

# Grundstoff Giftgas : die mittelbaren Risiken der Elektroenergie

Autor(en): **Henseling, Karl Otto**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wechselwirkung : Technik Naturwissenschaft Gesellschaft**

Band (Jahr): **8 (1986)**

Heft 30

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-652988>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Grundstoff: Giftgas

## Die mittelbaren Risiken der Elektroenergie

Wozu eigentlich Kernkraftwerke, überhaupt Großkraftwerke? Nicht etwa für unser Radio oder den Kühlschrank, deren Strombedarf ließe sich billiger und ungefährlicher dezentral erzeugen. Vor allem Kernkraftwerke sind für einen hohen Stromverbrauch im Grundlastbereich ausgelegt, wie ihn industrielle Großabnehmer, z.B. Nichteisenmetallurgie und Chemische Industrie, aufweisen.

Die größten Einzelverbraucher von Elektroenergie sind die Aluminiumerzeugung und die elektrochemische Chlorproduktion. Beide haben mit der Kernenergie dreierlei gemeinsam: Sie sind sehr kapitalintensiv, umweltbelastend und

von Karl Otto Henseling

Den Chemikern und anderen Naturwissenschaftlern eröffnete sich im Jahr 1800 ein neues weites Betätigungsfeld, nachdem Alessandro Volta (1745 - 1827) mit der nach ihm benannten „Säule“ eine zuverlässige Quelle kontinuierlich fließender Elektrizität entwickelt hatte. Stoffe, die als Lösung oder Schmelze in den Stromkreis eingebracht wurden, zersetzten sich in zuvor ungeahnter Weise. Aus lange bekannten Salzen wurden durch die Elektrolyse neue Metalle erzeugt, deren Eigenschaften größtes Interesse hervorriefen. Aus Soda und Kochsalz wurde Natrium erhalten, aus Pottasche und Salpeter Kalium. Beide Metalle zeigten höchst interessante Eigenschaften. Sie verbrennen mit leuchtender Flamme, Natrium mit gelbem und Kalium mit fahlvioletttem Licht.

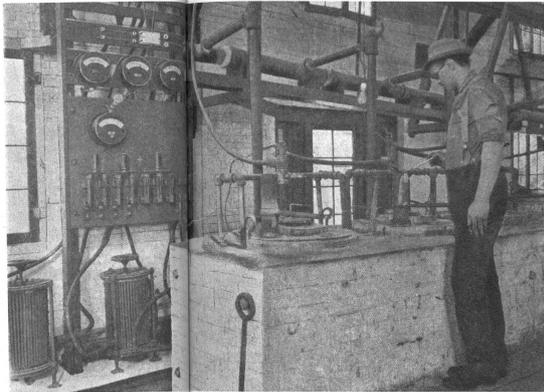
Bei Berührung mit Wasser reagieren beide Metalle unter heftiger Bildung von gasförmigem Wasserstoff und unter Selbstentzündung, die meist zur Explosion des bei der Reaktion entstehenden Wasserstoff-Luft-Gemisches führt. Als

in ihrer Entwicklung eng mit der Rüstungsproduktion verbunden. Karl Otto Henseling geht am Beispiel der Chlorchemie der Frage nach, unter welchen Bedingungen, mit welcher Zielsetzung und in wessen Interesse die auf der Nutzung der Elektroenergie für Stoffumwandlungen basierenden Zweige der Grundstoffindustrie entstanden sind und welche wirtschaftliche und politische Bedeutung sie heute haben.

Die kritische Auseinandersetzung mit der Kernenergie, aber auch mit der konventionellen Stromerzeugung sollte die Nutzung der Elektroenergie in der Grundstoffindustrie mit einschließen.

im Wasser gelöste Reaktionsprodukte wurden bei diesen Reaktionen Natronlauge und Kalilauge gefunden, die als Umsetzungsprodukte von Soda- oder Pottaschelösungen mit gebranntem Kalk wohlbekannt und beispielsweise in den Seifensiedereien in Gebrauch waren. Wasser ließ sich elektrolytisch zu Wasserstoff- und Sauerstoffgas, die zusammen das eindrucksvolle Knallgas bilden, zersetzen und Salzsäure wurde in Wasserstoff- und Chlorgas zerlegt.

Obwohl das Chlor bereits im 18. Jahrhundert industrielle Verwendung gefunden hatte, war sein chemischer Charakter zur Zeit seiner elektrolytischen Erzeugung noch unklar. Berthollet, der die Chlorbleiche für Garne und Gewebe eingeführt hat, hatte ebenso wenig wie vor ihm Scheele, der Entdecker des Chlors, erkannt, daß es sich beim Chlor um ein chemisches Element handelt. Diese Erkenntnis blieb Sir Humphry Davy (1778 - 1829) vorbehalten, der den größten Anteil an der systematischen Erforschung der durch die Elektrolyse neu zugänglichen Stoffe hatte. Da sich in der Person Davys die Befähigung zu wissenschaftlicher Arbeit mit einem ausgeprägten Sinn für das gehobene gesellschaftliche



Leben Londons verband - er wird als ausgesprochener Salonlöwe beschrieben - war auch für eine entsprechende Publizität der neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse gesorgt. Trotz des großen öffentlichen Interesses, das die Elektrolysen und die dabei entdeckten Stoffe und Reaktionen fanden, blieb der Nutzen der Arbeiten Davys und seiner Zeitgenossen bis zum Ende des 19. Jahrhunderts auf die Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Chemie beschränkt.

Die Kosten der mit Hilfe von Voltaschen Säulen gewonnenen Elektrizität waren viel zu groß, als daß eine industrielle Anwendung der Elektrolyse denkbar gewesen wäre. Unter den wissenschaftlichen Arbeiten, die später für die Technik wichtig werden sollten, sind vor allem die von Michael Faraday (1791 - 1867) entdeckten Gesetze und die Untersuchungen zur Gewinnung der Leichtmetalle Magnesium und Aluminium durch Robert W. Bunsen (1811 - 1899) zu nennen. Faraday formulierte den Zusammenhang zwischen den bei einer Elektrolyse abgeschiedenen Stoffmengen und der dazu erforderlichen Strommenge. Er schuf damit eine kalkulatorische Grundlage für die wirtschaftliche Durchführung von Elektrolysen. Die Arbeiten Robert Wilhelm Bunsens über die Darstellung von Magnesium und Aluminium waren bedeutende Vorarbeiten für die spätere Elektrometallurgie dieser Metalle. Bevor jedoch die technische Nutzung der Möglichkeit, mit Hilfe der Elektrizität Stoffumwandlungen durchzuführen, in Angriff genommen werden konnte, mußte erst ein Weg zur billigen Erzeugung großer Elektrizitätsmengen gefunden werden. Die technische Nutzung der Elektrizität hatte zunächst in Bereichen begonnen, in denen keine großen Strommengen benötigt wurden. Das änderte sich erst nach der Entwicklung der Dynamomaschine durch Werner Siemens (1816 - 1892) im Jahr 1866.

Siemens erkannte sofort die große Tragweite seiner Entdeckung. In einer 1867 der Berliner Akademie der Wissenschaften vorgelegten Abhandlung „Über die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ...“ formulierte er: „Der Technik sind gegenwärtig die Mittel gegeben, elektrische Ströme von unbegrenzter Stärke auf billige und bequeme Weise überall da zu erzeugen, wo Arbeitskraft disponibel ist.“<sup>1</sup>

Zur Verwirklichung dieser Mittel dauerte es dann doch noch ein paar Jahre, bis die Firma Siemens & Halske auf der Wiener Weltausstellung 1873 mit den ersten betriebssicheren Gleichstrom-Dynamomaschinen (mit Trommelanker) brillieren konnte. Jetzt war der Zeitpunkt gekommen, die Elektrizität auch für Stoffumwandlungen in größerem Umfang zu nutzen. Dabei drängten sich vor allem drei Anwendungen auf:

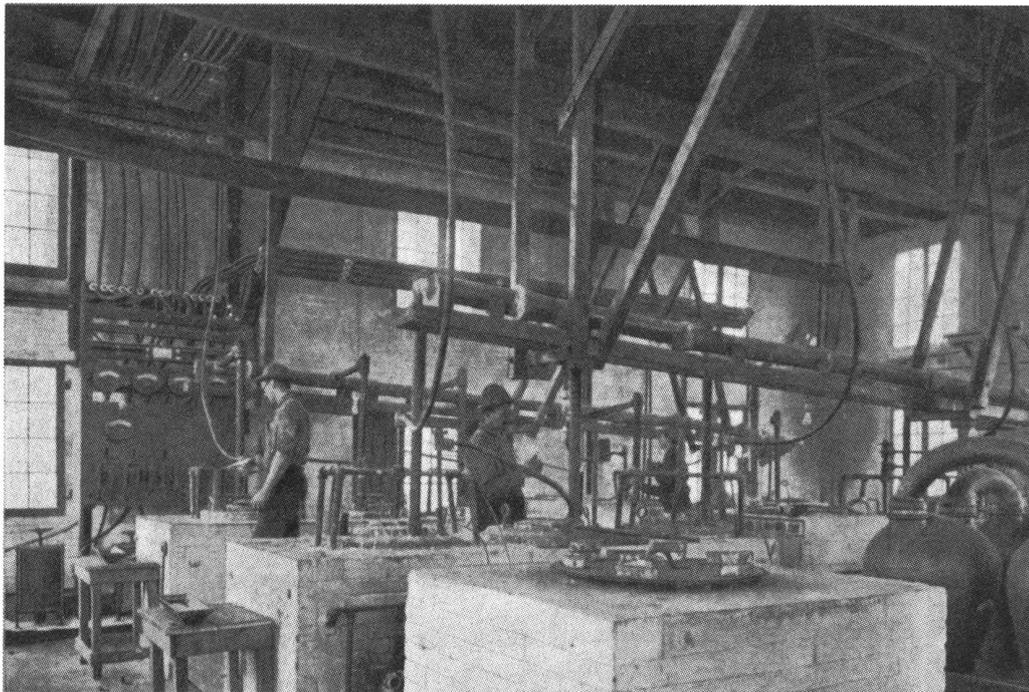
- Die elektrochemische Erzeugung der gebräuchlichen chemischen Grundstoffe, deren Bildung bei der Elektrolyse schon Davy beobachtet hatte, darunter vor allem Chlor und Natronlauge.
- Die industrielle Erzeugung und Verwendung der Metalle, die erst bei elektrochemischen Experimenten entdeckt worden waren, darunter vor allem die Leichtmetalle Magnesium und Aluminium.
- Die elektrochemische Erzeugung von Metallen, deren schmelzmetallurgische Gewinnung sehr aufwendig war, wie z.B. bei Kupfer, Edelmetall oder hochlegierten Stählen.

### Die Chlorkalielektrolyse

Das Chlor erwies sich als besonders „hervorstechendes“ Element unter den bei der Elektrolyse erhaltenen Stoffen. Diese gelblich-grüne Gas, das nach seiner Farbe (griech. grün) benannt wurde, stellte mit seinen unangenehmen Eigenschaften die meisten Giftstoffe, mit denen die Chemiker damals recht unbesorgt hantierten, in den Schatten. Schon geringe Mengen verbreiteten einen widerlich stechenden Geruch und verursachten Entzündungen in den Atemwegen und Rötung der Augen. Größere Mengen ließen die Fliegen tot von den Wänden fallen, Blüten ihre Farbe verlieren, grüne Pflanzen verblichen und welken sowie den unvorsichtigen Experimentator Blut husten.

Chlor war schon 1774, etwa drei Jahrzehnte vor seiner elektrolytischen Darstellung, von Scheele entdeckt worden. Die Beobachtung, daß Chlor Pflanzenfarben bleicht, erregte die Aufmerksamkeit von Scheeles französischem Chemikerkollegen Claude-Louis Berthollet (1748 - 1822), der neben seiner wissenschaftlichen Arbeit das Amt des Kommissars für die „Direktion der Färbereien“ innehatte. Das Bleichen der Gewebe war ein äußerst lästiges und langwieriges Geschäft. Die Stoffbahnen wurden dazu angesäuert, wochenlang der Sonne ausgesetzt, mit alkalischen Laugen behandelt und ausgewaschen. Berthollet erkannte, daß mit dem aggressiven Chlor ein Mittel existierte, diesen langwierigen Prozeß abzukürzen. Die Anwendung des Chlors in der Bleicherei fand schnell Eingang in die Industrie, zumal mit der Entwicklung der Leblanc-Soda-Industrie mehr als genug Salzsäure als Ausgangsstoff für die Chlorerzeugung, die zunächst auf chemischem Weg erfolgte, zur Verfügung stand.

Die Sodaindustrie war der erste und lange Zeit der wichtigste Zweig der chemischen Grundstoffindustrie. Sie entstand in der Frühzeit der industriellen Revolution aufgrund des akuten Mangels an den traditionell aus Pflanzensachen gewonnenen Alkalen und Carbonaten. Der rasch steigende Bedarf der Textilindustrie, der Färbereien, der Glaserzeugung und der Seifensiedereien an diesen Stoffen ließ sich nicht mehr auf der Grundlage regenerierender Rohstoffe, vor allem Holz, decken. Die Sodaindustrie ist ein klassisches Beispiel für den Ersatz regenerierbarer Rohstoffe durch mineralische Rohstoffe (hier Steinsalz), die unter hohem Aufwand an Energie aus fossilen Energieträgern umgewandelt werden. Die klassische Sodaindustrie des 19. Jahrhunderts produzierte Soda (Natriumcarbonat) nach dem Leblanc-Verfahren aus Steinsalz, Kalk und Kohle unter Zuhilfenahme großer Mengen Schwefelsäure. Als



*Elektrolyseanlage um 1900. Im Hintergrund links ist die Schalttafel für die Stromversorgung zu sehen. Die Elektrolyseöfen zur Herstellung von Natriummetall aus Natriumnitrat sind an Gassammelleitungen angeschlossen. Das Stickstoff-*

Nebenprodukt entstand dabei u.a. Salzsäure, die anfänglich im Abgas an die Umwelt abgegeben wurde. Die auftretenden Schäden bzw. die deswegen angestregten Klagen zwangen die Sodaindustrie zum Auffangen der Salzsäure und zu ihrer Weiterverarbeitung. Als mit der Bindung des Chlorgases an Löschkalk eine Methode zur bequemen Lagerung und einfachen Anwendung des Chlors gefunden worden war, entwickelte sich die Herstellung von Chlorkalk („Bleichpulver“) zu einem der wichtigsten Nebenzweige der Sodaindustrie.

Die Elektrolyse einer wässrigen Kochsalz-(Steinsalz)Lösung liefert Natronlauge, Chlor und Wasserstoff. Natronlauge war früher ein wertvolles Produkt der Sodaindustrie, das durch Reaktion von Soda mit gebranntem Kalk erzeugt wurde. Durch Elektrolyse konnte sie direkt erzeugt werden. Auch beim Chlor entfiel der Umweg über die chemische Umwandlung der Salzsäure. Als preiswerter elektrischer Strom zur Verfügung stand, schien es daher lohnend, ein großtechnisches Verfahren für diesen Prozeß zu entwickeln.

Die Möglichkeit, durch Elektrolyse einer wässrigen Kochsalzlösung die wichtigen Grundchemikalien Chlor und Natronlauge direkt und ohne weitere Vor-, Neben- oder Folgeprodukte (außer Wasserstoffgas) erzeugen zu können, faszinierte mehrere Interessenten:

- Die unter dem Druck der Konkurrenz eines neuen Verfahrens zur Sodaerzeugung, des Solvay-Verfahrens, stehende Leblanc-Sodaindustrie, die nach einem von der Sodaerzeugung unabhängigen Weg zur Herstellung eines ihrer gewinnbringendsten Produkte, des Chlorkalkes, suchte.

Beim Solvay-Verfahren wird über technisch aufwendige Zwischenstufen aus Steinsalz und Kalk Soda hergestellt. Einziges Nebenprodukt ist das relativ ungefährliche Calciumchlorid, das als wertloses Abprodukt in den „Vorfluter“ abgegeben wird.

- Die Solvay-Sodafabriken, die daran interessiert waren, auch in den Chlormarkt einzusteigen. Da beim Solvay-Verfahren keine Salzsäure als Nebenprodukt anfiel, war ihnen dieser Markt bisher verschlossen.
- Die großen Teerfarbenfabriken, die ihre Grundchemikalien selbst herstellten und daher an Neuentwicklungen in diesem Bereich interessiert waren.

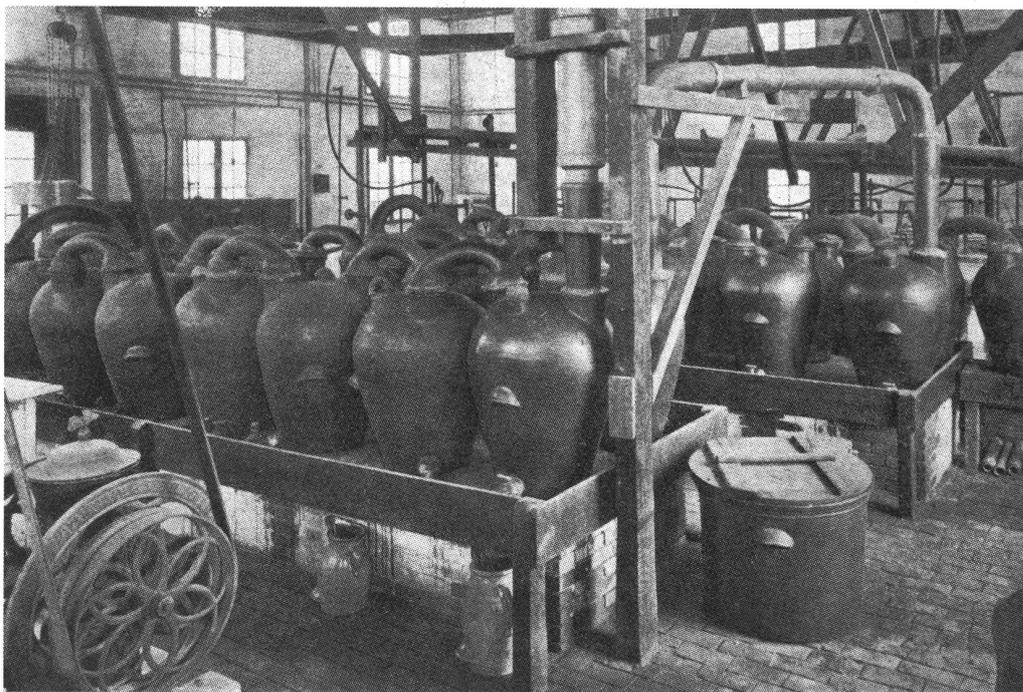
- Die Elektroindustrie, deren Entwicklung sich im wesentlichen in den Konzernen Siemens und AEG vollzog, hatte ein Interesse daran, an dieser profitablen Verwendung der von ihr eingeführten neuen Energieform teilzuhaben.

Das weitaus größte Interesse und damit die größte Bereitschaft zu Investitionen bestand bei den Chemischen Fabriken, die Soda nach dem Leblanc-Verfahren herstellten. Diese Firmen hatten schon lange bevor sie durch die übermächtige Konkurrenz des Solvay-Verfahrens bedrängt wurden zur Sicherung ihrer Interessen „Konventionen“, also Preis- und Produktionsabsprachen, getroffen. 1856 wurde unter der Führung von Matthes & Weber (heute Tochter des Henkel-Waschmittelkonzerns) in Duisburg die „Soda-Konvention“ gegründet, der 1858 die „Frankfurter Aktiengesellschaft für landwirtschaftlich-chemische Produkte“, später „Chemische Fabrik Griesheim“, durch ihren Direktor Ludwig Goeckel beitrug.

Im Rahmen der Mitglieder der Soda-Konvention wurde zunächst in Duisburg und später in Griesheim das erfolgreiche Verfahren zur Elektrolyse von Kochsalz- und Kaliumchloridlösungen entwickelt.

In Duisburg arbeitete bei Matthes & Weber und der mit diesem Betrieb eng verbundenen Duisburger Kupferhütte der Chemiker und Geologe Karl Hoepfner. Die Duisburger Kupferhütte wurde gegründet, nachdem die Sodafabriken zur Herstellung der Schwefelsäure immer mehr zur Verwendung von spanischen, kupferhaltigen Schwefelkiesen übergingen. Hoepfner hatte bereits erfolgreich an der Entwicklung elektrochemischer Verfahren zur Gewinnung von Kupfer und anderen Metallen gearbeitet, als er 1884 ein Patent auf „Neuerungen in der Elektrolyse von Halogensalzen der Leicht- und Schwermetalle“ erhielt.

Hoepfners Patent ging an ein Konsortium über, dem neben Matthes & Weber und Griesheim der Österreichische Generalkonsul in Bremen, Ludwig Dyes, und die Berliner chemische Fabrik Kunheim & Co. angehörten. Das Konsortium finanzierte Versuche, das Patent zur technischen Anwendung zu bringen. Dabei stellte sich zwar die Undurchführbarkeit von Hoepfners Verfahren heraus, dafür wurde bei den Versuchen, die in Griesheim intensiv weitergeführt wurden, ein anderes zuverlässiges Verfahren, das Diaphragmaverfahren,



**dioxid und der Sauerstoff, die an der Anode frei werden, werden in Woulffsche Flaschen gefüllt, die Wasser enthalten. Es entsteht Salpetersäure.**

Aus: H. Becker, Die Elektrometallurgie der Alkalimetalle, Halle 1903

gefunden. 1890 wurde der Fabrikationsbetrieb mit einer Tagesproduktion von 2,5 t Chlorkalk aufgenommen. Die Betriebsergebnisse entsprachen den Erwartungen (auf gute Gewinne) und das Konsortium entschloß sich zur Gründung einer gemeinsamen Firma, der „Chemischen Fabrik Elektron AG“, die ihre Produktion bald erheblich steigern konnte.

Weit weniger erfreuliche Aussichten hatten die Arbeiter, die an den Elektrolyseanlagen arbeiteten. Bei ihnen trat eine Krankheit auf, die erst in unseren Tagen die Aufmerksamkeit einer breiteren Öffentlichkeit fand. In den euphorischen Fortschrittsberichten der chemischen Industrie über die Entstehung der Chlorkali-Elektrolyse ist darüber allerdings nichts zu finden.

Die Krankheit wurde „Chloracne“ genannt und ist so beschrieben:

*„Bei Arbeitern, welche sich lange in Räumen, in welchen Chlor auf elektrolytischem Wege gewonnen wurde, aufhielten, trat eine Erkrankung auf, die sich durch das Auftreten zahlloser teigiger Knoten auf dem ganzen Körper sowie Husten, Auswurf, Schlaf- und Appetitlosigkeit und Schwindelanfälle äußerte.“<sup>2</sup>*

Heute wissen wir, daß die Arbeiter einer Vergiftung durch „Dioxin“, dem berühmt-berüchtigten „Seveso-Gift“, zum Opfer gefallen sind. Das bei der Elektrolyse gebildete Chlor hatte mit Bestandteilen aus der Kohle der Kohlelektroden zu „Dioxinen“ und anderen aromatischen Chlorkohlwasserstoffen reagiert. Neben den geschilderten Vergiftungserscheinungen bewirken diese Stoffe Krebs und Schäden im Erbgut.

Als die Kohlelektroden durch Metallelektroden ersetzt wurden, trat die Krankheit nicht mehr auf. Sie wurde dafür regelmäßig überall dort wieder beobachtet, wo aromatische Verbindungen wie sie im Steinkohlenteer vorkommen, mit Chlor zur Reaktion gebracht wurden.

## Der industrielle Ausbau

Unbeirrt von derartigen Vorkommnissen, ging die Chemische Fabrik Elektron daran, die erfolgreiche neue Produktion durch Gründung eines Zweigwerkes in Bitterfeld in Mitteldeutschland, auszubauen. Dort fand man nicht nur in der Braunkohle einen besonders billigen Energierohstoff zur

Erzeugung des benötigten Stromes, sondern auch einen Konkurrenten, der die billige Energie der Braunkohle ebenso für eine Chlorkali-Elektrolyseanlage nutzen wollte: Emil Rathenau, Gründer und Generaldirektor der AEG. Die von Rathenau mit Hilfe mehrerer Banken gegründeten „Elektrochemischen Werke GmbH“ errichteten in Bitterfeld und in Rheinfelden, wo billige Wasserkraft zur Verfügung stand, Elektrolyseanlagen. Der aus der Elektroindustrie hervorgegangene Firmengründung fehlte es jedoch scheinbar an chemisch-technischen Fähigkeiten. Die Anlagen konnten mit denen der Elektron nicht konkurrieren und wurden alsbald von dieser übernommen.

Heute wird in den Bitterfelder Anlagen ein großer Teil der Chlorproduktion der DDR erzeugt. In Rheinfelden wird die Chloralkalielektrolyse jetzt von der Dynamit-Nobel AG, die zum ehemaligen Flick-Konzern gehört, betrieben.

Der Erfolg der Elektron weckte das Interesse anderer Firmen, die sich um Lizenzen bemühten. 1895 übernahm die BASF das Verfahren und baute eine eigene Elektrolyseanlage auf. Weitere Firmen, die mit Lizenzen der Elektron arbeiteten, wurden in Frankreich, Spanien und Rußland errichtet.

1916 brachte die „Chemische Fabrik Griesheim-Elektron“ ihre elektrochemischen Erfahrungen, die neben der Chloralkalielektrolyse auch die elektrolytische Erzeugung von Magnesium u.a. umfaßte, in die Interessengemeinschaft der Farbenindustrie ein, die 1925 zum IG-Farben-Konzern umgewandelt wurde.

Parallel zum Zusammenschluß der großen deutschen Chemieunternehmen zur Interessengemeinschaft der Farbenindustrie entwickelte sich im Ersten Weltkrieg auch die Interessengemeinschaft zwischen der Chemischen Industrie und dem deutschen Militarismus. Prof. Haber, der mit dem Verfahren zur Herstellung von Stickstoffverbindungen aus Luftstickstoff (Haber-Bosch-Verfahren der BASF) bereits entscheidend zur Sicherung des Schießpulverbedarfs der Reichswehr beigetragen hatte, propagierte vehement und erfolgreich die Verwendung von Chlor und Chlorverbindungen wie Phosgen als chemische Kampfstoffe.

Heute sind die Werke der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron Bestandteil des Hoechst-Konzerns. Während in Deutschland die Griesheimer die Entwicklung der Chloral-

kali-Elektrolyse beherrschten, entwickelte der belgische Solvay-Konzern ein eigenes Elektrolyse-Verfahren. Mit diesem Verfahren gewann Solvay bestimmenden Einfluß auf Englands elektrochemische Industrie, die im wesentlichen von der in der „United Alkali“ zusammengefaßten Leblanc-Sodaindustrie aufgebaut wurde, die sich mit der Einführung der Chloralkali-Elektrolyse gegen das von „Brunner, Mond & Co. Ltd.“ in Lizenz praktizierte Solvay-Verfahren wehren wollten. Tatsächlich kam es zwischen der „United Alkali“ und „Brunner, Mond & Co.“ zu einem von beiden Seiten als sehr mißlich angesehenen Preiskampf auf dem Chlor-Natronlauge-Markt. Über den Solvay-Konzern gelang es schließlich, eine Einigung zu erzielen.

Als in Deutschland der IG-Farben-Konzern entstanden war, konterte die englische Chemieindustrie mit dem Zusammenschluß zum I.C.I.-Konzern (Imperial Chemical Industries Ltd.) an dem neben den erwähnten Kontrahenten um den Chlor- und Alkalimarkt die in der „British Dyestuffs Corporation Ltd.“ vereinigten Farbenfabriken teilnahmen.

## Die wirtschaftliche Bedeutung von Chlor und Natronlauge

Die Elektrolyse-Produkte Chlor, Natronlauge und Wasserstoff werden in naturgesetzlich bestimmten, konstanten Mengenverhältnissen erhalten. Es handelt sich um sogenannte Koppelprodukte, wie sie in der chemischen Produktion häufiger auftreten. Da der Bedarf an diesen Stoffen nicht immer dem gegebenen Mengenverhältnis entspricht, war und ist die Steuerung von Weiterverarbeitung und Absatz der verschiedenen Produkte ein schwieriges Problem. In der Frühzeit dieses Verfahrens überwog der Bedarf an Natronlauge den Chlorbedarf erheblich. Für das Chlor konnten zunächst zu der traditionellen Verwendung für die Chlorkalk- („Bleichpulver“-) Herstellung keine neuen Verwendungsgebiete gefunden werden.

Während der 30er Jahre wuchs der Bedarf an Natronlauge mit der Ausdehnung der Chemiefaser- und Zellstoff-Industrie weiter an. Das Nebenprodukt Chlor drohte die Herstellung des Haupterzeugnisses Natronlauge zu blockieren. Das änderte sich erst nach dem Zweiten Weltkrieg, als verschiedene neue Verfahren und Produkte entwickelt wurden, die große Mengen Chlor verbrauchen. Dabei steht die organische Chemie mit der Erzeugung von Kunststoffen, Pestiziden und Lösungsmitteln an erster Stelle. Heute ist das Chlor der in größerer Menge verbrauchte Grundstoff und die Natronlauge das Überschußprodukt.

Die Produktionsmengen an Chlor und Natronlauge übertreffen heute zusammengerechnet die des klassischen chemischen Grundstoffs Schwefelsäure. Die Stellung von Chlor und Natronlauge in der Rangreihe der mengenmäßig bedeutendsten Chemieprodukte in der Bundesrepublik Deutschland zeigt die folgende Übersicht:

| Produkt         | Produktion 1983<br>in Mio. Tonnen |
|-----------------|-----------------------------------|
| Schwefelsäure   | 4,34                              |
| Natriumhydroxid | 3,35                              |
| Chlor           | 3,14                              |
| Ethen           | 3,17                              |
| Ammoniak        | 2,07                              |
| Soda            | 1,22                              |

Quelle: Chemiewirtschaft in Zahlen 1984, Verband der Chemischen Industrie.

Für die Elektrolyse von Kochsalz wird jährlich ein Anteil von ca. 10 Milliarden kWh = 3 % des gesamten (privaten und industriellen) Stromverbrauchs in der Bundesrepublik verwendet. Vom Strombedarf der Chemischen Industrie entfallen ca. 25 % auf die Chloralkalielektrolyse.

## Verwendung von Chlor in der organischen Chemie

| Organischer Reaktionspartner      | Zwischenprodukte  | Verwendung bzw. Endprodukte                                 | Chlorverbrauch in 10 <sup>3</sup> t (1976) |
|-----------------------------------|---|---|--|
| Methan                            | Chlormethane  | Lösemittel; Fluorchlorkohlenstoffe                          | 325  |
| Kohlenmonoxid                     | Kohlenoxidchlorid   | Zwischenprodukte für Polyurethane und Polycarbonate         | 180  |
| Ethylen                           | 1,2-Dichlorethan<br>Trichlorethylen<br>Perchlorethylen<br>Tetrafluorethylen | Polyvinylchlorid; Lösemittel<br><br>Teflon                  | 572<br>290                                 |
| Propylen                          | Propylenoxid  | Propylenglykol; Polyurethane, Polyester                     | 400  |
| Benzol und Benzolderivate         | Chlorbenzole und andere Chloraromaten                                       | Pestizide, Lösemittel, Zwischenprodukte für Farbstoffe etc. | 157  |
| Sonstige organische Chlorprodukte |   |   | 519  |
|                                   |   |   | <b>Summe: 2 443</b>                        |

Quelle: Umweltbundesamt (Hrsg.): Möglichkeiten zur Verminderung der Quecksilberemissionen bei Alkalichloridelektrolysen - Statusbericht 1978

## Zukunft der Chlorchemie

Die heutige Chlorchemie ist eine sehr energiereiche Produktion, die stofflich eng mit der Petrochemie verbunden ist. Es hat sich daher für Länder mit billigen Energiereserven aufgrund reicher Erdölvorkommen (Nahe Osten, Südamerika) angeboten, in diesem Bereich zu investieren. Nach der unmittelbar bevorstehenden Fertigstellung von Großanlagen in diesen Ländern ist in der Bundesrepublik mit Produktionskrisen zu rechnen.

Aus ökologischer Sicht ist ein Rückgang der Chlorchemie in der Bundesrepublik sehr zu begrüßen, da nahezu alle organischen Chlorverbindungen als umweltschädlich und meist auch für den Menschen toxisch einzustufen sind. Das kann damit erklärt werden, daß organische Chlorverbindungen in der Natur fast ebenso wenig vorkommen wie das freie Chlor. Die Stoffwechselsysteme der Lebewesen hatten daher im Verlauf der Evolution auch keinen Anlaß, Abbaumechanismen für solche Stoffe zu entwickeln. Dazu kommt, daß die meisten chlororganischen Verbindungen durch ihre Fettlöslichkeit in der Nahrungskette angereichert werden. Global gesehen ist eine Verlagerung der Chlorchemie in Erdölförderländer als außerordentlich bedenklich anzusehen. Es ist zu befürchten, daß Produktionsverbote (z.B. für DDT) oder Produktionsverbesserungen (z.B. bei der PVC-Herstellung), die bei uns durchgesetzt werden konnten, dort wenig Beachtung finden. Schon heute ist ein großer Teil der Belastung unserer Nahrungsmittel mit chlororganischen Verbindungen auf Rückstände in Futtermitteln, die aus Ländern der Dritten Welt importiert werden, zurückzuführen.

Die Chloralkalielektrolyse ist stofflich eng mit einem anderen, umweltbelastenden Elektrolyseverfahren, der Aluminiumerzeugung, verbunden. Zur Aufbereitung von Bauxit, dem Rohstoff für die Aluminiumherstellung, werden große Mengen Natronlauge verbraucht. Diese Lauge gerät zum Teil im „Rotschlamm“, dem Abfallprodukt der Bauxitaufbereitung, in die Umwelt. Da für die Aluminiumerzeugung ebenso



*Sind hochtoxische, schwer abbaubare Verbindungen wie Dioxin erst einmal im Chaos einer Mülldeponie gelandet, ist eine Unschädlichmachung kaum noch möglich*

gewaltige Strommengen verbraucht werden, wie für die Chloralkalielektrolyse, bietet sich die Verbindung dieser beiden Produktionen mit einem Großkraftwerk, möglichst einem Kernkraftwerk, an. In Stade liegt diese Kombination vor. Dem dortigen Kernkraftwerk sind die größte Chloralkalielektrolyse-Anlage der Bundesrepublik (DOW-Chemical) und die Aluminiumhütte der VAW benachbart. Die ökologischen Auswirkungen der Industrieansiedlungen an der Unterelbe sind bekannt.

Organische Chlorverbindungen bilden auch einen besonders gefährlichen Teil der „Altlasten“, die in alten Deponien als chemische Zeitbombe lagern. Ein Beispiel sind die Probleme, die sich aus den alten Produktionsrückständen von

Boehringer/Hamburg in der Giftmülldeponie Georgswerder ergeben.<sup>3</sup>

Während noch vor wenigen Jahren das Wachstum der Chlorproduktion als Maßstab für den wirtschaftlichen Fortschritt eines Landes angesehen wurde, muß heute der Rückgang der Chlorproduktion als Maßstab für den gesellschaftlichen Fortschritt angesehen werden. Zur Beschleunigung dieses Fortschritts ist u.a. eine intensive öffentliche Diskussion über Möglichkeiten, die Chlorchemie durch andere Produkte bzw. Produktionsweisen zu ersetzen, erforderlich.<sup>4</sup> □

#### Anmerkungen:

<sup>1</sup> zitiert nach Hendrichs, F.: Der Weg aus der Tretmühle. Düsseldorf 1966.

<sup>2</sup> Ullmann, F.: Enzyklopädie der technischen Chemie. Dritter Band, S. 374. Berlin und Wien 1916.

<sup>3</sup> Im Entwurf für das Sondermüllabgabengesetz der Bundestagsfraktion der Grünen ist eine Verbrauchssteuer auf Chlor von 300,- DM/t vorgesehen, die zur Mitfinanzierung eines Altlastenfonds verwendet werden soll.

<sup>4</sup> Beiträge zu dieser Diskussion finden sich in dem Buch „Gift Macht Geld“.

#### Literatur

Arbeitskreis Chemische Industrie/KATALYSE (Hrsg.): Dioxin. Verlag Kölner Volksblatt. Köln 1984.

Dieselben: Gift Macht Geld. Verlag Kölner Volksblatt. Köln 1986.

Dohmeier, H. J. und Jansen, E.: Zum Töten von Fliegen und Menschen. Rowohlt Taschenbuch, Reinbek 1983.

Farbwerke Höchst: Dokumente aus Hoechster Archiven. Band 34: Die Anfänge der Alkali-Elektrolyse. Höchst 1968.

Haber, L. F.: The Chemical Industrie during the Nineteenth Century. Oxford 1958.

Derselbe: The Chemical Industry 1900-1930. Oxford 1971.

Welsch, F.: Geschichte der chemischen Industrie. Berlin 1981.

Karl Otto Henseling arbeitet seit Jahren an Themen für einen gesellschaftsbezogenen Chemieunterricht. Er versucht derzeit, die entscheidenden Entwicklungsschritte des industriellen Stoffwechsels zwischen Mensch und Natur in einem Buch zu beschreiben. Eine vollkommen neuartige Form dieses Stoffwechsels ist die Nutzung der Elektroenergie für Stoffumwandlungen.

### Chloralkalielektrolyseanlagen in der Bundesrepublik

| Firma                    | Standort              | Kapazität (1982)<br>in t Chlor / Jahr: |
|--------------------------|-----------------------|--|
| BAYER AG                 | Leverkusen            | 315 000                                |
|                          | Dormagen              | 330 000                                |
|                          | Ürdingen (Krefeld)    | 140 000                                |
|                          | Brunsbüttel           | 60 000                                 |
| HOECHST AG               | Hoechst (Frankfurt)   | 410 000                                |
|                          | Gendorf (Oberbayern)  | 64 000                                 |
|                          | Gersthofen (Augsburg) | 42 000                                 |
|                          | Knapsack (Köln)       | 85 000                                 |
| BASF AG                  | Ludwigshafen          | 170 000                                |
|                          | Ludwigshafen          | 175 000                                |
| Chemische Werke Hüls AG  | Marl (VEBA)           | 325 000                                |
| Elektrochemie Ibbenbüren | Ibbenbüren (AKZO)     | 145 000                                |
| Degussa                  | Wesseling b. Köln     | 50 000                                 |
| Wacker-Chemie            | Burghausen (Höchst)   | 150 000                                |
| Dynamit Nobel            | Lülsdorf b. Köln      | 80 000                                 |
|                          | Rheinfelden           | 61 000                                 |
| SOLVAY                   | Rheinberg             | 60 000                                 |
| ICI                      | Wilhelmshaven         | 115 000                                |
| DOW Chemical             | Stade                 | 660 000                                |
| <b>Gesamtkapazität:</b>  |                       | <b>3 437 000</b>                       |

nach Informationen des Umweltbundesamtes