kombinat geltende Begrenzung der Schornsteinhöhen auf 150 m (Forderung der Luftfahrt)."*<sup>40</sup>

## Eisen und Stahl

Die massenhafte Verwendung der Steinkohle hing eng mit der Entwicklung der Eisenmetallurgie zusammen. Kohle und Eisen ermöglichten die Maschinerie, die die entfesselte Ausbeutung aller natürlichen Ressourcen dieser Erde in Gang setzte.

Die Verwendung des Steinkohlenkokes anstelle der Holzkohle für die Verhüttung von Eisenerzen stand am Anfang des Weges vom mittelalterlichen Hochofen zur modernen Eisenhüttentechnik. An der weiteren Entwicklung der Hochofentechnik hatte die Dampfmaschine wesentlichen Anteil. Die Vergrößerung der Hochofen wurde erst möglich, als dampfgetriebene Gebläsemaschinen für die nötige Luftzufuhr sorgten. Die pro Hochofen und Tag erzeugte Menge Roheisen konnte so von 2 Tonnen, die ein guter Holzkohlehochofen lieferte, auf 20 bis 30 Tonnen bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts gesteigert werden. Die ersten Kokshochofen hatten einen gewaltigen Koksbedarf von etwa 8 Tonnen für eine Tonne Roheisen. Die Einführung von Winderhitzern, in denen die Gebläseluft

---

38 Ost, H., a.a.O., S. 1693.

39 Stöckhardt, A., a.a.O., S. 275.

40 Bezirksplankommission des Bezirks Halle: Territoriale Entwicklungsmöglichkeiten des VEB Chemische Werke Buna, VD BP1 47/74, Bl.25, Halle 1974.

vorgewärmt wurde, führte zu einer Reduktion des Koksverbrauchs auf etwa 5 Tonnen. Eine weitere Senkung des Kohleverbrauchs der Hochöfen auf etwa 2 Tonnen pro Tonne Roheisen konnte dadurch erzielt werden, dass man die Gichtgase zur Feuerung der Winderhitzer nutzte. Gichtgase sind die brennbaren Gase, die am Kopf des Hochofens austreten.<sup>41</sup>

Weitere Optimierungen der Hochofentechnik konnten auf der Grundlage der wissenschaftlichen Erforschung der chemischen und physikalischen Vorgänge, die im Hochofen ablaufen, erzielt werden.

Bei gleichzeitigem Anwachsen der Größe der Hochöfen bis zu einer Tagesleistung von ca. 1.000 t Roheisen konnte der Kohlebedarf bis zum Ersten Weltkrieg auf etwa eine Tonne Koks pro Tonne Roheisen gesenkt werden.<sup>42</sup> Heute beträgt der Koksbedarf eines Hochofens etwas weniger als eine halbe Tonne pro Tonne Roheisen.

Am Beispiel der Roheisenerzeugung werden zwei gegenläufige Tendenzen im Verlauf der industriellen Entwicklung bis in die jüngste Vergangenheit deutlich: Durch technische Verbesserungen wurde der spezifische Rohstoff- und Energiebedarf ständig verringert, während gleichzeitig der Produktionsumfang so anstieg, dass trotzdem ein immer größerer Rohstoff- und Energiebedarf resultierte. Die folgenden Übersichten über die Entwicklung des Kohlebedarfs für die Roheisenerzeugung und die Entwicklung der Roheisenproduktion im Ruhrgebiet bis 1900 sollen diese Tendenzen verdeutlichen:

**Tab. 2.2: Der Bedarf an Kohle zur Herstellung von einer Tonne Roheisen in verschiedenen Epochen<sup>43</sup>**

Epoche	Kohleverbrauch		Technische Neuerungen	Tagesproduktion eines Hochofens
17. Jh.	5-8 t	Holzkohle	Weiterentwicklung spätmittelalterlicher Technik	ca. 2 t
18. Jh.	8 t	Koks	Einführung der Eisenverhüttung mit Koks durch DARBY 1735	
um 1830	5 t	Koks	Erste Winderhitzer	
um 1840	2,5 t	Koks	Nutzung der Gichtgase für Winderhitzer	20-30 t
um 1900	1 t	Koks	Nutzung der wiss. Kenntnisse über den Hochofenprozess, die seit BUNSENS Untersuchungen der Gichtgase 1838 in der wiss. Eisenhüttenkunde gesammelt wurden	bis 1 000 t
1990	0,5 t	Koks	Einsatz moderner Analytik und Mess- und Regeltechnik; automatisierte Produktion	bis 10 000 t

41 Vgl. Johannsen, O.: Geschichte des Eisens, Düsseldorf 1925, S. 167 ff.

42 Vgl. Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. IV, 1916, S. 404.

43 Henseling, K. O., a.a.O., S. 15.

**Tab. 2.3: Roheisenproduktion des Ruhrgebietes (OBAB Dortmund) 1840-1900<sup>44</sup>**

Jahr	Roheisen in t	Jahr	Roheisen in t
1840	6 905	1875	427 378
1845	9 477	1880	764 193
1850	11 500	1885	1 082 896
1855	85 896	1890	1 335 471
1860	136 313	1895	1 753 120
1865	276 285	1900	2 772 687
1870	360 836		

Die Entwicklung der neuen Techniken der Roheisengewinnung war begleitet von Fortschritten in der Stahlerzeugung. Ein erster Schritt war hierbei die Herstellung von Tiegelstahl, die 1740 von dem englischen Uhrmacher Benjamin HUNTSMAN (1704 - 1776) - fünf Jahre nach Inbetriebnahme des ersten Kokshochofens - entwickelt wurde. 1766 erfand Henry CORT (1740 - 1800) das Pud-delverfahren, die Gewinnung von schmiedbarem Eisen im Puddel- oder Flammofen durch Windfri-schen. Im Puddelofen wurde das Roheisen durch darüberstreichende sauerstoffreiche Flammen bis zum Erweichen erhitzt und dabei mit langen eisernen Haken umgerührt (to puddle = rühren). Dabei wurde das Roheisen durch Oxidation weitgehend von Silicium, Mangan und Kohlenstoff be-freit.

Das Puddelverfahren stellte außerordentlich hohe Anforderungen an die Kraft, Ausdauer und Ge-schicklichkeit der Arbeiter. Die Qualität des Stahls hing sehr von der Intensität und Gleichmäßigkeit ab, mit der die Schmelze durchgearbeitet wurde. Die Qualität menschlicher Arbeit war bei diesem Verfahren ausschlaggebend für die Qualität des Produkts. Dieser Umstand und die Schwere der Arbeit führten dazu, dass die Puddler relativ gut bezahlte Spezialisten waren. Das Ausmaß körper-licher Beanspruchung und die extremen Arbeitsbedingungen bei großer Hitze und in stark mit Rauchgasen verunreinigter Luft bewirkten, dass ein Puddler diese Arbeit nur kurze Zeit ausüben konnte.

Angesichts einer steigenden Nachfrage nach Stahl wurde die Abhängigkeit von menschlicher Mus-kelkraft zu einem limitierenden Faktor für die weitere Expansion der Stahlerzeugung. Deshalb - und durch das Bestreben der Unternehmer, sich von der Qualifikation und dem guten Willen der Pudd-ler unabhängig zu machen - wurde die Suche nach einem Verfahren, das größere Mengen Stahl lieferte, vorangetrieben. Als ein solches Verfahren setzte sich das von Sir Henry BESSEMER (1813-1898) entwickelte Blasstahlverfahren durch. In den Blasstahlöfen, den "BESSEMER-Birnen", wurde flüssiges Roheisen durch Einblasen von Luft "gefrischt". Die Öfen, in deren Böden sich Luft-düsen befanden, konnten zum Einfüllen des Roheisens und Ausgießen des fertigen Stahls ma-schinell gekippt werden. Mit den durch dieses Verfahren ermöglichten Steigerungen der Stahlpro-duktion ging die durchgängige Mechanisierung der Eisenverarbeitung vom Hochofen bis zum Walzwerk oder der Schmiedepresse einher. Mit den neuen Dimensionen wurden auch neue wis-senschaftliche Methoden in die Stahlerzeugung und -verarbeitung eingeführt. Als erstes deutsches

44 Holtfrerich, C.-L., a.a.O., S. 145.

Hüttenwerk stellte KRUPP 1862 Stahl nach dem BESSEMER-Verfahren her.<sup>45</sup> Betriebsleiter wurde nicht - wie zuvor üblich - ein Handwerker, sondern ein akademisch ausgebildeter Chemiker, Karl UHLENHAUT.<sup>46</sup>

## Ausbreitung der Maschinen und Fabriken

Die neuen Techniken zur Gewinnung und Veredelung der Steinkohle, die Entwicklung der Koks-  
hochöfen für die Roheisenherstellung und neue Verfahren zur Stahlerzeugung lieferten die mate-  
rielle Basis für den Maschinenbau, den zentralen Bereich der Industriellen Revolution. Mit Hilfe  
neuer Maschinen und der Kraft des Dampfes erfolgte in allen Bereichen der materiellen Produktion  
eine revolutionäre Umgestaltung, die auch hier die stofflichen Grundlagen menschlichen Wirtschaft-  
ens wesentlich veränderte.

Der Durchbruch zur industriellen Produktion erfolgte, als man begann, die neuen Arbeitsmaschinen  
im Textilbereich mit Dampfmaschinen anzutreiben. Die im 18. Jahrhundert entwickelten mechani-  
schen Webstühle und Spinnmaschinen wurden zunächst auf traditionelle Weise, beispielsweise mit  
Wasserrädern, angetrieben. Durch die Verbindung der Textilmaschinen mit einer leistungsfähi-  
gen Kraftmaschine waren alle Voraussetzungen für die industrielle Massenproduktion im Textilbe-  
reich gegeben. Bald übernahmen auch andere Wirtschaftsbereiche das Prinzip der Verbindung von  
Arbeits- und Kraftmaschinen.

Die Ausbreitung der maschinellen Produktion in Deutschland kann an der Entwicklung der Zahl der  
in den verschiedenen Industriezweigen eingesetzten Dampfkessel abgelesen werden. Für Preußen  
liegen die folgenden Zahlen vor:

---

45 Vgl. Troitzsch, U.: Die Einführung des Bessemer-Verfahrens in Preußen - ein Innovationsprozeß aus den 60er Jahren  
des 19. Jahrhunderts, in: R. Pfetsch (Hrsg.): Innovationsforschung als multidisziplinäre Aufgabe,  
Göttingen 1975.

46 Vgl. Berdrow, W.: Alfred Krupp und sein Geschlecht, Berlin 1943, S. 113 f.

**Tab. 2.4: Entwicklung der Zahl von Dampfkesseln in Preußen in ausgewählten Industriezweigen<sup>47</sup>**

Industriezweig	Zahl der Kessel im Jahr		Prozentuale Steigerung
	1859	1877/78	
Industrie der Steine und Erden	129	1 154	895
Industrie der Holz- und Schnitzstoffe	223	1 364	612
Industrie der Heiz- und Leuchtstoffe	127	746	587
Chemische Industrie	155	822	530
Metallverarbeitung	243	1 286	529
Papier- und Lederindustrie	240	1 047	436
Industrie der Maschinen, Werkzeuge u. Apparate	352	1 467	417
Bergbau, Hütten- u. Salinenwesen	2 469	9 460	383
Textilindustrie	1 219	3 438	282
Industrie der Nahrungs- u. Genussmittel	3 524	8 283	235

Die Zahlen der Tabelle zeigen, dass in Preußen vor allem diejenigen Industrien frühzeitig einen hohen Mechanisierungsgrad erreichten, die landwirtschaftliche Erzeugnisse verarbeiten: die Nahrungs- und Genussmittelindustrie und die Textilindustrie.

Deutschland konnte bei seinem Übergang vom Agrar-Manufaktur- zum Industrieland nicht auf eigene koloniale Rohstoffe zurückgreifen, deren Verarbeitung - wie Baumwolle oder Rohzucker in England - als Grundlage für den Aufbau der Industrie dienen konnte. Die industrielle Verarbeitung einheimischer landwirtschaftlicher Produkte hatte daher in Deutschland am Anfang der Industrialisierung besonders große Bedeutung. Die landwirtschaftlichen Verarbeitungsindustrien brachten den Großgrundbesitzern zusätzliche Gewinne, mit denen sie in andere Unternehmungen einsteigen konnten. Der Erwerb eigener Kohlengruben sicherte u.a. den Brennstoffbezug für die energieintensive Schnaps- oder Zuckerfabrikation. Durch Beteiligung an Eisenbahngesellschaften und Einflussnahme auf die Streckenführung konnten die Großgrundbesitzer die Transport- und damit Absatzmöglichkeiten für die Erzeugnisse ihrer Gutswirtschaften verbessern. Die durch diese Entwicklung zu Geld und Macht gelangenden "Schlotbarone" wie die Grafen HENCKEL von DONNERSMARCK, die Grafen von SCHAFFGOTSCH oder der Herzog von UJEST gehörten vor dem Ersten Weltkrieg zur ersten Garnitur der wirtschaftlichen und politischen Elite.

47 Institut für Wirtschaftsgeschichte der Akademie der Wissenschaften der DDR (Hrsg.): Produktivkräfte in Deutschland 1870 bis 1917/18, Berlin 1985, S. 46.

### 3 Industrialisierung der lebendigen Natur: Land- und Forstwirtschaft

Durch den massenhaften Bedarf der Industrie an Rohstoffen pflanzlichen oder tierischen Ursprungs wie Baumwolle, Wolle, landwirtschaftlichen Erzeugnissen oder Holz und durch einen tiefgreifenden Funktionswandel der Landwirtschaft wurde die wirtschaftliche Nutzung der lebendigen Natur einem revolutionären Wandel unterworfen. Dem massiven Eingriff in geologische Stoffkreisläufe durch unbeschränkte Nutzung fossiler Rohstoffe gesellte sich ein ebenso massiver Eingriff in die natürlichen Nährstoffkreisläufe hinzu. Die industrielle Entwicklung in Europa wurde nicht zuletzt dadurch ermöglicht, dass aus den Kolonien pflanzliche Rohstoffe wie Baumwolle, Naturfarben oder Rohrzucker in großer Menge beschafft werden konnten. Die Industrialisierung ging mit der Ausweitung der in Monokulturen betriebenen Plantagenwirtschaft einher. Folgen wie Entwaldung oder Bodenerosion sind eine Wurzel der problematischen Umweltsituation in vielen heutigen Entwicklungsländern.

Die vorindustriellen Bauernwirtschaften waren noch weitgehend in natürliche Stoffkreisläufe eingebunden. Mit der Agrarischen Revolution wurde eine weitgehend auf Eigenversorgung orientierte Produktion durch die Produktion für entfernte Märkte und industrielle Weiterverarbeitung verdrängt. Die Entwicklung der industrialisierten Landwirtschaft erfolgte unter der Zielsetzung einer an maximalem Gewinn orientierten Erzeugung pflanzlicher oder tierischer Produkte für den freien Markt. Die Einbindung der Landwirtschaft in natürliche Stoffkreisläufe wurde aufgehoben und durch die Abhängigkeit von der Zufuhr chemischer Düngemittel ersetzt. Das hatte schwerwiegende ökologische Folgen.

Die Industrialisierung der landwirtschaftlichen Produktion war eng mit der Entwicklung der landwirtschaftlichen Verarbeitungsindustrien verbunden. Die landwirtschaftliche Produktion für die industrielle Verarbeitung fand in der Ausbildung großer Monokulturen ihre adäquate Form. Die massenhafte industrielle Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte, beispielsweise in Zuckerfabriken oder Schnapsbrennereien, führte zu einem massenhaften Anfall von Abprodukten, die sich vor allem in den Abwässern störend auf den Naturhaushalt auswirkten.

Die Waldnutzung wurde mit der Industrialisierung einem ähnlichen Wandel unterworfen wie die Landwirtschaft. Durch maximale Holzproduktion sollte ein möglichst großer Gewinn erzielt werden. Das Holz wurde zum standardisierten Rohstoff für die industrielle Verarbeitung. Die ökologischen Folgen forstlicher Monokulturen sind denen landwirtschaftlicher Monokulturen ähnlich.

#### Die Bedeutung der Kolonien für die industrielle Entwicklung

Das moderne Fabrikssystem entstand mit der Verarbeitung von Baumwolle, einem pflanzlichen Produkt kolonialen Ursprungs. War der Kolonialismus allgemein eine ökonomische und politische Voraussetzung der Entwicklung des Industriekapitalismus in Europa, so war die Baumwolle dessen spezielles stoffliches Substrat. Die Entwicklung von Spinn- und Webmaschinen zur Verarbeitung von Rohbaumwolle aus den englischen Kolonien leitete die Industrialisierung in England ein. Mit der Textilproduktion stieg auch der Verbrauch an Naturfarbstoffen wie tropischen Farbhölzern und Indigo, die ebenfalls in Plantagenwirtschaft erzeugt wurden.

Die Genussmittel Kaffee, Kakao, Tee und Tabak waren wichtige Handelsgüter und prägten die bürgerliche Lebensweise in Europa entscheidend mit.<sup>48</sup> Mit dem Tee- und Kaffeeverbrauch stieg auch der Zuckerkonsum. Die mit diesen "Kolonialwaren" erzielten Gewinne trugen wesentlich zur Bildung der finanziellen Basis der Industriellen Revolution bei. Ihre Verarbeitung ließ in Europa eigene Industrien entstehen.

Weitere Pflanzen bzw. pflanzliche Produkte aus tropischen Regionen erlangten im Zuge der weiteren Industrialisierung wirtschaftliche Bedeutung. Als Beispiele sollen hier der Kautschuk und die tropischen Pflanzenfette genannt werden. Auf der Grundlage dieser Naturstoffe entstanden mit der Gummiindustrie, der Waschmittel- und der Margarineindustrie bedeutende neue Industriezweige. Die Sicherung dieser (und anderer) Rohstoffe für die nationalen Industrien war ein Hauptmotiv für den Imperialismus des späten 19. Jahrhunderts, der die Kolonialpolitik der alten Seemächte konsequent weiterentwickelte.

Der Ausbau der Plantagenwirtschaft war ursprünglich auch mit der Ausweitung der Sklaverei verbunden. Zur Bedeutung der Sklaverei für die kapitalistische Entwicklung schrieb Karl MARX 1847 im "Elend der Philosophie":

*"Die direkte Sklaverei ist der Angelpunkt der bürgerlichen Industrie, ebenso wie Maschinen etc. Ohne Sklaverei keine Baumwolle, ohne Baumwolle keine moderne Industrie. Nur die Sklaverei hat den Kolonien ihren Wert gegeben; die Kolonien haben den Welthandel geschaffen; und der Welt-handel ist die Bedingung der Großindustrie."<sup>49</sup>*

Aus den afrikanischen Ursprungsländern wurden die Sklaven im so genannten Dreieckshandel nach Amerika verschifft: Sklaven aus Afrika wurden in Amerika verkauft. Dafür wurden Produkte der Plantagenwirtschaft wie Baumwolle, Zucker, Kaffee, Tee, Kakao oder Indigo nach Europa gebracht. Industriell erzeugte Baumwollstoffe, Schnaps, Flinten u.a., die von Europa nach Afrika geschafft wurden, vervollständigten die Dreiecksbeziehung.<sup>50</sup>

Die koloniale Ausbeutung tropischer Länder hat schon in vor- und frühindustrieller Zeit regional zu einschneidenden Landschaftsveränderungen geführt. Baumwoll-, Zuckerrohr-, Kaffee-, Tee- oder Indigopflanzungen haben die tropischen Wälder beträchtlich zurückgedrängt. Auf den ursprünglich fast völlig von Wald bedeckten Westindischen Inseln, Kuba, Haiti und Jamaika, bestimmten beispielsweise immer mehr die Zuckerrohrplantagen das Landschaftsbild.

Obwohl die koloniale Ausbeutung tropischer Länder für die wirtschaftliche Entwicklung in Europa eine entscheidende Bedeutung hatte, umfasste sie um 1800 erst einen Bruchteil der Gesamtfläche dieser Regionen. Die großen tropischen Regenwaldgebiete des südamerikanischen Kontinents, Afrikas oder Hinterindiens waren zu Beginn der Industrialisierung noch weitgehend unberührte, undurchdringliche Urwälder, die mehr den Forscherdrang von Naturwissenschaftlern als ökonomische Interessen auf sich zogen. Die mit Eisenbahn und Dampfschiff geschaffenen Massentransportmittel ermöglichten jedoch bald eine umfangreiche industrielle Nutzung tropischer Produkte.

Mit der Ausbreitung der kolonialen Plantagenwirtschaft zur Erzeugung von Rohstoffen zur industriellen Verarbeitung in Europa wurde der Keim zur Zerstörung natürlicher Lebensgemeinschaften und in diese eingepasster menschlicher Kulturen in tropischen und subtropischen Ländern gelegt.

---

48 Vgl. Schivelbusch, W.: Das Paradies, der Geschmack und die Vernunft. Eine Geschichte der Genussmittel, Frankfurt a.M. 1983.

49 Zitiert nach Loth, H.: Sklaverei, Wuppertal 1981, S. 12.

50 Vgl. ebd., S. 14.

Heute sind die Zerstörung der Regenwälder und das Elend der "Dritten Welt" globale Folgen dieser Entwicklung.

## Die Begründung der industrialisierten Landwirtschaft in Deutschland

In England hatte sich im 18. Jahrhundert die Agrarische Revolution vor allem im Zusammenhang mit der unter dem Begriff "Einhegungen" bekannten Politik durchgesetzt. Als Einhegungen bezeichnet man die Umzäunung und Inbesitznahme von Gemeindeland durch die privaten Grundbesitzer. Durch die Einhegungen und die damit einhergehende Vertreibung der kleinen Bauern in England wurden große Wirtschaftsflächen für eine rationellere und ertragreichere Landwirtschaft geschaffen.

Die landwirtschaftliche Produktion ging von der stark auf Eigenversorgung orientierten bäuerlichen Betriebsweise zu einer kapitalistisch organisierten Betriebsweise über, die mit neuen Anbaumethoden und lohnabhängigen Landarbeitern arbeitete, und deren Ziel der Gewinn war, der durch den Verkauf der Produkte erlangt werden konnte.

Die im Zuge dieser Umwandlungen "freigesetzten" Landbewohner versuchten, nachdem ihnen an ihrem angestammten Platz die Existenzgrundlage entzogen war, in den Städten eine Möglichkeit, ihr Dasein zu fristen. Dieser Zustrom von Menschen, deren einzige Existenzmöglichkeit der Verkauf ihrer Arbeitskraft war, schuf - verstärkt durch das schnelle Bevölkerungswachstum - das Arbeitskräftepotential, das für die Entwicklung der Industrie erforderlich war.

Die Landwirtschaftsreformer in Deutschland um 1800 standen ganz unter dem Einfluss der Lehren von Adam SMITH. Nicht der Gebrauchswert sondern allein der Tauschwert bestimmt danach den Wert landwirtschaftlicher Güter. Die "natürliche Triebkraft" auch des landwirtschaftlichen Tuns sei das individuelle Gewinnstreben, das in freiem Wettbewerb auf wundersame Weise zu einer natürlichen Harmonie des wirtschaftlichen und sozialen Lebens führe.

Bereits in dem 1809-1812 erschienenen Hauptwerk des berühmten deutschen Agrarreformers Albrecht Daniel THAER (1752-1828) ist entsprechend eindeutig formuliert:

*"§ 1 Die Landwirtschaft ist ein Gewerbe, welches zum Zweck hat, durch Produktion vegetabilischer und tierischer Substanzen Gewinn zu erzeugen.*

*§ 3 Die rationelle Lehre von der Landwirtschaft muß also zeigen, wie der möglichst reine Gewinn unter allen Verhältnissen aus diesem Betriebe gezogen werden könne.<sup>51</sup>*

Die Realisierung einer auf größtmöglichen wirtschaftlichen Gewinn orientierten Landwirtschaft war unter den gegebenen feudalen Verhältnissen nicht möglich. Die Agrarreformen mussten daher weitgehende soziale und politische Veränderungen einschließen.

Im Kern zielten die Reformen, die beispielsweise in Preußen 1807 durch das Edikt über die "Bauernbefreiung" eingeleitet wurden, auf die Auflösung der komplizierten feudalen Eigentumsverhältnisse zugunsten bürgerlich-kapitalistischen Grundbesitzes und auf die Umwandlung der feudalen Arbeitsverpflichtungen in "freie" Lohnarbeit.

---

51 Zitiert nach: Herrmann, K.: Pflügen, Säen, Ernten. Landarbeit und Landtechnik in der Geschichte, Reinbek 1985, S. 158.

Mit dem Wachsen der Städte erhielt die Produktion an landwirtschaftlichen Erzeugnissen für - teilweise weit entfernte - Märkte gegenüber der Selbstversorgung, ganz im Sinn der auf Geldgewinn orientierten industrialisierten Landwirtschaft, immer mehr Gewicht. Mit der insgesamt steigenden Bevölkerungszahl stiegen die Anforderungen an die Produktivität der Landwirtschaft noch zusätzlich. Mit den landwirtschaftlichen Produkten gelangten wichtige Pflanzennährstoffe vom Land in die Städte, ohne wieder in den natürlichen Stoffkreislauf eingebracht zu werden. Im Gegenteil. In den Städten waren die dort im Müll und in den Fäkalien anfallenden Pflanzennährstoffe ein höchst unerwünschter Nährboden für Krankheitserreger, Nahrungsgrundlage für die Ratten, Ursache für Wasservergiftungen und Quelle üblen Gestanks.

In der Landwirtschaft wiederum machte sich der einseitige Entzug von Nährstoffen durch zunehmende Verarmung der Böden und sinkende Ernteerträge bemerkbar.

## Anfänge der "Chemisierung der Landwirtschaft"

Unter den verschiedenen Bemühungen, der abnehmenden Bodenfruchtbarkeit entgegenzuwirken, setzten sich vor allem die Ansichten Justus von LIEBIGs durch.

LIEBIG untersuchte die Zusammenhänge zwischen der chemischen Zusammensetzung der Böden, der Nährstoffaufnahme der Pflanzen und Tiere und der stofflichen Zusammensetzung der Zersetzungsprodukte pflanzlichen und tierischen Ursprungs. Dabei verwendete er die in der anorganischen Chemie bereits mit großem Erfolg eingesetzten Methoden der qualitativen und quantitativen Analyse und übertrug sie erfolgreich auf die Analyse organischer Stoffe. Entsprechend dem Stand der Chemie seiner Zeit verfolgte und bilanzierte er die elementare Zusammensetzung der untersuchten Substanzen. Komplexere molekulare Strukturen im Sinne der organischen Chemie oder der Biochemie waren zur Zeit seiner frühen agrochemischen Arbeiten noch nicht analysierbar. Entsprechend diesem Erkenntnisstand der Chemie beschränkte sich LIEBIGs "Mineraltheorie" der Düngung auf die Bilanzierung der elementaren Stoffflüsse. Kernaussage der Mineraltheorie ist die These: *"Die Nahrungsmittel aller grünen Gewächse sind unorganische oder Mineralsubstanzen"*.<sup>52</sup> Der Mineraltheorie setzten die Vertreter der "rationellen Landwirtschaft", insbesondere die "Stickstoffler", die Humustheorie entgegen, in der sie den Humusgehalt des Bodens als wesentliche Grundlage der Bodenfruchtbarkeit herausstellten.

LIEBIGs Auffassungen entsprachen einer für die Chemie seiner Zeit charakteristischen buchhalterischen Naturbetrachtung. Durch die chemische Analyse werde der Landwirt in Stand gesetzt, den Stoffumsatz in und auf seinem Acker zu bilanzieren und durch Düngereinsatz zu optimieren:

*"Der Landwirt wird damit in den Stand gesetzt sein, ähnlich wie in einer wohleingerichteten Manufaktur ein Buch zu führen über einen jeden seiner Äcker, mit Genauigkeit vorauszubestimmen, welche Stoffe und in welcher Menge er sie hinzufügen muß ..., um die Fruchtbarkeit für gewisse Pflanzengattungen zu steigern."*<sup>53</sup>

Zu den wichtigsten Ergebnissen von LIEBIGs bilanzierender Betrachtung landwirtschaftlicher Produktions- und Verwertungsprozesse zählt die Formulierung von Stoffkreisläufen in der Agrarpro-

---

52 Liebig, J. v.: Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie, 9.Aufl., Braunschweig 1876, S. 9 f.

53 Liebig, J. v., a.a.O.

duktion. Diese Betrachtungsweise interpretierte die abnehmende Bodenfruchtbarkeit als Folge der Ausgliederung wichtiger Pflanzennährstoffe aus dem natürlichen Kreislauf. LIEBIG zielte mit seinem Engagement für die künstliche Düngung darauf, diesen Raubbau durch die Rückerstattung der dem Boden entzogenen Stoffe zu überwinden. Dabei war er sich wohl bewusst, dass dadurch nur eine Form des Raubbaus durch eine andere ersetzt werden konnte. Ihm war bewusst, dass auch die Rohstoffquellen für künstliche Düngemittel begrenzt sind und ihre Ausbeutung ebenfalls eine Form von Raubbau an Naturschätzen ist. Seine Sorge galt daher, ohne dass er von dem modernen Problem der Überdüngung der Flüsse und Meere etwas hat ahnen können, dem ungeheuren Verlust an Pflanzennährstoffen, der durch die Kanalisationssysteme der heranwachsenden Städte verursacht wurde, die diese in den Fäkalien enthaltenen Stoffe in Flüsse und Meere spülten. LIEBIG schrieb dazu:

*"... hat die Einführung der Waterclosets in den meisten Städten Englands die Folge, dass jährlich die Bedingungen für die Wiedererzeugung von Nahrung für 3 ½ Millionen Menschen unwiederbringlich verloren gehen. Die ganze ungeheuere Menge von Düngstoffen, welche England jährlich einführt, fließt zum bei weitem grössten Theil wieder in den Flüssen dem Meere zu, und die damit erzeugten Produkte reichen nicht aus, um den Zuwachs der Bevölkerung zu ernähren. Das Schlimme ist, dass der nämliche Process der Selbstvernichtung in allen europäischen Ländern, wenn auch nicht in dem großen Maasstabe wie in England, statthat."<sup>54</sup>*

In aufwendigen Berechnungen stellte LIEBIG dar, welche Pflanzennährstoffe in welchen Mengen durch die Kanalisation verloren gehen. Er hat sich auch mit den hygienischen Problemen auseinandergesetzt, die einer Wiedernutzbarmachung der Fäkalien entgegenstehen. Er kommt letztlich zu der Einschätzung:

*"..., wenn zuletzt genaue statistische Erhebungen ergeben werden, dass auch im günstigsten Fall die Zufuhr von Düngestoffen von aussen in einer verhältnismäßig kurzen Zeit (auch ein halbes oder ganzes Jahrhundert ist in dieser Beziehung eine sehr kurze Zeit) ein Ende haben muss, so werden sie die Einsicht gewinnen, dass von der Entscheidung der Kloakenfrage der Städte die Erhaltung des Reichthums und der Wohlfahrt der Staaten und die Fortschritte der Cultur und Civilisation abhängig sind."<sup>55</sup>*

LIEBIG ahnte selber, dass die künstliche Düngung ein entscheidender Eingriff in natürliche Stoffkreisläufe war. Auch wenn er die tatsächliche Entwicklung zu unserer heutigen chemisierten und industrialisierten Landwirtschaft nicht in Einzelheiten absehen konnte, hat er die Grenzen und Risiken dieser Entwicklung bereits ansatzweise erkannt.

LIEBIGs Gedanken wurden auch von Karl MARX aufgegriffen und in seine Darstellung der politischen Ökonomie einbezogen:

*"Mit dem stets wachsenden Übergewicht der städtischen Bevölkerung, die sie in großen Zentren zusammenhäuft, häuft die kapitalistische Produktion einerseits die geschichtliche Bewegungskraft der Gesellschaft, stört sie andererseits den Stoffwechsel zwischen Mensch und Erde, d.h. die Rückkehr der vom Menschen in der Form von Nahrungs- und Kleidungsmiteln vernutzten Bodenbestandteile zum Boden, also die ewige Naturbedingung dauernder Bodenfruchtbarkeit.*

*... jeder Fortschritt der kapitalistischen Agrikultur ist nicht nur ein Fortschritt in der Kunst, den Arbeiter, sondern zugleich in der Kunst, den Boden zu berauben, jeder Fortschritt in Steigerung seiner*

54 Ebd., S 72.

55 Liebig, J. v., a.a.O., S. 86.

*Fruchtbarkeit für eine gegebene Zeitfrist zugleich ein Fortschritt im Ruin der dauernden Quellen dieser Fruchtbarkeit.*"<sup>56</sup>

MARX bezeichnete es als unsterblichen Verdienst LIEBIGs, die negative Seite der modernen Agrikultur vom naturwissenschaftlichen Standpunkt herausgearbeitet zu haben.<sup>57</sup>

Die kritischen Beiträge LIEBIGs zur Düngemittelfrage dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass LIEBIG in seiner Auseinandersetzung mit der von Vertretern der "rationellen Landwirtschaft" propagierten Humustheorie in problematischer Weise Wegbereiter einer reduktionistischen Denkweise in den Landwirtschaftswissenschaften wurde, die ganzheitlich-praktische Ansätze zugunsten einer einseitig chemisch-physikalischen Ausrichtung verdrängte. Nicht zuletzt auf Drängen LIEBIGs wurden die landwirtschaftlichen Versuchsanstalten, darunter das von THAER begründete Versuchsgut Möglin, in den 1860er und 1870er Jahren geschlossen. Statt dessen wurden Lehrstühle für Agriculturnchemie an Hochschulen eingerichtet: der erste 1862 in Halle, es folgten zwischen 1869 und 1880 Leipzig, Gießen, Göttingen, München, Königsberg, Kiel, Breslau und Berlin.<sup>58</sup>

Die praktischen Anstrengungen der von LIEBIG bekämpften Vertreter der „rationellen Landwirtschaft“ richteten sich auf den Anbau von Stickstoffsammlern wie beispielsweise Klee (Prinzip der Nährstoffgewinnung), verbesserte Fruchtfolgen und ein optimales Verhältnis von Pflanzenbau und Viehhaltung. Durch konzentrierte Stallmistgaben für eine Kulturart, zumeist eine Hackfruchtart, wurden Düngemethoden entwickelt, die auf die weiteren Fruchtfolgeglieder nachwirkten (Prinzip der Nährstoffumwälzung). Diese im Rahmen der Humustheorie entwickelten Prinzipien trugen trotz ihrer Geringschätzung in der Praxis wesentlich zur Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge bei. Sie wurden durch das Prinzip der Nährstoffzufuhr durch industriell erzeugte Düngemittel entsprechend der LIEBIGschen Mineraltheorie zunächst nur ergänzt.<sup>59</sup>

Die durch den Einsatz von Mineraldünger ermöglichte Ausbildung von Monokulturen unter drastischer Vereinfachung der Fruchtfolgen brachte ein Problem mit sich, das Anlass für eine weitere Stufe der Chemisierung der Landwirtschaft wurde, das massenhafte Auftreten von Pflanzenschädlingen wie Pilzen oder Insekten. Gegenüber diesem Problem setzte sich die gleiche reduktionistische Denkweise durch, wie hinsichtlich des Problems der Bodenfruchtbarkeit. Die für den modernen "Pflanzenschutz" charakteristische Grundauffassung lässt sich bis auf das Jahr 1853 zurückführen. In diesem Jahr definierte Anton de BARY in seiner Habilitationsschrift das Auftreten der Infektion von Getreide mit Pilzen nicht als *Folge* einer Krankheit, sondern als deren *Ursache*. Mit dieser Festlegung eröffnete BARY ein Ursachendenken in der Phytopathologie (Lehre von den Pflanzenkrankheiten), das bis heute vorherrschend ist. Beim Auftreten einer Pflanzenkrankheit wird nach dem verursachenden Schädling gesucht, nach dessen Bestimmung in logischer Folge seine (chemische) Bekämpfung als Mittel gegen die Krankheit steht. Die Frage nach den Ursachen für die Anfälligkeit gegenüber dem Schädling stellt sich bei dieser Denkweise nicht mehr.<sup>60</sup> Im Kampf

56 Marx, K.: Das Kapital. 1. Bd. IV., Abschn., 13.Kap., Berlin (DDR) 1977, S. 528 f.

57 Vgl. ebd., S. 529.

58 Vgl. Krohn, W./Schäfer, W.: Ursprung und Struktur der Agriculturnchemie, in: Starnberger Studien 1. Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts, hrsg. v. Max-Planck-Institut zur Erforschung der Lebensbedingungen der wissenschaftlich technischen Welt, Frankfurt a.M. 1978, S. 64.

59 Vgl. Arnold, H.: Ökologische Herausforderungen der Agrarpolitik, Hochschulsammlung Wirtschaftswissenschaft Agrarwissenschaft Bd. 2 (Dissertation), Freiburg 1981, S. 64.

60 Vgl. Grimme, L. H.: Der chemische Pflanzenschutz, in: Pestizide Ex- & Import, hrsg. v. Die GRÜNEN, Köln 1985, S. 28.

gegen die so erkannten und definierten Pflanzenschädlinge rief der Teil der Landwirtschaft, der auf eine weitere Industrialisierung der Landwirtschaft setzte, bald auch den Staat um Hilfe. 1880 bat der Deutsche Landwirtschaftsrat den Reichskanzler, eine "Reichszentrale zur Beobachtung und Vertilgung der die Kulturpflanzen schädigenden Insekten und Pilze" einzurichten. Erfolg hatten derartige Vorstöße erst 1899, als es zur Gründung der "Biologischen Abteilung für Land- und Forstwirtschaft am Kaiserlichen Gesundheitsamte", der späteren "Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft" und heutigen "Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft" kam.<sup>61</sup>

Erkenntnisse der Landwirtschaftswissenschaften des 19. Jahrhunderts, die nicht der begrenzten Logik der chemischen Düngung und des chemischen Pflanzenschutzes folgten, beispielsweise über verbesserte Fruchtwechselfolgen, die Gründüngung und die Optimierung des Verhältnisses von Pflanzenbau und Tierhaltung, haben auch Möglichkeiten aufgezeigt, die Nahrungsmittelversorgung mit einem weit geringeren Einsatz an chemischen Düngemitteln und Pestiziden sicherzustellen. Die zunehmende Geringschätzung dieser Möglichkeiten unter einseitiger Orientierung auf den Einsatz von Kunstdünger und Schädlingsbekämpfungsmitteln, die in der Praxis erst nach dem Zweiten Weltkrieg voll zum Tragen kam, hing nicht nur mit der Etablierung einer auf Details reduzierten Wissenschaft, sondern auch mit der zunehmenden Verflechtung von landwirtschaftlicher und industrieller Produktion zusammen.

## Verflechtung von Industrie und Landwirtschaft

Die Entwicklung der Landwirtschaft weg von natürlichen Lebenszusammenhängen und Stoffkreisläufen zu einer immer größeren Abhängigkeit von Industriedünger und anderen Agrarchemikalien hing auch mit den Strukturen zusammen, die sich hinsichtlich der Verteilung und der Weiterverarbeitung landwirtschaftlicher Produkte entwickelten.

Die marktorientiert produzierenden Gutswirtschaften bauten entweder Getreide für den Fernhandel bzw. Export oder Feldfrüchte für die industrielle Verarbeitung an. Zu den ersten Industriezweigen, die in Deutschland entstanden, gehörten Schnapsbrennereien, fabrikmäßig betriebene Bierbrauereien und Zuckerfabriken. Von ihnen gingen zu Beginn der Industrialisierung wichtige Impulse für die technische und wirtschaftliche Gesamtentwicklung aus.

Die Verknüpfung von landwirtschaftlicher und industrieller Produktion und vor allem die Entwicklung der landwirtschaftlichen Verarbeitungsindustrien führte zur regionalen Massenproduktion bestimmter landwirtschaftlicher Erzeugnisse wie Getreide, Kartoffeln oder Zuckerrüben mit einer deutlichen Tendenz zu Monokulturen. Die damit verbundene einseitige Beanspruchung der Böden machte besonders hohe Düngemiteleinsätze erforderlich. Der Düngemiteleininsatz war in der bäuerlich betriebenen Landwirtschaft in der Regel weitaus geringer als in den Gutswirtschaften.

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts war die chemische Industrie in der Lage, die Massenproduktion mineralischer Düngemittel aufzunehmen. Die in der Landwirtschaft als Düngemittel verwendbaren Stoffe fielen zum Teil als Nebenprodukte bei industriellen Prozessen an (Ammoniak im Kokereiabwasser, Thomasmehl bei der Stahlerzeugung). Andere konnten bei der weltweiten Jagd nach Rohstoffen erbeutet werden (Guano, Salpeter). Weitere fielen bei der verstärkten Ausbeutung einhei-

---

61 Vgl. Chronik zum 75jährigen Jubiläum der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, Heft 148. Berlin 1973.

mischer Rohstoffe an (Kalisalze). Um Rohstoffe in Düngemittel umwandeln zu können, werden chemische Grundstoffe benötigt. Sie wurden zu dieser Zeit in der Sodaindustrie ohnehin in großen Mengen hergestellt (z.B. Schwefelsäure, die für den Aufschluss von Knochen oder Phosphatgestein benötigt wurde). Für die gerade als eigener Industriezweig herangewachsene chemische Industrie wurde die Landwirtschaft zu einem lohnenden Absatzmarkt.

Ein ständig wachsender Bedarf an künstlichen Düngemitteln und anderen Agrarchemikalien passte in die wirtschaftspolitische Zielsetzung einer möglichst raschen Industrialisierung und eines möglichst hohen Wirtschaftswachstums. Gegen diese Wirtschaftsideologie und die Profitinteressen der Großagrarien und der Industrie konnte sich keine Landwirtschaft entwickeln, die einen langfristig tragfähigen Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur und damit die langfristige Sicherung der Lebensgrundlagen der Menschheit in ihre Zielsetzung einbezog.

## Zucker: Treibstoff der industriellen Entwicklung

Der zunehmende Zuckerverbrauch in den europäischen Ländern ließ in den Kolonien die Plantagenwirtschaft blühen und machte in Europa die Zuckersiederei zu einem prosperierenden Wirtschaftszweig. Aus den kolonialen Erzeugerländern wurde kein Weißzucker, sondern brauner Rohzucker eingeführt, der in den Importländern in Zuckersiedereien zu weißem Kristallzucker verarbeitet wurde. Im 18. Jahrhundert waren die meisten Zuckersiedereien noch kleine handwerklich geführte Betriebe. In Deutschland war aufgrund der günstigen Verkehrslage Hamburg Schwerpunkt der Zuckerraffination. Mitte des 18. Jahrhunderts gab es in Hamburg etwa 350 Zuckersieder, in der Mehrzahl Kleinbetriebe mit bis zu fünf Arbeitskräften. Durch die notwendigen Zulieferbetriebe wie Kupferschmiede, Töpfer oder Transportbetriebe boten Zuckerhandel und Zuckergewerbe um 1800 bei einer Einwohnerzahl von 120-130.000 etwa 8-10.000 Menschen in Hamburg Beschäftigung.<sup>62</sup>

Der aus dem Zuckerrohr gewonnene Rohzucker wurde auf Segelschiffen in Fässern, Kisten oder Säcken nach Hamburg befördert und zunächst in Speicher gebracht. Im Haus des Zuckersieders wurde der Rohzucker mit Wasser, Ochsenblut und Kalk gekocht, filtriert, abgeschäumt und wieder gekocht, bis ein klarer dicker Zuckersirup entstanden war. Der fertige, abgekühlte Zuckersirup wurde in Tonformen gefüllt, in denen der Zucker kristallisierte. Der überschüssige Sirup lief in Töpfe ab, die sich unter den Tonformen befanden. Nach zehn bis zwölf Tagen konnte der Zucker in der bekannten Form des "Zuckerhutes" aus den Tonformen genommen werden. Vor dem Verpacken mussten die Zuckerhüte noch in einer gut geheizten Trockenstube - bis zu 2000 Stück auf Regalen aufgereiht - trocknen. Die reichlich anfallenden zuckerhaltigen Rückstände und Lösungen wurden vergoren und zu Schnaps verarbeitet.<sup>63</sup>

Die Zuckersiedereien gingen relativ früh zu industriellen Arbeitsmethoden und Verfahren über. Sie gehörten zu den ersten Industriebetrieben, die mit relativ hohem Kapital als Aktiengesellschaften gegründet wurden. Die am 1. Oktober 1793 gegründete "Berlinische Zuckersiederei-Compagnie" war die älteste private Aktiengesellschaft Berlins.<sup>64</sup>

---

62 Vgl. Prange, C.: Das Gewerbe der Zuckersieder in Hamburg, in: Schriften aus dem Zucker-Museum, hrsg. v. Technische Universität Berlin, Heft 24, Berlin 1987, S. 119.

63 Vgl. ebd., S. 110 ff.

64 Vgl. Technische Universität Berlin (Hrsg.): Schriften aus dem Zucker-Museum, Heft 23, Berlin 1986, S. 53 ff.

## Entstehung der Rübenzuckerindustrie in Deutschland

1747 hatte der Berliner Chemiker Andreas Sigismund MARGGRAF (1709 - 1802) entdeckt, dass in einheimischen Rüben Zucker vorkommt, der chemisch dem Rohrzucker entspricht. Ein halbes Jahrhundert später wurden die ersten Versuche zur wirtschaftlichen Ausnutzung dieser Entdeckung gemacht. Marggrafs Nachfolger Franz Karl ACHARD (1753 - 1821) errichtete auf dem 1801 mit Mitteln des preußischen Staates erworbenen Gut Cunern in Schlesien die erste Rübenzuckerfabrik. Zu wirklicher Bedeutung gelangte die Rübenzuckerfabrikation erst in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Um den Rübenzucker gegenüber dem Rohrzucker konkurrenzfähig zu machen, mussten ertragreichere Rübensorten mit hohem Zuckergehalt gezüchtet und eine ausgefeilte Technologie zur Gewinnung des Zuckers aus den Rüben entwickelt werden. Die Rübenzuckertechnologie ist im Vergleich zur Rohrzuckergewinnung wesentlich aufwendiger. Ließ sich der Saft aus dem Zuckerrohr durch einfaches Auspressen gewinnen, mussten für die Saftgewinnung aus der Rübe aufwendige Extraktionsverfahren entwickelt werden. Auch die weitere Behandlung des Rohsaftes ist bei der Rübenzuckergewinnung aufwendiger. Zur Beseitigung von Verunreinigungen ist eine Behandlung des Zuckersaftes mit Kalk und Kohlensäure und anschließende Filtration erforderlich. Die Gewinnung des Kristallzuckers aus dem gereinigten Zuckersaft, der etwa 15% Zucker enthält, erfolgt durch Verdampfen des größten Teils des Wassers und anschließende kontrollierte Kristallisation. Der Kristallzucker wird durch Zentrifugen von dem eingedickten Saft, der Melasse, getrennt.

Die Maschinen und Apparate, die für verschiedene Arbeitsschritte der Zuckerherstellung entwickelt worden sind - Extraktionsanlagen, Verdampfer, Wasch- und Schnitzelmaschinen, Pressen, Zentrifugen, Trockner, Filterapparate etc. - umfassen ein breites Spektrum der in der chemischen Verfahrenstechnik üblichen Grundoperationen. Mit der Zuckerfabrikation als dem neben der Brennerei ältesten Zweig der organisch-chemischen Großindustrie sind auch wichtige verfahrenstechnische und apparative Grundlagen für die chemische Technik im Allgemeinen entstanden.

Zum Aufbau einer technisch gut ausgestatteten Rübenzuckerfabrik war in der Mitte des 19. Jahrhunderts ein beträchtliches Kapital erforderlich. Dieses Kapital wurde in der Regel durch die Gründung von Aktiengesellschaften beschafft. Die Rübenzuckerindustrie gehörte während der Industriellen Revolution neben Textil- und Maschinenbaubetrieben zu den großen Investitionsträgern in Deutschland.<sup>65</sup> Teilhaber waren neben städtischen Kaufleuten überwiegend Großgrundbesitzer und Großbauern, die ihre aus einer intensiv betriebenen Landwirtschaft erzielten Gewinne investierten. Der Erwerb von Aktien war (und ist heute noch) häufig mit der Verpflichtung zu entsprechenden Rübenlieferungen verbunden. Da der "Rübenhunger" der Zuckerfabriken groß war, wurden ganze Bauernwirtschaften und ausgedehnte Rittergutsländereien mit dem Fabrikbetrieb verbunden. Dadurch entstanden so genannte Fabrikwirtschaften, kapitalistische industriell-agrarische Gebilde.<sup>66</sup>

---

65 Vgl. Müller, H.-H./Rook, H.-J.: Herkules in der Wiege. Streiflichter zur Geschichte der Industriellen Revolution, Jena/Berlin 1980, S. 265 ff.

66 Vgl. ebd., S. 267.

## Rübenanbau, Monokultur und Mechanisierung

Die Erfordernisse der Zuckerfabrikation bestimmten die Wirtschaftsweise der angegliederten landwirtschaftlichen Betriebe. Der Zuckerrübenanbau musste in großem Maßstab erfolgen, um die für den rentablen Betrieb einer Zuckerfabrik erforderliche Rübenmenge liefern zu können. Damit war die Notwendigkeit vorgegeben, Zuckerrüben großflächig weitgehend in Monokultur anzubauen. Dadurch wurde hier ein besonderer Anreiz zur Mechanisierung der Landwirtschaft geschaffen. Die Notwendigkeit, das Saatgut sehr gleichmäßig in den Boden einzubringen, regte beispielsweise zur Entwicklung von Sämaschinen an. Der Rübenanbau gehört zu den ersten Bereichen der Landwirtschaft, in denen Dampfpflüge eingesetzt wurden.<sup>67</sup>

Die einseitig auf den Rübenanbau orientierte Bodennutzung verursacht einen besonders hohen Nährstoffverlust der Böden. Als "bodenzehrende" Pflanze macht die Zuckerrübe eine intensive Düngung erforderlich. Das folgende "Düngemittel-Menü" entstammt einer Quelle aus den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts:

*"Alle bekannten Düngemittel finden zu ihrer Zeit und am richtigen Ort Verwendung. Der Stallmist verbessert den Boden im Winter; verdünnte Jauche als Kopfdünger, Gründüngung im Herbst, schwefelsaures Ammoniak vor der Aussaat; der Chilesalpeter ist für die Rübe der beste Stickstoffdünger, er wird auch als Kopfdüngung gegeben. Superphosphat wird vor der Bestellung untergebracht oder gestreut und dann eingeeget. Kali wird in Form von Kainit oder 40%igem Kalisalz 4 bis 6 Wochen vor der Bestellung gegeben, Kalk in Form von Saturationsschlamm (einem Nebenprodukt der Zuckerfabriken, d. V.)."*<sup>68</sup>

Die Entnahme von Pflanzennährstoffen aus den Böden durch die Zuckerrüben wurde Anfang des 20. Jahrhunderts bei einer mittleren Ernte von ca. 350 Doppelzentnern für einen Hektar folgendermaßen berechnet:<sup>69</sup>

Kalium (als K <sub>2</sub> O)	=	160 kg
Calcium (als CaO)	=	37 kg
Phosphor (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	=	35 kg
Stickstoff (N)	=	77 kg

Die einseitige Beanspruchung der Böden durch die Rüben-Monokultur machte nicht nur einen hohen Düngemiteleinsatz erforderlich. Die Monokultur förderte auch das Auftreten von Pflanzenschädlingen:

*"Während ihres Wachstums hat sie (die Rübe, d. V.) mit einer ganzen Reihe von kleinen tierischen und pflanzlichen Feinden häufig zu kämpfen. Käfer, Schmetterlinge, Fliegen, Läuse, Nematoden u.a. befallen die Rübenblätter oder die Rüben im zarten Alter und schädigen die Ernteerträge oft ganz bedeutend. Die Kultur der Zuckerrübe umfaßt daher auch die Bekämpfung dieser Feinde. Dazu kommen noch Krankheiten, hervorgerufen durch Kleinlebewesen, wie Wurzelbrand, Herz-*

67 Vgl. Herrmann, K., a.a.O., S. 170 ff.

68 Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. XII, 1923, S. 328.

69 gerundet nach Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. XII, S. 331.

*und Trockenfäule, Rübenschorf, Rotfäule, Rübenschwanzfäule, Wurzelkropf u.a. Sie durch richtige Kultur zu verhindern oder nach ihrem Auftreten erfolgreich zu bekämpfen, gehört mit zur schwierigen Arbeit des Rübenbauers.*<sup>70</sup>

Vor allem die durch Nematoden (Fadenwürmer) verursachte "Rübenmüdigkeit" des Bodens führte zu erheblichen Ernteverlusten. Ein Ausweg aus diesem Dilemma wäre die Rückkehr zu einer vielfältigen Fruchtwechselfolge gewesen. Die Einbindung der landwirtschaftlichen Betriebe in das System der "Fabrikwirtschaften" machte die Besinnung auf naturgemäße Methoden der Landwirtschaft jedoch unmöglich. Ein Rückgang der zu verarbeitenden Rübenmenge bedrohte die Existenz der Zuckerfabriken, in denen oft auch Kapital der rübenliefernden Bauern und Gutsbesitzer investiert war.

Rübenmüdigkeit und Ertragsminderung stellten sich immer wieder ein, etwa im Jahre 1911/12, als der Ertrag von 329 dt je Hektar des Vorjahres auf 180 dt fiel.<sup>71</sup>

Der Zuckerrübenanbau ist ein frühes Beispiel für die Entwicklung einer industrialisierten Landwirtschaft, die unter dem Zwang der Gewinnmaximierung auf immer stärkeren Einsatz chemischer und mechanischer Hilfsmittel angewiesen ist und sich damit immer stärker von ihren natürlichen Produktionsgrundlagen entfernt.

## Die Auswirkungen der Rübenzuckerfabrikation auf die Umwelt

Die einseitige Orientierung der Rübenzuckererzeugung auf die massenhafte Gewinnung eines einzelnen Naturstoffes aus der komplexen Fülle der Inhaltsstoffe der Rübe hatte notwendig beträchtliche ökologische Folgen. In der Kampagne, der Zeit der Rübenverarbeitung nach der Ernte, machten sich die nicht verwertbaren Bestandteile der Rübe in Luft und Wasser höchst unangenehm bemerkbar. Obwohl der größte Teil der bei der Zuckergewinnung anfallenden Nebenprodukte als Futtermittel oder Dünger verwertet wurde, gelangten durch die Rübenwaschanlagen, aus den Filterschlämmen und mit den Fabrikationsabwässern große Mengen organischer Substanzen in die Bäche und Flüsse, aus denen die Zuckerfabriken ihren Wasserbedarf deckten und den sie als "Vorfluter" zum Ableiten ihrer Abwässer verwendeten. Diese organischen Reste bildeten einen guten Nährboden für Mikroorganismen, die sich schnell vermehrten, den Sauerstoff im Wasser verbrauchten und das Wasser vergifteten. Üble Gerüche und tote Fische wiesen unübersehbar auf die Folgen des massiven Eingriffs in die natürlichen Stoffkreisläufe hin. Bereits in einem "Handbuch der technischen Chemie" von 1849 heißt es:

*"Man bemerkt dann bald, wie mit Anfang der Campagne der Zuckerfabrik an den im Bache befindlichen Gegenständen sich weissliche, schleimige Ueberzüge bilden, die sich rasch vergrößern, schliesslich flottirende Massen bilden. Gleichzeitig macht sich der Geruch nach Schwefelwasserstoff bemerklich, die in ziemlich entfernten Teichen befindlichen Fische sterben, die Anwohner werden von Kopfschmerzen befallen, es fehlt ihnen gesundes Wasser zum Tränken des Viehes und es wird Klage gegen die Fabrik erhoben."*<sup>72</sup>

70 Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. XII, 1923, S. 328.

71 Müller, H.-H./Rook, H.-J, a.a.O., S. 268.

72 Payen, A.: Handbuch der technischen Chemie, Bd.2, Stuttgart 1874, S. 322. zit. nach Vaupel, E.: Gewässerverschmutzung in der schönen Literatur, in: Chemie in unserer Zeit 19/1985 H.3, S. 77 ff.

Die drastischen Auswirkungen der Zuckerfabrikation auf ihre Umgebung und dadurch verursachte juristische Auseinandersetzungen wurden auch zu einem der ersten "ökologischen" Themen der Literatur. Der Erzähler Wilhelm RAABE (1831-1910) lebte in Braunschweig in einem Zentrum der Zuckerverzeugung in Deutschland. Auf dem Weg zu seinem Stammlokal "Zum grünen Jäger" östlich von Braunschweig begegnete Raabe an einem Flüsschen den unübersehbaren anrühenden ökologischen Folgen der Rübenzuckerfabrikation:

*"Unübersehbar viele Fische trieben mit nach oben gekehrtem Bauch tot den Bach hinab und in kürzester Zeit waren alle ins Wasser hineinhängenden Gegenstände mit einem schleimig-schlüpfrigen Überzug von 'dummen Pilzen mit grausamen lateinischen Namen' überwachsen. Der ekelregende Geruch zeigte, daß es um den Reinheitsgrad der Schunter (kleiner Fluss bei Braunschweig, d.V.) und ihrer Zuflüsse nicht zum Besten stand."<sup>73</sup>*

Die sinnlichen Eindrücke, denen RAABE da ausgesetzt war, waren so stark, dass er eine (historisch belegte) gerichtliche Auseinandersetzung zwischen zwei arg geschädigten Wassermühlenbesitzern und einer Zuckerfabrik zur Vorlage für die Erzählung "Pfisters Mühle" wählte.

## Der Schnaps und die Industrielle Revolution

Zu Beginn der Industriellen Revolution hatte der Schnaps beträchtliche wirtschaftliche und strategische Bedeutung bei der Ausbeutung der Kolonien. Das "Feuerwasser" übte auf die einheimischen Bevölkerungen in den Kolonien eine ebenso furchtbare Wirkung aus wie die Feuerwaffen. In Europa stieg der Branntweinkonsum im 18. Jahrhundert mit dem Aufkommen des Kartoffelanbaus und der Einführung des billigen und massenhaft erzeugten "Kartoffelsprits" in beängstigender Weise an. In England nahm zu Beginn der Industrialisierung die Trunksucht so zu, dass von einer "Branntwein-Epidemie" gesprochen wurde. Der Sozialhistoriker Wolfgang SCHIVELBUSCH stellt den Branntwein in folgenden Zusammenhang mit den großen sozialen Umwälzungen der Industriellen Revolution:

*"Man hat die Branntwein-Epidemie (in England im 18. Jahrhundert, d.V.) mit Recht eine "soziale Katastrophe von ungeheuren Ausmaßen" (MONCKTON) genannt. Doch in der massenhaften Trunkenheit dieser Zeit spiegelt sich nur eine andere soziale Katastrophe wider. Was man euphemistisch Landflucht nennt, die Vertreibung ganzer Dorfbevölkerungen von ihrem angestammten Grund und Boden durch die sogenannten Einhegungen (ein anderer Euphemismus für die Enteignung durch die Großgrundbesitzer), bildet den Hintergrund oder vielmehr den Nährgrund für die Branntwein-Epidemie. Die entwurzelten Massen strömen in die Städte. Sie sehen sich einer unheimlich-fremden Welt ausgesetzt. Das überlieferte Selbstverständnis, die alten Normen und Lebensformen gelten mit einemmal nicht mehr. Totale Orientierungslosigkeit ist die Folge. Der Branntwein muß herhalten, diese unerträgliche Lebenssituation wenigstens zeitweise zu vergessen."<sup>74</sup>*

Während der Branntwein den verelendeten Massen als Betäubungsmittel diente und die Eingeborenen in den eroberten Kolonien in Lethargie versetzte, war er für Großgrundbesitzer und Kaufleute eine ergiebige Einnahmequelle. Vor allem die Kartoffelbrennerei, die gegenüber der Getreide-, Obst- und Weinbrennerei quantitativ immer größere Bedeutung bekam, war ein lohnendes Ge-

---

73 nach Vaupel, E.: Gewässerverschmutzung in der schönen Literatur, in: Chemie in unserer Zeit 19, 3/1985, S. 77.

74 Schivelbusch, W., a.a.O., S. 168.

schäft, dem sich die preußischen Gutsherren mit besonderem Eifer zuwandten. Friedrich Engels schrieb 1876 in einem Aufsatz zum Thema "Preußischer Schnaps im deutschen Reichstag"<sup>75</sup>:

*"Kartoffelsprit ist für Preußen das, was Eisenwaren und Baumwollwaren für England sind, der Artikel, der es auf dem Weltmarkt repräsentiert."*

Die größten Alkoholproduzenten in Deutschland waren im 19. Jahrhundert die Kartoffelbrennereien im preußischen Ostelbien. Sie entwickelten sich zum typischen landwirtschaftlichen Nebengewerbe der großen Güter im Bereich der leichten Bodenarten, auf denen sich die Roggen-Kartoffelwirtschaft entwickelt hatte. Der Schwerpunkt der Kartoffelspritproduktion lag in der damaligen Provinz Posen. Mit steigendem Produktionsumfang entwickelte sich ein Teil der Brennereien von einem eher handwerklich betriebenen landwirtschaftlichen Nebengewerbe zu industriellen Betrieben. Die chemische Technik verdankt der industriellen Schnapsbrennerei vor allem die Entwicklung einer leistungsfähigen Destillationstechnik.

Der Kartoffelanbau für die industrielle Spiritusgewinnung und die Brennerei selber sind weitere Beispiele für eine einseitig auf die maximale Erzeugung eines einzigen Produktes ausgerichtete Form der Naturnutzung. Die ökologischen Folgen sind denen des Zuckerrübenanbaus und der Rübenzuckerfabrikation vergleichbar. Die Betriebsabwässer der Brennereien riefen beispielsweise ganz ähnliche Erscheinungen hervor, wie die der Zuckerfabrikation.

## Industrialisierte Forstwirtschaft

Die Entwicklung der Forstwirtschaft erfolgte ebenso wie die der Landwirtschaft unter der Zielsetzung maximaler Gewinnerwirtschaftung. Der neuen auf höchsten Holzertrag orientierten Forstökonomie entsprach eine auf Kahlschlag und künstliche Aufforstung mit Reinkulturen angelegte Forstwirtschaft. Bei der Anlage von Reinkulturen konnte man sich auf die unter den gegebenen Marktbedingungen wertvollste Holzart konzentrieren und versuchen, deren Erträge durch Züchtung von besonders "leistungsfähigen" Sorten, durch optimierte Anlage der Bestände und rationelle Durchforstung zu steigern. Die Umtriebszeiten, die Zeitspanne zwischen Anpflanzung und Schlag, wurden nach dem optimalen Wachstumsverlauf einer Baumart und den Anforderungen an die Holzqualität bestimmt.

Als besonders wirtschaftliche und gut berechenbare Baumart erwies sich vor allem die Fichte. Die vielseitige Nutzbarkeit ihres Holzes, ihre Anspruchslosigkeit hinsichtlich der Bodenbeschaffenheit und ihr schnelles Wachstum haben sie zum "Brotbaum der deutschen Waldwirtschaft"<sup>76</sup> werden lassen. Überwogen am Anfang des 19. Jahrhunderts in Deutschland noch deutlich die Laubbäume, hatte sich das Verhältnis am Ende des Jahrhunderts deutlich umgekehrt. 1883 betrug der Nadelholzanteil bereits 65%.

Die Umwandlung der Wälder in Nadelholzplantagen war ein wichtiger Entwicklungsschritt auf dem Weg zur modernen Forstwirtschaft, deren Leitziele "Optimieren, Maximieren, Steigerung der Rentabilität, orientiert an den Anforderungen der Holzwirtschaft und durchgesetzt mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln intensiver Pflanzenproduktion"<sup>77</sup> sind.

75 MEW (Marx-Engels-Werke), Bd. 19, Berlin (DDR) 1972, S.37 ff.

76 Radkau, J./Schäfer, I., a.a.O., S. 223.

77 Ebd.

Für artenreiche Mischwälder war bei einer solchen Betrachtungsweise kein Platz, obwohl weitsichtige Forstwissenschaftler die Vorzüge solcher Wälder immer betont haben.

## Ökologische Folgen forstlicher Monokulturen

Die atomistische, auf die maximale Gewinnung der einzelnen Naturkomponente "Holz" gerichtete Umgestaltung der Wälder, die sich in der Anlage ausgedehnter Nadelholz-Reinbestände manifestierte, hatte von Anfang an schwerwiegende ökologischen Folgen. Sie zeigten sich in ausgedehnten Windbrüchen, in der katastrophalen Massenvermehrung von Schadinsekten, in der Verarmung der Waldböden und dem Auftreten von großflächigen Bodenerosionen. Gleichzeitig wurde mit Fichtenmonokulturen eine Voraussetzung zur langfristigen Versauerung der Waldböden geschaffen, die im Zusammenwirken mit dem sauren Regen den traurigen Zustand der heutigen Wälder mit verursachte. Der Übergang vom Mischwald zur Nadelholzmonokultur war ein massiver Eingriff in gewachsene ökologische Strukturen, der nicht ungestraft erfolgen konnte. Die verringerte Widerstandsfähigkeit gegenüber extremen Wetterbedingungen und Schädlingen brachten erhebliche Verluste. In einer Veröffentlichung aus dem Jahr 1875 heißt es dazu:

*"Aus den Thatsachen, ..., scheint hervorzugehen, daß allerdings seit 1770 eine bedeutende Vermehrung der Insektenbeschädigungen eingetreten ist. Ja, seit jenem Jahr scheint im Nordosten unseres Vaterlandes die Massenvermehrung schädlicher Insekten öfter wiederzukehren, gefährlicher zu verlaufen, als in irgendeinem früheren Zeitraume.*

*... so finden wir eine fast chronisch gewordene excessive Vermehrung schädlicher Insekten, und können uns der Ueberzeugung nicht verschließen, daß in den zur Herrschaft gelangten Wirtschaftssystemen das dieselbe begünstigende Moment liegen muß. Kahlschlag und Massen-anbau derselben Holzart, Erziehung von Beständen, welche streng in derselben Etage ihren gesammten Wipfelraum finden, in denen alle Individuen, in den Kronenschluß eingekieilt, den normalen Athmungsraum und das volle Blattvermögen nicht gewinnen können, mit einem Worte: Die schulgerechte Hochwaldwirtschaft der Forstwissenschaft der Mittelstufe mit ihrer mechanisierenden und schematisierenden Tendenz haben sicherlich in erster Linie dazu beigetragen, die Massenvermehrung der Insekten herbeizuführen, weil sie in den mit der Schere abgeschnittenen, schwindsüchtigen Kunstwäldern, in der Unnatur der mathematischen Bestandsausformung jenen die Existenzbedingungen geschaffen haben."<sup>78</sup>*

Um die Wende zum 20. Jahrhundert wurden von weitsichtigen Forstleuten auch "Waldbaummodelle" entwickelt, die die offensichtlichen Schwächen reiner, schlagweiser Nadelholz-Hochwälder mildern sollten und die natürlichen Komponenten eines Waldes mehr in den Vordergrund stellten, ohne jedoch grundsätzlich von dem Prinzip des schlagweisen Hochwaldes abzugehen. Um 1950 wurden in der Bundesrepublik die Grundsätze für eine "Naturgemäße Waldwirtschaft" aufgestellt und zunächst von einer kleinen Minderheit unter den Forstleuten auch praktiziert.<sup>79</sup> 1993, ein Jahr nach der Konferenz „Umwelt und Entwicklung“ in Rio de Janeiro, wurde der Forest Stewardship Council (FSC) gegründet. Dessen Ziel ist es, die in Rio verabschiedeten Forderungen an eine nachhaltige Entwicklung für Wälder umzusetzen. Der FSC ist eine nichtstaatliche, gemeinnützige Organisation,

---

78 Bernhardt, August: Geschichte des Waldeigentums, der Waldwirtschaft und Forstwissenschaft in Deutschland, Berlin 1872, Neudruck Aalen 1966, Bd.2, S. 380 f.

79 Vgl. Schoepffer, H.: Die "naturgemäße Waldwirtschaft" und ihre Grundsätze, in: Forstarchiv, H. 213/1983, S.2 ff.

die sich – bisher mit bescheidenem Erfolg - für eine umweltgerechte, sozialverträgliche und ökonomisch tragfähige Nutzung der Wälder unserer Erde einsetzt.<sup>80</sup>

---

80 <http://www.fsc-deutschland.de/> .

## 4 Naturaneignung und Chemie

Die Ausbeutung der Natur erreichte im Industriezeitalter mit dem Wandel von einer weitgehend dezentralen, regionalen Ökonomie zu einer immer mehr auf Welthandel orientierten Ökonomie neue Dimensionen. Der Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur nahm globale Formen an. Mit der massenhaften Nutzung von Kohle und Erzen, dem Ausbau von Industrien und (Verkehrs-)Infrastrukturen sowie der Industrialisierung der Landwirtschaft änderten sich die stofflichen Grundlagen des Wirtschaftens radikal. Aus dem wachsenden Bedürfnis nach Chemikalien entstand die chemische Grundstoffindustrie als neuer eigener Industriezweig. Für die Wissenschaft Chemie als Lehre von den Stoffen und Stoffumwandlungen ergaben sich hiermit vielfältige neue Betrachtungsgegenstände und Aufgaben.

Seit der Renaissance hatte sich die Naturwissenschaft als eigenständige geistige Kraft entwickelt. Ein herausragender Vertreter der neuen Naturwissenschaft, deren Ziel neben der philosophisch motivierten Erkenntnis von Naturgesetzen die Beherrschung der Natur durch technische Mittel war, war Francis BACON (1561 - 1626). In seinem "Novum Organum" schreibt er:

*"Es handelt sich nicht bloß um das Glück der Wissenschaften, sondern in Wahrheit um die Lage und das Glück der Menschheit und um die Macht zu allen Werken. Denn der Mensch, als Diener und Dolmetscher der Natur, wirkt und erkennt nur so viel, als er von der Ordnung der Natur durch seine Werke oder seinen Geist beobachtet hat; darüber hinaus weiß und vermag er nichts. Denn keine Kraft vermag die Kette der Ursächlichkeit zu lösen und zu brechen, und sie wird nur besiegt, wenn man ihr gehorcht. Deshalb fallen jene Zwillingsziele, die menschliche Wissenschaft und die menschliche Macht, in eins zusammen, und die meisten Werke mißlingen aus Unkenntnis der Ursachen. Wissen und Können fallen bei dem Menschen in eins, weil die Unkenntnis der Ursache die Wirkung verfehlen läßt. Die Natur wird nur durch Gehorsam besiegt."*<sup>81</sup>

Im 17. und 18. Jahrhundert war es zunächst die Physik, die große Erfolge verbuchen konnte. Die Erfolge der Astronomie erschütterten die Grundlagen des starren mittelalterlichen Weltbildes und trieben die weltanschaulich-philosophischen Auseinandersetzungen voran. Die Mechanik, die bereits durch Sir Isaac NEWTON (1642 - 1727) einen Höhepunkt ihrer Entwicklung erreichte, trug wesentlich zur theoretischen Fundierung der Technik bei.

Den Erforschern der stofflichen Welt war nicht so schnell ein durchgreifender Erfolg beschieden. Das lag einerseits an der außerordentlichen Vielfalt und der Widersprüchlichkeit des Untersuchungsgegenstandes und andererseits daran, dass sich die Chemie mit den traditionsreichen mythologisch geprägten Auffassungen von den Eigenschaften und Umwandlungen der Stoffe auseinandersetzen musste, die in der Alchimie überliefert worden waren.

---

81 Zitiert nach Klemm, F.: Geschichte der Technik, Reinbek 1983, S. 100 f.

## Experimentelle Grundlagen

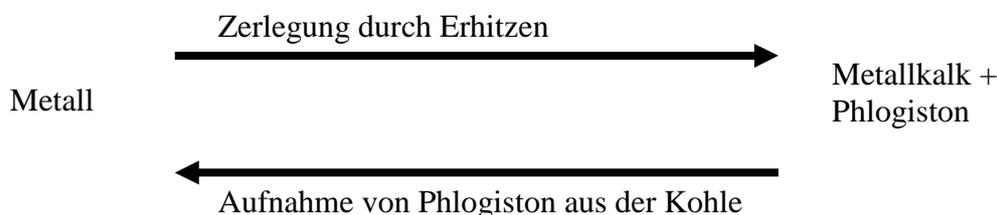
Im 18. Jahrhundert hatten die Naturwissenschaften den experimentellen und theoretischen Stand erreicht, der für eine rationale Wissenschaft von den Stoffen und ihren Umwandlungen - die moderne Chemie - erforderlich war. Die praktischen Schwierigkeiten, die der modernen Chemie zunächst im Wege standen, hatten ihre Ursache vor allem in der Tatsache, dass bei den meisten Stoffumwandlungen Gase als Ausgangsstoffe oder Produkte beteiligt sind. Diese Gase waren zunächst aus praktisch experimentellen Gründen im wörtlichen Sinn ziemlich unfassbar. Deshalb konnten Stoffumwandlungen meist nicht vollständig quantitativ erfasst werden.

Im 17. und 18. Jahrhundert wurden erhebliche Fortschritte bei der Erforschung der Gase erzielt. Dazu gehören die Entwicklung der Luftpumpe und der Nachweis des Vakuums durch Otto von GUERICKE (1602 - 1686), die Entdeckung des Luftdrucks durch Evangelista TORRICELLI (1608 - 1647) und die Erkenntnisse Robert BOYLES (1627 - 1691) über das Verhalten der Gase.

Die Gase standen nicht nur im Zentrum des theoretischen Interesses, sondern waren auch Gegenstand praktischer Probleme und Entwicklungen. Von den vielen frühen Versuchen, den Druck von Gasen zum Antrieb von Maschinen zu nutzen, sollen hier nur die atmosphärische Schießpulvermaschine von Christian HUYGENS (1629 - 1695) und die atmosphärische Dampfmaschine von Denis PAPIN (1647 - 1712) erwähnt werden.<sup>82</sup>

Mit den Heißluftballons hatte am Ende des 18. Jahrhunderts die Luftfahrt ihren Anfang genommen. Das bei der "Steinkohlendestillation" bzw. Verkokung frei werdende Gas fand um 1800 als Leuchtgas Verwendung. Im Kohlenbergbau traten Grubengase auf, die zu Explosionen führen konnten. Für Chemiker, Biologen und Mediziner war die Rolle der Luft bei Verbrennungsvorgängen und für die Lebensvorgänge bei Pflanzen, Tieren und Menschen von praktischem und theoretischem Interesse.

Die theoretische Diskussion in der Chemie des 18. Jahrhunderts war von der Phlogistontheorie Georg Ernst STAHLs (1659 - 1734) beherrscht. Seine Theorie basierte auf der systematischen Beobachtung von stofflichen Vorgängen im Bereich der Metallurgie. Die Hüttenleute beklagten die Verluste an unedlen Metallen, die beim Schmelzen und Gießen durch Bildung von "Metallkalken" (=Metalloxiden) auftraten. STAHL beobachtete und untersuchte die Bildung verschiedener "Metallkalken" und deren Rückverwandelbarkeit in die Metalle durch Erhitzen mit Holzkohle. Die Umkehrbarkeit der Bildung von "Metallkalken" aus Metallen erklärte er mit der Aufnahme bzw. Abgabe von "Phlogiston". Das Schema soll diese Vorstellung verdeutlichen:<sup>83</sup>



Das "Phlogiston", der Feuerstoff, sollte in der Holzkohle enthalten sein und bei der Reaktion mit den "Metallkalken" unter Bildung der Metalle aufgenommen werden.

82 Vgl. Varchmin, J./ Radkau, J., a.a.O., S. 83 f.

83 Vgl. Heinig, K. (Hrsg.): Biographien bedeutender Chemiker, Berlin 1970, S. 49.

Es ist heute schwer verständlich, warum diese Theorie so großen Anklang fand, obwohl sie die wahren Verhältnisse auf den Kopf stellte. Bei der Oxidation wird bekanntlich nichts abgegeben, sondern Sauerstoff aufgenommen. Man bedenke jedoch die Schwierigkeiten einer genauen mengenmäßigen Bilanzierung der an einer Reaktion beteiligten Stoffe, insbesondere, wenn Gase an der Reaktion beteiligt sind. Luft wurde zudem damals noch als einheitlicher Stoff angesehen. Die Tatsache, dass die Metalle beim "Verkalken" (=Oxidieren) schwerer wurden, verwunderte zwar, die meisten anderen Stoffe wurden beim Verbrennen jedoch scheinbar leichter, da man die Masse der Verbrennungsgase nicht mit berücksichtigte. Daher wurde die Massenzunahme bei der Verbrennung der Metalle als unerklärliche Ausnahme von der Regel, dass Stoffe beim Verbrennen Phlogiston abgeben und dadurch leichter werden, angesehen.

Wer weiß, wie schwer es Schülern im Chemieunterricht fällt, zu akzeptieren, dass die Verbrennungsprodukte einer Kerze mehr Masse haben als die Kerze selbst, kann nachvollziehen, warum die Phlogistontheorie bis zur Entdeckung des Sauerstoffs und der Entwicklung experimenteller Methoden zur Bestimmung der Masse von Gasen so plausibel erschien.

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts gelang es einer Reihe von Naturwissenschaftlern, die wichtigsten Gase: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlendioxid, Chlor u.a. zu isolieren, zu identifizieren und in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften zu beschreiben. Diese Forschungsaufgaben lagen sozusagen in der Luft, daher ist es nicht verwunderlich, dass viele wichtige Entdeckungen fast gleichzeitig von Forschern in verschiedenen Ländern Europas gemacht wurden.

## Naturwissenschaftler im 18. und 19. Jahrhundert

Einen Eindruck von der Eigenart des damaligen Wissenschaftsbetriebes und den verschiedenen Arbeitsweisen und -bedingungen von Naturwissenschaftlern vermitteln Einblicke in die Biografien berühmter Chemiker dieser Zeit:

Henry CAVENDISH (1731 -1810) entstammte dem englischen Hochadel und verfügte über Reichtümer, die selbst in seiner Gesellschaftsschicht ungewöhnlich waren. Nach einem vierjährigen naturwissenschaftlichen Studium in Cambridge richtete er sich in den Stallungen des Londoner Stadthauses seiner Familie ein Laboratorium ein. Dort forschte er in menschen scheuer Zurückgezogenheit. CAVENDISH war nach dem Urteil seiner Zeitgenossen wortkarg, unbeholfen und schüchtern. Er sah seinen Lebensinhalt in seinen naturwissenschaftlichen Arbeiten, die sich nicht nur auf die Chemie beschränkten, sondern auch Physik, Astronomie, Mathematik und Meteorologie umfassten. Sein Wahlspruch war: "Alles ist nach Maß, Zahl und Gewicht geordnet." Über seine Arbeiten führte CAVENDISH exakt Tagebuch und die ihm wichtig erscheinenden Ergebnisse publizierte er in den "Philosophical Transactions" der Royal Society.

Seine exakte Arbeitsweise, verbunden mit den erforderlichen finanziellen Mitteln für aufwendige Apparaturen, und die geradezu fanatische Hingabe an die naturwissenschaftliche Arbeit waren die Grundlage vieler wichtiger Entdeckungen. Hier können nur die Bestimmung der Zusammensetzung der Luft, die Entdeckung des Wasserstoffes und die Aufklärung der Bildung von Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff genannt werden.

Von völlig anderer Herkunft und gänzlich anderem Charakter als CAVENDISH war sein Zeitgenosse Joseph PRIESTLEY (1733 - 1804). Er war der Sohn eines armen Tuchmachers. PRIESTLEY war in seinen Interessen außerordentlich vielseitig und studierte neben seinem Hauptfach, der Theologie, auch noch Naturwissenschaften, Philosophie und neun (!) Fremdsprachen. Als freisinniger Geist und Anhänger der Ideen der Französischen Revolution war er an vorderster Front an den theologischen und politischen Auseinandersetzungen seiner Zeit beteiligt. Das brachte ihm

den Zorn des konservativen Bürgertums und des Adels ein, die ein Übergreifen der Ideen der Französischen Revolution auf England fürchteten. Durch sein politisches Engagement exponierte sich PRIESTLEY so sehr, dass er der wütenden Menge seiner Gegner, die ihm das Haus mit dem bescheidenen Laboratorium in Brand steckten, nur mit knapper Not entfliehen konnte. Seinen Lebensunterhalt verdiente PRIESTLEY in verschiedenen Stellungen als Lehrer, Prediger und Privatsekretär des Earls of SHELBOURNE, dem späteren Marquis of LANSDOWNE. Die Mittel, die ihm für Bücher und Geräte zur Verfügung standen, waren sehr bescheiden, so dass er zeitweilig auf die Unterstützung von Freunden angewiesen war. PRIESTLEYS naturwissenschaftliche Arbeiten beschränkten sich nicht nur auf die Chemie, sondern umfassten auch physikalische Themen. Trotz seiner bescheidenen Mittel gelang es PRIESTLEY, erhebliche Verbesserungen an den Apparaturen, die zu seiner Zeit bei der Untersuchung von Gasen verwendet wurden, vorzunehmen. Durch die Verwendung von Quecksilber als Sperrflüssigkeit konnte er auch wasserlösliche Gase wie Chlorwasserstoff, Ammoniak, Stickstoffoxide oder Schwefeldioxid untersuchen. Berühmt wurde er durch sein 6-bändiges Werk "Untersuchungen der Luft" und vor allem durch die Entdeckung des Sauerstoffs, die ihm im 1774 gelang. Er untersuchte auch die Rolle des Sauerstoffs und des Kohlendioxids bei der Atmung und dem Wachstum grüner Pflanzen.

Ganz im Gegensatz zu dem menschen scheuen CAVENDISH war PRIESTLEY um persönliche Kontakte und direkte Diskussion bemüht. Er verkehrte in der berühmten "Lunar-Society" ("Mond-Gesellschaft") in Birmingham. Diese Gesellschaft hatte ihren Namen nach der Gewohnheit ihrer Mitglieder, sich jeden ersten Montag nach Vollmond zu treffen, um nicht in völliger Dunkelheit nach Hause gehen zu müssen. Eine öffentliche Straßenbeleuchtung gab es noch nicht. Zu deren Einrichtung trug später ein Mitglied der "Lunar-Society", William MURDOCK, als Erfinder einer leistungsfähigen Gasbeleuchtung bei. Diese Gasbeleuchtung wurde zuerst in der Fabrik zweier weiterer bedeutender Mitglieder dieser Gesellschaft, James WATT (1736 -1819) und Matthew BOULTON (1728 - 1809), verwendet. Die Dampfmaschinen, die in dieser Fabrik gebaut wurden, können im wahrsten Sinne des Wortes als treibende Kraft der Industriellen Revolution bezeichnet werden. In der "Lunar-Society" waren in einmaliger Weise führende Wissenschaftler, Literaten, Techniker und Fabrikanten versammelt. Zu den Wissenschaftlern und Literaten, die mit diesem Kreis verbunden waren, zählten Erasmus DARWIN, der politisch engagierte Großvater des großen Evolutionstheoretikers Charles DARWIN, Joseph BLACK, Wegbereiter der modernen Gastheorie, und Adam SMITH, der geistige Vater der liberalen Wirtschaftstheorie.

Während PRIESTLEY in engem Kontakt mit Männern stand, die wesentliche Elemente der Industriellen Revolution schufen, war der schwedische Chemiker Carl Wilhelm SCHEELE (1742 - 1786), der etwa zur gleichen Zeit wie PRIESTLEY ebenfalls den Sauerstoff entdeckte, in anderer, für die damalige Chemie typischer Weise mit der Praxis verbunden.

SCHEELE, der aus dem zur damaligen Zeit schwedischen Stralsund stammte, hatte als Apothekerlehrling seine ersten chemischen Experimente durchgeführt. Die für seine wissenschaftlichen Erfolge erforderlichen Kenntnisse erwarb SCHEELE durch das Studium einiger Chemiebücher teils recht ehrwürdigen Alters und durch die genaue Untersuchung der etwa 80 in der Apotheke vorhandenen Chemikalien. Diese geringe theoretische und materielle Basis von SCHEELES Arbeiten - ein gut eingerichtetes Schullabor verfügt heute über mehr Chemikalien - zeigt, wie gering die Kenntnisse in der Chemie im 18. Jahrhundert noch waren. SCHEELE führte auch später seine Experimente als Angestellter und ab 1775 als Eigentümer im Apothekenlabor durch. Er war zwar Mitglied der Schwedischen Akademie der Wissenschaften geworden und hatte auch von verschiedenen Universitäten, unter anderem (auf Veranlassung von FRIEDRICH II.) aus Berlin, Angebote erhalten, zog es aber vor, unabhängig zu forschen.

Neben seinen Arbeiten über die Luft, die Verbrennungsvorgänge und den Sauerstoff sind als praktisch wichtige Forschungen SCHEELES die Untersuchungen der Blausäure und die Entdeckung

des Chlors, das er allerdings ebenso wie den Sauerstoff noch nicht als chemisches Element erkannte, zu nennen.

SCHEELEs Werdegang zeigt deutlich, wie sehr die wissenschaftliche Chemie Ende des 18. Jahrhunderts auf dem traditionsreichen Erfahrungsschatz der Pharmazie aufbaute. Von gleicher Bedeutung wie die Pharmazie war die Metallurgie als Erfahrungsgrundlage für die Chemie. Zwischen beiden Gebieten bestand u.a. durch die pharmazeutische Verwendung von Quecksilber-, Arsen- und Bleiverbindungen ein sachlicher Zusammenhang.

Zur exakteren Durchdringung der chemischen Vorgänge bei metallurgischen Prozessen trug der französische Chemiker Joseph Louis PROUST (1754 - 1826) bei. PROUST hatte zunächst den väterlichen Beruf des Apothekers erlernt und dann Chemie studiert. Beeinflusst von den Ideen der französischen Aufklärung sah er es als Ziel an, dem kommenden bürgerlich-freiheitlichen Staat durch praktische und wissenschaftliche Fortschritte zu dienen. In diesem Sinne beschäftigte er sich bald mit der Metallurgie und unterbreitete Vorschläge zur Verbesserung des französischen Hüttenwesens. Diese Bemühungen wurden durch eine Berufung nach Spanien unterbrochen, wo PROUST zur Entwicklung der Industrie beitragen sollte. Er erforschte u.a. die Vorgänge bei der Quecksilbergewinnung aus Zinnober im spanischen Almadén. Bei seinen sehr exakten quantitativen Experimenten entdeckte PROUST das Gesetz der konstanten Proportionen. Dieses Gesetz besagt, dass das Massenverhältnis, in dem zwei oder mehr Elemente zu einer bestimmten Verbindung reagieren, immer gleich ist.

Ein anderes fundamentales Gesetz der modernen Chemie, das Gesetz von der Erhaltung der Masse, wurde von Antoine Laurent LAVOISIER (1743 - 1794) formuliert. Dieses Gesetz besagt, dass die Gesamtmasse aller Stoffe vor und nach einer Reaktion konstant ist.

LAVOISIER war Sohn eines Rechtsanwalts und war neben seinen wissenschaftlichen Interessen auch sehr um seine gesellschaftliche Stellung und seine materiellen Einkünfte bemüht. Seinen gehobenen Lebensstandard garantierte ihm bis zur französischen Revolution die Stellung als Generalsteuerepächter. Neben seiner recht aufwendigen Lebensführung investierte LAVOISIER große Teile seiner Einkünfte in seine Forschung. Ohne beträchtliche private Mittel (und die Mitarbeit seiner Frau!) wären LAVOISIERs Arbeiten ebenso wenig möglich gewesen wie die seines betuchten Zeitgenossen CAVENDISH. Es kann überhaupt festgestellt werden, dass gegen Ende des 18. Jahrhunderts erst sehr wenige bedeutende Naturwissenschaftler für ihre Forschungen von Hochschulen oder wissenschaftlichen Institutionen bezahlt wurden. Die meisten betrieben die Wissenschaft als zeit- und geldraubende Nebenbeschäftigung neben anderweitiger Berufstätigkeit, wie PROUST, PRIESTLEY oder SCHEELE, oder eben auf der Grundlage vorhandenen Reichtums. Die Einkünfte LAVOISIERs aus seiner Stellung als Generalsteuerepächter waren eine notwendige Voraussetzung für seine wissenschaftlichen Arbeiten, da seine exakten quantitativen Experimente sehr aufwendige und damit teure Apparaturen erforderten. Andererseits gehörte LAVOISIER durch diese Stellung zu einer der verhasstesten Schichten des absolutistischen Frankreich und musste dafür 1794 in der französischen Revolution unter der Guillotine sein Leben lassen.

## Vom Kopf auf die Füße: moderne Verbrennungslehre und Stöchiometrie

LAVOISIERs wissenschaftliche Leistungen standen in engem Zusammenhang mit den Arbeiten seiner bereits erwähnten Zeitgenossen. Die Zahl der Naturwissenschaftler (und der wissenschaftlichen Zeitschriften) war noch so klein, dass die Forscher gegenseitig über den Stand ihrer Arbeiten informiert waren und vielfach miteinander korrespondierten. LAVOISIERs Leistung bestand auch darin, dass er die Ergebnisse anderer Forscher wie die SCHEELEs, CAVENDISHs oder PRIESTLEYS, aufgriff, um eigene experimentelle Ergebnisse erweiterte und auf eine neue theoretische

Basis stellte. Er erkannte die wahre Rolle des Sauerstoffs bei Verbrennungsvorgängen und ersetzte die Phlogistontheorie durch die Erkenntnis, dass bei der Verbrennung Sauerstoff aufgenommen wird und Oxide gebildet werden, die bei der Reduktion den Sauerstoff wieder abgeben. Er prägte auch den modernen Elementbegriff:

*"...Verbinden wir mit dem Namen Element oder Grundstoff den Begriff dessen, was unsere Analyse als höchstes Ziel erreichen kann, so sind alle Substanzen, die wir auf keine Weise haben zerlegen können, für uns Elemente; eben weil wir keine Mittel haben, sie zu zerlegen, erscheinen sie uns als Elemente, als einfache Körper, und wir dürfen sie nicht eher für zusammengesetzt halten, als in dem Augenblick, wo Erfahrungen und Beobachtungen uns das Gegenteil beweisen."*<sup>84</sup>

Auf der Basis dieses Elementbegriffs machte LAVOISIER Vorschläge für eine rationelle Bezeichnung chemischer Verbindungen.

Die in LAVOISIERS Werken zusammengefassten Ergebnisse der Chemie des späten 18. Jahrhunderts waren sowohl für die weitere wissenschaftliche wie auch für die praktische Entwicklung von revolutionärer Bedeutung, weil sie

1. die Grundlage für vollständige Stoffbilanzen bei chemischen Reaktionen bildeten und
2. mit dem neuen Elementbegriff klare Vorstellungen über die stoffliche Zusammensetzung chemischer Verbindungen ermöglichten.

Diese neue Entwicklungsstufe der Chemie wurde vor allem durch die Arbeiten von Jeremias Benjamin RICHTER (1762 - 1807) und John DALTON (1766 - 1844) ausgebaut. RICHTER, der sich als Landvermesser und Berater auf einem Gut und als Angestellter im Farbenlaboratorium der königlichen Porzellanmanufaktur recht kümmerlich durchs Leben schlug, hatte mit einer Arbeit über den Nutzen der Mathematik in der Chemie promoviert. In seinem Werk "Stöchiometrie oder Meßkunst chemischer Elemente" schuf er die Grundlage für das chemische Rechnen.<sup>85</sup>

DALTON fasste die neuen Erkenntnisse der Chemie in einer umfassenden Theorie zusammen, indem er sie mit der alten philosophischen Vorstellung von kleinsten, unveränderlichen Bausteinen der Materie, den Atomen, verknüpfte.

DALTON, der aus armen Verhältnissen stammte und bereits mit 12 (!) Jahren seinen Unterhalt als Dorfschullehrer selbst verdienen musste, begann seine naturwissenschaftlichen Arbeiten mit der Untersuchung von Gasen. Da DALTON in Manchester, dem Zentrum der damaligen industriellen Entwicklung, wirkte, ist anzunehmen, dass ihn auch die praktischen Fragestellungen des Umganges mit Gasen in Bergbau, Metallurgie und Kokereien beschäftigten. DALTONs Überlegungen knüpften an Vorstellungen NEWTONs an, der die Eigenschaften von Gasen mit der Annahme kleinster materieller Partikel oder Atome zu erklären versuchte. Mit der Vorstellung, dass jedes Element aus unveränderbaren kleinsten Teilchen gleicher Masse und gleicher Art - den Atomen - besteht, konnten die Erkenntnisse LAVOISIERS, PROUSTs und anderer gut gedeutet werden:

Wird die Bildung einer Verbindung aus den Elementen als Verknüpfung der Atome dieser Elemente zu den kleinsten Teilchen der Verbindung gedeutet, ist das sowohl mit PROUSTs Gesetz von den konstanten Proportionen (Massenverhältnissen) als auch mit LAVOISIERS Gesetz von der Erhaltung der Masse gut in Übereinstimmung zu bringen. Die Bildung von Kohlendioxid aus Kohlen-

84 Lavoisier, A. L.: System der antiphlogistischen Chemie, Berlin 1792. zitiert. nach Heinig, K., a.a.O., S. 70.

85 Bugge, G. (Hrsg.): Das große Buch der Chemiker, Bd. I, Berlin 1929, Neudruck Weinheim 1979, S. 369 f.

stoff und Sauerstoff ist z.B. als Zusammenlagerung von je einem Kohlenstoffatom mit je zwei Sauerstoffatomen zu verstehen.

Da die Atome nach DALTON dabei nicht verändert werden, muss ihre Gesamtmasse vor und nach der Reaktion gleich bleiben. Das stimmt mit dem Gesetz von der Erhaltung der Masse überein. Die Tatsache, dass Kohlenstoff und Sauerstoff immer im Massenverhältnis 3 : 8 zu Kohlendioxid reagieren, lässt sich zwanglos mit der Annahme erklären, dass auch das Massenverhältnis von einem Kohlenstoffatom zu zwei Sauerstoffatomen 3 : 8 bzw. das Massenverhältnis eines Kohlenstoffatoms zu einem Sauerstoffatom 3 : 4 beträgt.

Die große Bedeutung von DALTONs Atomvorstellung lag in ihrer Erklärungsmächtigkeit, die es gestattete, die wichtigsten Erkenntnisse der Chemie des 18. Jahrhunderts in einer einheitlichen Theorie zusammenzufassen. Die Frage, ob die Materie wirklich aus Atomen aufgebaut ist bzw. wie die Atome beschaffen sind, konnte erst gut 100 Jahre später beantwortet werden.

DALTONs Symbolik wurde von dem Schweden Jöns Jakob von BERZELIUS (1779 - 1848) durch Einführung der Buchstabensymbole vereinfacht. Damit wurde die heute übliche Formelschreibweise begründet. BERZELIUS verbesserte die bei DALTON noch sehr ungenauen Angaben für die relativen Atommassen durch exakte analytische Bestimmungen.

## Vom praktischen Nutzen chemischer Formeln

Mit der Kenntnis der wichtigsten chemischen Elemente, den Zahlen für die relativen Atommassen, der Formelschreibweise, exakten analytischen Methoden und dem stöchiometrischen Rechnen hatte die Chemie Anfang des 19. Jahrhunderts das Handwerkszeug entwickelt, um Stoffumwandlungen qualitativ richtig beschreiben und quantitativ bilanzieren zu können. Mit diesem Handwerkszeug wurden nicht nur weitere Fortschritte der wissenschaftlichen Chemie erzielt, sondern auch wichtige Ergebnisse in der angewandten Chemie ermöglicht.

In Deutschland hatte Justus von LIEBIG (1803 - 1873) hervorragenden Anteil an der Einführung der modernen Chemie als neuer Wissenschaft und theoretischer Grundlage gewerblich-technischer Neuerungen. LIEBIG verbesserte und systematisierte die Methoden zur Analyse organischer Substanzen. Damit schuf er wesentliche Grundlagen für die Entwicklung der organischen Chemie. Neben seinen grundlegenden wissenschaftlichen Arbeiten und seinen Verdiensten bei der Entwicklung moderner Lehrmethoden haben LIEBIG seine praktischen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Agrarchemie und der physiologischen Chemie berühmt gemacht. Allgemein bekannt sind seine Arbeiten über die Pflanzenernährung und mineralische Düngung.

LIEBIG betonte die Bedeutung der modernen Chemie für die rationelle Durchführung gewerblicher Stoffumwandlungen. Seine Beiträge zum Aufbau des Chemiestudiums an den Hochschulen dienten auch der Ausbildung für die betriebliche Praxis, beispielsweise in der zu seiner Zeit expandierenden Sodaindustrie. In diesem Zusammenhang ist der folgende Abschnitt aus dem Bericht LIEBIGs über eine Englandreise aufschlussreich:

*"Ich fand die Einrichtung der Fabriken in Beziehung auf Apparate und Arbeitersparung jedesmal besonders würdig, aber die wissenschaftliche Grundlage des Betriebes bewies in der Regel eine kaum glaubliche Unwissenheit. So zeigte mir u.a. Herr Macintosh (bekannt durch seine Einführung wasserdichter Kleidungsstücke) seine Blutlaugensalz- und Berliner-Blau-Fabrik bei Glasgow, und ich war beim Eintritt überrascht und betäubt von einem furchtbaren Lärm, der durch die Reibung von eisernen Rührern zum Umrühren der in den eisernen Töpfen schmelzenden Masse von tierischen Substanzen und Pottasche verursacht wurde; bei näherer Erkundigung sagte mir Herr Ma-*

*cintosh mit einem piffigen Gesichte: 'Da haben Sie etwas, Professor, was keine Theorie erklärt. Wenn meine Töpfe recht schreien, bekomme ich das meiste Blutlaugensalz!' Er rieb mit dem Aufwande von einigen Pferdekräften das zur Bildung notwendige Eisen von seinen Töpfen ab! Mit einer Handvoll Eisenfeilspänen konnte er seinen Zweck viel besser erreichen.'*<sup>86</sup>

Da LIEBIG die Zusammensetzung bzw. die Formel von Blutlaugensalz - Kalium-hexacyanoferrat (II),  $K_4[Fe(CN)_6]$  - kannte, wusste er, dass zur Bildung dieser Substanz Eisen (Symbol Fe) erforderlich war. Er konnte aus der Formel auch errechnen, wie viel Eisen zur Bildung einer bestimmten Menge Blutlaugensalz erforderlich war. Das Blutlaugensalz wurde zur Herstellung des Farbstoffs Berliner Blau benötigt.

Zu den wichtigsten Arbeitsweisen der Chemie, die damals entwickelt wurden, gehört die experimentelle Bestimmung und Berechnung der "Ausbeute" chemischer Reaktionen. Darunter versteht man das Verhältnis der bei einer Reaktion tatsächlich erhaltenen Stoffmenge zu der theoretisch maximal möglichen. Der Begriff "Ausbeute" verrät einen charakteristischen Wesenszug der modernen Chemie, die sich gegen Ende des 18. Jahrhunderts, also etwa gleichzeitig mit den Anfängen der industriellen Technik, entwickelt hat. Mit den neuen ökonomischen Betrachtungsweisen und den neuen qualitativen und quantitativen Dimensionen des Stoffwechsels zwischen Mensch und Natur setzte sich eine bilanzierende Betrachtungsweise von Naturvorgängen durch. Diese Betrachtungsweise begründete einerseits die theoretische Grundlage für eine effektive Ausbeutung der Natur, sie lieferte andererseits auch die methodische Grundlage für eine kritische Bestimmung der Folgen und Grenzen der Naturnutzung im Sinne „ökologischer“ Stoffbilanzen.

## 5 Synthetische Soda - Ursprung der chemischen Grundstoffindustrie

Die expandierende Textilindustrie benötigte für Verarbeitung immer größerer Baumwollmengen wachsende Mengen verschiedener Chemikalien. Die traditionell für das Waschen, Bleichen oder Färben verwendeten Substanzen konnten auf herkömmliche Weise nicht in der erforderlichen Menge beschafft werden:

*"Das Bedürfnis zur Herstellung chemischer Präparate in großen Mengen entstand zuerst, als die Verarbeitung der Spinnstoffe aus häuslicher Nebenbeschäftigung zur Industrie entwickelt wurde. Da bedurfte man zur Wollwäsche der Seifen, zum Bleichen der Baumwolle der Hypochlorite und der Schwefelsäure. Soda für die Seifenbereitung, Chlor für Chlorkalk und Chlornatron und die sogenannte englische Schwefelsäure, das sind die Grundpfeiler der chemischen Industrie geworden."<sup>87</sup>*

Grundstoffe, bei denen sich die Grenzen der Erzeugung aus natürlichen Vorkommen bereits zu Beginn der Industrialisierung besonders deutlich bemerkbar machten, waren die Alkalien, insbesondere Soda und Pottasche. Diese beiden Stoffe, das Natrium- bzw. Kaliumsalz der Kohlensäure, waren für viele Verwendungszwecke alternativ einsetzbar. Sie wurden traditionell vor allem durch Auslaugen bestimmter Pflanzen- bzw. Holzaschen gewonnen.

Bei der Textilherstellung wurden Alkalien für das Waschen, beim Bleichen und beim Färben benötigt. Das Ausmaß, in dem sich die Textilindustrie und damit auch ihr Alkalibedarf im 18. Jahrhundert entwickelten, wird aus dem Anstieg der zur Verarbeitung nach England eingeführten Baumwollmenge deutlich:

**Tab. 5.1: Baumwollimporte Englands<sup>88</sup>**

Jahr	Importe in Pfund	Technische Neuerungen
1730	1 545 472	
1750	2 976 610	
1770	4 764 589	1767 Spinning Jenny
1780	6 766 613	1779 Mule-Spinnmaschine
1790	31 447 605	1785 Cartwrights mechanischer Webstuhl

Die Seifensiedereien, ebenfalls traditionelle Großverbraucher von Alkalien, hatten auch durch das schnelle Bevölkerungswachstum und wegen der sich wandelnden hygienischen Gewohnheiten hohe Steigerungsraten ihrer Produktion zu verzeichnen:

87 Rassow, B.: Justus Liebig als Förderer der chemischen Industrie, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, 13/1923, S. 10 ff.

88 Bohnsack, A.: Spinnen und Weben. Entwicklung von Technik und Arbeit im Textilgewerbe, Reinbek 1981, S. 216.

**Tab. 5.2: Seifenverbrauch in England<sup>89</sup>**

Jahr	Seifenverbrauch in Tonnen
1801	23 600
1811	32 800
1821	41 500
1831	46 000
1841	76 000
1851	85 900

Soda ist weiterhin einer der wichtigsten Grundstoffe für die Glaserzeugung. Die Nachfrage nach Glas war mit der Herausbildung der industriellen Zentren und der entsprechenden Zunahme der Bautätigkeit ebenfalls stark angestiegen.

Die französische Akademie der Wissenschaften setzte 1775 einen Preis in Höhe von 12.000 Livres für die beste Methode, aus Kochsalz Soda zu bereiten, aus. Die Suche nach einem solchen Verfahren fiel in die Zeit, in der die Chemie zur modernen Naturwissenschaft und damit zu einer verlässlichen Stütze der chemischen Technik wurde. Die Erfüllung der von der französischen Akademie gestellten Aufgabe erwies sich jedoch in der Praxis weniger als wissenschaftliches, sondern vielmehr als sehr anspruchsvolles technisches Problem. Vierzehn Jahre nach Verkündung des Wettbewerbes und nach vielen vergeblichen Anstrengungen war 1789 Nicolas LEBLANC (1742-1806) so weit, dass er die technische Erprobung einer Synthese von Soda aus Kochsalz mithilfe von Schwefelsäure, Kalk und Kohle wagen konnte. Mit finanzieller Unterstützung des Herzogs von ORLEANS wurde in St. Denis nahe Paris die erste Sodafabrik der Welt gebaut, die 1792 mit einer Tagesproduktion von 250 bis 300 kg Soda den Betrieb aufnahm.

## Sodaherstellung nach LEBLANC: Schwerchemie des 19. Jahrhunderts

Die Entwicklung des LEBLANC-Verfahrens begründete einen neuen Industriezweig, die anorganische Grundstoffindustrie. Justus von LIEBIG begann 1859 die Beschreibung der Sodaindustrie im elften seiner berühmten "Chemischen Briefe" so:

*"Die Fabrikation der Soda aus gewöhnlichem Kochsalz kann als Grundlage des außerordentlichen Aufschwunges betrachtet werden, welchen die moderne Industrie nach allen Richtungen genommen hat; sie wird Ihnen, hoffe ich, ein belehrendes Beispiel des innigen Zusammenhanges gewähren, welcher die verschiedensten Zweige der Industrie und des Handels untereinander und wiederum mit der Chemie verbindet."*<sup>90</sup>

<sup>89</sup> Haber, L. F.: The Chemical Industry during the XIX Century, Oxford 1958, S. 12.

<sup>90</sup> Liebig, J. v.: Chemische Briefe, Leipzig/Heidelberg 1859.

Den innigen Zusammenhang zwischen der Entwicklung von Baumwollindustrie und Sodaindustrie zeigen die Produktionszahlen für Baumwolle und für die zu ihrer Verarbeitung benötigten Chemikalien:<sup>91</sup>

**Tab. 5.3: Baumwollverarbeitung und Chemikalienbedarf**

Jahr	Baumwollproduktion in Nordamerika (in t)	Dadurch hervorgerufene Produktion an (jeweils in t)		
		Schwefelsäure	Soda	Chlorkalk
1800	15 820	1 440	744	74
1810	38 420	3 496	1790	179
1820	72 320	6 581	3370	337
1830	158 200	14 400	7380	738
....	....	....	....	....
1896	1 441 880	131 200	67 320	6 732

Die Sodaerzeugung nach dem LEBLANC-Verfahren und die "Nebenzweige der Sodaindustrie" bildeten im 19. Jahrhundert den Hauptbereich der anorganisch-chemischen Industrie. Zu den Nebenzweigen der Sodaindustrie gehörten die Herstellung von Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure, Chlor, Natronlauge und Schwefel. Die LEBLANC-Sodaindustrie war der Industriezweig, in dem im 19. Jahrhundert die wichtigsten Entwicklungen der chemischen Verfahrenstechnik stattfanden. Einige der damals entwickelten verfahrenstechnischen und apparativen Prinzipien gehören heute zu den Grundlagen der chemischen Technik.

Bevor auf einige ausgewählte Verfahrensschritte genauer eingegangen wird, soll das gesamte Verfahren im Zusammenhang beschrieben werden:

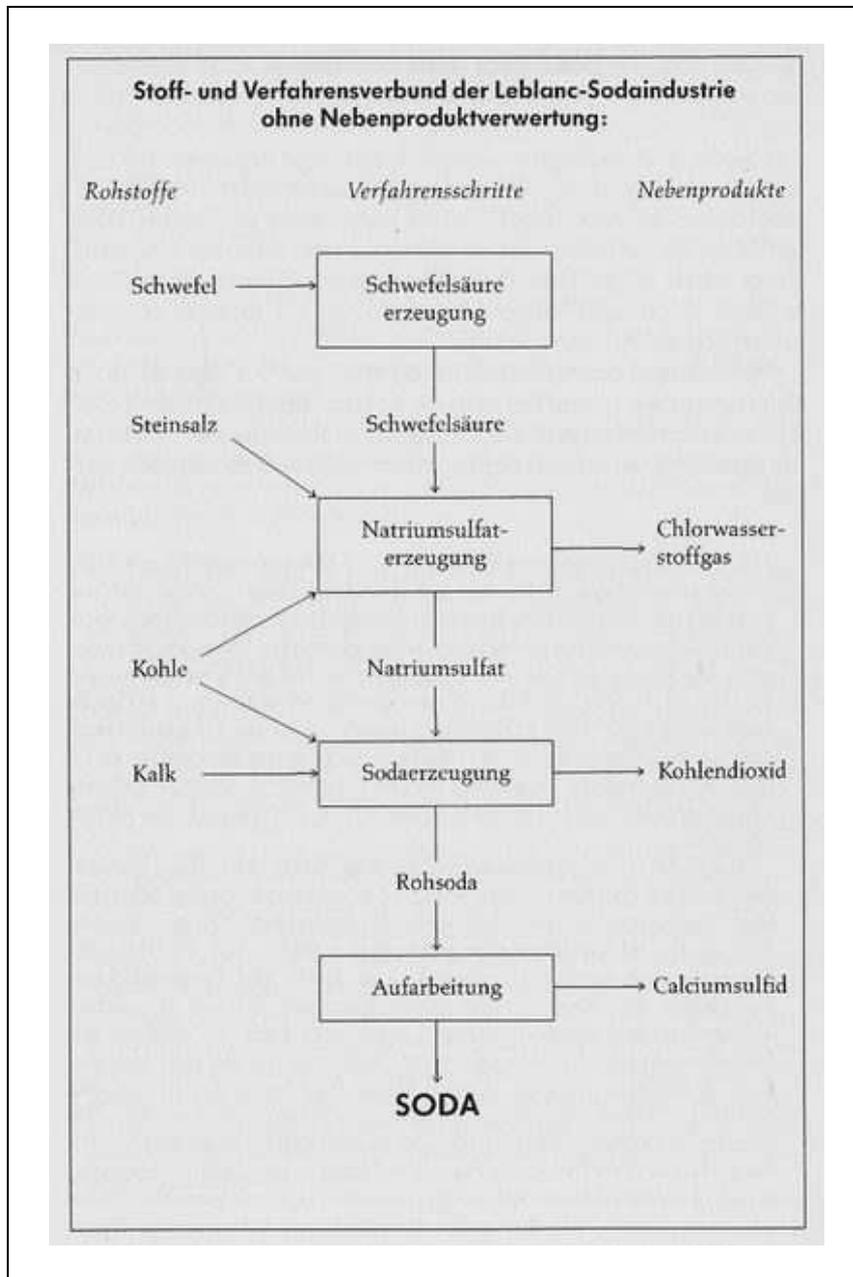
## Verfahrensablauf

Das LEBLANC-Verfahren zur Umwandlung des Ausgangsstoffs Steinsalz (Natriumchlorid) in das Produkt Soda (Natriumkarbonat) umfasst mehreren Stufen:

1. Steinsalz wird im Sulfatofen mit Schwefelsäure zu Natriumsulfat und Salzsäuregas (Chlorwasserstoff) umgesetzt.
2. Natriumsulfat wird im Sodaofen mit Kohle und Kalk zu Rohsoda, einer Mischung aus Soda und Calciumsulfid, und Kohlendioxid umgesetzt.
3. Die Rohsoda wird in Lösebecken gelöst. Dabei löst sich die Soda und das Calciumsulfid bleibt ungelöst.
4. Die Sodalösung wird durch Filtration von den unlöslichen Rückständen getrennt.

91 Vgl. Binz, A.: Über den Ursprung der chemischen Großindustrie, in: Zeitschrift für angewandte Chemie, 25/1912, S. 2337 ff.

5. Die Sodalösung wird bis zur Kristallisation der Soda eingedampft.
6. Die Kristallsoda wird durch Filtration von der Mutterlauge getrennt und durch Erhitzen (Kalzinieren) in einem Ofen wasserfrei gemacht.

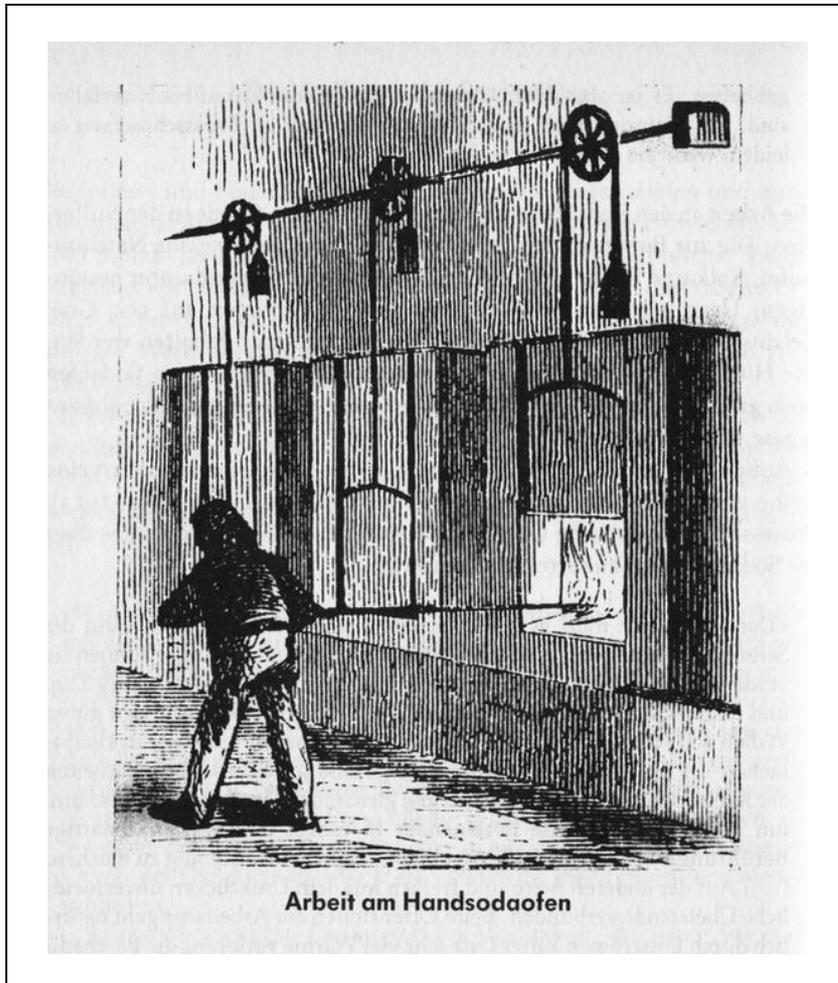


**Abb. 5.1: Verfahrensschema des Leblanc-Sodaverfahrens**

Quelle: eigene Darstellung

Mit der kalzinierten Soda war das Hauptprodukt des Verfahrens gewonnen. Die stark sodahaltigen Mutterlauge oder Rohsodalösungen wurden durch Reaktion mit Kalkmilch zu Natronlauge weiterverarbeitet. Als Nebenprodukte fielen Salzsäuregas, Calciumsulfid und Kohlendioxid an. Außerdem entstanden durch Verunreinigungen in den Rohstoffen und die Verbrennung der Kohle zur Deckung des beträchtlichen Energiebedarfs verschiedene Abfälle und Abgase.

Der große Bedarf an Schwefelsäure für den ersten Reaktionsschritt machte es erforderlich, beim Bau einer Sodafabrik nach dem LEBLANC-Verfahren auch eine Schwefelsäurefabrik zu errichten. Die Nebenprodukte der Sodaerzeugung wurden zu Beginn als lästiger Abfall angesehen. Im Verlauf der weiteren Entwicklung erzwangen ökonomische und ökologische Gründe deren Weiterverarbeitung.



**Abb. 5.2: Arbeit am Handsodaofen**

Quelle: Reuleux, F.: Das Buch der Erfindungen, Gewerbe und Industrien, Band IV, Leipzig/Berlin 1884 bis 1888, S. 397.

## Die Sulfat- und Sodaöfen: Hölle auf Erden

Die Sulfat- und Sodaöfen wurden nach ähnlichen Prinzipien und auch etwa gleichzeitig mit den Öfen in der Eisenmetallurgie entwickelt. Sowohl Sulfat- als auch Sodaöfen waren ursprünglich in ähnlicher Weise aufgebaut, wie die Puddelöfen zur Stahlerzeugung. Auch die Arbeitsvorgänge waren vergleichbar. Das Reaktionsgemisch musste solange mit eisernen Werkzeugen umgerührt werden, bis die Reaktion zu Abschluss gekommen war.

Die Belastung der Arbeiter durch die Hitze und vor allem durch das Salzsäuregas war enorm.

Der folgende Augenzeugenbericht über die Arbeit an Sulfatöfen stammt aus der englischen Industriestadt St. Helens, wo derartige Öfen noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts betrieben wurden:

*"Hier sind die Sklaven von St. Helens ... Männer, nackt bis zur Taille mit bis zu den Augen in Lumpen gehüllten Gesichtern, bewegen sich wie rastlose Dämonen im Flammenschein hin und her. Sie führen lange, sperrige Rechen, schwitzen und arbeiten an der glühenden Masse im Schmelzofen. Die Werkzeuge sind so schwer, daß man sie kaum heben kann und die Glut ist so gewaltig, daß man auch abseits stehend nicht in das grelle Licht sehen kann, ohne geblendet zu werden. Aber der Ofenmann muß dicht an die Öffnung treten und ständig in die glühende Masse starren. Zu hohe oder zu niedrige Temperatur oder zu kurze oder zu lange Zeit, die die Charge der Ofenhitze ausgesetzt ist, können die ganze eingesetzte Menge verderben.*

*Salz ist der wichtigste Einsatzstoff der Alkalifabrik. Wir sehen, wie es in die "Salzkuchen-Öfen" gefüllt wird und daraus mit Hilfe von Schwefelsäure das Salzsäuregas, aus dem später das schreckliche Chlorgas gewonnen wird, und Natriumsulfat gewonnen werden. Die "Salzkuchen-Männer" sind sorgfältig aufgrund ihrer Kraft und Geschicklichkeit ausgewählt. Ihre Arbeit ist von solcher Intensität, daß nur die stärkste Willenskraft und Ausdauer dagegen ankommen kann. Sie arbeiten mit Flanelllumpen zwischen den Zähnen im Nahkampf mit den Flammen und dem Salzsäuregas. Das Gas erzeugt offene Wunden in den Armen und zerfrißt die Zähne. Die meisten "Salzkuchen-Männer" haben Zähne, die schwarz wie Kohlen sind. Ihre Münder werden extrem empfindlich. "Ich bin erst sechs Jahre hier", sagt einer, "und hatte so gute Zähne wie andere, als ich in die Fabrik kam. Sieh sie Dir jetzt an!" Da ist nur noch ein dünner schwarzer Kamm, von dem jedes Atom Schmelz verloren ging, übrig geblieben. Es ist abzusehen, wann sie bis auf das Zahnfleisch zerfallen sind. Sie beginnen auch mit tödlicher Sicherheit an Brustschmerzen zu leiden, wenn sie einige Zeit in der Fabrik sind."<sup>92</sup>*

Die Arbeit an den Sodaöfen war ähnlich hart wie die Arbeit an den Sulfatöfen. Die zur Bereitung der Soda erforderliche Mischung aus Natriumsulfat, Kalk und Kohle musste in den Ofen geschaufelt und unter beständigem Umrühren mit schweren eisernen Werkzeugen auf 900 °C erhitzt und einige Zeit auf dieser Temperatur gehalten werden. Die Hitze und die erforderliche Kraftanstrengung waren an den Sodaöfen noch größer als an den Sulfatöfen. Die Beeinträchtigung durch Salzsäuregas war indes geringer.

Außer den harten Arbeitsbedingungen wiesen die Handsodaöfen eine Reihe weiterer Unvollkommenheiten auf. Georg LUNGE (1839-1923), Professor für technische Chemie und Autor eines Standardwerkes über die Sodaindustrie, äußerte sich dazu so:

*"Der Schmelzer muß es gewissermaßen im Gefühle haben, wann die Schmelze fertig ist; zwei oder drei Minuten mehr oder weniger können sie verderben, ebenso zu viel oder zu wenig Feuer, zu viel oder zu wenig Zug, und man ist daher auf die Erfahrung, die Geschicklichkeit und den guten Willen der Schmelzer sehr angewiesen. ... Eine der wichtigsten Hauptsachen bei der Sodaarbeit ist das fleißige und gründliche Durcharbeiten der Masse; erstens, um ihre Erhitzung gleichmäßig zu bewirken; alsdann, um die Teile der Masse miteinander in innige und verschiedenartige Berührung zu bringen und die Reaktion möglichst vollständig zumachen. ... Auf der anderen Seite sind freilich mit dem Umkrücken unvermeidliche Übelstände verbunden. Beim Offenstehen der Arbeitstür geht natürlich durch Einströmen kalter Luft sehr viel Wärme verloren; die Beschädigung der Ofensohlen durch die schweren Gezähe ist sehr stark; vor allem aber ist die Arbeit eine ungemein mühsame*

*und nur von sehr starken Männern, dabei auch nur mit sehr beschränkten Beschickungsmengen, gehörig zu verrichten. Dies macht den Fabrikanten von den Arbeitern sehr abhängig, da sie bei Arbeitseinstellungen (gemeint sind Streiks, d.V.) nicht leicht durch frisch angelernte Leute zu ersetzen sind; freilich ist die Arbeit eine rein mechanische, und bei gehöriger Körperkraft, wie schon gesagt, in sehr kurzer Zeit zu erlernen, aber gerade dieses legt den Gedanken sehr nahe, die teure Menschenkraft überhaupt durch die billigere und zuverlässigere Maschinenkraft zu ersetzen, wie es in den rotierenden Sodaöfen geschehen ist, ...*<sup>93</sup>

Um 1850 hatte der Maschinenbau den Entwicklungsstand erreicht, der zur Realisierung mechanischer Sulfat- und Sodaöfen erforderlich war. Die Mechanisierung der Sodaindustrie fand in der gleichen Zeit und auf der gleichen technischen Entwicklungsstufe statt, wie die der Stahlerzeugung mit Einführung des BESSEMER-Verfahrens. Das wichtigste Beispiel ist der rotierende Sodaofen, bei dem das Reaktionsgemisch durch ständige Drehung durchmischt wird, während es durch Flammengase, die durch den Ofen geleitet werden, gleichzeitig erhitzt wird.

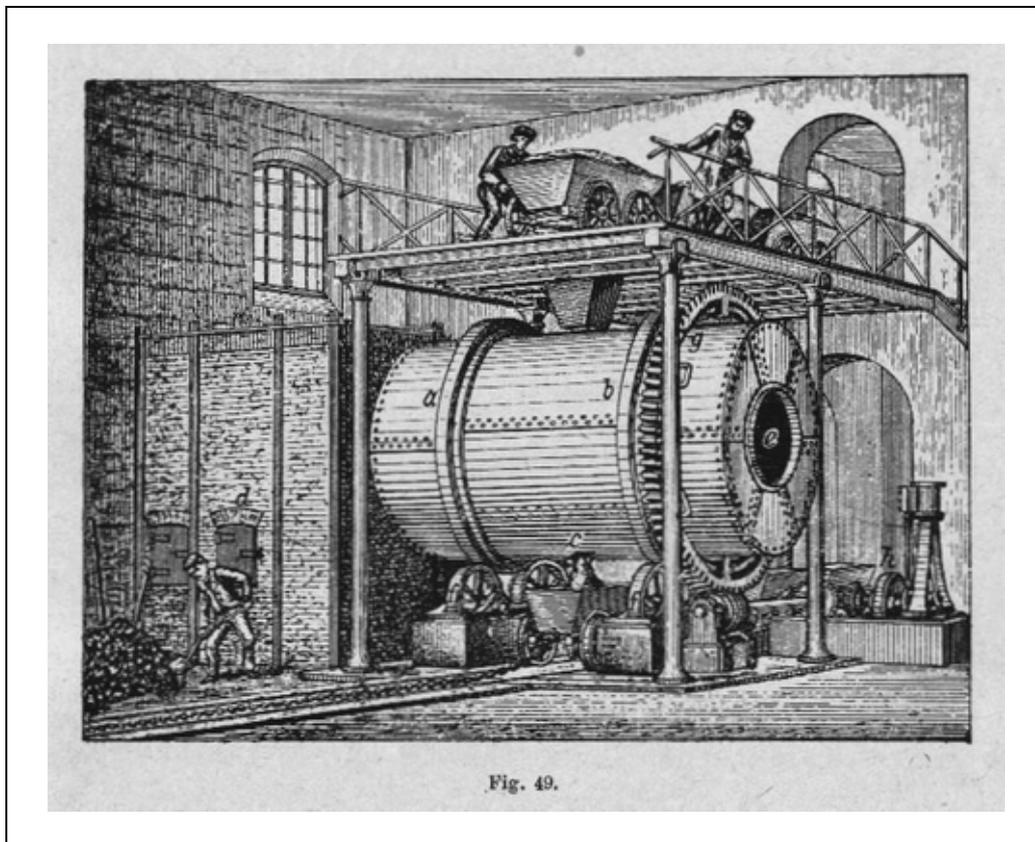


Fig. 49.

**Abb. 5.3: Rotierender Sodaofen**

Quelle: Ost, H.: Chemische Technologie, 10. Aufl., Leipzig 1919, S. 93.

Die Vorteile der rotierenden Sodaöfen beschreibt Lunge wie folgt:

1. „Die ununterbrochene Bewegung des Ofens bewirkt eine ganz gleichförmige Erhitzung seines Inhalts, so daß kein Teil der Beschickung überhitzt, und der Verlust an Soda durch Verdampfung sehr vermindert wird.
2. Das Durcharbeiten der Beschickungsmaterialien geschieht, ohne daß der Ofen zur Einführung von Gezähen geöffnet wird, folglich ohne daß während des Durcharbeitens Luft durch den Ofen gesaugt wird, so daß in ihm immer eine sauerstofffreie Atmosphäre herrscht.
3. Da der Ofen in derselben Zeit viel mehr Arbeit als ein mit Handarbeit betriebener verrichtet, so genügt eine kleinere Anzahl geschickter Arbeiter; die Gefahr schlechter Arbeit wird vermindert, und eine vollständigere Zersetzung des Sulfats durch die vollkommenere Mischung bewirkt.
4. Der Verlust von Soda durch Absorption in der Ofensohle fällt weg, und da bei dem Durchmischen keine Gezähe benutzt werden, so wird die Oberfläche der Ziegelfütterung viel weniger durch die Arbeit angegriffen, als die Sohlen gewöhnlicher Handflammöfen.“<sup>94</sup>

Die rotierenden Sodaöfen setzten sich trotz der genannten Vorteile nach ihrer Einführung in England in Mitteleuropa zunächst nur zögernd durch. Ursache dafür waren in erster Linie die hohen Investitionskosten, die sich bei dem geringen Lohnniveau nur langsam amortisierten.

## Das lästige Salzsäuregas: Ursprung der Chlorchemie

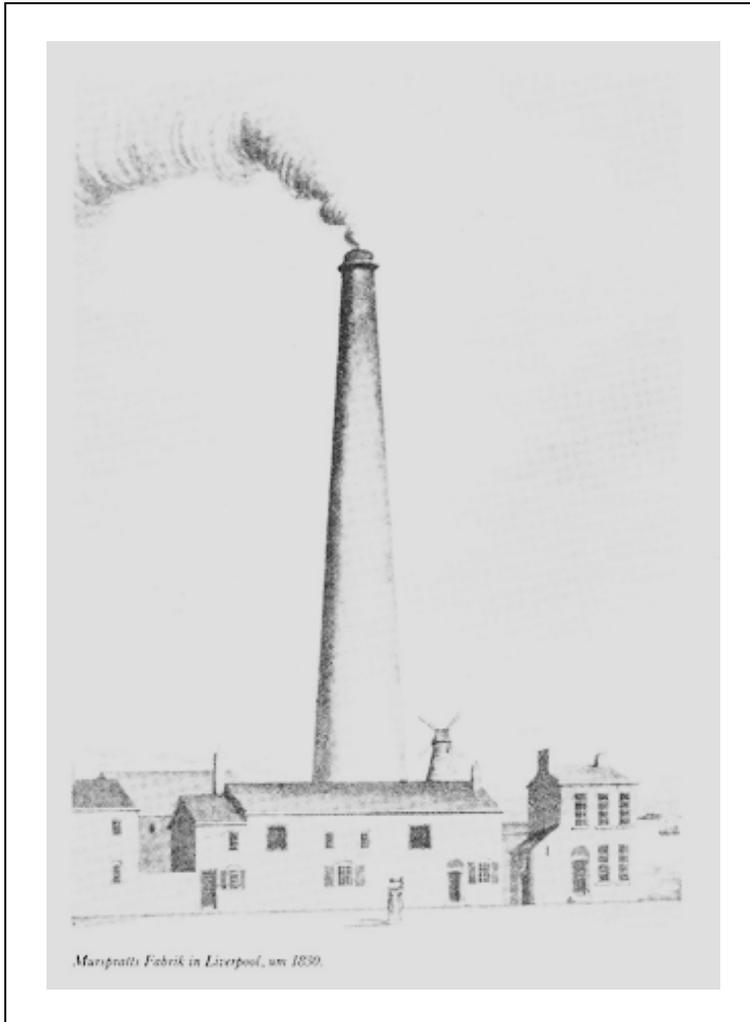
Das in den Sulfatöfen entstehende Salzsäuregas zog in den alten Sulfatöfen mit den Rauchgasen durch den Schornstein ab. Den dadurch verursachten Problemen versuchte man zunächst in der anderweitig bewährten Weise durch hohe Schornsteine zu begegnen. Diesen Versuchen war jedoch kein Erfolg beschieden:

*"In der Kindheit der Sulfatfabrikation wurde häufig gar kein Versuch gemacht, die Salzsäure zu kondensieren, und so lange als die Fabriken sehr klein waren, ertrugen die Nachbarn die Unannehmlichkeit; aber als dieses schädliche Gas z.B. aus MUSPRATTs Kaminen in Liverpool in Strömen entwich, zwang ihn die Stadtbehörde von Liverpool, seine Fabrik einzustellen, die er dann in Newton Heath, einige Meilen entfernt, wieder aufbaute, um auch von da durch Prozesse wieder vertrieben zu werden. Man suchte eine Abhilfe zunächst in der Errichtung von enorm hohen Schornsteinen (bis beinahe 150 m Höhe), um das Salzsäuregas durch Verdünnung mit anderen Rauchgasen und Luft unschädlich zu machen, aber es fand sich, daß dies nicht geschah, daß vielmehr das Gas in kompakten Wolken sich auf den Boden senkte und nur auf um so weitere Entfernungen den Pflanzenwuchs verwüstete."*<sup>95</sup>

Die Eigenheit des Salzsäuregases, sich unter Aufnahme von Luftfeuchtigkeit in kompakten Wolken auch aus den höchsten Höhen schnellstens auf den Boden zu senken, machte die Anwendung der sonst so beliebten Hochschornsteinpolitik unmöglich.

<sup>94</sup> Lunge, G., a.a.O., S. 481 f.

<sup>95</sup> Ebd., S. 250.



**Abb. 5.4: Schornstein der Musprattschen Sodafabrik ca. 1830**

Quelle: Spelsberg, G.: Rauchplage, Köln 1988, S. 23.

Die Belästigung der Umgebung der Sodafabriken durch Salzsäuregas war so stark, dass sich das englische Parlament zu gesetzlichen Maßnahmen veranlasst sah. In der "Alkaliakte" von 1863 wurde verfügt, dass höchstens 5 Prozent der anfallenden Salzsäure in die Umgebung abgegeben werden durften.<sup>96</sup> Damit wurde bereits in der Frühzeit der chemischen Industrie ein Gesetz erlassen, dass die Verminderung der Emission eines umweltbelastenden Stoffes um 95 Prozent verlangte. Und auch dieser Wert musste bald verschärft werden.

Die Beseitigung von Salzsäuregas aus einem Gasgemisch stellt an sich kein besonders schwieriges Problem dar, da das Salzsäuregas in Wasser leicht absorbierbar ist. Die bei einer einfachen Wäsche der Abgase anfallende stark verdünnte Salzsäure war jedoch unverkäuflich und wurde zunächst mit dem sonstigen Abwasser in den nächsten Fluss geleitet. Das Wasser in den Flüssen und Kanälen, an denen Sodafabriken lagen, wurde darauf stellenweise so sauer, dass Schleusen-

<sup>96</sup> Schramm, E.: Sodaindustrie und Umwelt im 19. Jahrhundert, in: Technikgeschichte, 51/1984, Nr. 3, S. 190 ff.

einrichtungen etc. nur aus Holz errichtet werden konnten, weil Eisen von der Säure zu schnell zerfressen wurde. Diese Situation war auf Dauer untragbar. Außerdem bestand ein ökonomisches Interesse, die Salzsäure als kommerziell verwertbares Produkt zu erhalten.

Die Aufgabe, gleichzeitig eine möglichst konzentrierte Salzsäure und ein möglichst salzsäurefreies Abgas zu erhalten, wurde durch Anwendung des Gegenstromprinzips gelöst. Wasser und salzsäurehaltige Gase werden dabei über möglichst viele Stufen und eine große Austauschfläche im Gegenstrom einander entgegen geführt. Dabei kommt das stark salzsäurehaltige Gas zunächst mit einer bereits stark gesättigten Salzsäure in Berührung und erhöht deren Konzentration noch weiter. Das zu reinigende Gas gibt über die weiteren Stufen seinen Salzsäuregehalt an immer weniger konzentrierte Salzsäure ab, bis es zuletzt in Kontakt mit frisch zulaufendem Wasser nahezu vollständig gereinigt wird.

Das Ende des 19. Jahrhunderts gebräuchliche Absorptionssystem für Salzsäure, die "Aussiger Kondensation", arbeitete mit Rieseltürmen, in denen das Wasser über sehr oberflächenreiche Füllkörper dem aufsteigenden Gasstrom entgegen floss. Die Füllung der Rieseltürme zur Salzsäureabsorption bestand aus Tonschalen, Tonscherben oder Koks. Zur weiteren Aufkonzentration wurde die aus den Rieseltürmen fließende Salzsäure noch durch ein System von bis über 50 Tonflaschen geleitet, in denen sie im Gegenstrom mit konzentrierten Salzsäuregasen in Kontakt gebracht wurde.

Auch mit der Entwicklung effektiver Absorptionsanlagen wie der "Aussiger Kondensation" war das Salzsäureproblem immer noch nicht zufrieden stellend gelöst. Die Sodaproduktion nahm so stark zu, dass die mit anfallende Menge des Kuppelproduktes Salzsäure weit über die Nachfrage anstieg. Die Sodafabrikanten mussten sich neue Verwendungsmöglichkeiten für die Salzsäure einfallen lassen. Dabei erwies sich die Umwandlung in Chlorgas und dessen Bindung an Löschkalk als erfolgreich. Das dabei anfallende Produkt, der Chlorkalk, wurde als "Bleichpulver" zu einem gängigen Handelsartikel. Textilhersteller und Papierfabrikanten erkannten bald die Vorteile dieses aggressiven Bleichmittels, mit dem Bleichvorgänge erheblich schneller und radikaler zu bewerkstelligen waren, als mit herkömmlichen Mitteln.

Auch hygienischen Problemen konnte man mit dem Chlorkalk radikal zu Leibe rücken, sogar in wörtlichem Sinn: Am 1. August 1823 bewies der französische Apotheker LABARRAQUE in einem denkwürdigen Experiment an einer exhumierten Leiche, dass mit Chlorkalk Fäulnisprozesse selbst in einem weit fortgeschrittenen Stadium unterbunden werden können. Der unerträgliche Gestank der Leiche verschwand nach Besprengen mit einer Chlorkalklösung "auf der Stelle". 1830 fand LABARRAQUEs Entdeckung Anwendung, als sich die notdürftig verscharrten Leichen der Opfer der Juli-Revolution in Paris geruchlich zu sehr bemerkbar machten. Seitdem fand der Chlorkalk nicht nur zur Desodorierung und Desinfektion von Schlachtfeldern und Friedhöfen breite Verwendung, sondern auch bei der Seuchenbekämpfung und der Reinigung von Marktplätzen, Abflussrinnen und Kanälen. In Sektionssälen, Hospitälern, Latrinen und Abdeckereien bekämpfte man mit dem neuen Mittel Geruchsbelästigungen und Ansteckungsgefahren.<sup>97</sup>

Die durchschlagende Wirkung des Chlors bzw. des Chlorkalkes beschränkte sich nicht nur auf die zu bleichenden Stoffe und die Erreger von Fäulnis, Krankheit und schlechten Gerüchen. Auch die Arbeiter in den Sodafabriken, die mit der Herstellung des "Bleichpulvers" beschäftigt waren, waren dieser Wirkung ausgesetzt.

---

97 Vgl. Corbin, A.: Pesthauch und Blütenduft. Eine Geschichte des Geruchs, Berlin 1984, S. 163 ff.

Zur Herstellung des Chlorkalks wurde in geräumigen Kammern eine Schicht Löschkalk auf dem Boden ausgebreitet. Dann wurden die Kammern mit Chlorgas gefüllt. Nach Sättigung des Kalks mit Chlor wurden die Kammern gelüftet und der fertige Chlorkalk musste in Säcke oder Fässer geschaufelt werden. Bei dieser Tätigkeit waren die Arbeiter den unvermeidlichen Chlorgasresten und feinem Chlorkalkstaub ausgesetzt. Die "Schutzkleidung" aus mehreren Schichten dicht gewebtem Sackleinen und Baumwollstoff, Gamaschen, Schutzbrille und einem feuchtem Flanell-Lappen als Atemfilter verlieh den Arbeitern das Aussehen von Polarforschern oder Astronauten, konnte aber keinen wirksamen Schutz bieten. Heftiges Nasenbluten und Hautschäden waren nur erste sichtbare Symptome der Vergiftungen. Die Sterblichkeit unter diesen Arbeitern war erschreckend.<sup>98</sup>

Lunge bezeichnete das Öffnen der Kammern zu den in der Frühzeit der Chlorkalkfabrikation schlimmsten Arbeiten einer Sodafabrik, *"bei der nicht nur in dieser selbst, sondern manchmal in einer Entfernung von mehreren Kilometern eine unerträgliche Belästigung durch das ausströmende Chlorgas erzeugt wurde."*<sup>99</sup>

Die Herstellung von Bleichpulver zur Verwertung des lästigen Nebenprodukts Salzsäure in der Sodaindustrie war der Anfang der Chlorchemie, die Ende des 19. Jahrhunderts mit der Chlor-Alkali-Elektrolyse weiterentwickelt wurde und im 20. Jahrhundert durch die Verbindung mit der organischen Chemie zu einem ebenso weit verzweigten wie problematischen Zweig der chemischen Industrie expandierte.

## Der Sodarückstand: Quelle großer "Unannehmlichkeiten" und Anstoß zur Entwicklung der Entschwefelungstechnik

Das in den Sodaöfen gewonnene Rohprodukt enthielt nur etwa vierzig Prozent Soda. Die Soda wurde durch Herauslösen mit Wasser von den wasserunlöslichen Bestandteilen der Rohsoda getrennt. Bei der Herstellung von einer Tonne Soda blieben ein bis anderthalb Tonnen unlöslicher Rückstand übrig. Dieser Rückstand war eine stinkende graue Masse, die knapp zur Hälfte aus Calciumsulfid bestand und ansonsten aus Asche, Kalk- und Kohleresten, Sand und diversen weiteren Verunreinigungen zusammengesetzt war. Der problematischste Bestandteil dieser unerfreulichen Mixtur war das Calciumsulfid, aus dem beim Zusammentreffen mit Säuren das außerordentlich giftige Schwefelwasserstoffgas, das "duftende Prinzip" fauler Eier, freigesetzt wurde.

An Säuren herrschte in der Umgebung der Sodafabriken kein Mangel: Die aus den Schornsteinen entweichenden Salzsäuregase wirkten ebenso auf die Sodarückstände ein, wie die aus der Verbrennung der Kohle stammende Kohlensäure und das aus der Selbstentzündung der Sodarückstände stammende Schwefeldioxid.

Die Neigung zur Selbstentzündung war eine weitere unerfreuliche Eigenschaft der Sodarückstände. Dazu kam das Problem der Wasserverschmutzung durch verschiedene Schwefelverbindungen, die durch Reaktion des Calciumsulfids mit Luft und Wasser und durch Folgereaktionen der primären Reaktionsprodukte untereinander entstanden:

*"Der feuchte Rückstand verändert sich an der Luft sehr bald unter dem Einfluß des Wassers, des Sauerstoffs und der Kohlensäure, je nach den Umständen mehr oder weniger rasch. Bei größeren*

---

98 Vgl. Forman, C., a.a.O., S. 79 f.

99 Lunge, G., a.a.O., Bd. III, Braunschweig 1909, S. 522.

*Mengen steigert sich die Hitze in einem losen Haufen des Rückstandes schon nach einigen Tagen so sehr, daß er ins Glühen kommt; da inzwischen schon Schwefel ausgeschieden worden ist, so verbrennt dieser dabei und man gewahrt den Geruch nach schwefliger Säure (Schwefeldioxid, d.V.). Daneben tritt infolge der Einwirkung der Luftkohensäure auf das löslich gewordene Schwefelcalcium, weit mehr aber derjenigen der schwefligen Säure und der Schwefelsäure, eine Entwicklung von Schwefelwasserstoff auf."*<sup>100</sup>

Trotz der schweren Umweltschäden, die vor allem durch die aus den Sodarückständen austretenden und in Bäche und Flüsse abfließenden Schwefelbrühen verursacht wurden, und trotz des bestialischen Gestanks, der von den Sodarückständen ausging, wurden diese lange Zeit weiter auf Halden geschüttet:

*"So haben sich in der Nähe von größeren Sodafabriken ganze Hügel erhoben; ... Es kommt aber bei diesen Halden vor, daß sie ins Brennen kommen, indem die Oxydation von innen, anfangs ganz unbemerkt, so heftig wird, daß sich Klüfte öffnen, durch welche man dann das glühende Innere sieht; zugleich entwickelt sich sehr viel schweflige Säure und Schwefelwasserstoff. Ein solches Feuer ist ungemein schwer zu löschen und kann bei Zuleitung von Wasser sogar Detonationen verursachen. ... In Schalke versank ein Arbeitspferd plötzlich in eine glühende, oben nur mit einer Kruste bedeckte Grube."*<sup>101</sup>

Die unzumutbaren Belästigungen, die von den Rückstandshalden der Sodafabriken ausgingen, zwangen auf Dauer dazu, nach anderen Wegen zu suchen, wie man sich der Unmengen dieser lästigen Abfallstoffe entledigen könnte. Hierbei hatten die nahe am Meer gelegenen Sodafabriken - vor allem die englischen Sodafabriken am Tyne - gegenüber ihren inländischen Konkurrenten einen wesentlichen Vorteil: Sie konnten ihre Sodarückstände einfach ins Meer kippen. Von dieser Möglichkeit machten sie auch regen Gebrauch - nicht ohne über die hohen Kosten für die "Verklappung" zu klagen.<sup>102</sup> Anderenorts versuchte man sich der Sodarückstände durch Vergraben zu entledigen: Man hob auf den die Sodafabrik umgebenden Ackerflächen große Gruben aus, füllte diese bis zu einem Meter unter der Oberfläche mit den Rückständen und bedeckte diese mit Ackerboden. Die Behauptung LUNGEs, dass dieses Verfahren der anschließenden landwirtschaftlichen Nutzung der Flächen keinen Abbruch getan hätte<sup>103</sup>, darf bezweifelt werden.

Angesichts der großen Mengen - die Welt-Jahresproduktion an LEBLANC-Soda betrug zeitweise eine halbe Million Tonnen - und der problematischen Eigenschaften des Sodarückstandes waren alle Versuche, diesen sicher zu deponieren, völlig aussichtslos. Es blieb nichts anderes übrig, als nach einem Verfahren zu suchen, diesen Rückstand durch eine weitere chemische Umwandlung, möglichst unter Gewinnung eines verkäuflichen Produkts, unschädlich zu machen. Der einzige wirtschaftlich interessante Bestandteil der Rückstände war der Schwefel:

*"Die rationellste Verwendung des Sodarückstandes ist jedenfalls die, welche sich auf seinen Gehalt an Schwefel gründet. Der sämtliche Schwefel, welcher in den Zyklus der Sodafabrikation als gediegener (sizilianischer) Schwefel oder Schwefelkies eingetreten ist, geht im Laufe der Fabrikation verloren; ... der größere Teil aber, 80 Prozent oder bei Zylinderöfen bis 90 Prozent des Schwefels, findet sich im Auslaugerückstande, wo ja eben alle beschriebenen Unannehmlichkeiten durch*

100 Lunge, G., a.a.O., Bd. II, S. 758.

101 Ebd., S. 763.

102 Vgl. ebd., S. 765.

103 Vgl. ebd., S. 766.

*die Gegenwart des Schwefels hervorgebracht werden. Nichts liegt also näher als das Streben, den Schwefel im Sodarückstände wieder nützlich zu verwerten, ...*<sup>104</sup>

Ergebnis dieses Strebens war das Entschwefelungsverfahren nach CLAUS, das heute in modernisierter Form in der Erdgas- und Erdöl-Industrie weit verbreitet ist. Das CLAUS-Verfahren zur Verarbeitung der Sodarückstände umfasste folgende Reaktionsschritte:

1. Umsetzung der schlammförmigen Sodarückstände mit Kohlendioxid zu Kalk und Schwefelwasserstoffgas in speziellen Reaktionstürmen.
2. Partielle Verbrennung des Schwefelwasserstoffs mit einer genau dosierten Menge Luft zu Schwefeldioxid in speziellen Öfen.
3. Reaktion des Schwefeldioxids mit unumgesetztem Schwefelwasserstoff zu Schwefel und Wasser.
4. Abscheidung flüssigen Schwefels aus dem Reaktionsofen und Abtrennung von Schwefelnebeln aus dem Dampf und mitgeführtem Luftstickstoff in Absetzkammern und Wäschern.

Das CLAUS-Verfahren und die Salzsäure- und Chlorgewinnung sind Beispiele dafür, wie zwangsweise anfallende Nebenprodukte genutzt werden konnten. Schädliche Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit konnten durch das Aufarbeiten von vormaligen Abfällen vermindert werden.

Dieser Trend zur Verringerung spezifischer Umweltbelastungen durch die Produktionsprozesse in der chemischen Industrie durch Verwerten von Kuppelprodukten wurde durch den rasanten Anstieg der Produktionsmengen und das Verschieben von Problemen in nachgelagerte Bereiche wie Anwendung und Entsorgung der produzierten Chemikalien kompensiert.

## 6 Zwischenbilanz: Umwelt und Gesellschaft um 1900

Am Ende des 19. Jahrhunderts wies der Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur in den Industrieländern bereits wesentliche Merkmale der heutigen Situation auf. In der Schwerindustrie hatten sich die Grundprinzipien der modernen Techniken der Nutzung von Kohle und Erz herausgebildet. Land- und Forstwirtschaft produzierten mit industriellen Methoden für den Markt und die industrielle Weiterverarbeitung. Die chemische Industrie war als neuer Industriezweig entstanden, dessen Produktpalette ständig wuchs. Neben der Nachfrage nach neuen Chemikalien, die durch die Entwicklung der Abnehmerindustrien von außen an die Chemieindustrie herangetragen wurde, führte vor allem die immer komplexere Nutzung der Rohstoffe zu immer neuen Chemieprodukten. In der Sodaindustrie wurde die Produktpalette dadurch ständig erweitert, dass für Neben- und Abprodukte Nutzungs- und Absatzmöglichkeiten gesucht und gefunden wurden. In ähnlicher Weise entwickelte sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Teerfarbenindustrie. Durch die Verknüpfung der Abproduktprobleme der Schwerindustrie mit den von den chemischen Wissenschaften und der chemischen Technik eröffneten neuen Möglichkeiten der Stoffnutzung entstand auch hier ein geradezu explosionsartig wachsendes Spektrum neuer Produkte. Damit wurde auch die Ambivalenz des Beitrages, den die Chemie zur Entwicklung des Stoffwechsels zwischen Mensch und Natur liefert, allmählich erkennbar. Neue Stoffumwandlungsverfahren nutzten die Rohstoffe besser aus, hatten einen geringeren spezifischen Energieverbrauch und erzeugten pro Einheit erzeugtes Produkt weniger lästige Nebenprodukte. Die wachsenden Kenntnisse von der chemischen Zusammensetzung der Naturstoffe und ihren Eigenschaften ermöglichte es, den Ursachen von Störungen des Stoffwechsels zwischen Mensch und Natur nachzugehen. Dazu gehören LIEBIGs warrende Ausführungen über die Störung der Nährstoffkreisläufe durch die Schwemmkanalisation.

Auf der anderen Seite führten die Faszination neuer Produkte, der Triumph wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Erfolge und das Gefühl, der Natur die letzten Geheimnisse entreißen und sie damit menschlicher Verfügung total unterwerfen zu können, zur Missachtung von deutlichen Zeichen schwerer Störungen empfindlicher Gleichgewichte im Naturhaushalt. Die Steigerung der Fördermengen an Kohle und Erzen und die rasante Zunahme der Zahl neuer synthetischer Stoffe wurden als Gradmesser des Fortschritts aufgefasst. Dabei auftretende Belastungen von Umwelt und menschlicher Gesundheit wurden als notwendiger Preis für den technischen Fortschritt dargestellt und weitgehend auch akzeptiert. Im Zusammenhang mit dem blinden Fortschrittsglauben entwickelte sich eine Gründermentalität, der gegenüber sich weitsichtige Kritiker, die die Grenzen der Ausbeutbarkeit und Belastbarkeit der Natur bereits früh erkannt hatten, kein Gehör verschaffen konnten.

In diesem kulturellen und politischen Klima entstanden die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, unter denen sich Umweltnutzung und Umweltpolitik im 20. Jahrhundert weiter entwickelten.

Die Vorrangstellung, die der freien Entfaltung von Industrie und Gewerben eingeräumt wurde, fand ihre rechtliche Ausprägung in der Gewerbeordnung. In ihr wurden die Unternehmerrechte, die sich aus dem Prinzip der Gewerbefreiheit ergaben, und die Beschränkungen dieser Rechte im Sinne des Gemeinwohles festgeschrieben. Damit wurde indirekt ein weitgehendes Recht auf ungehinderter Zugriff auf Rohstoffe und Umweltmedien eingeräumt.

## Die Gewerbeordnung: Rechtliche Grundlage der industriellen Produktionsweise

Die Gewerbefreiheit fand ihren rechtlichen Ausdruck in der Gewerbeordnung. Die 1869 formulierte Gewerbeordnung des Norddeutschen Bundes, die nach der Reichsgründung 1871 für das Deutsche Reich Gültigkeit erlangte, ist in ihrer Grundstruktur für den Bereich der Bundesrepublik nach wie vor gültig.

Mit der Gewerbeordnung wurde auch geregelt, in welchem Ausmaß und mit welchen Folgen die Natur als materielle Basis der gesellschaftlichen Existenz für wirtschaftliche Tätigkeiten in Anspruch genommen werden durfte. § 1 Abs.1 der Gewerbeordnung (GewO) lautete:

*"Der Betrieb eines Gewerbes ist jedermann gestattet, soweit nicht durch dieses Gesetz Ausnahmen oder Beschränkungen vorgeschrieben oder zugelassen werden."*

Da zur Zeit der Kodifizierung der Gewerbeordnung Grenzen der Umweltinanspruchnahme – von dem gerade überwundenen Holzmangel abgesehen - noch kein Thema waren, wurde implizit von einem Recht auf unbegrenzte Naturausbeutung ausgegangen. Die einschränkenden Anordnungen der GewO hatten lediglich eine Störungsminderung zum Ziel. § 16 bestimmte, dass zur Errichtung von Anlagen, die durch ihre Lage oder ihre Beschaffenheit *"für die Besitzer oder Bewohner der benachbarten Grundstücke oder für das Publikum überhaupt, erhebliche Nachteile, Gefahren oder Belästigungen herbeiführen können"*, eine Genehmigung erforderlich ist. Die Genehmigung erfolgt auf der Grundlage eines Antrages, dem eine ausführliche Beschreibung der geplanten Anlage beizufügen ist. Wenn die Unterlagen vorliegen, wird das Vorhaben öffentlich ausgeschrieben. Die Betroffenen haben dann 14 Tage Zeit, Einwendungen gegen die geplante Anlage vorzubringen (§ 17). Werden keine Einwendungen erhoben, *"so hat die Behörde zu prüfen, ob die Anlage erhebliche Gefahren, Nachteile oder Belästigungen für das Publikum herbeiführen könne"* (§ 18). Liegen Einwendungen vor, die auf privatrechtlichen Titeln beruhen, so wird das Verfahren zur richterlichen Entscheidung überwiesen. Alle anderen Einwendungen sind *"mit den Parteien vollständig zu erörtern"* (§ 19 Abs.2).<sup>105</sup>

Sind sie erörtert, nimmt das Genehmigungsverfahren nach § 18 GewO seinen Gang. Für den Ausgang eines Genehmigungsverfahrens ist die Frage der Zumutbarkeit auftretender Gefahren, Nachteile oder Belästigungen ein ausschlaggebendes Kriterium. Hierfür haben die - später noch genauer zu hinterfragenden - Begriffe "ortsübliche Belastung" und "Überschreitung des Gemeinüblichen und Regelmäßigen" eine entscheidende Bedeutung erlangt.

Der Genehmigung einer gefährlichen Industrieanlage stand in der Regel, sofern nicht allzu gravierende Auswirkungen auf die Umgebung zu befürchten waren oder die Interessen privilegierter Kreise berührt wurden, wenig im Wege.

Oft stellten sich jedoch erhebliche Auswirkungen einer Fabrikation erst nach der Genehmigung während des Betriebes heraus. Welche Eingriffe sah die Gewerbeordnung für diesen Fall vor? § 26 GewO legt vor allem fest, welcher Eingriff nicht vorgesehen ist:

*"Soweit die bestehenden Rechte zur Abwehr benachteiligender Einwirkungen, welche von einem Grundstück aus auf ein benachbartes Grundstück geübt werden, dem Eigentümer oder Besitzer des letzteren eine Privatklage gewähren, kann diese Klage einer mit obrigkeitlicher Genehmigung*

---

105 Doran, C. F./et al.: Umweltschutz - Politik des peripheren Eingriffs. Darmstadt und Neuwied 1974, S. 87 ff.

*errichteten gewerblichen Anlage gegenüber niemals auf Einstellung des Gewerbebetriebes, sondern nur auf Herstellung von Einrichtungen, welche die benachteiligende Wirkung ausschließen, oder, wo solche Einrichtungen untunlich oder mit einem gehörigen Betriebe des Gewerbes unvereinbar sind, auf Schadloshaltung gerichtet werden."*

Nicht genug, dass private Klagen mit dem Ziel der Einstellung eines belastenden Gewerbebetriebes ausdrücklich ausgeschlossen wurden. Auch nachträgliche Anordnungen, die die Herstellung von Einrichtungen zur Abwehr benachteiligender Wirkungen zum Ziel hatten, wurden nur im Rahmen bestimmter Einschränkungen zugelassen. § 25 Abs.3 S.2 GewO bestimmte, dass die von der Behörde getroffenen Anordnungen *"nach dem jeweiligen Stand der Technik erfüllbar und für Anlagen dieser Art wirtschaftlich vertretbar"* sein müssen.

Mit den Begriffen *"Stand der Technik"* und *"wirtschaftliche Vertretbarkeit"* finden sich in der Gewerbeordnung zwei weitere Schlüsselbegriffe der Umweltpolitik, die bis zum heutigen Tag von erheblichem Gewicht sind.

Die Stilllegung einer Anlage wurde nach § 51 Abs.1 GewO nur bei Vorliegen *"überwiegender Nachteile und Gefahren für das Gemeinwohl"* vorgesehen. In einem solchen Fall war dem Besitzer für den erweislichen Schaden Ersatz zu leisten.

Bei der Aufnahme einer gefährlichen Produktion hatte nicht etwa der Betreiber den Nachweis zu erbringen, dass die Risiken gemessen an dem Nutzen der beabsichtigten Produktion tragbar und beherrschbar sind, sondern die Behörde hatte zu prüfen, *"ob die Anlage erhebliche Gefahren, Nachteile oder Belästigungen für das Publikum herbeiführen könne"* (§ 18).<sup>106</sup>

Dementsprechend trug auch nicht der Betreiber die Verantwortung, wenn sich nachträglich herausstellte, dass die Schäden für die Gemeinschaft in keinem vertretbaren Verhältnis zum Nutzen standen. Kam es wirklich einmal zu einer Betriebsstilllegung, ging der wirtschaftliche Schaden zu Lasten der Allgemeinheit.

Mit der Gewerbeordnung wurde der rechtliche Rahmen für eine wirtschaftliche Entwicklung geschaffen, bei der der industriellen Ausbeutung der Natur der eindeutige Vorrang vor allen anderen Formen der Nutzung oder der Schonung der natürlichen Umwelt eingeräumt wurde.

## Ortsübliche Belastung

Die juristische Beurteilung der Zumutbarkeit von Belastungen durch die Errichtung und den Betrieb einer Industrieanlage richtete sich um 1900 wesentlich danach, wem diese Belastungen zuzumuten waren. Hier wurden zwischen Angehörigen unterschiedlicher Gesellschaftsschichten und zwischen Primärproduktion (Land- und Forstwirtschaft, Fischerei) und industrieller Produktion erhebliche Unterschiede gemacht.

Unter Berufung auf die *"ortsübliche Belastung"* wurden in den Industrierevieren Entschädigungsklagen und Einsprüche gegen die Errichtung neuer Industrieanlagen abgewiesen.

In der Nähe von Wohngebieten der privilegierten Bevölkerungsschicht, Villenvororten und Kurorten konnten dagegen Industrieansiedlungen unter Bezug auf die ortsübliche Belastung bzw. Nichtbelastung verhindert werden.

---

<sup>106</sup> Doran, C.F./et al., a.a.O., S. 87 f.

*"Die juristische Klausel der Ortsüblichkeit bestimmte die Auseinandersetzungen und wirkte gleichzeitig städteplanerisch. Im Ruhrgebiet z.B. wurde die südliche Zone entlang der Ruhr zu einem Refugium vor den Belastungen der Industrie, wo unter anderem die Villa Hügel liegt, Residenz und Wohnstätte von A.Krupp. Einige Jahre zuvor hatte dieser einen prächtigen Bau im Essener Norden errichten lassen, unmittelbar neben seinen Fabrikanlagen, war dann jedoch vor dem Lärm und Gestank in die Bredeneyer Idylle geflohen. Die südlichen Vororte wurden systematisch von den Belastungen der Industrie freigehalten und entwickelten sich zu Villensiedlungen der Oberschicht; im Norden konzentrierten sich die industriellen Werke und die Siedlungen der Arbeiterschaft. Die anfänglich noch anzutreffende Landwirtschaft wurde an den Rand gedrängt und schließlich vertrieben, so daß auch deren Schadensersatzansprüche nach einigen Abfindungen entfielen."<sup>107</sup>*

Unter Berufung auf drohende "ortsunübliche Belastung" wurde 1891 die Errichtung einer Bleihütte in Schulau/Blankenese bei Hamburg verhindert. Die Einsprüche von Hamburgern, die die Wohnqualität ihrer Elbufervillen gefährdet sahen, hatten Erfolg.<sup>108</sup>

Ähnlich dehnbare Begriffe wie die "ortsübliche Belastung" waren die "Überschreitung des Gemeinüblichen und Regelmäßigen" oder die "Grenze des Erträglichen bzw. Zumutbaren". Diese Begriffe haben vor allem bei der Entwicklung der Gewässerbelastungen und des Wasserrechts eine Rolle gespielt.

## Die Überschreitung des Gemeinüblichen und Regelmäßigen: Flussverunreinigungen um 1900

In einer zeitgenössischen Publikation zum Problem der Flussverunreinigungen heißt es:

*"Fast noch gefahrdrohender für die Flüsse als die Hineinleitung der garnicht oder ungenügend gereinigten Jauchen der Städte werden von Jahr zu Jahr in rapid wachsendem Maße die Abwässer unserer Industrien. Fast wie ein Hohn nehmen sich unsere zum Schutz der Gewässer gegebenen Gesetze und Verordnungen gegenüber der im ganzen Reiche mit unglaublicher Laxheit geübten Handhabung derselben aus."<sup>109</sup>*

Der sich angesichts der zunehmenden industriellen Verschmutzung der Flüsse verschärfende Konflikt zwischen den gegensätzlichen Interessen unterschiedlicher Flussanlieger prägte die Entwicklung wasserrechtlicher Bestimmungen: Am 19. April 1882 wurde in einem Urteil des Reichsgerichts festgestellt, dass Uferbesitzer an einem Privatfluss das Recht hätten, jeder oberhalb ihres Besitzes stattfindenden Zuleitung außer derjenigen von Regen- und Quellwasser zu widersprechen. Diese Rechtsauffassung wurde von der Industrie als "praktisch ganz undurchführbar" angesehen.<sup>110</sup> In den folgenden Jahren, in denen sich die Bildung großer Konzerne und einflussreicher industrieller Interessenverbände vollzog, näherte sich die Rechtsprechung immer stärker den Auffassungen der Industrie an.

---

107 Brüggemeier, F.-J./Rommelspacher, T. (Hrsg.), a.a.O., S. 79.

108 Vgl. ebd., S. 78.

109 Bonne, G.: Deutsche Flüsse oder Deutsche Kloaken? Eine ernste Mahnung in letzter Stunde an unsere Regierungen und an unser Volk, Hamburg 1907, S. 16.

110 Vgl. Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. I, 1914, S. 88.

*"Im Reichsgerichtsurteil vom 2. Juni 1886 wird der ... Grundsatz aufgestellt, daß der Uferbesitzer eines Privatflusses sich diejenigen Zuleitungen in den Fluß gefallen lassen muß, die das Maß des Regelmäßigen, Gemeinüblichen nicht übertreffen. In den Reichsgerichtsurteilen vom 18. September 1886 und 5. Februar 1887 wird dann bestimmt, daß es Sache des Klägers sei, den Nachweis zu führen, daß eine Überschreitung des Gemeinüblichen und Regelmäßigen tatsächlich stattgefunden habe. Im Urteil vom 22. Dezember 1897 schließlich wird dann ganz eindeutig folgendes festgelegt: 'Das Wasser eines öffentlichen, wie eines Privatflusses ist die von der Natur gegebene Abflußrinne, nicht nur für das vom Boden selbst abfließende, sondern auch für das vielfach mit fremden Stoffen vermischte Wasser, welches zu Wirtschaftszwecken gedient hat und künstlich fortgeschafft werden muß.'"<sup>111</sup>*

Nachdem die Rechtslage in diesem Sinne geklärt war, stellte sich das Problem der Gewässerverschmutzung aus der Sicht der Industrie so dar:

*"Die Städte müssen ebenso wie die Industrie ihre Abwasser den Flüssen zusenden und damit denjenigen Anteil der darin enthaltenen verunreinigenden Stoffe, der sich mit den vernünftigerweise für die Reinigung aufzuwendenden Geldmitteln nicht mehr beseitigen läßt. Mit dem fortschreitenden Anwachsen der Städte und dem unausgesetzt zunehmenden erfreulichen Aufschwunge unserer Industrie wächst dieser Anteil von Jahr zu Jahr. Andererseits ist nicht zu verkennen, daß zahlreiche Flüsse und Bäche längst unter stillschweigender und übrigens durchaus zu billiger Duldung der Behörden über das zulässige Maß hinaus verunreinigt sind. Man sollte aber überall dort, wo es vom wirtschaftlichen Standpunkte erträglich ist, mit äußerster Energie vorgehen, um die Schäden nach Möglichkeit zu mildern."<sup>112</sup>*

Noch deutlicher formulierte der Gutachter für den Verein zur Wahrung der Interessen der Chemischen Industrie, K. JURISCH, den Anspruch auf unbegrenzte Einleitung von Abfallstoffen in die als natürliche Abwasserkanäle anzusehenden Flüsse. Neben der strikten Ablehnung allgemeiner Grenzwerte der Belastung verlangte er "eine Abwägung der Interessen" und forderte "bei entgegenstehenden und nicht zu versöhnenden, ... das größere wirtschaftliche Interesse zu schützen." Derselbe an anderer Stelle:

*"Die Fischerei hat auf ein Flußgebiet, an dem gewerbliche und industrielle Anlagen errichtet worden sind oder werden, keinen Anspruch auf alleinige Berechtigung; ... Es liegt ... im wohlverstandenen Interesse eines jeden armen Landstriches, das Aufblühen der Industrie zu fördern, selbst auf Kosten der Fischerei."<sup>113</sup>*

Die unhaltbaren Zustände der Flüsse motivierten verschiedene gesellschaftliche Gruppen, eine gesetzliche Regelung der Abwasserfrage zu fordern. Bereits 1878 beschloss der Deutsche Landwirtschaftsrat:

*"An den Herrn Reichskanzler die Bitte zu richten, durch ein Reichsgesetz aufgrund der Reichsverfassung Art.4 Nr.15 Normativbestimmungen festsetzen zu wollen, unter denen die Einleitung des*

111 Ebd., S. 88 f.

112 Ebd., S. 71 f.

113 Jurisch, K.: Die Verunreinigung der Gewässer. Berlin 1890, zit. nach Brüggemeier, F.-J./Rommelspacher, T., a.a.O., S. 51 f.

*Kloakenwassers und schädlicher Abgänge aus Fabriken und technischen wie anderen Gewerben in die Flüsse gestattet werden kann.*<sup>114</sup>

Die Reichsregierung reagierte auf diesen Vorstoß, wie auch auf spätere sehr zurückhaltend und überließ die Abwasserfrage sich selbst bzw. den Bundesstaaten.

Unter Druck öffentlicher Proteste kam es 1899 zu einem Reichstagsbeschluss, der die Reichsregierung aufforderte, eine Kommission für die Aufsicht über die zwischenstaatlichen Gewässer zu bilden. Auch dazu war die Regierung nicht bereit. Es kam lediglich 1901 zur Einrichtung eines Reichsgesundheitsrates. Eine seiner Abteilungen sollte sich gutachterlich mit Wasserversorgung und Abwasserfragen beschäftigen.

Gegen eine verbindliche gesetzliche Regelung der Abwasserfrage wehrte sich vor allem die Industrie: „Der Himmel bewahre uns ... vor einem Reichsabwässergesetz“, beschwor beispielsweise Carl DUISBERG (1861-1935), der als Direktor der Farbenfabriken BAYER in Leverkusen bei Köln damals einer der führenden Industriellen Deutschlands war.

Unter dem Druck der sich weiter verschärfenden Probleme blieb der Gedanke an eine einheitliche Regelung für das ganze Gebiet des Deutschen Reiches weiter akut. Entsprechende Vorstöße scheiterten jedoch, ebenso wie die Verabschiedung eines verschärften preußischen Wassergesetzes, als 1914 der Erste Weltkrieg ausbrach.<sup>115</sup>

Zur ideologischen Rechtfertigung ihres Anspruches auf möglichst uneingeschränkte Umweltbelastung bediente sich die Industrie um 1900 vor allem der Theorien von der "uneingeschränkten Selbstreinigungskraft der Natur" und der "Unschädlichmachung durch Verdünnung". Diese Auffassungen fanden nicht nur in Hinblick auf die Gewässerbelastung, sondern auch auf die beiden anderen relevanten Umweltmedien, Luft und Boden, Anwendung und Verbreitung. Sie bildeten den ideologischen Hintergrund für die Entwicklung von "Entsorgungs"verfahren, die bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts den Stand der Technik bestimmten: vergraben, verbrennen oder verklappen.

## Stand der Technik und Wirtschaftlichkeit

Der bereits in der Gewerbeordnung von 1869 verwendete Begriff "Stand der Technik" wurde zu einem Schlüsselbegriff in der Auseinandersetzung um Verfahren zur Minderung von Umweltbelastungen:

*"Damit waren die Verfahren gemeint, die üblich und gebräuchlich und damit auch wirtschaftlich, nicht hingegen diejenigen, die technisch möglich waren. Im Gegenteil, neue Verfahren konnten sich häufig deshalb nicht durchsetzen, weil sie nicht als allgemein erprobt bezeichnet wurden. Allgemein erprobt wiederum wurden sie nicht, weil ihre Einführung Kosten verursacht hätte. Selbst in den Fällen, wo praktische Erfahrungen bestanden und der Nachweis erbracht war, daß neu entwickelte Verfahren technisch beherrscht wurden, bestimmte sich der Stand der Technik weiterhin nach der gängigen Praxis, wie unbefriedigend und überholt sie auch immer war. Hinzu kam, daß bis in die jüngste Zeit der Gesetzgeber keine wirksamen Grenzwerte festsetzte, so daß auch von*

---

114 Wey, K.-G.: *Umweltpolitik in Deutschland. Kurze Geschichte des Umweltschutzes in Deutschland seit 1900*, Opladen 1982, S. 38.

115 Vgl. ebd.

*dieser Seite kein Anlaß bestand, von den gängigen Verfahren abzugehen oder gezielt nach Möglichkeiten zu suchen, Belastungen zu vermeiden.*"<sup>116</sup>

Der Bau hoher Schornsteine zur vermeintlichen Beseitigung schädlicher Industrieabgase ist ein wichtiges Beispiel für die Etablierung eines "Standes der Technik", der trotz lange bekannter katastrophaler Auswirkungen auf die Natur – global betrachtet - erst in unseren Tagen durch Einführung wirkungsvollerer Techniken überwunden wird.

Trotz anfänglicher Misserfolge bei Versuchen, den Ausstoß von Schwefeldioxid und anderen schädlichen Bestandteilen der Rauchgase durch Reinigung der Abgase zumindest zu mildern, war die Hochschornsteinpolitik keine technisch bedingte Notwendigkeit. Die wissenschaftlichen und technischen Voraussetzungen für eine wirkungsvolle Abgasreinigung waren bereits Ende des 19. Jahrhunderts geschaffen worden. Verfahren zur Reinigung und Entschwefelung von Rauchgasen, z.B. Kalkwäschen oder Katalysetechniken, waren im Prinzip bekannt, seitdem das Kontaktverfahren zur großtechnischen Schwefelsäureherstellung entwickelt worden war. Praktische Anwendungen zur Lösung des Rauchgasproblems fanden diese technischen Entwicklungen erst Ende des 20. Jahrhunderts.

Technische Möglichkeiten, Umweltbelastungen zu vermeiden oder zumindest einzuschränken, wurden nur dann entwickelt, wenn die Probleme so gravierend wurden, dass überwiegende Nachteile und Gefahren für das Gemeinwohl offenkundig wurden und eine Lösung nach dem Verdünnungsprinzip nicht möglich war.

Die Absorption der Salzsäure aus den Abgasen der LEBLANC-Sodafabriken und die Entwicklung einer Technik zur Wiederverwertung der schwefelhaltigen Sodarückstände sind Beispiele dafür, dass die Industrie im 19. Jahrhundert sehr schnell effektive Techniken zur Beherrschung von schädlichen Abfallstoffen entwickeln konnte, wenn andere Möglichkeiten nicht verfügbar waren.

## Der Kampf um die Reinhaltung der Flüsse, des Bodens und der Luft

Die zunehmenden gesundheitlichen Belastungen und Umweltzerstörungen, die mit der Einführung neuer industrieller Methoden der Naturausbeutung auftraten, hatten bei weit blickenden Zeitgenossen Ende des 19. Jahrhunderts wachsende Besorgnis hervorgerufen. 1878 wurde der "Internationale Verein zur Reinhaltung der Flüsse, des Bodens und der Luft" gegründet. In einem Aufruf des Vereins, der 1905 anlässlich der 27. Generalversammlung verfasst wurde, heißt es:

"Wir führen seit Jahren Krieg gegen Unwissenheit, Eigennutz, Rücksichtslosigkeit, Gleichgültigkeit und Vorurteile. So ist unser Kampf für die Reinhaltung unserer Gewässer gegen den Eigennutz der Industrien und Städte, ... ein schwerer und kostspieliger."<sup>117</sup>

Im Vordergrund des Kampfes der Vorväter<sup>118</sup> heutiger Umweltschützer stand der Widerstand gegen die zunehmende Gewässer- und insbesondere Flussverschmutzung. Der Hamburger Arzt Georg BONNE, Vorstandsmitglied des Vereins, trat 1907 mit einer Kampfschrift "Deutsche Flüsse

116 Andersen, A./Brüggemeier, F.J.: Gase, Rauch und saurer Regen; in: Brüggemeier, F.J./Rommelspacher, T., a.a.O., S. 73.

117 Verhandlungen des Internationalen Vereins zur Reinerhaltung der Flüsse, des Bodens und der Luft auf der 27. Generalversammlung am 17. und 18. Juni 1905 in Frankfurt am Main, 1905.

118 Dem Vorstand gehörten nur Männer an.

oder Deutsche Kloaken? Eine ernste Mahnung in letzter Stunde an unsere Regierungen und an unser Volk<sup>119</sup> an die Öffentlichkeit. In dieser Schrift wird das Problem der Flussverunreinigungen zunächst mit dem Problem des Nährstoffentzugs landwirtschaftlich genutzter Böden in Verbindung gebracht:

"Und während so ein Gewerbe, welches über 50 000 deutschen Männern ein gesundes und auskömmliches Brot gibt, ... seinem sicheren Ruin entgegengeht (die bereits damals arg bedrängte Binnenfischerei, d.V.), verliert die Landwirtschaft durch die Abschwemmung der Fäkalien der Stadtbewohner in die Flüsse alljährlich viele, viele Millionen an Dungwerten ... Während unser lebensstarkes, schnellwachsendes deutsches Volk jedes Jahr um über eine Million hungrige Mägen zunimmt, vergeuden wir so alljährlich viele Millionen Dungstoffe und verpesten mit ihnen unsere Flüsse, anstatt unserer Landwirtschaft zu helfen, ..., und aus unseren Binnengewässern ungezählte Schätze bester Fleischnahrung herauszufischen! Und das nennt sich moderne Volkswirtschaft!"<sup>120</sup>

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hatte sich das moderne System der "Schwemmkanalisation", bei dem Fäkalien, Haushaltsabwässer und industrielle Abfallstoffe durch Spülung mit oder ohne Zwischenschaltung eines Klärwerks in den nächsten Wasserlauf geschwemmt werden, durchgesetzt. Damals standen auch andere realisierbare "Entsorgungskonzepte" zur Diskussion, die eine Rückführung der Pflanzennährstoffe auf hygienisch vertretbare Art erlaubt hätten.<sup>121</sup>

In diesem Zusammenhang stellte BONNE folgende, angesichts der bis in die Meere fortgeschrittenen Umweltzerstörung durch Überdüngung und Vergiftung der Gewässer hochaktuellen Überlegungen an,

"daß die Unkultur sich um die Abgänge überhaupt nicht kümmere, die niedere Kultur wohl ihre Beseitigung anstrebe, ..., daß es aber erst der höheren Kultur vorbehalten sei, die Abfallstoffe zu verwerten, das heißt in wirtschaftlich und hygienisch einwandfreier Form dem Kreislauf der Natur und des Nationalhaushaltes wieder zuzuführen."<sup>122</sup>

Die gesellschaftlichen Verhältnisse in den Industrieländern ließen um 1900 und weitestgehend bis heute nur den Übergang von der "Unkultur" zur "niederen Kultur" zu. Wirtschaftliche Einzelinteressen siegten über das gesamtgesellschaftliche Interesse an einem sch und Natur.

In der Arbeiterbewegung meldeten langfristig verantwortbaren Stoffwechsel zwischen Men sich jedoch neben einer Mehrheit, die auf eine forcierte Industrialisierung unter ihrer Führung hinstrebte, auch Stimmen zu Wort, die auf die zunehmende Naturzerstörung hinwiesen. Im Märzheft 1914 des "Wanderfreund", der Monatsschrift des Arbeiter-Wanderbundes "Naturfreunde", erschien ein leidenschaftlicher Artikel über "Natur- und Heimatschutz". Als Ergebnis der wissenschaftlich-technischen Entwicklung habe der Mensch es verstanden, die "Natur zu unterjochen und ihr seinen unbeugsamen Willen aufzuzwingen, nur zu gründlich ist er dabei zu Werke gegangen". Der Verfasser fährt fort:

„Niemals aber hat der Mensch unsinniger, unerbittlicher, grausamer, rücksichtsloser unter der Tier- und Pflanzenwelt gehaust, als seit Mitte des vorigen Jahrhunderts, d.h. seit der besonderen Entfal-

119 Bonne, G., a.a.O.

120 Ebd., S. 4 f.

121 Vgl. ebd. und dortige Literaturangaben.

122 Bonne, G., a.a.O., S. 11 f.

tung der kapitalistischen Produktionsweise. ... Man hört zwar oft mit Stolz das 19. Jahrhundert das "naturwissenschaftliche" nennen und zum Teil zu Recht,... Doch scheint es fast, als hätte man bei alledem nur eines vergessen: Die Natur selbst. Denn was bedeuten alle diese schönen Errungenschaften und Fortschritte auf dem Gebiete der Naturwissenschaften gegenüber der unglaublichen Naturverwüstung und Naturverschandelung, wie wir sie heute tagtäglich erleben müssen. Es wäre blutiger Hohn, grausame Ironie, wollte man hier vom Zeitalter der Naturwissenschaften sprechen, sondern es ist das Zeitalter der rohen, nackten Profitgier, es ist das Zeitalter des Kapitalismus, in dem wir leben. Unsere moderne Land- und Forstwirtschaft, die aus jedem Zollbreit unbedingt Kapital schlagen will, ist eben der Todfeind der Lebewesen, denen sie keine ungestörte Zufluchtsstätte mehr gönnt. Dazu kommt dann die Industrie mit ihren verheerenden Wirkungen, mit ihrem betäubenden Lärm, ihren giftigen Gasen und Abwässern. Wirtschaftliche und materielle Interessen treten so sehr in den Vordergrund, daß man den Wert des natürlich Gewordenen völlig vergaß."<sup>123</sup>

Der Weltkrieg, der wenige Monate nach dem Erscheinen dieses Artikels begann, und die danach erfolgten sozialen und politischen Umwälzungen ließen diese Diskussion für Jahrzehnte in den Hintergrund treten.

## Umweltpolitik und behördlicher Handlungsspielraum

Die durch die Gewerbeordnung und ein industriefreundliches Wasserrecht juristisch abgesicherte Durchsetzung industrieller Nutzungs- und Entsorgungsinteressen gegenüber Konzepten, die einen langfristig geregelten Stoffwechsel mit der Natur im Auge hatten, bestimmte auch den behördlichen Handlungsspielraum in Umweltangelegenheiten. Die behördlichen Eingriffsmöglichkeiten beschränkten sich im Wesentlichen (nach der eingangs zitierten Einteilung BONNEs) auf die "niedere Kulturstufe" einer möglichst gefahrlosen Beseitigung von Abfallstoffen. Der Umweltschutz wurde auf der unteren Ebene einer "Politik des peripheren Eingriffs" angesiedelt.<sup>124</sup>

Trotz des sehr begrenzten Handlungsspielraumes wurden im Rahmen der behördlichen Aktivitäten wichtige Beiträge zur Erforschung der Ursachen von Umweltbelastungen und zur Entwicklung von Umwelttechniken geleistet.

Am 1.4.1901 wurde die preußische "Königliche Versuchs- und Prüfanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung", später Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, in Berlin gegründet.<sup>125</sup> Die Anstalt, die heute in das Umweltbundesamt integriert ist, hatte die Aufgabe,

*"alle Vorgänge, welche sich auf dem Gebiete der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung abspielen, fortdauernd auf deren gesundheitlichen und wirtschaftlichen Wert zu verfolgen, weiterhin etwa erforderlich werdende, dahin gehörige Versuche im allgemeinen Interesse aus eigenem Antriebe auszuführen, ferner Untersuchungen und Begutachtungen der in den Geschäftsbereich der Anstalt fallenden Angelegenheiten gegen Gebühr im Auftrage von Behörden und Privaten aus-*

123 Zitiert nach: Arbeiterkultur und Ökologie, 1/1991, S. 2 f.

124 Vgl. Doran, C.F./et al., a.a.O.

125 Vgl. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes (Hrsg.): WaBoLu. 85 Jahre Umweltschutz 1901-1986, in: WaBoLu-Hefte, 1/1986, Berlin 1986.

*zuführen und schließlich den Zentralbehörden Auskunft zu erteilen und ihnen Gutachten im öffentlichen Interesse zu erstatten.*<sup>126</sup>

Obwohl die Versuchsanstalt ihre Gutachten sehr vorsichtig formulierte und sich auf eine sachlich-wissenschaftliche Darstellung der Sachverhalte beschränkte, geriet sie gelegentlich unter heftigsten Druck, wenn ihre Untersuchungsergebnisse bestimmten Privatinteressen entgegenstanden. Unter den Kritikern der Anstalt war auch der an anderer Stelle bereits als scharfer Gegner einer Regelung der Abwasserfrage erwähnte Vorsitzende der Farbenfabriken BAYER, Carl DUISBERG. Auf der Verbandstagung des Vereins zur Wahrung der Interessen der Chemischen Industrie Deutschlands im Jahre 1912 griff er die Arbeitsweise der Versuchsanstalt scharf an und diffamierte sie als "Polizeibüttel".<sup>127</sup>

Standen schon die wissenschaftlichen und gutachterlichen Tätigkeiten der Behördenvertreter unter dem Druck einer Kritik seitens der Industrie, die sich auch auf höchster Regierungsebene Gehör zu verschaffen wusste, so war an eine umfassendere Beteiligung des Staates an der Gestaltung wirtschaftlicher Stoffströme – von Kriegzeiten abgesehen - überhaupt nicht mehr zu denken. Eine gesamtgesellschaftliche Verantwortung für den Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur war damit nicht mehr vorstellbar.

Mit dem Verzicht des Staates auf eine gestaltende Funktion, der Durchsetzung der Auffassung von der "natürlichen" Funktion der Flüsse als Abwasserkanäle, dem Anerkennen des "Verdünnungsprinzips", deren Fragwürdigkeit von kritischen Zeitgenossen klar erkannt worden war und der Etablierung eines höchst unbefriedigenden "Standes der Technik" sind vor etwa hundert Jahren die Weichen in Richtung auf die Umweltsackgassen gestellt worden, an deren Ende wir trotz aller Fortschritte der Umwelttechnik hinsichtlich globaler Umweltprobleme heute noch stehen.

Nach dem Ausbruch des Ersten Weltkrieges und in den schwierigen Zeiten danach bis in die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg hatte die Gesellschaft mit den Folgen der mutwilligen kriegerischen Freisetzung der destruktiven Potenzen neuer Techniken so viel zu tun, dass die berechtigten Sorgen um das Gleichgewicht im Stoffwechsel des Menschen mit der Natur für nahezu ein halbes Jahrhundert fast völlig in den Hintergrund gedrängt wurden.

Auch drastische Folgen industrieller Schadstoffemissionen in die Luft führten nicht zu grundsätzlichen Lösungsansätzen, sondern nur zu Versuchen, die schlimmsten Symptome zu mildern. Als Beispiel kann die Auseinandersetzung des Siedlungsverbandes Ruhrkohlenbezirk, einem 1920 gegründeten Zusammenschluss der Kommunen, mit dem Problem der Waldschäden herangezogen werden. Waldschäden hatten alarmierende Ausmaße angenommen. Als Hauptverursacher der Vegetationsschäden wurde die schweflige Säure erkannt. Mittel zu ihrer Entfernung aus den Rauchgasen wurden in den Erörterungen des Siedlungsverbandes erst gar nicht mehr in Erwägung gezogen. Da eine grundsätzliche Lösung des Problems nach dem "Stand der Technik" für unmöglich gehalten wurde, kam man zu der folgenden zusammenfassenden Tatsachenfeststellung,

*"daß schweflige Säure derjenige Stoff ist, welcher im hiesigen Industriebezirk die Tannenwälder verwüstet und den Obstbau fast unmöglich macht, und wenn andererseits feststeht, daß es bis jetzt kein Mittel gibt, diese Säure aus den Verbrennungsgasen auszuscheiden, dann kann der Weg zur Erhaltung des Waldbestandes nur in der Richtung liegen, daß nur säurefeste Baumarten ge-*

---

126 Zitiert nach Wey, K.-G., a.a.O., S. 69.

127 Vgl. Die Chemische Industrie, 35/1912, S. 721 ff.

*pflanzt werden, jeder Versuch aber, empfindliche Nadelhölzer zu erhalten, als aussichtslos aufgegeben wird.*<sup>128</sup>

Man hatte sich damit abgefunden, dass "die Schornsteine rauchen mussten" und die lebendige Natur dabei weitgehend auf der Strecke blieb.

## 7 Die Teerfarbenindustrie: Keimzelle der modernen Chemieindustrie

Als sich die aufblühende neue Wissenschaft Chemie dem problematischen Nebenprodukt der Schwerindustrie, dem Teer, zuwandte, entstand ein neuartiger Industriezweig auf der Basis einer neuen Technologie, der synthetischen organischen Chemie.

Die Teerfarbenindustrie brachte eine neue Qualität in den Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur, die eng mit anderen Problemen der Industrialisierung zusammenhing. Auf der Rohstoffseite entwickelte sich die neue Industrie durch die Nutzung des fragwürdigen Abprodukts der extensiven Kohlenutzung - des Teers - im Kontext mit der zunehmenden Nutzung nicht regenerierbarer Rohstoffe.

Mit der Industrialisierung der lebendigen Natur ist die Entstehungsgeschichte der Teerfarbenindustrie in doppelter Weise verknüpft. Da sie auf der Abnehmerseite, ähnlich wie die Sodaindustrie, eng mit der Textilindustrie verbunden ist, besteht der Bezug zu Plantagenwirtschaft und Monokulturen beim Baumwollanbau und zur Industrialisierung der Faserverarbeitung. Durch die Verdrängung pflanzlicher Farbstoffe wirkte sich die Teerfarbenherstellung auch auf landwirtschaftliche Produktionsstrukturen aus.

Die Teerfarbenindustrie hat eine faszinierende Welt neuer Stoffe zugänglich gemacht, die ohne die künstliche Inszenierung der chemischen Technik nicht vorkommen. Mit den Produkten und dem Abfall der chemischen Industrie wurden Stoffe in die Umwelt eingebracht, deren ökologische und toxikologische Eigenschaften bis heute erst zu einem geringen Teil bekannt sind.

### Ursprünge der Teerfarbenindustrie

Der englische Chemiker William Henry PERKIN (1838-1907), ein Assistent des LIEBIG-Schülers August Wilhelm HOFMANN (1818-1892), entdeckte 1856 bei Arbeiten mit Anilin, einem übel riechenden, giftigen Teerbestandteil, im Royal College of Chemistry in London durch Zufall einen kräftig violett leuchtenden Farbstoff. Eigentlich war PERKIN auf der Suche nach einer Synthese für Chinin, den Wirkstoff aus der Rinde des Chinonabaumes, der als Malariamittel in der Blütezeit des englischen Kolonialismus sehr begehrt war. Den statt des Chinins gefundenen Farbstoff, der sich vor allem zum Färben von Seide eignete, nannte PERKIN nach der Farbe der Malvenblüte "Mauvein". Ende 1857 wurde der Farbstoff von der eiligst errichteten Firma PERKIN & Sons mit glänzendem Erfolg an die Londoner Seidenfärber verkauft. Die Neuheit erregte beträchtliches Aufsehen. Heinrich CARO (1834-1910), Chemiker und Direktor der BASF, schrieb in seinen Erinnerungen:

*"... eine neue Welt war erschlossen, voll märchenhaften Reizes, für den Einen ein Goldland, für den Anderen ein aussichtsreiches Forschungsgebiet. Alles eilte dahin, ... der Fabrikant, der Ge-*

*lehrte, der Kaufmann, der Abenteurer. Die Schönheit, die Echtheit, der durchschlagende Erfolg der ersten Anilinfarbe wirkten zündend.*<sup>129</sup>

Die Entdeckung des Mauveins durch PERKIN war das auslösende Moment, richtig in Schwung kam die Teerfarbenindustrie durch einen anderen Farbstoff, das nach der Blütenfarbe der Fuchsie benannte Fuchsin.

## Fuchsin

In *Dinglers Polytechnischem Journal* erschien 1859 folgende Mitteilung:

*"Die H. Hrn. Gebrüder RENARD und FRANCOIS, Fabrikanten chemischer Produkte in Lyon, haben ... einen neuen Farbstoff erhalten, welchen sie Fuchsin nennen. Sie ließen sich die industrielle Anwendung dieses Farbstoffes patentieren und fabricieren denselben gegenwärtig in bedeutenden Quantitäten. Man wendet diese schöne Farbe jetzt hauptsächlich in der Seiden-, Wollen- und Baumwollenfärberei an, sie wird aber auch schon für den Kattundruck benutzt. Dieser neue Farbstoff ist sehr ächt, hat eine sehr intensive und außerordentlich lebhaftige Farbe, und ersetzt vorteilhaft die Cochenille und den Safflor; ... Mit dieser Farbe gefärbte Stoffe sind bereits in den Handel gekommen, und erregten eben so großes Erstaunen als Bewunderung.*<sup>130</sup>

CARO beschreibt die Situation so:

*"Der Erfolg des Fuchsins ist momentan viel größer als der des PERKIN'schen Violets. Einen solchen Farbstoff hatte man nie zuvor gesehen. Wie matt erscheint dagegen das Rosa der Cochenille! Sein verführerischer Glanz drängt alle Bedenken gegen seine mangelnde Echtheit zurück, (...) Die Mode will es. (...) Alles wendet sich jetzt den so leichten und dankbaren Schmelzprozessen zu. Die Ära der Massenerfindungen beginnt. Alles wird probiert. Alles gibt Rot. Alles wird patentiert, (...) Jeder träumt von Ehre und Schätzen. Das Goldfieber tritt auf (...).*<sup>131</sup>

Die einem Goldrausch ähnliche Suche nach neuen Anilinfarben oder verbesserten Verfahren zur Herstellung des Fuchsins ließ Chemiker und Erfinder auf Versuche mit allen möglichen exotischen und gefährlichen Reagenzien kommen. Dazu gehörten auch solche Stoffe, die in der Metallurgie als lästige und gefährliche Nebenprodukte auftraten und zuvor bestenfalls als Rattengift zu gebrauchen waren. Ein solcher Stoff war das Arsen. Im Januar 1860 meldete der englische Arzt Henry MEDLOCK die Fuchsinherstellung durch Erhitzen von arsensaurem Anilin zum Patent an.<sup>132</sup>

Zur Herstellung von Fuchsin nach dem Arsensäureverfahren wurde ein in bestimmter, zunächst noch unbekannter Weise mit Nebenprodukten verunreinigtes Anilin, das "Anilinöl für Rot", benötigt. Dieses Anilinöl musste zusammen mit Arsensäurelösung in gusseisernen, emaillierten Kesseln über offenem Feuer sechs bis acht Stunden bei 170 bis 180 °C gerührt werden. Die grüngoldene schimmernde Schmelze wurde nach dem Öffnen der Kessel mit großen eisernen Löffeln ausgeschöpft und in Schubkarren ausgetragen, die mit Strohpapier ausgelegt waren. Anschließend wur-

129 Caro, H.: Über die Entwicklung der Theerfarbenindustrie, in: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 25/1892, S.955-1105, S. 1024 ff.

130 Dingler's polytechnisches Journal, 154/1859, S. 397.

131 Caro, H., a.a.O., S. 1030 f.

132 Vgl. ebd., S. 1033.

de die erstarrte Schmelze in eisernen Kochern in Wasser gelöst und mit Kochsalz und Salzsäure versetzt. Dabei entstand salzsaures Fuchsin, das man auskristallisieren ließ. Um durch langsames Abkühlen möglichst große Kristalle zu erhalten, deckte man die Lösung mit Holzdielen ab, an denen sich die schönsten Kristalle absetzten. Die Kristalle wurden getrocknet und in Handarbeit sortiert.<sup>133</sup>

Die Verwendung der Arsensäure verdrängte bald die älteren Verfahren, *"der Leichtigkeit und Sicherheit wegen"*.<sup>134</sup>

Bald hatte sich die chemische Wissenschaft genauer mit der Chemie der zunächst empirisch gefundenen Anilinfarben beschäftigt. Besondere Verdienste kamen hierbei August Wilhelm HOFMANN zu. Er wies nach, dass Fuchsin nicht aus reinem Anilin gebildet wird, sondern aus einem Gemisch, das neben Anilin auch Toluidine enthält. Diese Substanzen waren in dem unreinen Handelsanilin enthalten, jedoch nicht in dem für einen optimalen Reaktionsverlauf erforderlichen Mengenverhältnis. HOFMANNs Erkenntnisse ermöglichten durch den genau berechneten Einsatz der notwendigen Vorprodukte eine weit bessere Fuchsin Ausbeute.

Welch gewaltiger stofflicher Aufwand selbst bei einer optimierten Vorgehensweise noch erforderlich war, um aus den Teerbestandteilen Farbstoffe zu machen, ist einer Verfahrensbeschreibung aus dem Jahr 1885 zu entnehmen:

Zur Herstellung von 100 kg reinem Fuchsin wurden 500 kg Aniline (Anilin und Toluidine) und 1000 kg Arsensäure ( $\text{As}_2\text{O}_5$ ) eingesetzt und dabei nach einer 36-stündigen Schmelze 886 kg Feststoff und 400 l Destillat, davon 220 kg Öl, erhalten. Die weitere Aufarbeitung dieses Öls ergab 200 kg Destillatanilin, die für den nächsten Ansatz zurückgeführt wurden. Die Anilinreste in der wässrigen Phase wurden zu Azo-Farbstoffen, wie z.B. Naphtholorange, weiterverarbeitet.

Durch Auslaugen des festen, gemahlten Schmelzprodukts mit kaltem Wasser konnten ca. 258 kg Arsenik ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) abgetrennt werden, die nach Regeneration (Oxidation mit Salpetersäure) 300 kg wiederverwendbare Arsensäure ergaben. Durch Auslaugen des Rückstandes mit heißem Wasser und mehrfache Kristallisation erhielt man 100 kg Kristallfuchsin (eine sehr reine Qualität), 20 kg unreines Fuchsin und weitere Gelb- und Braunfarbstoffe (Cerise, Marron, Zimtbraun, Grenadine u.a.) in nicht angegebener Menge.

Die Aufarbeitung der Schmelze (Isolierung und Reinigung der Farbstoffe) erforderte 2100 kg Kochsalz, 200 kg Soda, nicht exakt ermittelbare Mengen an Kalkmilch, Natronlauge und Salzsäure sowie 41 m<sup>3</sup> Wasser. Daneben erhielt man 80 kg unverwendbarer, z.T. stark arsenhaltiger Harze. Die insgesamt bei einem solchen Produktionsansatz verbrauchte und mit dem Abfall und dem Abwasser zu entsorgende Menge an Arsensäure lag bei 700 kg. Zusätzlich müssen 300 kg Salpetersäureverluste bei der Herstellung von 1000 kg Arsensäure berücksichtigt werden. Bei der Herstellung von 100 kg Kristallfuchsin entstanden demzufolge mehr als drei Tonnen hochgiftigen Abfalls, der nach Lage der Dinge beziehungsweise der Farbenfabriken zu einem beträchtlichen Teil im Rheinlandete.<sup>135</sup>

Nach der Aufklärung von Struktur und Bildungsweise des Fuchsins wurde in den folgenden Jahrzehnten eine Vielzahl neuer Farbstoffe und Farbstoffgruppen mit gleicher Grundstruktur, die Tri-

---

133 Vgl. Nagel, A. v.: Fuchsin, Alizarin, Indigo. Schriftenreihe des Firmenarchivs der BASF, Bd.1, Ludwigs-hafen o.J. (ca.1965), S. 9 f.

134 Vogel, M.: Die Entwicklung der Anilin-Industrie, Leipzig 1866, S. 30.

135 Vgl. Fischer, F., a.a.O., S. 665 f.

phenylmethanfarbstoffe, entwickelt und auf den Markt gebracht. Bekannte Vertreter sind das Eosin, das Kristallviolett, das Malachitgrün, die Patentblau-Farbstoffe und die Phthaleine. Um 1880 betrug die Jahresproduktion an Fuchsin etwa 750 Tonnen. Obwohl in der Folgezeit die relative Bedeutung des Fuchsins durch die Einführung zahlreicher neuer und besserer Farbstoffe stark abnahm, produzierte der IG Farben-Konzern 1930 noch 450 t. In den 1960er Jahren wurde Fuchsin in der BRD nur noch von Bayer in Uerdingen hergestellt.<sup>136</sup>

Heute wird Fuchsin in geringen Mengen für Spezialzwecke wie die Mikroskopie hergestellt.

Die Produktion von Farbstoffen aus giftigen Teerbestandteilen mit nicht minder giftigen Reagenzien wie Arsenik hatte erhebliche Auswirkungen auf Arbeiter, Anwender und Umwelt. Beim Schmelzen des krebserregenden, giftigen Anilins mit der Arsensäure entstand eine Arbeitsatmosphäre, die ein wahrer Höllendunst gewesen sein muss:

*"Da es notwendig ist, die Apparate zu öffnen, so lange der Inhalt derselben noch heiß ist, so haben die Arbeiter durch die sich aus der heißen Masse entwickelnden giftigen Dämpfe nicht wenig zu leiden (...). Nach den älteren Methoden arbeitete man mit kleineren Mengen und hatten die Apparate eine solche Einrichtung, daß die Arbeiter sehr stark der Einwirkung der giftigen Dämpfe ausgesetzt waren und die Fabrikation der Anilinfarben hierdurch in den Ruf einer höchst gesundheits-schädlichen Manipulation kam."<sup>137</sup>*

Die eingeführten Schutzmaßnahmen waren höchst unvollkommen:

*"Als Schutzvorrichtung gegen den Arsenstaub wird den Arbeitern persönlich das Umbinden eines Tuches um Mund und Nase empfohlen. Es ist augenscheinlich, daß sich ein solcher Schutz als ungenügend erweist. Der Staub, dessen man sich erwehren will, ist zerfließlich, der Wasserdampf der Respiration verdichtet sich im Tucho, befeuchtet es nach und nach, macht den Staub anhaften und imprägniert die Binde mit Gift, welches alsdann auf Gesicht und Lippen wirkt. Es können auf diese Weise leicht Vergiftungsfälle vorkommen, im günstigsten Falle haftet der Staub auf der Haut fest und zerfrißt sie unter Bildung schmerzhafter Geschwüre."<sup>138</sup>*

Zur Giftigkeit des Arsenik heißt es in einer zeitgenössischen Darstellung, dass 0,1 g arsenige Säure "(...) eine sehr schmerzhaft Vergiftung (erzeugen), die in wenigen Stunden, oft auch erst in einigen Tagen oder Wochen zum Tode führt. Äußerlich ruft Arsenik Geschwüre hervor. Bei Vergiftungen muß sich der Arzt darauf beschränken, den noch nicht von den Organen gebundenen Anteil des Arsensäure unschädlich zu machen, indem er ihn durch Brechmittel aus dem Magen entfernt oder ihn durch Eingabe chemischer Mittel (...) bindet."<sup>139</sup>

Das tonnenweise Hantieren mit giftigen Arsenverbindungen und aromatischen Aminen (Anilin und Toluidine) konnte für die Umwelt nicht folgenlos bleiben. Die Fuchsinfabrikation von J.J. MÜLLER & Cie., einem 1860 in Basel gegründeten Unternehmen, soll als besonders gut dokumentiertes Beispiel unter diesem Aspekt betrachtet werden. In der Fabrik verarbeitete man pro Tag 200 kg Arsensäure; die leicht rot gefärbten Abgänge wurden zweimal täglich, mittags von 12 - 1 Uhr und

136 Vgl. Farbwerke HOECHST AG (Hrsg.): Dokumente aus Hoechster Archiven: H.3: Neunzig Jahre Fuchsin in Hoechst, Frankfurt(M)-Hoechst 1965, S. 8.

137 Bersch, J.: Die Fabrikation der Anilinfarbstoffe, Wien/ Pest/Leipzig 1878, S. 160.

138 Mühlhäuser, O.: Die Fabrikation des Arsensäurefuchsins, in: Dinglers polytechnisches Journal, 266/1887, S. 466.

139 Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. V, 1914, S. 573.

nachts von 10 - 11 Uhr, in einen benachbarten Teich entleert. Vom Baseler Sanitätskollegium beauftragte Gutachter stellten fest:

*"Es fließen ... in den Teich täglich größere Quantitäten der Lösungen höchst giftiger Substanzen: Die Lösung von arsensaurem Natron und in größerer Menge die von arseniksaurem Natron. Mögen auch diese Gifte nach kurzer Zeit in die größere Wassermasse des Rheins geschwemmt werden, so bleibt doch immer ein ängstliches Gefühl vorhanden, wenn man an diejenigen denkt, welche das Teichwasser zu benutzen auch berechtigt sind (...)."*<sup>140</sup>

Tatsächlich wurden bei mehreren Anwohnern Symptome einer Arsenvergiftung festgestellt und im Brunnenwasser unterhalb der Fabrik hohe Arsengehalte nachgewiesen. Auch Tote waren in Folge dieser Brunnenvergiftung zu beklagen.<sup>141</sup>

Auch nach 1880 war das Problem der Arsenbelastung durch die Fuchsinfabrikation keineswegs gelöst. KÖNIG referiert aus einem Bericht über die Verunreinigung des Rheines 1883 durch die Fuchsinfabrik von P. PETERSEN zu Schweizerhalle,

*"(...) daß dieselbe täglich zwischen 700-900 kg oder jährlich 225.000 kg Arsensäure verarbeitet und dabei ein konzentriertes Abwasser von intensiv fuchsinroter Farbe und saurer Reaktion abläßt, welches 18,8 g Arsensäure und 29,45 g arsenige Säure pro 1 Liter enthält. In dem Abwasser aus dem Sammler fand er 7,52 g arsenige Säure pro Liter und in einem teigigen Rückstande nach dem Austrocknen 14,7% Arsenverbindungen als arsenige Säure berechnet."*<sup>142</sup> Über die Wirkung dieses Abwassers heißt es dann: *"(...) daß dasselbe kleine Fische sofort tötete."*

Selbst in hundertfacher Verdünnung starb ein kleiner Fisch nach 4 Stunden.<sup>143</sup>

Die Situation veranlasste die Obrigkeit zum Eingreifen. Nach einer Verordnung des preußischen Handelsministeriums durften

*"(...) die arsenhaltigen Laugen oder Residua weder den Gewässern durch Gräben oder Kanäle zugeführt, noch in Senkgruben gebracht werden, sondern müssen mit Kalk eingedampft und nur an solche Orte, welche von der Behörde als geeignet anerkannt sind, abgeladen werden. Meistenteils werden derartige Rückstände, wenigstens von Berlin aus, in Fässern in die Nordsee von den Schiffen aus über Bord geworfen."*<sup>144</sup>

Das klappte nur bedingt: In einem Bericht aus dem Jahr 1887 heißt es dazu, dass

*"(...) die Versenkung der Rückstände ins Meer nur den in nächster Nähe desselben gelegenen Fabriken möglich (ist). In der Tat entledigt sich der größte Teil der englischen Werke (...) in dieser Weise der Rückstände. Die inländischen Werke, sofern dieselben in abgelegener Gegend und an großen wasserreichen Strömen angelegt sind, häufen ihre festen Rückstände heute noch wie vor 25 Jahren auf der Halde an oder verstürzen sie in Gruben und lassen die mit Kalk versetzten, zum größten Teil des Arsenes beraubten Laugen in den Strom ablaufen."*<sup>145</sup>

140 Koelner, P.: Aus der Frühzeit der chemischen Industrie Basels, Basel 1937, S. 115 ff.

141 Vgl. Osterroth, D.: Soda, Teer und Schwefelsäure, Reinbek 1985, S. 77.

142 König, J.: Die Verunreinigung der Gewässer, Berlin 1887, S. 627.

143 Vgl. ebd., S. 330 f.

144 Schützenberger, M. P.: Die Farbstoffe, Berlin 1868, S. 458 f.

145 Mühlhäuser, O., a.a.O., S. 466 ff, S. 560.

Da Fuchsin trotz seiner gifträchtigen Herstellungsweise zum Färben von Likören, Konfitüren, Fruchtsäften, Tafeleis oder Rotwein verwendet wurde, ist es nicht verwunderlich, dass zahlreiche Vergiftungsfälle beschrieben sind, die auf Arsen zurückzuführen waren, das mit dem Fuchsin in die derart verschönten Produkte gelangt war.<sup>146</sup> So erlitt eine Färberfamilie nach dem Verzehr von Kartoffeln so schwere "Magen-Darm-Entzündungen", dass die drei Kinder starben. Der Kessel, in dem die Kartoffeln gekocht worden waren, war vorher zum Färben von Wollgarn mit Fuchsin benutzt worden. Wollgarn und Kartoffeln erwiesen sich als stark arsenhaltig.<sup>147</sup> Die Arsenkonzentrationen in käuflichem Fuchsin waren beachtlich. In zwei Proben wurden beispielsweise 2,07% arsenige Säure und 7,59% Arsensäure bzw. 1,01% und 4,47% gefunden.<sup>148</sup>

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden Arsentrioxid, arsenige Säure und Arsensäure sowie deren Salze nicht nur als akut toxische, sondern auch als krebserregende Arbeitsstoffe gekennzeichnet.<sup>149</sup>

Die rufschädigenden Begleiterscheinungen des Arsensäureverfahrens animierten die Farbenfabriken zur Suche nach einem weniger gefährlichen Verfahren zur Fuchsinherstellung. Diese Bemühungen wurden durch einen 1869 vom preußischen "Verein zur Förderung des Gewerbefleißes" ausgeschriebenem Wettbewerb unterstützt:

*"1. Goldene Denkmünze und 1000 Taler für Auffindung eines Mittels, welches anstatt der Arsensäure zur Darstellung des Fuchsins angewendet werden kann. Das Surrogat soll weniger gefährlich sein als die Arsensäure. Die Anwendung desselben darf die Kosten für die Produktion nicht steigern. Die damit erzeugten Farben dürfen den mit Arsensäure bereiteten weder an Schönheit des Tones noch an Ergiebigkeit nachstehen;"*

In dem gleichen Wettbewerb wurde auch ein Preis für die Entwicklung eines Recyclingverfahrens für die Arsenrückstände ausgeschrieben:

*"3. Goldene Denkmünze und 2000 Taler für ein Verfahren, die Arsenrückstände der Anilinfabrikation unschädlich und für die Industrie wieder nutzbar (zu) machen."<sup>150</sup>*

Adolf BRÜNING von den Farbwerken Meister, Lucius & Brüning (ML&B) in Hoechst teilte in den Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft 1873 die Entwicklung einer alternativen Methode zur Darstellung von Fuchsin aus Nitrobenzol (-toluol) und Anilin (Toluidin) unter Vermeidung von Arsensäure mit.<sup>151</sup> Bei der Produktionsaufnahme in Hoechst 1872 traten allerdings Probleme auf. Das Verfahren konnte erst 1876 mit Gewinn eingesetzt werden.<sup>152</sup>

146 Vgl. Grandhomme, W., a.a.O., S. 35.

147 Vgl. ebd., S. 31.

148 Vgl. Wagners Jahresberichte der chemischen Technologie 15/1869, S. 572.

149 Vgl. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung Dortmund: MAK-Werte 1981, Dortmund 1981, Anhang III.

150 Schützenberger, M. P., a.a.O., S. 607.

151 Brüning, A. (1873a): Darstellung des Fuchsins, in: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 6/1873, S. 25 f. Brüning, A. (1873b): Antwort auf COUPIER's Bemerkungen über die Darstellung des Fuchsins ohne Arsensäure, in: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 6/1873, S.1072.

152 Farbwerke HOECHST AG (Hrsg.), a.a.O., S. 34.

Beim Nitrobenzolverfahren ersetzte das Nitrobenzol die Arsensäure als Oxidationsmittel. Nitrobenzol ist das Zwischenprodukt bei der Herstellung von Anilin aus Benzol. Es war daher für die Farbenhersteller leicht verfügbar.

Gegen Ende der 1870er Jahre produzierten in Deutschland erst drei, allerdings größere Farbenfabriken Fuchsin nach dem Nitrobenzolverfahren. Das waren die Farbwerke in Hoechst (ML&B), die Badische Anilin- und Sodafabrik (BASF) und die Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation (Agfa) in Berlin. Neben Vorurteilen und technischen Schwierigkeiten haben vor allem Kostenargumente eine allgemeine Durchsetzung des neueren, arsenfreien Prozesses verhindert. Nitrobenzol war teurer als die Arsensäure. 1879 wandte noch die Mehrzahl der Farbenfabriken das Arsensäureverfahren an und nur Unternehmen, die ihr Nitrobenzol selber herstellten, produzierten Fuchsin ohne Arsensäure. Mit der Entwicklung des Nitrobenzolverfahrens war die Verwendung von Arsen nur eingeschränkt, aber noch lange nicht beendet worden.<sup>153</sup>

Für die Arbeiter und die Umwelt war der Ersatz von Arsensäure durch Nitrobenzol nur eine relative Verbesserung.

Nitrobenzol ("Mirbanöl"), das erstmals 1834 von Eilhard MITSCHERLICH (1794-1863) aus Benzol und Salpetersäure erhalten wurde, ist ein starkes Blutgift ("Blausucht"), schädigt das Zentralnervensystem und den peripheren Stoffwechsel und führt zu Hautreizungen mit Ekzemen. In ULLMANNs Lexikon der technischen Chemie wurde seine Giftigkeit 1915 so beschrieben:

*"Das Nitrobenzol ist wie alle Nitroverbindungen giftig und kann sowohl durch die Haut als auch durch die Atmungs- und Verdauungsorgane vom Körper aufgenommen werden. Die Vergiftungsscheinungen können sich nach 8-24 Stunden einstellen. In leichten Fällen erzeugt Nitrobenzol Kopfschmerz, Schwindelgefühl, bei schweren Vergiftungen Angstgefühl, Erbrechen, Lähmungsscheinungen und Konvulsionen."*<sup>154</sup>

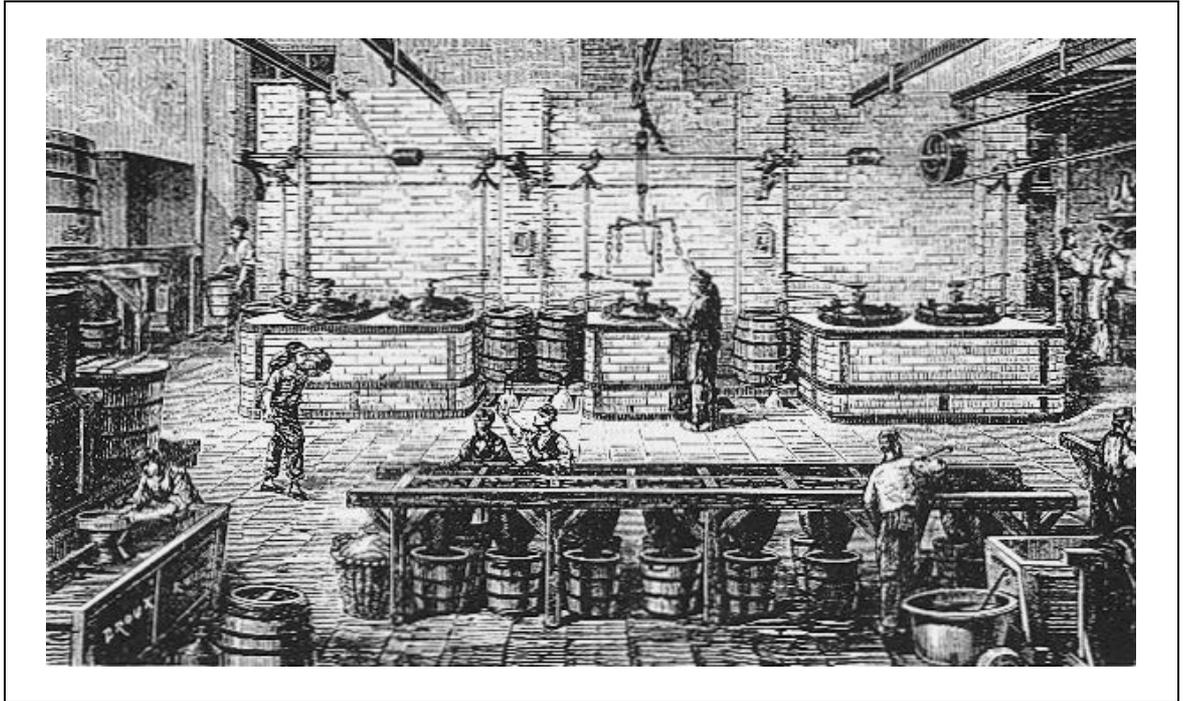
Heute darf Nitrobenzol in der Luft am Arbeitsplatz einen Arbeitsplatz-Grenzwert (früher MAK-Wert) von 5 Milligramm pro Kubikmeter nicht überschreiten.

Im Abwasser und in den Produktionsrückständen sind Nitrobenzol und andere Nitroaromaten kaum weniger problematisch als Arsenverbindungen.

---

153 Häusermann, C.: Zur Fabrication des Fuchsins nach der Methode von Coupier, in: Verhandlungen zur Beförderung des Gewerbefleißes, 58/1879, S. 123 f.

154 Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. II, 1915, S. 376.



**Abb. 7.1: Teerfarbenfabrikation um 1870**

Quelle: Holzstich aus: L'illustration Journal universel, Band 64, Paris 1874.

## Entstehung der deutschen Teerfarbenindustrie

Von 1860 an kam es in Deutschland zur Gründung einer größeren Zahl von Teerfarbenfabriken. 1863 gründeten die Chemiker Eugen LUCIUS und Adolf BRÜNING mit den Kaufleuten Wilhelm MEISTER und August MÜLLER in Hoechst bei Frankfurt eine "Rotfabrik", die in den ersten Jahren täglich etwa zehn Pfund Fuchsin nach dem Arsensäureverfahren produzierte. Die Firma wurde unter dem Kürzel ML&B (Meister, Lucius & Brüning) und später unter dem Namen Farbwerke HOECHST bekannt.

Im gleichen Jahr gründeten der Kaufmann Friedrich BAYER und der Färber Johann Friedrich WESKOTT in Barmen eine Fabrik zur Fabrikation von Anilinfarben, die Firma Friedr. BAYER & Co. Die Fuchsinproduktion stieg 1865 bereits auf fünfzig bis hundert Pfund täglich und 1866 erwarb BAYER in Elberfeld ein Grundstück für eine neue Fuchsinfabrik.

Die deutsche Teerfarbenindustrie profitierte zunächst vor allem von der Nachahmung englischer oder französischer Verfahren und Produkte. Ein wirksamer Patentschutz war in den deutschen Staaten nicht zu erreichen. So konnten sich hiesige Unternehmungen ihren Anteil an dem großen Markt für die neuen Farbstoffe sichern, zumal in Deutschland die Industrialisierung und damit die Expansion der Textilproduktion in dieser Zeit gerade erst begonnen hatte.

Solange die Größe der Betriebe den Umfang von Werkstätten, wie sie Gerber oder Färber betrieben, kaum überschritt und die Produktionsverfahren noch weitgehend empirisch waren, konnte jeder einigermaßen kapitalkräftige Unternehmer mit etwas gewerblich-chemischen Kenntnissen eine Farbenfabrik errichten. Immer neue Produzenten drängten auf den Markt, imitierten die Produkte der Konkurrenz, entwickelten neue Farbstoffvarianten oder ersannen rentablere Produktionsmethoden.

Bald kristallisierten sich jedoch ökonomisch überlegene Betriebe mit eigener Vorproduktherstellung, eigenem Vertriebssystem und Kontakten zur wissenschaftlichen Forschung heraus, die die Mehrzahl der übrigen Bewerber vom Markt verdrängten. Neben Faktoren, die auch in anderen Branchen zur wirtschaftlichen Konzentration führten, wie bessere Kapitalausstattung oder effektivere Betriebsorganisation, wurde in der chemischen Industrie die Verfügung über technisch umsetzbare wissenschaftliche Erkenntnisse ein wichtiger Faktor.

Besonders erfolgreich nutzte die Badische Anilin- und Sodafabrik (BASF) die Chancen, die sich für den neuen Industriezweig boten. Die BASF hat ihre Wurzeln in der 1861 gegründeten "Chemischen Fabrik Dyckerhoff, Clemm & Comp.", 1863 umbenannt in "Sonntag, Engelhorn & Clemm". Treibende Kraft in diesen Unternehmungen, die sich mit der Teerfarbenerzeugung beschäftigten, war Friedrich ENGELHORN (1821-1902), der bereits seit 1848 an der Errichtung einer Gasanstalt beteiligt war und daher mit dem Teer und mit dessen Aufbereitung und Weiterverarbeitung vertraut war. Mit den Brüdern CLEMM waren zwei Chemiker aus der Schule LIEBIGs an ENGELHORNS Unternehmen beteiligt. Um sich gegenüber der zahlreich heranwachsenden Konkurrenz Wettbewerbsvorteile zu verschaffen, strebte

ENGELHORN die Produktion der für die Teerfarbenfabrikation erforderlichen anorganischen Grundchemikalien in eigener Regie an. Für die hierzu erforderliche Betriebsausweitung reichten die Mittel von ENGELHORN und seinen Teilhabern nicht aus. Für die Finanzierung des Vorhabens konnte das Bankhaus LADENBURG gewonnen werden. Weitere wichtige Teilhaber waren die Stuttgarter Farbenhändler Rudolph KNOSP und Gustav SIEGLE. KNOSP hatte schon 1859 von William PERKIN das Alleinverkaufsrecht für Mauvein "in Deutschland, Preußen, Österreich, der Schweiz, Frankreich, Belgien und Holland"<sup>155</sup> erworben. Außerdem fabrizierte er seit 1859 Anilinolett und Fuchsin und war damit der erste deutsche Teerfarbenfabrikant. Die Beteiligung der Farbenhändler KNOSP und SIEGLE sicherte dem 1865 als Aktiengesellschaft gegründeten Unternehmen von vornherein einen breiten Absatz.

Der Standort am Ludwigshafener Rheinufer war nahezu ideal. Der Rhein lieferte Brauch- und Kühlwasser, diente zur Aufnahme der Abwässer und verband das Unternehmen als zentrale Wasserstraße mit Rohstofflieferanten und Absatzgebieten. Nach dem Bau der Rheinbrücke bei Ludwigshafen 1867 war die Firma an das Eisenbahnnetz angeschlossen. Die bedeutendsten Zentren des damaligen Farbenhandels, Frankfurt a.M. und Stuttgart, waren so gleichermaßen gut erreichbar. Auch der große französische Wirtschaftsraum war gut zu erreichen. Dank der guten finanziellen Ausstattung wurde ein großzügiger Aufbau der neuen Fabrikanlagen am Ludwigshafener Rheinufer möglich.

Die wichtigsten Betriebsteile waren im organischen Bereich

- die Anlagen zur Herstellung von Anilin aus Benzol und die Farbenfabrikation.

Die anorganischen Fabriken, die etwa zwei Drittel des Betriebsgeländes beanspruchten, umfassten eine

- Schwefelsäurefabrik, die nach dem Bleikammerverfahren arbeitete,
- Eine LEBLANC-Sodafabrik einschließlich der Nebenbetriebe zur Herstellung von Natronlauge und Chlor bzw. Chlorkalk und eine

---

155 Schuster, C.: Vom Farbenhandel zur Farbenindustrie, Schriftenreihe des Firmenarchivs der BASF, Bd. 11, Ludwigshafen 1973, S. 43 f.

- Salpetersäureanlage.<sup>156</sup>

Obwohl die anorganischen Chemikalien mengenmäßig den größten Teil der Produktion ausmachten, brachten die Farbstoffe und darunter vor allem das Fuchsin die größten Gewinne. Die Jahresproduktion an Fuchsin stieg von 1865 bis 1871 von 50 auf 100 Tonnen.

## Die Alizarinsynthese

1868 entdeckten Carl GRAEBE (1841-1927) und Carl LIEBERMANN (1842-1914), Mitarbeiter von Adolf von BAEYER (1835-1917) am Berliner Gewerbeinstitut, der späteren Technischen Hochschule, dass die Grundstruktur des natürlichen Krappfarbstoffes, des Alizarins, der des Teerbestandteils Anthracen gleicht. Krapp, ein Rötengewächs, war die wichtigste roten Farbstoff liefernde Färbepflanze. Der Krappanbau wurde im 18. und 19. Jahrhundert vor allem in Frankreich stark ausgedehnt, noch gefördert durch LOUIS PHILIPPE (1773-1850), "Bürgerkönig" von 1830 bis 1848, der befohlen hatte, die Militärhosen mit Krapp rot zu färben.<sup>157</sup>

Im Januar 1869 konnten GRAEBE und LIEBERMANN berichten, dass ihnen die Synthese von Alizarin aus Anthracen gelungen sei. Ihnen war die Tragweite ihrer Entdeckung bewusst:

*"Von welcher Wichtigkeit unsere Entdeckung für die Krappindustrie sein wird, wenn es gelingt, dieselbe technisch verwendbar zu machen, brauchen wir nicht ausführlich hervorzuheben. Der enorme Verbrauch von Krapp in der Kattundruckerei, die großen Strecken fruchtbaren Bodens, die zu dessen Anbau nötig sind, sprechen hinreichend klar für die Bedeutung, welche ein neuer Industriezweig erlangen würde, der auf der künstlichen Darstellung des Alizarins aus einem Bestandteil der Steinkohle beruht."*<sup>158</sup>

Sie wussten aber auch, dass ihnen für die eigenständige Realisierung einer technischen Alizarinsynthese die ökonomische Grundlage fehlte. Nachdem sich GRAEBE und LIEBERMANN ihre Entdeckung durch Patente in England, Frankreich, Amerika und Preußen hatten sichern lassen, traten sie zunächst erfolglos mit den Farbwerken HOECHST in Verbindung. Die Übernahme der Alizarin-Synthese durch HOECHST scheiterte daran, dass die Firma nicht auf LIEBERMANNs Forderung nach Umsatzbeteiligung eingehen wollte und nur eine Beteiligung am Reingewinn anbot.<sup>159</sup>

Durch Vermittlung von Heinrich CARO traten GRAEBE und LIEBERMANN dann mit der BASF in Verbindung. Der Chemiker CARO war nach erfolgreicher Arbeit in einer englischen Farbenfabrik in Manchester nach Deutschland zurückgekehrt. Er trat 1868 in die Geschäftsleitung der BASF ein, um dort die Aufgaben eines "Forschungsleiters" zu übernehmen.

GRAEBE und CARO arbeiteten mit Hochdruck an der Entwicklung eines wirtschaftlichen Verfahrens für die Alizarinsynthese. Am 25.6.1869 meldeten sie ihr Verfahren in England zum Patent an. England war damals mit seiner hochentwickelten Textilindustrie der wichtigste Farbstoffverbrau-

156 Vgl. Nagel, Alfred v., a.a.O., S.7 ff.

157 Vgl. Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. V, 1914, S. 308.

158 Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, 2/1869, S. 14 u. S. 334.

159 Vgl. Farbwerke HOECHST AG (Hrsg.): Dokumente aus Hoechster Archiven: H.1: Woran die Übernahme der Alizarin-Synthese von Graebe durch Hoechst scheiterte, Frankfurt(M)-Hoechst 1964.

cher, der etwa ein Drittel der gesamten Krapperte verarbeitet. Nur einen Tag später meldete William H. PERKIN, der mit dem Mauvein den ersten Teerfarbstoff industriell erzeugt hatte, ein ganz ähnliches Verfahren für die Alizarinsynthese zum Patent an. Diese Tatsache und der Umstand, dass auch Ferdinand RIESE bei den Farbwerken HOECHST im April 1869 ein Verfahren zur Herstellung von Alizarin gefunden hatte, zeigt, wie sehr die Alizarinsynthese damals "in der Luft lag".

In Preußen wurde der Patentantrag von CARO, GRAEBE und LIEBERMANN abgewiesen. Damit konnten in Deutschland von Anbeginn mehrere Konkurrenten die Alizarin-Synthese aufnehmen. In England einigten sich die Vertreter der BASF mit PERKIN über eine Respektierung der gegenseitigen Patente und eine Aufteilung des Marktes.

Da infolge des fehlenden Patentschutzes gleichzeitig mehrere Konkurrenten in Deutschland die Alizarinproduktion aufnahmen, kam es zu einem schnellen Anstieg der Produktionsmenge bei gleichzeitig stark sinkenden Preisen. Die Produktionsmenge stieg von 15 Tonnen 1871 auf 750 Tonnen 1877, berechnet auf den reinen Farbstoff.<sup>160</sup> In der gleichen Zeit fiel der Preis für ein Kilogramm 10%iger Paste von 13-14 Mark auf 3,50 Mark. In Folge des jähen Preisverfalls erfolgten schließlich Preisabsprachen, die so genannten Konventionen. 1881 wurde die erste Alizarin-Konvention von sieben deutschen und einer englischen Firma abgeschlossen. 1900 folgte die zweite Alizarin-Konvention mit MEISTER, LUCIUS & BRÜNING (ML&B, HOECHST), BASF, BAYER und British Alizarin Co. als Mitgliedern.<sup>161</sup>

Mit dem immer preisgünstiger auf den Markt drängenden synthetischen Alizarin konnte der natürliche Krapp nicht lange konkurrieren. Der Krappanbau kam innerhalb kurzer Zeit nahezu vollständig zum Erliegen.

Die Grundstoffe der Alizarinsynthese, das Anthracen, beziehungsweise das daraus gewonnene Zwischenprodukt Anthrachinon, wurden zum Ausgangspunkt einer neuen Klasse synthetischer Farbstoffe, der Klasse der Anthrachinonfarbstoffe. Herausragender Vertreter dieser Farbstoffklasse ist das Indanthrenblau, das wegen seiner hohen Wasch- und Lichtechtheit besondere Bedeutung erlangte. Seit 1923 wird die Bezeichnung "Indanthren" als Handelsname für Farbstoffe beliebiger Struktur verwendet, die bestimmten Qualitätsanforderungen genügen.

## Farbenindustrie und Wissenschaft

Die bis Anfang des 19. Jahrhunderts erarbeiteten theoretischen Grundlagen der Chemie, der von LAVOISIER formulierte Elementbegriff, die DALTONSche Atomtheorie und die Stöchiometrie lieferten die Methoden, mit denen aus den Ergebnissen exakter qualitativer und quantitativer Analysen die elementare Zusammensetzung organischer Substanzen ermittelt werden konnte. An dieser Entwicklung hatte Justus von LIEBIG unter anderem durch die Entwicklung spezieller Analyseapparate beträchtlichen Anteil. Man erkannte beispielsweise, dass Benzol nur aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut ist. Weiter konnte aus experimentellen Ergebnissen darauf geschlossen werden, dass ein Molekül Benzol aus sechs Atomen Wasserstoff und sechs Atomen Kohlenstoff besteht. Diese Erkenntnis wurde in Form der so genannten Summenformel, für Benzol

---

160 Vgl. Welsch, F.: Geschichte der chemischen Industrie, Berlin 1981, S. 69.

161 Vgl. Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. I, 1914, S. 205.

$C_6H_6$ , dargestellt. Die Summenformeln lieferten eine erste Möglichkeit, organische Stoffe systematisch zu erfassen.

Bei der Untersuchung von Farbstoffen, Wirkstoffen aus Heilpflanzen und anderen organischen Naturstoffen erkannte man interessante Ähnlichkeiten mit Stoffen, die man aus dem Steinkohlenteer isolieren konnte. So wurde Anilin erstmalig 1826 von Otto UNVERDORBEN (1806-1873) bei der Zersetzung von Indigo, dem wirtschaftlich wichtigsten Farbstoff der damaligen Zeit, erhalten. Er nannte den neuen Stoff "Krystallin". Friedlieb Ferdinand RUNGE (1794-1867) erhielt 1834 das Anilin bei der Destillation von Steinkohlenteer. Er nannte den Stoff nach dem griechischen Wort für Veilchenblau "Kyanol", nachdem er beobachtet hatte, dass Anilin mit Chlorkalk eine veilchenblaue Färbung ergab. 1842 erhielt Nicolai N. ZININ (1812-1880) bei der Reduktion von Nitrobenzol Anilin, das er "Benzydam" nannte. Ein Jahr später konnte HOFMANN zeigen, dass alle drei Produkte untereinander identisch sind.<sup>162</sup>

Die Ähnlichkeit von Reaktionsprodukten pflanzlicher Stoffe und Teerbestandteilen ist nicht weiter verwunderlich, wenn man bedenkt, dass Kohle ein unter Druck und bei erhöhten Temperaturen aus dem organischen Material prähistorischer Wälder entstandenes Stoffgemisch ist. Als dieser Zusammenhang durch geologische und chemische Forschungen immer klarer wurde, entstand frühzeitig die Vision, man könne wertvolle Naturstoffe aus Kohlebestandteilen synthetisch herstellen.

1828 war Friedrich WÖHLER (1800-1882) die Synthese des Harnstoffs als erste Synthese eines organischen Naturstoffs gelungen. Es folgten eine Reihe weiterer Naturstoffsynthesen und in den vierziger Jahren des 19. Jahrhunderts äußerte sich Justus v. LIEBIG in seinen berühmten "Chemischen Briefen" optimistisch über die Möglichkeit, wirtschaftlich bedeutende organische Naturstoffe aus Teerinhaltstoffen synthetisch herzustellen.

Hierzu bedurfte es jedoch zunächst einer weiteren Verfeinerung der wissenschaftlichen Grundlagen. Auf der Basis von Summenformeln und Ähnlichkeiten chemischer und physikalischer Eigenschaften konnten die Beziehungen zwischen verschiedenen organischen Stoffen, beispielsweise zwischen Benzol und einem Farbstoff, nicht hinreichend genau ermittelt werden, um gezielt Synthesen entwickeln zu können. Dazu mussten exaktere Kenntnisse über den chemischen Aufbau der betreffenden Stoffe gewonnen werden. Es reichte nicht aus, Art und Anzahl der Atome zu kennen, aus denen ein Molekül zusammengesetzt ist. Man musste auch etwas über die Anordnung der Atome in den Molekülen organischer Substanzen wissen, um sie gezielt umwandeln zu können. Dieses Wissen lieferte die klassische organische Strukturtheorie, deren Prinzipien als erster Alexander M. BUTLEROW (1828 - 1886) in einer Rede auf der Jahresversammlung der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte 1861 umfassend dargestellt hat.<sup>163</sup>

Die **Grundannahmen** der Strukturtheorie sind (in moderner Formulierung):

1. Die chemischen Eigenschaften eines Stoffes werden durch die Art, die Menge und die Anordnung der Atome in den Molekülen dieses Stoffes bestimmt. Die Anordnung der Atome, die chemische Struktur, ist in allen Molekülen eines reinen Stoffes gleich.
2. Die Grundfrage der Strukturtheorie lautet: Welche Atome sind mit welchen anderen Atomen wie verbunden?

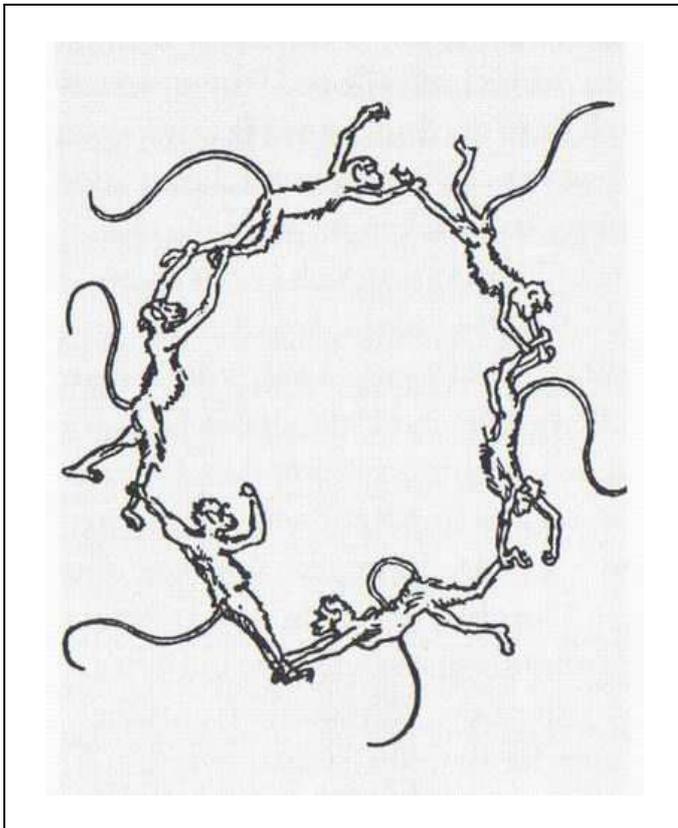
---

162 Vgl. Andersen, A./Spelsberg, G. (Hrsg.): Das blaue Wunder - zur Geschichte der synthetischen Farben, Köln 1990, S. 109.

163 Vgl. Weißbach, H.: Strukturdenken in der organischen Chemie, Berlin 1971.

3. Die Atome der verschiedenen Elemente bilden eine ihrer Wertigkeit entsprechende Zahl chemischer Bindungen aus. Kohlenstoff ist vierwertig, Stickstoff dreiwertig, Sauerstoff zweiwertig und Wasserstoff einwertig.
4. Zwischen zwei Atomen können auch zwei oder drei Bindungen (Doppel- und Dreifachbindungen) ausgebildet werden.
5. Kohlenstoffatome gehen auch miteinander Bindungen ein, dabei können Ringe und Mehrfachbindungen ausgebildet werden.
6. Die Gesamtstruktur eines Moleküls wird bei einer Reaktion in der Regel nur wenig verändert.

Für die Farbstoffchemie war vor allem die Aufklärung der Struktur des Benzols und verwandter Verbindungen (der Aromaten) wichtig. Den entscheidenden Schritt hierzu tat August KEKULÉ (1829 - 1896) mit seiner 1865 veröffentlichten Hypothese, dass die sechs Kohlenstoffatome im Benzolmolekül ringförmig verbunden seien und dass im Benzolring Einfach- und Doppelbindungen abwechselten. Zur Veranschaulichung diente der Kreis von sechs Affen, die sich abwechselnd mit beiden Händen und nur mit einer Hand am Fuß oder den Füßen des vorderen Affen festhalten:



**Abb. 7.2: Der Benzolring als Affenreigen**

Quelle: Karikatur aus: Berichte der durstigen Chemischen Gesellschaft. Unerhörter Jahrgang, Nr. 20 zum 20.9.1886.

Indem die Molekül-Struktur sowohl der Teerbestandteile als auch der Naturfarbstoffe aufgeklärt wurde, konnten die chemischen Beziehungen zwischen diesen Substanzen immer genauer erkannt werden. Der Versuch, aus entsprechenden Teerbestandteilen Naturfarbstoffe synthetisch herzustellen, konnte gewagt werden. Den größten Gewinn versprach dabei die Synthese der bei-

den Naturfarbstoffe, die von größter wirtschaftlicher Bedeutung waren, Alizarin und Indigo. Aber auch die Aufklärung der Struktur der empirisch gefundenen Teerfarbstoffe eröffnete neue Möglichkeiten zur Synthese dieser und weiterer Farbstoffe. Von besonderem Interesse war die Aufklärung der Struktur neuer von der Konkurrenz auf den Markt gebrachter Farbstoffe.

Die wissenschaftliche Chemie eröffnete wirtschaftliche Möglichkeiten, die sich wiederum positiv auf die Entwicklung der Hochschulchemie auswirkten, indem deren Förderung Industrie und Staat gleichermaßen am Herzen lag.

In Deutschland hatte Justus von LIEBIG nach seiner Berufung zum Professor der Chemie an die Universität Gießen 1824 seine besondere Aufmerksamkeit dem Aufbau eines praktischen Laboratoriumsunterrichts für die Studierenden der Chemie gewidmet.

*"Die Begründung des chemischen Unterrichtslaboratoriums ist die Tat LIEBIGs gewesen, die für die deutsche chemische Industrie den schwerwiegendsten Einfluß gehabt hat. (...) Im Verlauf der fünfzig Jahre des halben Jahrhunderts nach LIEBIGs Gießener Gründung haben zuerst die deutschen Universitäten und dann auch die Gewerbeakademien (Techn. Hochschulen) Unterrichtslaboratorien eingerichtet. Über 90 v.H. der jungen Doktoren und Diplom-Ingenieure gehen in die Praxis und sie sind es, die unsere chemische Technik mit wissenschaftlichem Geist erfüllt und damit ihr schnelles Aufblühen bewirkt haben. Ganz besonders vorteilhaft hat sich dieser Nachwuchs in solchen Disziplinen bewährt, bei denen es auf spezifische Feinarbeit ankommt: bei der Fabrikation der Teerfarben und pharmazeutischen Produkte."<sup>164</sup>*

An den organisch-chemischen Instituten der deutschen Universitäten und Technischen Hochschulen wurde die Erforschung der Farbstoffchemie in Kooperation mit den Forschungslaboratorien der großen Teerfarbenfabriken systematisch vorangetrieben. Unter den Farbstoffchemikern dieser Zeit sind vor allem HOFMANN und BAEYER zu nennen.

August Wilhelm HOFMANN kehrte 1865 aus England nach Deutschland zurück und übernahm in Berlin eine Professur, nachdem ihm die preußische Regierung den Bau eines neuen Institutes zugesichert hatte. Über seinen Schüler Carl Alexander von MARTIUS (1838-1920) unterhielt er gute Beziehungen zur Aktiengesellschaft für Anilinfarben (AGFA). Er gründete im Jahr 1867 zusammen mit anderen Hochschulchemikern und Vertretern der chemischen Industrie wie Ernst SCHERING (1824-1889) die "Deutsche Chemische Gesellschaft". Aus der Schule HOFMANNs stammte auch Peter GRIESS (1829-1888), der Entdecker der Azo-Farbstoffe.

Adolf von BAEYER kam als Schüler KEKULÉs 1860 nach Berlin, wo er den Lehrstuhl für organische Chemie am Gewerbeinstitut, der späteren Technischen Hochschule, erhielt. Aus seiner Schule gingen unter anderem GRAEBE und LIEBERMANN, die Entdecker der Alizarinsynthese, hervor.

Zwischen Hochschul- und Industriechemikern entwickelte sich eine enge Kooperation, in deren Rahmen sich die Hochschulchemiker stärker auf die Grundlagenforschung und die Industriechemiker auf die angewandte Forschung spezialisierten. Dieser Kooperation diente auch die Gründung der "Deutschen Chemischen Gesellschaft" (DChG). Sie erfolgte nicht zuletzt, "um auf diese Weise die Allianz zwischen Wissenschaft und Industrie aufs neue zu besiegeln."<sup>165</sup> Eine Vereinigung mit ähnlicher Zielsetzung war der Verein deutscher Chemiker (VDCh), der 1896 auf Antrag des BAEYER-Chefchemikers Carl DUISBERG (1861-1934) aus der "Deutschen Gesellschaft für angewandte

---

164 Rassow, B., a.a.O., S. 10 ff.

165 Burchardt, L.: Die Zusammenarbeit zwischen chemischer Industrie, Hochschulchemie und chemischen Verbänden im Wilhelminischen Deutschland, in: Technikgeschichte, 46/1979, S. 192 ff.

Chemie" hervorgegangen war.<sup>166</sup> Die chemische Industrie war an der Entwicklung der Hochschulchemie aus zwei Gründen interessiert. Sie brauchte wissenschaftlich geschulte Chemiker für ihre eigenen Laboratorien und erhoffte sich von den Ergebnissen der Hochschulforschung Anregungen für neue Synthesen. Zur Sicherstellung ihrer Anforderungen an die Ausbildung der Industriechemiker nahm die chemische Industrie über die Verbände Einfluss auf die Gestaltung der universitären Ausbildungsgänge.

Nicht zuletzt die Kooperation von Industrie- und Hochschulforschung verschaffte der deutschen Farbstoffchemie- und -industrie einen deutlichen Vorsprung auf dem Weltfarbstoffmarkt. Als verstärkte Forschungsanstrengungen im Ausland (insbesondere den USA) diesen Vorsprung zu gefährden drohten und zunehmende Lehrverpflichtungen die Forschungsmöglichkeiten der Hochschullehrer begrenzten, kam die Befürchtung auf, dass umfangreiche Forschungsvorhaben nicht mit hinreichender Intensität verfolgt werden könnten. In der Zeit des aufblühenden Nationalismus zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Schließung dieser "Forschungslücke" zu einer nationalen Aufgabe deklariert, für die fast jedes Mittel angebracht erschien. Seit 1905 betrieb das "Comité Chemische Reichsanstalt" die Errichtung einer chemischen Großforschungseinrichtung nach dem Muster der "Physikalisch technischen Reichsanstalt". Verwirklicht wurden diese Bestrebungen 1912 mit der Gründung des "Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie", dem heutigen Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft. Die Industrie erhoffte von diesem Institut die Lösung größerer Forschungsaufgaben, die für die ganze Branche bedeutsam waren, das Leistungsvermögen einzelner Firmen oder Hochschulinstitute jedoch überstiegen.<sup>167</sup>

## Azo-Farbstoffe

Bereits 1858 entdeckte Peter GRIESS in HOFMANNs Londoner Laboratorium "eine neue Klasse von organischen Verbindungen, in denen der Wasserstoff durch Stickstoff ersetzt ist".<sup>168</sup> Damit begann die Entwicklung der Azo-Farbstoffe (von franz. azote = Stickstoff). Nachdem die Chemie dieser neuen Verbindungsklasse, deren Grundstruktur in der Verknüpfung zweier aromatischer (= benzolähnlicher) Komponenten durch zwei Stickstoffatome besteht, erforscht war, war die Tür zu einer weiteren umfangreichen Farbstoffklasse geöffnet.

Der erste 1863 in den Handel gebrachte Azo-Farbstoff, das Anilingelb, war wegen seiner Säureempfindlichkeit noch von keinem besonderen Wert. Etwas größere Bedeutung erlangte das 1875 von Heinrich CARO synthetisierte und zuerst von der BASF produzierte Chrysoidin, ein basischer Azo-Farbstoff, der auf Baumwolle ein "billiges, unechtes Orange, das durch Nachkupfern und Nachchromieren etwas echter wird", ergab.<sup>169</sup> BAYER brachte seinen ersten Azofarbstoff mit dem von GRIESS entdeckten Brilliantorange G 1878 auf den Markt. Im gleichen Jahr nahm ML&B die Produktion der von Heinrich BAUM entdeckten roten Ponceau-Farbstoffe auf. Diese Farbstoffe gehören zur Gruppe der sauren Azo-Farbstoffe, die völlig neue Färbverfahren für Wolle ermöglichten. Sie gestatten die überaus einfache direkte Färbung, die zuvor nur mit sehr

---

166 Vgl. ebd., S. 195.

167 Vgl. Burchardt, L., a.a.O., S. 198.

168 Fieser, L./Fieser, M.: Organische Chemie, Weinheim 1968, S. 1798.

169 Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. III, 1916, S. 566.

wenigen Farbstoffen möglich war. Die vorteilhaften Färbereigenschaften der sauren Azo-Farbstoffe überwogen die schlechten Echtheitseigenschaften (geringe Wasch- und Lichtechtheit), die bei der Fabrikation billiger Massenware nicht so wichtig waren. Wirtschaftliche Bedeutung erlangten vor allem die roten Farbstoffe wie Echtrot A und B von der BASF, Ponceau 2R von ML&B oder Crocein-Scharlach von BAYER.

Die Entwicklung der direkt färbenden (substantiven) Baumwollazo-Farbstoffe ermöglichte auch für Baumwollgewebe die Einführung der billigen Direktfärbeverfahren. "Trotzdem die Echtheit der Färbungen anfangs recht viel zu wünschen übrig ließ, verführte das überaus bequeme Färbeverfahren dazu, sich zunächst hierüber hinwegzusetzen, und sehr bald konnten auch Methoden ausgearbeitet werden, um die Echtheit der Färbungen durch eine Nachbehandlung auf der Faser in befriedigender Weise zu erhöhen."<sup>170</sup> Der bekannteste substantive Baumwollazo-Farbstoff ist das von der Agfa (Aktiengesellschaft für Anilinfarben) herausgebrachte Kongorot.

Durch gezielte Variation der beiden aromatischen Komponenten, die aus unterschiedlichen Teerbestandteilen durch chemische Veränderungen in großer Zahl verfügbar gemacht werden konnten, konnte man ein breites Spektrum von Azo-Farbstoffen mit den unterschiedlichsten Farbtönen und Echtheitseigenschaften für die Anwendung auf den verschiedensten Textilien erzeugen.

Die Zahl der von den Teerfarbenunternehmen auf den Markt gebrachten Farben und Farbnuancen ging bereits Ende des 19. Jahrhunderts in die Tausende. Neue Farbnuancen sollten die Mode beeinflussen und dadurch neue Absatzmöglichkeiten erschließen. Neben den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen und der Produktion gewannen die Verkaufsabteilungen, die die Aufgabe hatten, immer neue Märkte zu erschließen und neue Bedürfnisse zu wecken, wachsende Bedeutung als charakteristische Elemente der chemischen Industrie.

Die Teerfarbenindustrie konnte mit den Azo-Farbstoffen nicht nur die Palette ihrer Textilfarben wesentlich erweitern, sondern auch in andere Verwendungsgebiete vordringen. Dimethylaminoazobenzol ("Buttergelb") diente beispielsweise lange Zeit zum Färben von Speisefetten. Ein anderer Azo-Farbstoff, das Trypanrot, zeigte pharmazeutische Wirkung. 1907 berichtete Paul EHRLICH (1854-1914) von Versuchen, in denen Trypanosomen (im Blut schmarotzende Geißeltierchen) bei Mäusen von diesem Farbstoff offenbar abgetötet worden sind.<sup>171</sup>

Die physiologische Wirkung von Azo-Farbstoffen zeigte sich auch in anderer, unerfreulicher Weise. Das "Buttergelb" erwies sich als ebenso krebserregend wie verschiedene Zwischenprodukte für die Herstellung von Azo-Farbstoffen. Das Buttergelb wurde aus dem Verkehr gezogen, die auf der Basis krebserzeugender aromatischer Amine produzierten Azo-Farbstoffe zunächst nicht. Es etablierte sich - mit welchen Argumenten auch immer - die bis in die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg gültige Lehrmeinung, dass aus krebserzeugenden Komponenten hergestellte Azo-Farbstoffe selber keine krebserzeugende Wirkung entfalten könnten. Zahlreiche experimentelle Studien haben gezeigt, dass Azo-Farbstoffe im lebenden Organismus (auch beim Menschen) abgebaut werden, wobei die krebserzeugenden Zwischenprodukte freigesetzt und physiologisch wirksam werden. Die Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe hat 1988 Azo-Farbstoffe auf Basis krebserzeugender Komponenten in die MAK-Werte-Liste in die Abschnitte IIIA (krebserzeugend) oder IIIB (begründeter Verdacht auf krebser-

---

170 Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. II, 1915, S. 102.

171 Vgl. Fieser, L./Fieser, M., a.a.O., S. 1696.

zeugendes Potential) aufgenommen.<sup>172</sup> Nach den heute gültigen Technischen Regeln für Gefahrstoffe und nach der EU-Richtlinie 2002/61/EG vom 19. Juli 2002 gelten strenge Verwendungsbeschränkungen für Azofarbstoffe, die in krebserzeugende aromatische Amine gespalten werden können (TRGS 614).

Die gefährlichsten Azo-Farbstoffe werden in der Bundesrepublik nicht mehr hergestellt. Als die Chemiekonzerne hier die Produktion einstellten, nahmen jedoch zahlreiche Firmen in Schwellenländern, allein 5 in Indien, dieselbe auf. Über (Textil)Importe können diese krebserzeugenden Farbstoffe doch wieder auf den deutschen Markt gelangen.

Eine andere unschöne Eigenschaft mancher Azo-Farbstoffe ist ihre Allergien auslösende Wirkung. Entgehen kann man dieser Wirkung nur schwer, da einige dieser Farbstoffe als Lebensmittelfarbstoffe eingesetzt werden. Sie sind in Süßigkeiten, Getränken, Konserven und vielen anderen Produkten enthalten. Die Kennzeichnungen der wichtigsten als Lebensmittelfarbstoffe zugelassenen Azo-Farbstoffe sind:

E 102 = Tartrazin (gelb)

E 110 = Gelborange S

E 122 = Azorubin (bläulichrot)

E 123 = Amaranth (tiefrot)

E 124 = Cochenilrot A

E 151 = Brillantschwarz

Tartrazin (E 102) ist in Norwegen verboten. In Deutschland und Österreich wurde ein Verbot im Zuge der gesetzlichen EU-Angleichungen wieder aufgehoben, obwohl der Stoff als allergieauslösend gilt und im Verdacht steht, Hyperaktivität zu bewirken. Amaranth (E 123) steht im Verdacht, Pseudoallergien, Hautreaktionen und Asthma bronchiale auslösen zu können. Es ist daher in den USA und der ehemaligen Sowjetunion nicht als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen.<sup>173</sup>

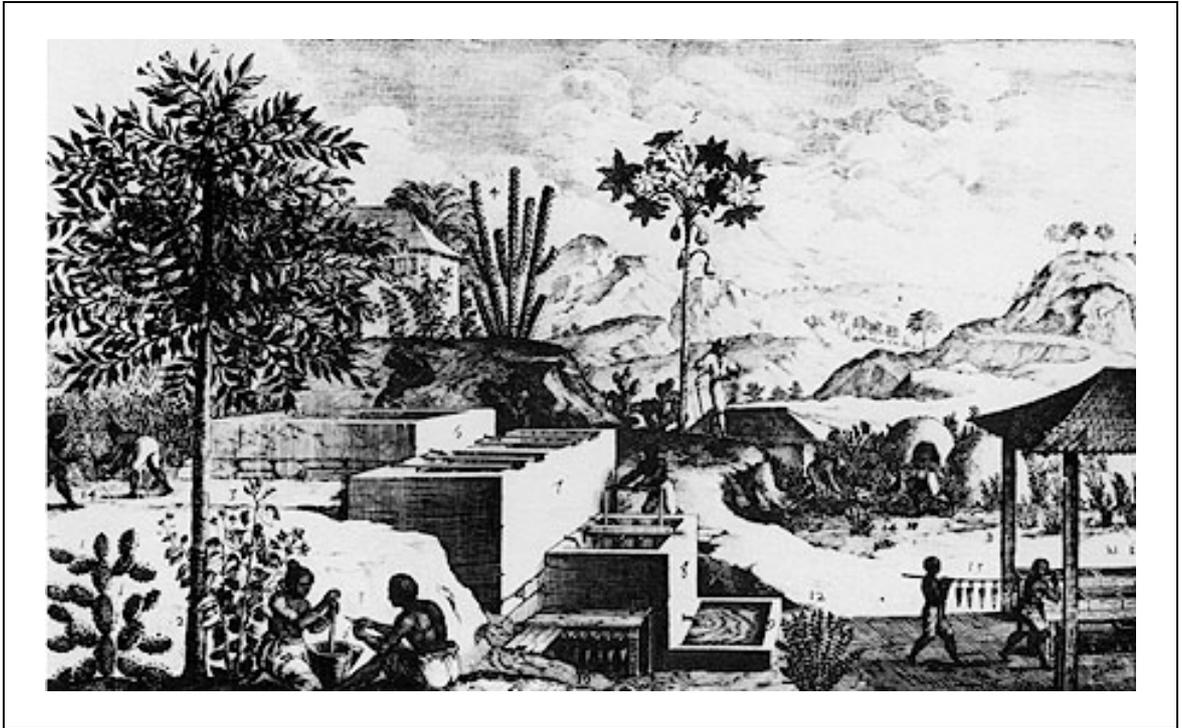
Azo-Verbindungen sind eine der umfangreichsten Stoffgruppen in der Produktpalette der chemischen Industrie. Von den entsprechend dem Chemikaliengesetz angemeldeten etwa 100.000 "Altstoffen", also den Stoffen, die bereits vor Inkrafttreten des Chemikaliengesetzes im Jahr 1982 produziert wurden, sind 5.907 Azo-Verbindungen.

---

172 Vgl. Myslak, Z.: Azofarbmittel auf der Basis krebserzeugender und -verdächtiger aromatischer Amine, in: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, GA 35, Dortmund 1990.

173 <http://de.wikipedia.org/wiki/Tartrazin> und [http://de.wikipedia.org/wiki/Amaranth\\_%28Farbstoff%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Amaranth_%28Farbstoff%29)

## Indigo



**Abb. 7.3: Indigoterie**

Quelle: Labat, J. B.: Nouveau Voyage aux Isles de l’Amerique, Vol. 2, La Haye 1724.

Hatte schon die Synthese des Alizarins große Umwälzungen im internationalen Farbensgeschäft verursacht, so versprach die Synthese des wichtigsten Naturfarbstoffes, des Indigo, dessen Revolutionierung:

*„War das Krapprot die Farbe der Hosen des französischen Militärs, so war das Indigoblau die Farbe der Matrosenuniform und so manchen Waffenrocks. Es war aber auch die Farbe der Arbeitskleidung in Europa und im Fernen Osten: Blau durch Indigo war der Kittel des Fuhrmanns und des chinesischen Bauern. Die jährliche Weltproduktion dieses Naturfarbstoffs betrug in den achtziger Jahren (des 19. Jahrhunderts, d.V.) nicht weniger als 5 Millionen Kilogramm, bezogen auf 100prozentigen Farbstoff. Da der Verkaufspreis bei etwa 20 Mark je Kilogramm Indigo lag, handelte es sich um ein Objekt von etwa 100 Millionen Mark im Jahr.“<sup>174</sup>*

Die Jahresproduktion an Indigo betrug 1896 allein in Indien, dem Hauptanbaugebiet, fast 190 000 Doppelzentner im Wert von mehr als 3,5 Millionen Pfund Sterling. Die Anbaufläche umfasste 1,6 Millionen Acres, das sind ca. 650 000 ha.<sup>175</sup>

Die Strukturaufklärung des Indigos erwies sich als außerordentlich schwierig. Sie gelang erst 1883 Adolf von BAEYER. Von der Strukturbestimmung bis zur großtechnischen Indigosynthese war noch ein weiter Weg zu beschreiten. Die auftretenden Schwierigkeiten waren so groß, dass sich

174 Nagel, Alfred v, a.a.O., S. 30.

175 Vgl. Ullmanns Enzyklopädie, a.a.O., Bd. VI, 1916, S. 504.

nur die beiden seinerzeit führenden Farbenfabriken Deutschlands, BASF und ML&B (HOECHST), an die aufwendige Entwicklung eines Verfahrens zur synthetischen Erzeugung des "Königs der Farbstoffe" wagten.

Die Arbeit an der industriellen Indigosynthese dauerte mehr als 20 Jahre. Zwischen 1880 und 1900 wurden über 30 Verfahren patentiert und allein bei der BASF rund 18 Millionen Mark in die Entwicklung der Indigosynthese investiert. Diese Summe lag in der gleichen Größenordnung wie der gesamte damals in Deutschland mit synthetischem Alizarin erzielte Jahresumsatz.

Um 1900 wurden zunächst in der BASF und dann bei HOECHST verschiedene, den Produktionsstrukturen der beiden Unternehmen angepasste Produktionsverfahren für Indigo in Betrieb genommen. Bei der BASF führte der Weg zum technischen Indigo

*"... von dem reichlich vorhandenen Naphthalin über die mit dem Schwefelsäure-Kontaktverfahren gekoppelte katalytische Phthalsäureherstellung zur Anthranilsäure und damit zum Indigo. Bei der Indigoschmelze ging man vom Ätzkali ... zum leichter zugänglichen Ätznatron über; es stammte aus der eigenen Chlornatrium-Elektrolyse. Im Februar des Jahres 1897 kam die Indigofabrikation in Gang."<sup>176</sup>*

Für das Schwefelsäure-Kontaktverfahren, das zur Sicherung des Bedarfs an konzentrierter Schwefelsäure für die Indigosynthese entwickelt worden war, war ein Großteil der Entwicklungskosten der Indigosynthese bei der BASF aufgewendet worden.

Bei den Farbwerken HOECHST erwies sich ein Verfahren als günstig, bei dem Phenylglycin in der Schmelze mit Natriumamid zu Indoxyl reagiert, das mit Luftsauerstoff zu Indigo weiterreagiert. Natriumamid fiel bei der benachbarten Degussa als Nebenprodukt bei der Gewinnung von Natriumcyanid an, das zur Extraktion von Edelmetallen benötigt wird. Phenylglycin entsteht bei der Reaktion von Anilin mit Chloressigsäure. Anilin war als Standardchemikalie der Farbstoffindustrie verfügbar. Chloressigsäure konnte, nachdem Chlor durch die Entwicklung der Chloralkali-Elektrolyse bei der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron gut verfügbar war, preisgünstig hergestellt werden. Mit den Griesheimern stand ML&B in engen nachbarlichen und geschäftlichen Beziehungen. Später ging die Chemische Fabrik Griesheim-Elektron im HOECHST-Konzern auf.

Im Jahr 1900 importierte Deutschland noch für 20 Mio. Mark Naturindigo. 1905 erreichte der Export der beiden Mitglieder der Konvention für synthetischen Indigo einen Wert von 25 Millionen Mark. Die Produktion von Naturindigo kam binnen kurzer Zeit zum Erliegen.

Der synthetische Indigo konnte die Stellung des Naturindigo als "König der Farbstoffe" nicht dauerhaft übernehmen. Andere blaue Farbstoffe, mit denen sich bei bequemeren Färbeverfahren echte Färbungen erzielen ließen, drohten den Indigo in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts in die Bedeutungslosigkeit absinken zu lassen. Doch dann bescherte die Mode dem Indigo eine unerwartete Renaissance. Mit den "blue jeans" trat das Indigoblau erneut ins Licht der Weltöffentlichkeit.

## Zwischenprodukte

Die Grundstoff- und Zwischenproduktherstellung wurde mit zunehmender Produktvielfalt zu einem immer wichtigeren Bereich der Teerfarbenindustrie. Die Ausgangsstoffe der Farbstoffsynthesen, beispielsweise die Teerbestandteile Benzol, Anthracen oder Naphthalin, sind relativ reaktionsträge

---

176 Nagel, Alfred v., a.a.O., S. 45.

Stoffe. Ebenso sind die Produkte der Synthesen, die Farbstoffe, relativ reaktionsträge. Andernfalls würden sie keine dauerhaften Färbungen ergeben. Im Gegensatz dazu ist bei Zwischenprodukten die Reaktionsfähigkeit gerade die erstrebte Eigenschaft. Durch Reaktion mit hochreaktiven Grundchemikalien wie Schwefelsäure, Salpetersäure oder Chlor werden in die Moleküle reaktionsträger Ausgangsstoffe so genannte funktionelle Gruppen eingeführt. Aus Benzol entsteht beispielsweise bei der Reaktion mit Salpetersäure Nitrobenzol. Die Nitrogruppe kann durch Reaktion mit einem Reduktionsmittel zur Aminogruppe umgewandelt werden. Es entsteht Aminobenzol, besser bekannt als Anilin. Die Reaktion aromatischer Kohlenwasserstoffe mit rauchender Schwefelsäure führt zu Sulfonsäuren, die mit Chlor zu Chloraromaten etc. Zur Einführung von Sauerstoffatomen in aromatische Verbindungen dienen oft Schwermetallverbindungen, beispielsweise Chromsäure oder Quecksilbersalze als Überträger. Da je nach Reaktionsbedingungen eine oder mehrere funktionelle Gruppen in das Molekül der Ausgangssubstanz eingeführt und primär entstandene Stoffe weiteren Reaktionen unterworfen werden können, kann so ein breites Spektrum an Zwischenprodukten mit einer oder mehreren funktionellen Gruppen erzeugt werden.

Die traditionsreichsten Zwischenprodukte der Farbstoffchemie sind das Nitrobenzol und das Anilin. Sie sind die einfachsten Vertreter der Stoffgruppen Nitroaromaten und aromatische Amine. Zur Stoffgruppe der Nitroaromaten gehören neben Zwischenprodukten auch bedeutende Sprengstoffe wie das Trinitrotoluol (TNT). Nitroaromaten werden im Boden leicht zu den entsprechenden Aminen umgewandelt.

Eine sehr umfangreiche Zwischenproduktgruppe ist die Gruppe der Benzolsulfonsäuren. Die Sulfanilsäure (p-Aminobenzolsulfonsäure) wird beispielsweise seit der Frühzeit der Teerfarbenindustrie für die Herstellung von Azofarbstoffen wie Naphtholorange oder Tartrazin, dem heute umstrittenen Lebensmittelfarbstoff E 102, verwendet.

Heute sind in den Benzolsulfonsäuren in vielfältigster Weise Chlor-, Amino-, Amido-, Hydroxy- oder Carboxyl-Gruppen mit der Sulfonsäuregruppe kombiniert. Benzolsulfonsäuren sind Zwischenprodukte für ein breites Spektrum chemischer Produkte: Appreturmittel, optische Aufheller, Beizmittel, Farbstoffe, Gerbstoffe, wasserlösliche Harze, Insektizide, Ionenaustauscher, Netzmittel, Pharmazeutika, polymere Verdickungsmittel, Weichmacher und anderes.<sup>177</sup>

Eine weitere wichtige Gruppe von Zwischenprodukten leitet sich vom Naphthalin, einem der traditionellen Steinkohlenteerprodukte, ab. Durch Sulfonierung, Nitrierung, Halogenierung etc. ist eine Vielzahl von Folgeprodukten herstellbar, die neben ihrer traditionellen Bedeutung für Farbstoffsynthesen heute weitere Verwendung zur Herstellung von Pharmaka, Lösungsmitteln und weiteren Spezialprodukten finden.

Die Herstellung von Zwischenprodukten wie den Benzolsulfonsäuren geschieht in der Regel in großen standardisierten Rührkesseln. Nach jedem Produktionsansatz muss der Kessel entleert und gereinigt werden, die Produkte werden von der Reaktionslösung meist durch Filtration abgetrennt. Bei diesen Verfahrensschritten entstehen ebenso wie bei der Weiterverarbeitung große Mengen an Abwässern, die mit den Zwischenprodukten, Hilfschemikalien und Nebenprodukten belastet sind. Früher wurden diese giftigen und umweltschädigenden Abwässer einfach in den nächsten Fluss geleitet. Seit den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts hat die deutsche Chemische Industrie für die Abwasserreinigung große Investitionen getätigt. Obwohl die Chemieabwässer insbesondere durch die vorgeschaltete Eliminierung von Schwermetallen und halogenorganischen Verbindungen und die Installierung von biologischen Behandlungsstufen erheblich "entschärft" werden

---

177 Vgl. Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 5. Aufl., Bd. A3, 1985, S. 507 f.

konnten, bleiben im Bereich der Zwischenprodukte ernsthafte Probleme offen. Gerade Chlor-, Nitro- oder Amino-Benzolsulfonsäuren zeichnen sich durch eine gute Wasserlöslichkeit und eine schlechte biologische Abbaubarkeit aus.<sup>178</sup>

In Entwicklungs- beziehungsweise Schwellenländern, in denen weiter Produkte hergestellt werden, die in den entwickelten Ländern aus gesundheitlichen und/oder ökologischen Gründen aus dem Produktionsprogramm genommen wurden, dürften die von der Zwischenproduktchemie verursachten Abwasser- und Abfallprobleme immer noch gravierend sein.

Die katastrophalen Umweltbelastungen, die der größte Zwischenprodukte- und Farbstoffhersteller der ehemaligen DDR, das Chemiekombinat Bitterfeld, hinterlassen hat, erforderten ein aufwendiges Altlastensanierungsprogramm.

## Expansion der deutschen Teerfarbenindustrie

Zur Finanzierung von aufwendigen Forschungs- und Entwicklungsprogrammen und umfangreichen Produktionsanlagen wurden immer größere Kapitalmengen benötigt, die auch bei sehr guten Gewinnen bald nicht mehr von Einzelunternehmern aufgebracht werden konnten. Die zur Ausschöpfung der neuen Möglichkeiten der Chemie erforderlichen Finanzmittel konnten nur durch Gründung von Aktiengesellschaften beschafft werden. Diese Gesellschaftsform war in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Zusammenhang mit dem Entstehen von Großbanken ohnehin im Kommen. Das Aktiengesetz von 1870, mit dem die staatliche Konzessionspflicht aufgehoben wurde, erleichterte die Gründung. Die Entstehung eines großen Wirtschaftsraumes mit der Reichsgründung 1871, der weitere Ausbau des Eisenbahnnetzes und der Kapitalzustrom durch die französischen Kriegskontributionen nach dem deutsch-französischen Krieg 1870/71 waren ebenfalls günstige Faktoren für das Gedeihen neuer Industrien.

Die Textilindustrie, die sich in Deutschland erst in der Mitte des 19. Jahrhunderts voll entwickelte, bot der Teerfarbenindustrie nicht nur einen expandierenden Absatzmarkt, sondern sorgte durch die massenhafte Verdrängung handwerklicher Produzenten auch mit dafür, dass der neuen Industrie selbst bei abstoßenden Arbeitsbedingungen genügend Arbeitskräfte zur Verfügung standen.

Der steigende Farbstoffbedarf wurde in Deutschland bis zur Entwicklung der synthetischen Farbstoffe fast ausschließlich durch Importe gedeckt. Krapp, tropische Farbhölzer und Indigo waren Produkte, die in Deutschland nicht erzeugt werden konnten und auch nicht aus eigenen Kolonien erhältlich waren. Im Gegensatz zu England, dem der Kolonialhandel mit Indigo und anderen Farbstoffen große Gewinne brachte, war in Deutschland ein politisch motiviertes Interesse an der Entwicklung synthetischer Farbstoffe vorhanden. Mit den sich gegen Ende des 19. Jahrhunderts verschärfenden Konflikten zwischen Deutschland und England wurde jeder Schritt, der aus der Abhängigkeit von britisch beherrschten Lieferungen führte, als nationale Großtat gefeiert und politisch entsprechend gefördert. In diesem Klima wuchsen der Teerfarbenindustrie frühzeitig Aufgaben "vaterländischer Pflichterfüllung" zu.

Um diese Aufgaben im rechten Einklang zwischen Staat und Industrie erfüllen zu können und "sich ihren Einfluß auf das umfassende Reformwerk (des Reichsaufbaus, d.V.) zu sichern" gründeten 1877 führende chemische Großbetriebe den "Verein zur Wahrung der Interessen der chemischen

---

178 Vgl. Kaltenmeier, D.: Abwasserreinigung nach dem Stand der Technik in chemischen Großbetrieben, in: Korrespondenz Abwasser, 5/90, S. 534 ff.

Industrie" (VWI). Erklärtes Ziel des Vereins war es, ein einheitliches Vorgehen der Chemieunternehmer gegenüber Staat und Öffentlichkeit zu ermöglichen und Einfluss in Fragen der Steuer-, Zoll- und Patentgesetzgebung sowie der Sozialgesetzgebung zu gewinnen.<sup>179</sup>

Die Entwicklung der Patentgesetzgebung war für die Teerfarbenindustrie von besonderer Bedeutung. Die großen Gewinne, die bei der Produktion und Vermarktung eines "Volltreffers" systematischer chemischer Forschungsarbeit winkten, waren gefährdet, solange neue Produkte und neue Verfahren nicht wirkungsvoll gegen Nachahmung geschützt werden konnten. Der Preisverfall des patentrechtlich nicht abgesicherten Alizarins, der nur durch Kartellabsprachen halbwegs aufgehalten werden konnte, war ein die führenden Teerfarbenfabriken schreckendes Beispiel.

1877 wurde das deutsche Patentgesetz verabschiedet, das unter dem maßgeblichen Einfluss der Chemie- und Elektroindustrie zustande kam. Das deutsche Patentgesetz schützte im Gegensatz beispielsweise zu den französischen Bestimmungen nicht den Stoff, sondern das Verfahren. Diese Regelung gestattete es Großbetrieben mit entsprechender Forschungskapazität, für lukrative Produkte der Konkurrenz neue Syntheseverfahren zu entwickeln und damit selber auf den Markt zu kommen. Eigene Neuentwicklungen konnten durch Patentierung mehrerer Synthesewege geschützt werden. Diese Form des Patentrechts war eindeutig auf die Interessen der Großindustrie zugeschnitten. Kleine Firmen oder einzelne Erfinder verfügten nicht über die Forschungskapazitäten, die zur Aufklärung und patentrechtlichen Absicherung aller möglichen Synthesewege zu einem neuen Produkt erforderlich waren. Auch die Einführung des "Vorprüfverfahrens" anstelle eines einfachen Anmeldeverfahrens begünstigte die Großunternehmen. Die für die Vorprüfung chemischer Patente erforderlichen Versuche, die von dem Patentamt nicht selber ausgeführt werden konnten, wurden den "sachverständigen Interessenten" übertragen. Das waren vor allem die Werklabors der Großunternehmen.<sup>180</sup> Die meisten Patente, die den Teerfarbenfabriken in den ersten Jahren nach Inkrafttreten des Patentrechts von 1877 erteilt wurden, betrafen Verfahren zur Herstellung neuer Azo-Farbstoffe.

Unter den schärfer werdenden Wettbewerbsbedingungen gelang es nur wenigen Großunternehmen, an der stürmischen Entwicklung der Teerfarbenindustrie teilzuhaben. Darunter sind neben den bereits aufgeführten "großen Drei" (BASF, BAYER und ML&B bzw. HOECHST) vor allem zu nennen (in Klammer das Gründungsjahr):

die Gesellschaft für Anilinfabrikationen, Rummelsburg bei Berlin (1867), ab 1872 Aktiengesellschaft für Anilin-Fabrikation (Agfa), Treptow, die später zur BASF kam,

die Farbenfabrik W.Kalle u.Co., Biebrich/Rhein (1863), die in den Farbwerken HOECHST aufging und

die Chemische Fabriken vorm. Weiler-ter-Meer, Uerdingen (1861), die von BAYER übernommen wurden.

Die neue Qualität wirtschaftlicher Entwicklung, die sich mit der systematischen Anwendung von Forschung und Entwicklung in den großen Teerfarbenfabriken herausgebildet hatte, wird im Vergleich mit der Entwicklung anderer Bereiche der chemischen Industrie deutlich:

179 Vgl. Verein zur Wahrung der Interessen der chemischen Industrie Deutschlands e.V. (Hrsg.): Ausgewählte Kapitel aus der chemisch-industriellen Wirtschaftspolitik 1877-1927, Berlin 1927, S. 2.

180 Vgl. ebd., S. 291.

**Tab. 7.1: Entwicklung der Anzahl der Betriebe, der Beschäftigten und der Durchschnittsdividenden in der chemischen Industrie<sup>181</sup>**

	Jahr	Hauptbetriebe	Beschäftigte	Dividenden (%)
Teerfarbenindustrie	1875	28	2 179	-
	1882	27	4 091 (davon 4 mit 3 015)	20,53
	1895	25	7 266 (davon 5 mit 6 353)	23,59
Chemische Großindustrie	1875	247	7 913	-
	1882	258	14 812	9,8
	1895	456	26 950	10,91
Präparateindustrie	1875	-	-	-
	1882	861	4 563	11,88
	1895	1 350	6 322	10,82

Während die Steigerung der Beschäftigtenzahlen in der Chemischen Großindustrie und der Präparateindustrie mit einer Steigerung der Zahl der Betriebe verbunden war, ging die Zahl der Betriebe in der Teerfarbenindustrie trotz noch stärker steigenden Beschäftigtenzahlen zurück, wobei letztlich nur eine Handvoll Unternehmen wirklich von Bedeutung war. Der Vergleich der Durchschnittsdividenden, die in der Teerfarbenindustrie gut doppelt so hoch lagen als in der Chemischen Großindustrie oder der Präparateindustrie, zeigt, welche wirtschaftlichen Entfaltungsmöglichkeiten in den wenigen großen Teerfarbenfabriken vorhanden waren. Das Übergewicht, das die chemische Großindustrie, das heißt die Sodaindustrie mit ihren Nebenzweigen, nach der Zahl der Betriebe und Beschäftigten 1895 noch gegenüber der Teerfarbenindustrie hatte, sollte sich bald in sein Gegenteil umkehren. Unter den großen Teerfarbenfabriken konnte wiederum die BASF eine führende Stellung behaupten. Von den 7.266 Beschäftigten der Teerfarbenindustrie im Jahr 1895 arbeiteten 4.602 für die BASF, die damit zwar eine führende Position, aber keine alleinige Vormachtstellung erringen konnte.<sup>182</sup>

Die Chance hierfür schien sich der BASF mit der Entwicklung der Indigosynthese zu bieten. Als die BASF 1897 mit synthetischem Indigo auf den Markt kam, machte sie alle Anstrengungen, zunächst den nationalen Markt zu erobern, um auf dieser Basis das englische Monopol auf Naturindigo durch ein eigenes Monopol auf Syntheseindigo zu ersetzen. Sofort nach Produktionsaufnahme bemühte sich die BASF intensiv um Staatsaufträge und handelspolitische Unterstützung auf dem Weltmarkt. Zu dieser Zeit waren die Uniformen noch nicht feldgrau, sondern sowohl beim Heer als

181 Welsch, F., a.a.O., S. 50.

182 Vgl. Welsch, F., a.a.O.

auch bei der Marine indigoblau. Auch die Uniformen bei Post und Bahn waren indigoblau. Obwohl die deutschen Uniformen bald mit synthetischem Indigo gefärbt wurden und der Naturindigo vom Weltmarkt verdrängt werden konnte, gelang es der BASF nicht, das englische Weltmonopol auf Naturindigo durch ein eigenes Weltmonopol auf Syntheseindigo zu ersetzen. Inzwischen waren auch die Farbwerke HOECHST mit ihrem eigenen Syntheseweg auf den Markt gekommen. Nach einem heftigen Konkurrenzkampf wurde 1904 der Markt durch Abschluss einer Konvention aufgeteilt.<sup>183</sup>

Die Erfahrungen bei der Entwicklung der Indigosynthese zeigten, dass es keinem der großen Chemieunternehmen möglich war, alleine die Führung bei der Einführung eines entscheidenden neuen Produktes und damit eine weltweite Monopolstellung zu übernehmen. Dazu kam, dass um 1900 viele wichtige Farbstoffpatente abliefen und die Gefahr der Übernahme jeweiliger Konkurrenzprodukte mit der Folge rapiden Preisverfalls drohte. In dieser Situation begann der Zusammenschluss der großen Chemieunternehmen. In einer Darstellung aus dem Jahr 1925 heißt es dazu:

"Als dann im neuen Jahrhundert der Wettbewerb der deutschen Firmen im In- und Ausland immer schärfer und dementsprechend der Nutzeffekt der geleisteten Arbeit geringer wurde, hat der Direktor der Farbenfabriken BAYER & Co., Geheimrat Prof. Dr. C. DUISBERG, unter Einsatz der ganzen ihm eigenen Energie die Zusammenfassung vorerst einmal dreier großer Werke zustande gebracht. Schon im Jahr 1904 schwebte ihm die Vereinheitlichung der gesamten Farbenindustrie als Ideal vor. Aber gerade wie bei dem deutschen Zollverein die Zusammenschweißung der Einzelstaaten nur schrittweise vor sich ging, so kam es auch in der chemischen Industrie erst einmal nur zu einer Interessengemeinschaft des von DUISBERG geleiteten Werkes mit der Bad. Anilin- und Sodafabrik und der AG für Anilinfabrikation. Nur bei den Generaldirektoren dieser beiden Werke, Geheimrat Dr. H. BRUNCK und Geheimrat Dr. OPPENHEIM, traf DUISBERG anfänglich auf das richtige Verständnis. Die drei genannten Werke blieben dabei durchaus selbständig bestehen; aber es wurde, abgesehen natürlich von dem Aufhören des Konkurrenzkampfes, vereinbart, daß die Forschungs- und Meßmethoden ausgetauscht und vereinheitlicht, und schließlich, daß der Reingewinn der drei Fabriken in einen Topf geworfen und nach einem bestimmten Schlüssel verteilt werden sollte.

Die notwendige Folge war, daß die anderen großen Farben- und Zwischenproduktfabriken eine ähnliche Vereinbarung trafen, um nicht einzeln durch die Übermacht der 'IG' erdrückt zu werden. Das waren die Farbwerke HOECHST vorm. Meister, Lucius & Brüning in Hoechst a.M. (ML&B), Cassella & Co. in Frankfurt und die Chem. Fabrik Griesheim Elektron, die die Farbenfabrik von Oehler in Offenbach aufgenommen hatte; später wurde noch Kalle & Co. in Biebrich an die Farbwerke HOECHST angegliedert.

Wenn auch die beiden großen Konzerne sich in manchen Dingen, so z.B. über den Preis des künstlichen Indigo, den beide herstellten, einigten, so wurde doch durch den im übrigen recht scharfen Wettbewerb viele Energie vergeudet."<sup>184</sup>

In dieser Konstellation, dem "Dreibund" aus Agfa, BASF und Bayer und dem "Dreierverband" aus Hoechst, Cassella und Kalle nebst unabhängigen Firmen wie Weiler-ter-Meer oder Griesheim, konnte die deutsche Farbenindustrie bis zum Ersten Weltkrieg weiter stark expandieren. Die jährlichen Umsatzsteigerungen waren in den letzten sechs Jahren vor dem Krieg mit etwa 8% doppelt

183 Andersen, A./Spelsberg, G., a.a.O., S. 121 f.

184 Rassow, B.: Die chemische Industrie, Gotha 1925, S. 96 f.

so hoch wie in der Gesamtwirtschaft. Die Dividenden lagen mit rund 25% sogar dreimal so hoch wie die Durchschnittsdividenden.<sup>185</sup> Die Exportquote lag im Farbstoffgeschäft 1913 bei 82%, der Weltmarkt für synthetische Farbstoffe lag zu 90% in deutscher Hand. Neben der deutschen Farbstoffindustrie hatte zu dieser Zeit nur die Schweizer Farbstoffindustrie mit einem Weltmarktanteil von 7,3% nennenswerte Bedeutung.<sup>186</sup>

Trotz dieser eindrucksvollen Erfolge lag die Bedeutung der Teerfarbenindustrie nicht in ihrer tatsächlichen wirtschaftlichen Stärke. Die Chemie hatte zu Beginn des 20. Jahrhunderts erst einen Anteil von 5% an der gesamten Industrieproduktion.<sup>187</sup> Der Anteil der deutschen Farbstoffexporte am Welthandel betrug 1913 trotz der deutschen Monopolstellung nicht mehr als 0,28%. Das entsprach etwa einem Zehntel des Wertes der britischen Exporte von Baumwollgeweben.<sup>188</sup>

Die Bedeutung der deutschen Teerfarbenindustrie lag nicht in ihrem wirtschaftlichen Gewicht, sondern in ihrem enormen wissenschaftlichen, technischen und ökonomischen Entwicklungspotential. Zu einem beherrschenden Wirtschaftszweig wurde die chemische Industrie erst auf der Basis der neuen Produktionslinien, die um 1900 und danach entstanden. Dazu gehören u.a. die Chlorchemie, die Hochdrucksynthesen (Stickstoffchemie) und die Petrochemie. Deren Entstehungszusammenhang und ihr problematischer Beitrag zum Stoffwechsel zwischen Mensch und Natur wird neben anderen Themen vom Autor dieses Textes in dem Buch „Am Ende des fossilen Zeitalters: Alternativen zum Raubbau an den natürlichen Lebensgrundlagen“ (oekom verlag 2008) beschrieben.

---

185 Vgl. Plumpe, G.: Die I.G. Farbenindustrie AG. Berlin 1990, S. 40.

186 Vgl. ebd., S. 51 f.

187 Vgl. ebd., S. 54.

188 Vgl. ebd., S. 51 f.

# Literaturverzeichnis

- Andersen, Arne und Franz-Josef Brüggemeier: Gase, Rauch und saurer Regen. In Brüggemeier/Rommelspacher, München 1987.
- Arbeiterkultur und Ökologie, 1/1991.
- Arnold, Helmut: Ökologische Herausforderungen der Agrarpolitik. Hochschulsammlung Wirtschaftswissenschaft Agrarwissenschaft, Band 2 (Dissertation). Freiburg 1981.
- Bachofen, Reinhard: Bio-Energie - Energie aus lebenden Systemen. In: Bio-Energie. fischer alternativ, Magazin Brennpunkte (9.Jahrgang, Band 13). Frankfurt a.M. 1978.
- Berdrow, Wilhelm: Alfred Krupp und sein Geschlecht. Berlin 1943
- Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, 2/1869.
- Bernhardt, August: Geschichte des Waldeigentums, der Waldwirtschaft und Forstwissenschaft in Deutschland. 3 Bde. Berlin 1872, Neudruck Aalen 1966.
- Bersch, Josef: Die Fabrikation der Anilinfarbstoffe. Wien, Pest, Leipzig 1878.
- Bezirksplankommission des Bezirks Halle: Territoriale Entwicklungsmöglichkeiten des VEB Chemische Werke Buna, VD BP1 47/74, Bl.25, Halle 1974.
- Binz, Arthur: Über den Ursprung der chemischen Großindustrie. In: Zeitschrift für angewandte Chemie 25 (1912), S. 2337-2339.
- Blunck, Richard: Justus von Liebig. Berlin 1938.
- Bohnsack, Almut: Spinnen und Weben. Entwicklung von Technik und Arbeit im Textilgewerbe. Reinbek 1981.
- Bonne, Georg: Deutsche Flüsse oder Deutsche Kloaken? Eine ernste Mahnung in letzter Stunde an unsere Regierungen und an unser Volk. Hamburg 1907.
- Brüggemeier, Franz-Josef und Thomas Rommelspacher (Hrsg.): Besiegte Natur. Geschichte der Umwelt im 19. und 20. Jahrhundert. München 1987.
- Brüning, Adolf (1873a): Darstellung des Fuchsin. In: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 6 (1873) S.25 f.
- Brüning, Adolf (1873b): Antwort auf COUPIER's Bemerkungen über die Darstellung des Fuchsin ohne Arsensäure. In: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 6 (1873) S.1072.
- Bugge, Günther (Hrsg.): Das große Buch der Chemiker, 2 Bde. Berlin 1929, Neudruck Weinheim 1979.
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung Dortmund: MAK-Werte 1981. Dortmund 1981.
- Burchardt, Lothar: Die Zusammenarbeit zwischen chemischer Industrie, Hochschulchemie und chemischen Verbänden im Wilhelminischen Deutschland. In: Technikgeschichte 46 (1979), S. 192-211.
- Caro, Heinrich: Über die Entwicklung der Theerfarbenindustrie. In: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 25 (1892), S. 955-1105.
- Chronik zum 75jährigen Jubiläum der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, Heft 148. Berlin 1973.
- Corbin, Alain: Pesthauch und Blütenduft. Eine Geschichte des Geruchs. Berlin 1984.
- Dingler's polytechnisches Journal, H. 154. Stuttgart 1859.
- Doran, Charles F.; Hinz, Manfred O.; Mayer-Tasch, Peter Cornelius: Umweltschutz - Politik des peripheren Eingriffs. Darmstadt und Neuwied 1974.
- Farbwerke HOECHST AG (Hrsg.): Dokumente aus Hoechster Archiven:
  - H.1: Woran die Übernahme der Alizarin-Synthese von Graebe durch Hoechst scheiterte. Frankfurt(M)-Hoechst 1964.
  - H.3: Neunzig Jahre Fuchsin in Hoechst. Frankfurt(M)-Hoechst 1965.
  - H.26: Dr. Sells Teerdestillation in Offenbach. Frankfurt(M)-Hoechst 1967.
- Fester, Gustav: Die Entwicklung der chemischen Technik von den Anfängen bis zur Großindustrie. Wiesbaden 1923.
- Fieser, Louis und Mary Fieser: Organische Chemie. Weinheim 1968.
- Der Fischer Weltalmanach. Diverse Ausgaben. Frankfurt a.M.
- Fischer, Ferdinand: Handbuch der chemischen Technologie. Leipzig 1893.
- Forest Stewardship Council (FSC): <http://www.fsc-deutschland.de/>
- Forman, Charles: Industrial Town. Self-Portrait of St Helens in the 1920th. London 1979.
- Gleitsmann, Rolf-Jürgen: Das Problem vorindustrieller Holzknappheit. In: Technologie und Politik, Band 16. Reinbek 1980.
- Grandhomme, Wilhelm: Die Theerfarben-Fabriken der Actien-Gesellschaft vorm. Meister Lucius & Brüning zu Höchst a.M. in sanitärer und sozialer Beziehung. Heidelberg 1883.
- Grimme, L. Horst: Der chemische Pflanzenschutz. In Die GRÜNEN (Hrsg.): Pestizide Ex- & Import. Köln 1985.
- Haber, Lutz F.: The Chemical Industry during the XIX Century. Oxford 1958.
- Häusermann, C.: Zur Fabrication des Fuchsin nach der Methode von Coupier. In: Verhandlungen zur Beförderung des Gewerbefleißes 58 (1879), S. 123 f.
- Hasenclever, R.: über die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. In: Chemische Industrie 2 (1879), S. 225-280.

- Heinig, Karl (Hrsg.): Biographien bedeutender Chemiker. Berlin 1970.
- Henseling, Karl Otto: Bronze, Eisen, Stahl. Reinbek 1981.
- Herrmann, Klaus: Pflügen, Säen, Ernten. Landarbeit und Landtechnik in der Geschichte. Reinbek 1985.
- Holtferich, Carl-Ludwig: Quantitative Wirtschaftsgeschichte des Ruhrkohlenbergbaus im 19. Jahrhundert. Dortmund 1973.
- Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes (Hrsg.): WaBoLu. 85 Jahre Umweltschutz 1901-1986. WaBoLu-Hefte 1/1986. Berlin 1986.
- Institut für Wirtschaftsgeschichte der Akademie der Wissenschaften der DDR (Hrsg.): Produktivkräfte in Deutschland 1870 bis 1917/18. Berlin 1985.
- Johannsen, Otto: Geschichte des Eisens. Düsseldorf 1925.
- Joos, Fortunat: Einführung in den Kohlenstoffkreislauf, Vorlesungsskript Sommersemester 2006, <http://www.climate.unibe.ch/~joos/vorlesung.html#CCycle>.
- Jurisch, Konrad Wilhelm : Die Verunreinigung der Gewässer. Berlin 1890.
- Kaltenmeier, Dieter: Abwasserreinigung nach dem Stand der Technik in chemischen Großbetrieben. In: Korrespondenz Abwasser 5/90, S. 534-541.
- Katalyse/BUND/Öko-Institut/ULF (Hrsg.): Chemie am Arbeitsplatz. Reinbek 1987.
- ders.: Geschichte der Technik. Reinbek 1983.
- Koch, W.: Ein merkwürdiges Merkblatt. In: Sicher ist sicher 11 (1977), S. 600-601.
- Koelner, Paul: Aus der Frühzeit der chemischen Industrie Basels. Basel 1937.
- Kölnische Zeitung v. 22.01.1878.
- König, Joseph: Die Verunreinigung der Gewässer. Berlin 1887.
- Krohn, Wolfgang und Wolf Schäfer: Ursprung und Struktur der Agriculturnchemie. In: Starnberger Studien 1. Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts. Herausgegeben vom Max-Planck-Institut zur Erforschung der Lebensbedingungen der wissenschaftlich technischen Welt. Frankfurt a.M. 1978.
- Lavoisier, Antoine Laurent: System der antiphlogistischen Chemie. Berlin 1792.
- Liebig, Justus v.: Chemische Briefe. 2 Bde. Leipzig/Heidelberg 1859.
- ders.: Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agriculture und Physiologie. 9.Aufl. Braunschweig 1876.
- Loth, Heinrich: Sklaverei. Wuppertal 1981.
- Lunge, Georg: Handbuch der Sodaindustrie und ihrer Nebenzweige. 3 Bde., Braunschweig 1909.
- Marx, Karl: Das Kapital. Band 1. Berlin 1977.
- MEW (Marx-Engels-Werke). Bd. 19. Berlin (DDR) 1972.
- MEYERs Konversationslexikon, Bd. XI. Leipzig und Wien 1896.
- Mohr, Hans: Energie aus Biomasse - eine oftmals überschätzte Ressource. In: VDI nachrichten, [http://www.vdi-nachrichten.com/vdi\\_nachrichten/aktuelle\\_ausgabe/akt\\_ausg\\_detail.asp?cat=1&ID=3250](http://www.vdi-nachrichten.com/vdi_nachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=1&ID=3250). Stand 18.8.2000.
- Mühlhäuser, O.: Die Fabrikation des Arsensäurefuchsin. In: Dingler's polytechnisches Journal 266 (1887), S. 466 ff.
- Müller, Hans-Heinrich und Hans-Joachim Rook: Herkules in der Wiege. Streiflichter zur Geschichte der Industriellen Revolution. Jena und Berlin 1980.
- Myslak, Z.: Azofarbstoffe auf der Basis krebserzeugender und -verdächtig aromatischer Amine. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, GA 35. Dortmund 1990.
- Nagel, Alfred v.: Fuchsin, Alizarin, Indigo. Schriftenreihe des Firmenarchivs der BASF. Band.1. Ludwigshafen o.J. (ca.1965).
- Ost, Hermann: Der Kampf gegen schädliche Industriegase. In: Zeitschrift für angewandte Chemie XX (1907), S.1691-93. Ort 1907.
- Osterroth, Dieter: Soda, Teer und Schwefelsäure. Reinbek 1985.
- Payen, A.: Handbuch der technischen Chemie, Bd.2. Stuttgart 1874.
- Plumpe, Gottfried: Die I.G.Farbenindustrie AG. Berlin 1990.
- Prange, C.: Das Gewerbe der Zuckersieder in Hamburg. In: Technische Universität Berlin (Hrsg.): Schriften aus dem Zucker-Museum, Heft 24. Berlin 1987.
- Radkau, Joachim und Ingrid Schäfer: Holz. Ein Naturstoff in der Technikgeschichte. Reinbek 1987.
- Rassow, B.: Justus Liebig als Förderer der chemischen Industrie. In: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie 13 (1923), S. 10-16.
- Rassow, Berthold: Die chemische Industrie. Gotha 1925.
- Reich, A.: Leitfaden für die Ruß- und Rauchfrage. München, Berlin 1917.
- Ress, Franz Michael: Geschichte der Kokereitechnik. Essen 1957.
- Schivelbusch, Wolfgang: Das Paradies, der Geschmack und die Vernunft. Eine Geschichte der Genussmittel. Frankfurt a.M. 1983.
- Schoepfer, H.: Die "naturgemäße Waldwirtschaft" und ihre Grundsätze. In: Forstarchiv 213/1983, S.2-19.
- Schramm, Engelbert: Sodaindustrie und Umwelt im 19. Jahrhundert. In: Technikgeschichte 51 (1984) Nr. 3, S.190-208.
- Schützenberger, Paul: Die Farbstoffe. Berlin 1868.
- Schuster, Curt: Vom Farbenhandel zur Farbenindustrie. Schriftenreihe des Firmenarchivs der BASF, Bd.11. Ludwigshafen 1973.
- Selmeier, Franz: Eisen, Kohle und Dampf. Reinbek 1984.

- Stöckhardt, Julius Adolph: Über die Einwirkungen des Rauchs der Silberhütten auf die benachbarte Vegetation. In: Polytechnisches Centralblatt 16 (1850), S. 257-278.
- Der Tagesspiegel v. 22.02.1991.
- Technische Universität Berlin (Hrsg.): Schriften aus dem Zucker-Museum, H.17-25. Berlin 1982-1988.
- Troitzsch, Ulrich: Die Einführung des Bessemer-Verfahrens in Preußen - ein Innovationsprozeß aus den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts. In: Pfetsch, R. (Hrsg.): Innovationsforschung als multidisziplinäre Aufgabe. Göttingen 1975.
- Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 1.Auflage, Bde. I-VII und XII, Berlin und Wien 1914-23; 3.Auflage, München-Berlin 1951-70; 4.Auflage. Weinheim 1972-84; 5.Auflage Weinheim 1985-1996.
- Vaupel, Elisabeth: Gewässerverschmutzung in der schönen Literatur. In: Chemie in unserer Zeit 19 3/1985, S. 77-85.
- Varchmin, Joachim und Joachim Radkau: Kraft, Energie und Arbeit. Reinbek 1981.
- Verein zur Wahrung der Interessen der chemischen Industrie Deutschlands e.V. (Hrsg.): Ausgewählte Kapitel aus der chemisch-industriellen Wirtschaftspolitik 1877-1927. Berlin 1927.
- Verhandlungen des Internationalen Vereins zur Reinerhaltung der Flüsse, des Bodens und der Luft auf der 27. Generalversammlung am 17. und 18. Juni 1905 in Frankfurt am Main. Hamburg 1905.
- Vogel, Max: Die Entwicklung der Anilin-Industrie. Leipzig 1866.
- Wagners Jahresberichte der chemischen Technologie 15/1869.
- Weißbach, Helmut: Strukturdenken in der organischen Chemie. Berlin 1971.
- Weissermel, Klaus und Hans-Jürgen Arpe: Industrielle organische Chemie. Dritte, überarbeitete und erweiterte Auflage. VCH Verlag, Weinheim 1988.
- Welsch, Fritz: Geschichte der chemischen Industrie. Berlin 1981.
- Wey, Klaus-Georg: Umweltpolitik in Deutschland. Kurze Geschichte des Umweltschutzes in Deutschland seit 1900. Opladen 1982.
- Wikipedia.org: <http://de.wikipedia.org/wiki/Weltenergieverbrauch002>
- Wikipedia.org: <http://de.wikipedia.org/wiki/Tartrazin> und [http://de.wikipedia.org/wiki/Amaranth\\_%28Farbstoff%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Amaranth_%28Farbstoff%29)
- Zentralamt für Arbeit, Lemgo (Hrsg.): Benzol-Merkblatt. ZH-Reihe Nr.1/130, Ausgabe 1976.





**GESCHÄFTSTELLE BERLIN**

MAIN OFFICE

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

**BÜRO HEIDELBERG**

HEIDELBERG OFFICE

Bergstraße 7

69120 Heidelberg

Telefon: + 49 – 6221 – 649 16-0

Fax: + 49 – 6221 – 270 60

[mailbox@ioew.de](mailto:mailbox@ioew.de)

[www.ioew.de](http://www.ioew.de)