

Wolfgang Schirmer
Dr. Jürgen Caro

Chemie und Umwelt. Versuch einer Prognose*

1. Einführung

Meine Generation, d.h. die Schirmer'sche, die unmittelbar nach dem Ersten Weltkrieg Geborenen, hat in ihrem Verhältnis zur Industrie, besonders zur chemischen Industrie, im Verlauf des Lebens einen grundlegenden Wandel, einen "argen Weg der Erkenntnis" (um mit Feuchtwanger zu sprechen) durchgemacht. In frühester Kindheit erzogen mit dem Grundsatz, daß der Mensch die Natur beherrschen möge, erwartete ich mit Naivität und auch Überzeugung die Erfüllung der großen gesellschaftlichen Ziele von der Wissenschaft. Schon mit 15 Jahren stand für mich fest, Chemiker zu werden. Unter dem Eindruck eines Vortrages von Friedrich Hofmann über die Synthese des Kautschuks stehend, wollte ich dazu beitragen, die ab 1935 in Deutschland immer stärker spürbar werdende Rohstoffknappheit auf dem Wege über chemische Synthesen zu lösen. Die Ideologen des Nationalsozialismus wurden nicht müde, uns als ein "Volk ohne Raum" darzustellen. Das Volk aber wurde systematisch auf Krieg vorbereitet. Wirtschaftlich hatte die einsetzende Autarkie eine hochintensive Entwicklung u.a. der chemischen Synthese zur Folge. Diese wissenschaftlich-technische Aufgabe schien mir interessant. Daß beide Seiten zu einer Medaille "Krieg" gehörten, erkannten wir, die studentische Jugend, zu spät.

Das Studium der Chemie stand in Berlin auf hohem Niveau. Ganz in der Tradition der Mitglieder der Preußischen Akademie Walter Nernst, Max Planck, Emil Fischer, Max Bodenstein stehend, trugen Otto Hahn, Karl Lohmann und Erich Thilo, Hans-Heinrich Franck, ab 1945 oder später Mitglieder der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, ihre neuesten Forschungsergebnisse vor, was uns Studenten sehr beeindruckte. Die Frage, die Umwelt vor den Folgen der ständig wachsenden Produktion an Chemikalien zu schützen, stellte sich für uns kaum, so sehr waren wir davon überzeugt, daß die Natur etwaige Abfälle durch Entfaltung von Selbstreinigungskräften ins biologische Gleichgewicht bringen würde. Es erregte einiges Aufsehen, als Erich Thilo im Wintersemester 1939/40 einen Abschnitt über Maßnahmen zum Schutz der Umwelt vor chemischen Gefahren in seine Vorlesung einbaute. Wie sorglos wir in dieser Hinsicht waren, zeigte die bewundernde Bemerkung eines namhaften Chemikers, der, als er 1947 die ersten Schuhe aus "Igelit" entdeckte, ausrief: "Wenn man bedenkt, daß dieses Produkt zu 60 %

* überarbeiteter Vortrag vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät am 19. Januar 1995

aus Chlor besteht, dann ist das eine großartige Leistung". Heute gibt selbst der Sachverständigen-Rat für Umweltfragen (1990) in Bonn zu: "Der Aufbau der Chlorchemie in den 50er und 60er Jahren war eine falsche Entscheidung" [1].

Auch wenn hier und da Einzelmaßnahmen zur Luftreinigung und Reinhaltung der Vorfluter getroffen wurden, Chemie schien untrennbar mit Gestank und Lärm verbunden. In den 50er Jahren und auch noch später hatte in der DDR aber auch anderswo Produktion Vorrang vor Umweltschutz.

Der Durchbruch im Bewußtsein der Verantwortlichen wurde weltweit ausgelöst durch das Buch der amerikanischen Schriftstellerin Rachel Carson "The Silent Spring". 1963 war es höchste Zeit, daß die Industrie allgemein ihre Einstellung zu Umweltfragen änderte. Nicht mehr Beherrschung der Natur durch den Menschen konnte die Losung sein, sondern nur eine Tätigkeit des Menschen in Übereinstimmung mit der Natur unter Wahrung bestimmter biologischer und stofflicher Gleichgewichte bis hin zu einer zukünftigen "stabilen" Entwicklung (Hier wird in der meist englischsprachigen Literatur das Wort "sustainable" verwendet [2]. Die deutschen Übersetzungen wie "dauerhaft" oder "nachhaltig" treffen den Sinn des englischen Wortes nicht, ich, W.S., verwende daher "stabil", bin aber für bessere Übersetzungen dankbar). Um 1970 verschlechterte sich die Akzeptanz und das Ansehen der chemischen Industrie in der Öffentlichkeit wesentlich. Chemische Industrie und "Giftküche" wurden Synonyma. Die Schärfung des Umweltbewußtseins in der Gesellschaft führte dazu, daß die Kernindustrie und die chemische Industrie Diskussion und Verurteilung oft ohne ausreichende Informationen erfuhren. Inzwischen ist der Begriff „Chemie“ in den Medien fast zu einem Schimpfwort geworden. „Ganz ohne Chemie und Gift“ bezeichnet Qualität.

Einige Ereignisse, die von der chemischen Industrie unmittelbar zu verantworten waren, erschütterten das Vertrauen einer breiten Öffentlichkeit in die wissenschaftliche Sorgfalt dieses Industriezweiges:

- 1) erkrankten 120 japanische Fischer (von denen 40 starben) an der bis dahin unbekanntem "Minimata"- Krankheit, ausgelöst durch Quecksilber aus einer Elektrolyse.
- 2) wurde in Seveso in Norditalien zum ersten Mal Dioxin in größeren Mengen freigesetzt.
- 3) Schon in den 70er Jahren wurde der Bedeutung der Ozonschicht in der Stratosphäre größere Aufmerksamkeit zuteil. Als man ab 1985 etwa immer größere "Ozonlöcher" fand, die auf eine Zerstörung des O₃ durch FCKW zurückzuführen waren, stand die chemische Industrie als Schuldiger fest.

- 4) ereignete sich der folgenschwerste Chemieunfall aller Zeiten, als in Bhopal (Indien) durch eine Explosion von Methylisocyanat 2.500 Tote unter der Bevölkerung zu beklagen waren [3].
- 5) Verschiedene Unfälle, die zu spektakulären Verseuchungen von Flüssen führten, riefen Millionen von Anwohnern die Gefahren der Chemie deutlich ins Gedächtnis. Als Beispiel sei der Brand bei Sandoz in Basel angeführt, der 1987 zu einer Verseuchung des Rheinwassers führte.
- 6) Von 1972 ab wurde in Genf ohne Ergebnis über eine Ächtung von Chemiewaffen verhandelt. Der breite Einsatz von Chemikalien als Waffe in Vietnam durch die US-Armee und die Tötung von Tausenden von Einwohnern bei Halabja im Nordirak mit Hilfe von Chemiewaffen haben das Ansehen der Chemie weiterhin reduziert. (Nach 20 Jahren Verhandlung konnte endlich 1992 die Konvention zur Ächtung von Chemiewaffen abgeschlossen werden [4]).

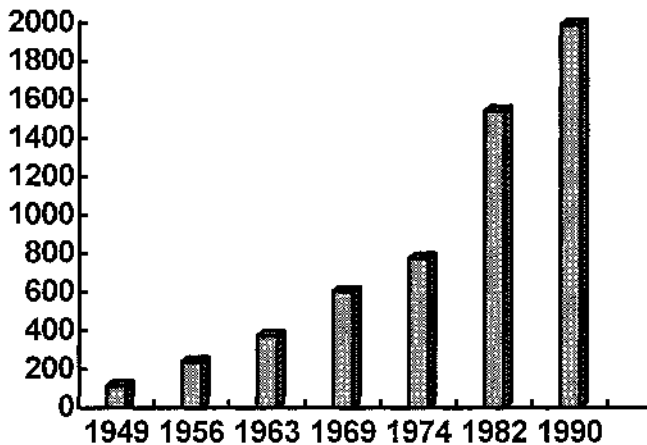


Abb. 1: Entwicklung der chemischen Produktion in der Bundesrepublik Deutschland von 1949 bis 1990 in Mrd. DM

Mit der gewaltig angestiegenen chemischen Produktion (seit 1949 stieg die Weltproduktion an Chemikalien bis 1990 auf das 18fache [5]) wurden die Konsequenzen für die Umwelt immer stärker spürbar, so daß auch die Bevölkerung der Industrieländer immer stärker gegen die Umweltbelastungen protestierte. Heute ist die Kritik organisiert: Verbraucherschutzverbände, *Greenpeace*, seit 1980 auch politische Parteien wie *Die Grünen* haben ihre

Verdienste daran, daß die Mißstände aufgedeckt werden, wie z. B. die Chlorchemie [6]. Wie das oft passiert, droht nun die Entwicklung in ein anderes Extrem zu verfallen, man vergißt, daß Lebensstandard und Zivilisation längst von der Produktion der chemischen Industrie abhängig sind. Etwa nach dem Grundsatz "So viel wie nötig, keineswegs so viel wie möglich an Chemie" müssen in der Zukunft Wege gefunden werden, die die Umwelt nicht belasten, aber auch die unentbehrlichen Produkte bereitstellen.

Welche Bedeutung haben die Produkte der Chemie für die moderne Gesellschaft?

1. Bisher sind in der wissenschaftlichen Literatur etwa 8 Mio. chemische Verbindungen beschrieben worden, die durch Synthese zugänglich sind. Jährlich kommen etwa 200.000 Verbindungen neu hinzu. Man kann davon ausgehen, daß für alle in der Natur vorkommenden Verbindungen auch Synthesewege erschlossen werden können.
2. Von diesen synthetisch zugänglichen Verbindungen werden weltweit etwa 70.000 - 100.000 [7] gehandelt, allerdings wurden davon in Deutschland 1990 nur 4.700 Produkte in einem Umfang von mehr als 10 jato hergestellt. 1.000 Substanzen werden mit Losgrößen über 1.000 jato produziert [8]. Es entspricht der Eigenart der chemischen Produktion, daß 90 % dieser Mengen im eigenen Betrieb weiter verarbeitet werden, also als Handelsprodukte nicht in Erscheinung treten.
3. Es liegt in der Sache begründet, daß die größte Zahl der chemischen Produkte in der Natur nicht vorkommt, daß sie daher im natürlichen Kreislauf der Produkte oft nur mit Schwierigkeiten durch Bakterien, Wirkstoffe oder Enzyme abgebaut werden. Besonders die C-F- oder C-Cl-Bindung erweist sich als sehr resistent. Die Natur hat kaum chlorhaltige Verbindungen aufzuarbeiten.
4. Durch welche Leistungen trägt die Chemie zu unserem heutigen Lebensniveau bei?

- Da wäre zunächst einmal unsere **Ernährung**. Heute produziert die westeuropäische Landwirtschaft erstaunliche Überschüsse. Von 1938 bis heute stieg die durchschnittliche Ernte an Getreide von 22 dt/ha auf das Dreifache, also auf über 60 dt/ha an. Wie verlogen erscheint da die alte Hunger prophezeiende Naziparole vom "Volk ohne Raum"! 50 - 60 % dieser Ertragssteigerung ist auf den Einsatz mineralischer Düngemittel nach den wissenschaftlichen Grundlagen, die auf J. v. Liebig basieren, zurückzuführen [9-11]. Bei richtiger Anwendung mineralischer Düngemittel ist kein Unterschied zur Düngung mit Stallmist oder Gülle festzustellen. Die Pflanze kann ohnehin nicht unterscheiden, ob das von ihr aufgenommene Nitrat- oder Phosphation aus Stallmist oder Mineralien stammt. Natürlich wird der Landwirt zuerst auf den Stallung als Dünger zurückgreifen, führt er doch in

einem partiellen Kreislauf die dem Boden entzogenen Nährstoffe im richtigen Mix wieder zu, verbessert er die Bodengare und den Humusgehalt - wohin auch sonst damit?

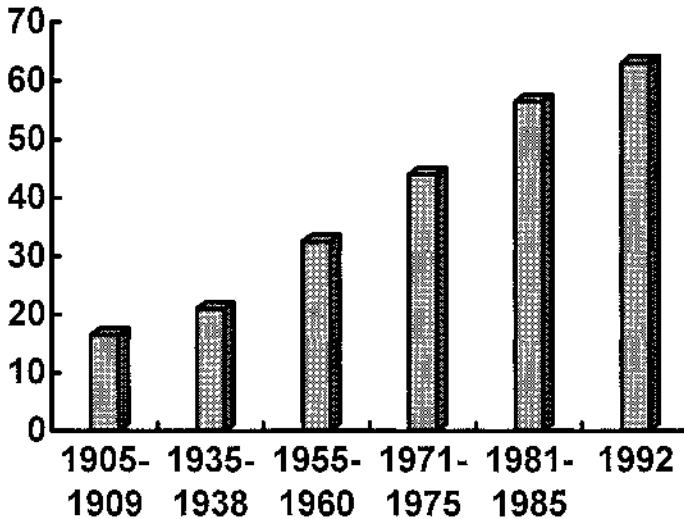


Abb. 2: Getreideerträge in Deutschland in dt/ha

- **Kunststoffe** oder, wie wir in der DDR sagten, Plaste sind aus dem heutigen Materialangebot der Volkswirtschaft nicht mehr wegzudenken. Ihr Produktionsumfang stieg seit 1950 auf das 80fache. Sie sind leicht, chemisch widerstandsfähig, vielfartig verarbeitbar und äußerst variabel einsetzbar. Ein modernes Auto enthält 130 kg dieser Produkte, wollte man sie durch andere Werkstoffe ersetzen, so müßte man mit 300 kg Mehrgewicht rechnen [12]. Dennoch ist die Kunststoffeuphorie der 60er Jahre verflogen. Damals sprach man vom Eintritt in das "Plastzeitalter". Dazu wird es nicht kommen. Es hat sich eine Mischung aus den verschiedenen Werkstoffen durchgesetzt.

- Bisher wurden 30.000 verschiedene Krankheitsbilder beschrieben. Gegen 6.000 von ihnen hat man durch chemische Synthese **Medikamente** entwickelt. INH und Semicarbazone reduzierten die Volkskrankheit Tuberkulose stark (allerdings sind neuerdings wieder resistente Erreger aufgetreten), alle Infektionskrankheiten haben chemische Widersacher gefunden, nur bei der Influenza, von Viren verursacht, war die Chemie bisher erfolglos. Ich bin überzeugt, daß die Chemie auch ihren Beitrag zur Überwindung von AIDS leisten wird. Wenn die durchschnittliche Lebenserwartung in Europa seit

1950 um 6 - 8 Jahre angestiegen ist, so hat die Chemie auch ihren Anteil daran [13].

- Stichpunktartig nur sei erwähnt:

Wer möchte auf moderne Waschmittel verzichten?

Wer möchte nicht die brillanten Textilfarben nutzen?

Wer weiß nicht die Beiträge der Chemie zur Computertechnik, zur Informations- und Unterhaltungselektronik zu schätzen?

So viele Fragen, so viele positive Antworten! Prüfen wir jetzt an Einzelbeispielen, welche Prognose dem Thema "Chemie und Umwelt" gestellt werden kann.

2. Die Chemie und die Landwirtschaft

Während 1938 eine in der Landwirtschaft beschäftigte Person 10 Einwohner Deutschlands ernähren mußte, ist diese Zahl inzwischen auf 75 angestiegen.

Es ist bekannt, daß für die Erzeugung von 40 t Weizen oder 18 t Raps eine Tonne N benötigt wird. Um N aufnehmen zu können, muß er der Pflanze als NO_3^- (Nitrat-Ion) zur Verfügung stehen. NH_3 wird im Boden durch biologische Prozesse in NO_3^- überführt. Den Pflanzen steht Stickstoff aus verschiedenen Quellen zur Verfügung:

- aus der Tätigkeit von Bodenbakterien, die im Wurzelbereich von Pflanzen leben und die in der Lage sind, Stickstoff aus der Luft in pflanzenverfügbares Nitrat zu überführen. Weltweit werden so etwa 150 Mio. t N bereitgestellt [14],
- aus mineralischer Düngung, die sowohl als NH_3 , NH_4^+ , Harnstoff (Amidform) oder direkt als NO_3^- erfolgen kann. Auf diese Weise werden weitere 100 Mio. t bereitgestellt. Der Vorteil besteht darin, daß man in der Wachstumsperiode Kopfdünger streuen kann,
- aus Stallmist und Jauche stammen weitere 20 - 30 Mio. t.

Der im Boden vor sich gehende Nitrifikationsprozeß sei hier nicht ausführlich dargestellt. Der Vorwurf gegen die mineralische N-Düngung besteht nun darin, daß das in Wasser leicht lösliche NO_3^- -Ion aus dem Boden ausgewaschen wird (tatsächlich treten N-Verluste von 5 bis 20 % je nach Witterung besonders im Spätherbst und Winter auf, da in dieser vegetationsarmen Zeit kein Verbrauch durch Kulturpflanzen erfolgt) und als Nitrat in die Trinkwasser führenden Bodenschichten gelangen kann. Hier stellt das NO_3^- ein Risiko dar, da es besonders bei Kindern Methämoglobinbildung verursachen kann. Deshalb ist in Deutschland der NO_3^- -Gehalt im Trinkwasser auf 50 mg/l begrenzt. Der niedrigere Grenzwert von 40mg/l, der in der DDR galt, wurde allerdings - wie Untersuchungen 1988 zeigten -

vielfach überschritten. In extremen Fällen wurden Kleinkinder mit Mineralwasser versorgt.

Diese Auswaschverluste können durch Einhaltung der agrotechnischen Termine, Vermeidung überhöhter N-Gaben und saurer Böden weitgehend verhindert werden [15]. Wissenschaftlich erarbeitete Richtlinien für den Einsatz mineralischer Düngemittel liegen vor.

Die Pflanze braucht zum Gedeihen außerdem die Elemente P, K, Mg und einige Spurenelemente, die ihr in wohldosierten Mengen zugeführt werden müssen. Dabei hat die Phosphatdüngung den Nachteil, daß ausgewaschene Mengen von PO_4^{3-} in stehenden Gewässern (besonders in Verbindung mit erhöhter N-Zuführung) zur sogenannten "Eutrophierung", also vermehrtem Pflanzen- und Algenwachstum mit der Gefahr der Störung biologischer Gleichgewichte führen können. Der Schädigungsmechanismus ist bekannt: Zuerst erfolgt das unkontrollierte Massenwachstum von Biomasse, die bei Temperaturwechsel abstirbt und bei ihrer Zersetzung dem Wasser den lebenswichtigen Sauerstoff entzieht [16]. Fäulnisprozesse sind die Folge, Fischsterben. Alle diese biologischen Gleichgewichte sind von einer wissenschaftlich betriebenen Landwirtschaft zu berücksichtigen.

30 % der geernteten Feldfrüchte gehen weltweit durch Lagerungsschäden wieder verloren. Schädlinge (Heuschrecken, Kartoffelkäfer, Kornkäfer) können ganze Ernten auf dem Halm vernichten, Unkräuter können die Kulturpflanzen verdrängen. Es war daher von großer Bedeutung, daß erstmals 1932 über die Kontaktwirksamkeit chemischer Verbindungen berichtet wurde. Um 1940 wurde in der 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure die erste allgemein anwendbare phytotoxische Verbindung gefunden. Heute werden weltweit 600 Substanzen als Herbizide und Insecticide gehandelt [17]. Die Arbeitsproduktivität in der Landwirtschaft steigerte sich infolge vereinfachter Pflegemethoden rasch. Infolge des Einsatzes von DDT konnte z. B. die Anophelesmücke so erfolgreich bekämpft werden, daß die Malaria um 1963 als eine aussterbende Tropenkrankheit galt. Leider zeigte sich sehr bald, daß vor allem die chlorierten Verbindungen wie DDT, Lindan und 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure (T) sich in der Natur als sehr widerstandsfähig erweisen, im tierischen Fettgewebe angereichert werden und bald weltweit, sogar in Grönlands Eisküsten, nachzuweisen waren. Warnungen vor "chemischen Zeitbomben" konnten nicht mehr überhört werden. Die Produktion von DDT, Lindan, 2,4,5-T und Pentachlorphenol wurde in Deutschland eingestellt.

Pflanzenschutzmittel gehören heute zu den toxikologisch am besten untersuchten chemischen Verbindungen. Nur etwa 20 % der im Umlauf befindlichen Produkte können überhaupt einer Giftklasse zugeordnet werden. Dennoch ist die Kritik am Einsatz dieser Produkte sehr wertvoll. Sie führte dazu, daß entwickelt wurden seit 1980

- immer selektiver wirkende Mittel (Getreide - Flughafer)
- Mittel, die schon in geringster Menge wirksam werden
- Produkte, die nach Anwendung leicht abgebaut werden und kein Risiko für Mensch und Umwelt darstellen [18].

Allgemein wird versucht, auf biologische Schädlingsbekämpfungsverfahren durch Sexuallockstoffe wie die Pheromone überzugehen. Von "Chemischen Keulen", wie sie einst in Totalvernichtungsmitteln vom Typ Dalapon (Dichlorpropionsäure) angewandt wurden, sind wir heute schon sehr weit entfernt, die Suche nach noch selektiver wirkenden Präparaten wird fortgesetzt.

Mit diesen Ausführungen ist das Problem "Chemie und Landwirtschaft" keineswegs erschöpfend behandelt. Tieraufzuchtpräparate vom Typ Glenbutamol und Hormone sorgten für unerfreuliche Schlagzeilen, Produkte zur Förderung der Intensivhaltung von Tieren wurden entwickelt, es gibt Halmstabilisatoren und Mittel zur Verbesserung der Bodenstruktur, Konservierungsstoffe und viele Tierarzneimittel - mit einem Wort: die Chemie ist in der Landwirtschaft und den Nahrungsmitteln allgegenwärtig. Der heute in Europa erreichte Stand in der Landwirtschaft: ein Landwirt sorgt für die Ernährung von 75 Personen, ist ohne Chemie nicht aufrechtzuerhalten.

Als Ausweg aus diesem Dilemma wird "Alternativer Landbau" empfohlen. Er soll ganz ohne Chemie auskommen, d. h., er will auf wesentliche wissenschaftliche Erkenntnisse über Pflanzenernährung und Landwirtschaft, die wir seit 150 Jahren gesammelt haben, verzichten. Er nimmt dabei in Kauf, daß die landwirtschaftliche Produktion in Europa um 30 % zurückgehen könnte, ein Umstand, der sehr schwer ins Gewicht fallen würde, wenn wir in Westeuropa keine Überschußproduktion mehr hätten. Die Produkte der alternativen Erzeugung kosten auf dem Markt etwa das Doppelte, über eventuelle Vorteile im Geschmack oder Aussehen können wir uns hier nicht äußern. Auf die kürzlich geführte Diskussion über holländische Gewächshaus-Tomaten wollen wir nicht eingehen. Ihre erkennbaren Qualitätsmängel sind vor allem durch gentechnische Einflüsse bedingt. Die hartnäckige Kritik am Chemieeinsatz in der Landwirtschaft war von großem Wert, trug sie doch dazu bei, das Umweltbewußtsein der Öffentlichkeit erheblich zu schärfen [19].

Man darf das Problem der Versorgung mit Landwirtschaftsprodukten nicht nur mit westeuropäischen Maßstäben messen. Mindestens 1 Mrd. Menschen sind gegenwärtig unterernährt, d.h. ihnen stehen Lebensmittel von weit weniger als dem Durchschnittswert von 2.500 Kcal/Tag zur Verfügung. Die Zahl der Hungernden steigt weiter an. Um ihren Hunger zu stillen, kann die Landwirtschaft weltweit nicht auf den Beitrag der Chemie verzichten. Wir

werden uns also auch in Zukunft mit dem Thema "Chemie und Landwirtschaft" beschäftigen müssen.

Was bleibt also zu tun?

- Wir sollten an dem Weg, die Übereinstimmung des Menschen mit der Natur auf wissenschaftliche Weise zu begründen, festhalten und die Bemühungen der Wissenschaft konsequent fortsetzen.
- Wir müssen immer tiefer den Kreislauf der Natur verstehen lernen, die chemischen, biologischen und toxikologischen Faktoren, die natürlichen Gleichgewichte bestimmen, untersuchen und daraus Konsequenzen ziehen.
- Das alles sollte von einer fortschrittlichen Gesetzgebung gefördert werden, die im Interesse des Bürgers exakt festlegt, wie weit chemische Mittel eingesetzt werden dürfen und welche Prüfungen ein neues Präparat vor seiner Einführung in den Markt zu durchlaufen hat. Es ist sehr zu bedauern, daß es bisher nicht gelungen ist, den Umweltschutz in mehr als allgemeiner Weise in das Grundgesetz unseres Landes aufzunehmen.

3. Die Chlorchemie

Auf diesem Gebiet liegt die chemische Industrie seit Jahren am stärksten unter Beschuß. Greenpeace bezeichnet die Chlorchemie als "organisierte Vergiftung" und fordert, "im Jahre 2000 keine chlorhaltigen Massenprodukte mehr auf den Markt zu bringen" [6], [20]. Die Verbraucher und die Umweltschutzverbände akzeptieren diese Forderung und beginnen, sich in ihrem Kaufverhalten immer stärker danach zu richten. Ein allgemeiner Konflikt zwischen Chemie und Gesellschaft, gleichzeitig mit dem weitergehenden Merkmal "Wissenschaft gegen Natur" versehen, droht auszubrechen. Wie soll sich die chemische Industrie da verhalten? Was macht für sie das Chlor so attraktiv?

Chlorverbindungen zeichnen sich aus durch:

- 1) das hohe Reaktionsvermögen mit anderen chemischen Verbindungen,
- 2) die leichte Verfügbarkeit in Salzlagerstätten und Gewinnbarkeit durch ausgereifte Elektrolyseverfahren,
- 3) die wertvollen Eigenschaften der Cl_2 -haltigen Endprodukte, wie hohe thermische und chemische Stabilität, hohes Lösevermögen, vielseitige Anwendbarkeit (vor allem beim PVC), vorteilhafte toxikologische Eigenschaften.

Weltweit wurden 1991 35 Mio. t Cl_2 , in Deutschland rund 3 Mio. t, erzeugt und verarbeitet. Die breite Palette nützlicher Chlorprodukte macht rund 60 % des Chemieumsatzes aus, im wahrsten Sinne des Wortes ein Schlüsselprodukt. Aber nur etwa 10 % des Cl_2 findet sich in Endprodukten wieder, 90 % gehen innerhalb der chemischen Betriebe in Produktkreisläufe über und

finden sich meist in Form von wasserlöslichen Chloriden im Abwasser [21]. Es stellte sich bald heraus, daß die Vorzüge des Chlors mit erheblichen Nachteilen für die Umwelt erkauft wurden:

- 1) Da die Natur keine Enzyme oder anderen Wirkstoffe für die Spaltung der C-Cl-Bindung kennt, nehmen Cl-Verbindungen am natürlichen Kreislauf nicht teil. Sie reichern sich vielmehr auch infolge ihrer hohen Löslichkeit im tierischen Gewebe an und beeinflussen so die Nahrungskette in den Weltmeeren. Mit den sehr empfindlichen Analysemethoden konnte man inzwischen in entlegensten Weltteilen organische Cl-Verbindungen nachweisen.
- 2) Chlorhaltige Kohlenwasserstoffe, insbesondere sog. FCKW (Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe) sind in erheblichem Maß für den Treibhauseffekt verantwortlich, ebenso für die Ausbildung des Ozonloches über den Polkappen [22].
- 3) Alle schweren Chemieunfälle standen bisher mit der Chlorchemie in Verbindung. Es muß befürchtet werden, daß die beim berühmten Seveso-Unfall aufgetretenen Dioxine auch bei normaler Verbrennung Cl-haltiger organischer Abfälle gebildet werden und so ein nicht tragbares Risiko für die Auslösung von Krebserkrankungen darstellen. Viele leicht lösliche oder flüchtige Cl-Verbindungen wurden bisher toxikologisch nicht untersucht. Im Elbwasser wurden 1988 54 verschiedene chlorierte Verbindungen nachgewiesen (nach internen Berichten des DDR-Instituts für Umweltforschung).
- 4) Besonderes Ziel der öffentlichen Kritik ist der Massenkunststoff PVC, von dem in Deutschland 1990 1,2 Mio. t unter Verwendung von einem Viertel der Cl_2 -Produktion erzeugt wurden [23]. Es ist bekannt, daß monomeres Vinylchlorid (ein Gas) krebserregend ist. Deswegen wird PVC auch zu 99,7 % auspolymerisiert. Monomeres Vinylchlorid entweicht allerdings in Deutschland während des Produktionsprozesses zu einigen 100 t/a in die Atmosphäre, eine zusätzliche Gefahrenquelle.

Diese Nachteile riefen, sobald sie bekannt wurden, Gegenmaßnahmen seitens des Gesetzgebers und der chemischen Industrie hervor. Die Produktion des Insektizids DDT wurde vor 20 Jahren verboten, polychlorierte Biphenyle PCB werden seit 1983 und das Holzschutzmittel Pentachlorphenol seit 1984 nicht mehr produziert. Chlorierte Lösemittel wie Trichlorethylen, Perchlorethylen, Methylenchlorid und Trichlorethan machen rund 90 % der Chlorkohlenwasserstoffe aus, d.h. 14 % aller Lösungsmittel. In den 80er Jahren wurden Spuren dieser Verbindungen im Trinkwasser entdeckt, ein Anlaß mehr, die Einstellung der Produktion zu fordern. Die Erzeugung ist stark rückläufig, sie fiel von 180 Tt im Jahre 1986 auf 100 Tt 1990 und wird 1995 nur noch 50 Tt betragen. Für Metallentfettung, Textilreinigung und

andere spezielle Anwendungsgebiete wurden jedoch noch keine Ersatzlösungen gefunden, das bleibt der Zukunft vorbehalten [24].

Weltweit wurden auf Konferenzen in Montreal 1987 und in London 1990 Beschlüsse gefaßt, die die Produktion der "Ozonkiller" FCKW in absehbarer Zeit verbieten [25]. War erst von einer Einstellung der Produktion bis 2000 die Rede, so wurde 1990 die Beschleunigung dieses Prozesses bis zum Jahre 1995 vorgesehen, da die Erscheinungen in der Stratosphäre dies erfordern. Man sieht also, daß sehr wohl Radikalmaßnahmen international verbindlich beschlossen werden können, wenn das die Umstände erfordern. Alarmierend ist allerdings der Umstand, daß die mittlere Lebensdauer von FCKW, die sich bereits in Stratosphäre und Atmosphäre befinden, 107 Jahre beträgt. Es werden also weiterhin große Belastungen auf die Ozonschicht zukommen. Für die bisher wichtigsten Anwendungsbereiche, den Spraybereich, die Kältetechnik und die Kunststoffschäume, hat die Chemie inzwischen brauchbare Cl-freie Lösungen gefunden.

Noch ein Wort zum PVC. Es gibt keinen Kunststoff, der so vielfältig variiert werden kann, wie dieser. Als Hart-PVC dient er zum Herstellen von Rohren und Fensterrahmen, als Weich-PVC wird er zur Produktion von Schläuchen, Folien bis hin zu medizinischen Geräten und Kabelisolierungen eingesetzt. Bodenbeläge, Teppiche, Tapeten stellen andere Formen des Einsatzes dar. Es ist schon schwer, diese Vielseitigkeit zu ersetzen [26]. Die Umweltschützer wollen nicht nur Kritik üben, sondern machen auch Vorschläge für Ersatzlösungen. Diese Vorschläge sollten auf der Grundlage wissenschaftlich begründeter Ökobilanzen erfolgen, um Fehlurteile zu vermeiden. Nicht alle dieser Vorschläge sind unter Konkurrenzbedingungen ökonomisch realisierbar. Es wird darauf verwiesen, daß auch in den verschiedenen Weichmachern, Stabilisatoren und Zusatzstoffen, die erst den fertigen Werkstoff PVC ausmachen, zusätzliche Gefahren für die Umwelt schlummern, alles in allem ein komplexes Feld, das uns weiterhin beschäftigen wird.

Wie groß ist die Gefahr, daß sich bei der Verbrennung dieser Materialien Dioxine bilden? Das ist eine Sammelbezeichnung für eine Gruppe von 75 verschiedenen chemischen Verbindungen, von denen das 2,3,7,8-TCDD das eigentliche Sevesogift ist. Es ist hoch toxisch und bildet sich immer dann, wenn Trichlorphenoxyessigsäure auf etwa 200°C erhitzt wird. Mit den modernen Analysemethoden gelingt es, 10⁻¹¹ g dieser Verbindung nachzuweisen. Das 2,4,5 T war ein viel genutztes selektives Herbicid, das durch den Einsatz in Vietnam als Entlaubungsmittel (die Amerikaner nannten es *Agent Orange*) traurige Berühmtheit erlangte. Unter den Begleitstoffen von 2,4,5 T befinden sich auch in Spuren Dioxine, so daß der ehemalige Dschungel in Vietnam das am meisten mit Dioxinen verseuchte Gebiet der Erde darstellen dürfte.

Übrigens sind bei der um 1950 aufgenommenen Produktion von 2,4,5 T Betriebsunfälle mit Todesfolge vorgekommen, ohne daß man damals das 2,3,7,8-TCDD als Ursache erkannt hätte. Die Produktion von 2,4,5 T wurde 1983 eingestellt. Die Verbrennung Cl-haltiger organischer Materialien wurde sehr genau untersucht. Gefördert durch die gesetzliche Auflage, daß bei der Verbrennung weniger als 10^{-10} g/m³ Abgas nachgewiesen werden, wurden inzwischen Verbrennungsmethoden entwickelt, die eine unvollständige Verbrennung und damit eine Dioxingefahr ausschließen. Bei Wohnungsbränden, an denen PVC-Materialien beteiligt sind, fällt ins Gewicht, daß etwaige Dioxine sich durch ihre hohe Adsorptionsneigung an Staub oder Ruß auszeichnen. Die so gebundenen Molekeln sind durch Wasser nicht abzuwaschen, sie werden von Pflanzen nicht aufgenommen. Heute wird die Dioxinbelastung in Deutschland auf weniger als 100 g/a geschätzt.

Alle bisher eingeleiteten Maßnahmen führen von 1989 zu 1992 zu einem Rückgang in der Chlorproduktion um 550.000 t (3,43 zu 2,87 Mio. t). In den Folgejahren ist mit einer weiteren Senkung zu rechnen. Einen völligen Ausstieg aus der Produktion Cl-haltiger Massenprodukte wird es nach Auffassung der chemischen Industrie nicht geben, evtl. Ersatzlösungen sind einfach zu aufwendig [26]. Sie sind auch bei vielen absolut stabilen Cl-Produkten nicht nötig. Also bleibt die Kritik von Umweltschützern, die diese Maßnahmen als ungenügend einschätzen, erhalten. Aus diesem Konfliktpotential können zweifellos positive Ergebnisse erwartet werden, wenn Wissenschaft und Gesetzgebung nach Lösungen suchen.

Schließlich sind alle Teilnehmer an diesem Prozeß an einer intakten Umwelt interessiert.

4. Waschmittelchemie

Waschmittel, genauer gesagt, die in ihnen enthaltenen Tenside, oberflächenaktive Stoffe, waren die ersten, die in Deutschland das Thema "Chemie und Umwelt" zur Diskussion brachten. Ihre Abgabe an Vorfluter führte zu riesigen Schaumbildungen im Rhein, Elbe, Saale, Pleiße und Luppe. Das begann bereits in den 50er Jahren. Die bis dahin schwer abbaubaren Tenside wurden ab 1964 durch biologisch leichter abzubauende Tenside ersetzt, die erste umfassende Umweltmaßnahme der chemischen Industrie in West und Ost.

Bekanntlich ist der deutsche Verbraucher ein Sauberkeitsfanatiker. Die Produktion an Waschmitteln stieg von 1956 - 1983 auf das Vierfache an. Längst ist das Waschmittel der Gegenwart nicht einfach nur Seife, sondern ein *mixtum compositum*, das viele Funktionen erfüllen muß:

- 1) Das Washwasser ist zu enthärten, d.h. von störenden Ca²⁺- und Mg²⁺-Ionen zu befreien. Dazu diente lange Zeit bestimmte Phosphate. Seitdem man deren schädliche Auswirkungen auf Binnengewässer

- kennt, werden Zeolithe eingesetzt. Auch Nitrilotriacetat wurde probiert, beide Zusätze haben aber auch Nachteile,
- 2) die Tenside, die oft für bestimmte Einsatzgebiete "maßgeschneidert" sind und die Bedingung erfüllen, biologisch leicht abbaubar zu sein (Waschmittelgesetz von 1964),
 - 3) Eiweiß abzubauen (Blut, Milch). Hierzu werden entsprechende Enzyme zugesetzt,
 - 4) Keime abzutöten und Obstflecken zu entfernen. Das geschieht durch Perborat, das bei 90°C O₂ abspaltet. Um auch bei 40°C-Wäsche wirksam zu werden, wird Perborat durch weitere Zusätze aktiviert. Außerdem verhindern Stabilisatoren den vorzeitigen Zerfall des Perborats.
 - 5) Waschmittel ist besonders als Pulver begehrt, neuerdings auch in Perlform. Um die Rieselfähigkeit zu erhalten, werden Stellmittel zugesetzt.
 - 6) Optische Aufheller, Duftstoffe, Seife, Silikat und Soda runden die Zusammensetzung des Waschmittels ab [27].

Die Verbesserung der Zusammensetzung geht auch in Bezug auf Umweltverträglichkeit weiter. Die entsprechenden Handelsprodukte zeichnen sich durch Zusätze wie "Ultra" und "Rapid" aus. Gerade die Wäsche bei 40°C hat einen bedeutenden Energiespareffekt. In diesem Zusammenhang sollten die für viele verschiedene (20-25) Einsatzgebiete entwickelten Reinigungs- und Pflegemittel im Haushalt nicht unerwähnt bleiben, da sie etwa ähnliche Umweltprobleme bieten. Waschmittel und Reinigungsprodukte machen in Deutschland etwa einen Bedarf von 18 kg/Kopf der Bevölkerung aus und haben einen Markt von vielen Milliarden DM.

5. Kunststoffverpackung und Duales System

Hier sei nur ein Problem ausführlicher dargestellt, zumal Herr Frommelt einen Extravortrag über Kunststoff-Recycling halten wird. In der Bundesrepublik fallen jährlich etwa 2,5 Mio. t Kunststoffabfälle an. Im Hausmüll machen Kunststoffabfälle etwa 7 % aus. Das Duale System soll ab 1. Juli 1995 rund 600.000 t Kunststoffverpackungen erfassen, sortieren und wieder verwenden. Dieser Auftrag dürfte kaum erfüllt werden, erst 1996 steht eine 300.000 tato-Recyclinganlage zur Verfügung. 700.000 t Altkunststoffe werden gegenwärtig unter Energiegewinnung verbrannt, 1,3 Mio. t werden deponiert [28].

Kunststoffrecycling stellt sich als ein unerwartet schweres Problem dar. Das hängt mit der Vielfalt der Kunststoffe und mit der nicht sortenreinen Erfassung zusammen. Nur etwa 20 % können in unveränderter Qualität zurückgewonnen werden. Bei allen anderen Altstoffen treten Qualitätsverluste auf.

Neben der Energieerzeugung scheinen die technische Pyrolyse, die Synthesegas-Gewinnung und die Hydrierung als aussichtsreiche chemische Verwertung in Frage zu kommen. Alle Verfahren sind technisch noch nicht ausgereift. Das Duale System hat gegenwärtig Kosten in Höhe von DM 3.000.- pro Tonne [80 % davon bei Erfassung und Sortierung (darin war das "Sero"-System der DDR eindeutig überlegen)]. Kostendeckung sieht das Duale System vorerst nicht vor, ein Zuschuß von 350,-DM/t bei der Erfassung und 350,-DM/t bei der Verwertung ist das Ziel. Eine Lösung des Gesamtproblems wird bis 1998 in Aussicht gestellt [29].

Oft ist ein Verpackungsluxus zu beobachten. Wenn auch nicht verkannt werden darf, daß verpackte Lebensmittel im allgemeinen vor Verlust und Verderb hygienisch geschützt sind, auch die Folien um Bücher und Geräte haben sich als praktisch erwiesen, so gibt es doch viele Luxus-Mehrfach-Verpackungen.

Mehr Bescheidenheit auf diesem Gebiet wäre sehr vorteilhaft. Offensichtlich sind Einkaufstaschen außerhalb jeder Vorstellung. Wer wundert sich nicht, wenn im Film Verbraucher beim Verlassen des Supermarktes mit riesigen Tüten hantieren müssen?

6. Schwermetalle und Chemie

Obwohl die Pflanzen lebensnotwendig Spurenelemente wie Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Co und Se benötigen, besteht doch heute eine Gefährdung der Umwelt durch die Verseuchung mit Cd, Ni, Co, Cr, Pb, Hg und vielen anderen Schwermetallen. Zu den neuartigen Problemen auf diesem Gebiet gehört die Aufbereitung von Elektronikschrott.

- 1) Als die Natriumchlorid-Elektrolyse sich in den 30er (1935) Jahren auf Hg-Elektroden umstellte, glaubte man, einer wesentlichen Verbesserung des Verfahrens auf der Spur zu sein. Die 1953 aufgetretene "Minimata"-Krankheit belehrte uns eines Besseren. Überall, wo man die Hg-Alkalichloridelektrolyse anwendete, wies man steigende Mengen an Hg im Boden und in Flüssen nach. Es gelang zwar, die Hg-Verluste drastisch zu reduzieren (auf 100 mg Hg pro kg Cl_2), Hg - nur als Dampf gefährlich - greift Nerven an. Ataxie Unfähigkeit zum Schreiben. Das Verfahren der Zukunft wird die sogenannte Membrantechnologie sein, die ohne Hg auskommt und in technisch ausgereifter Form vorliegt. Es ist heute kaum noch vorstellbar, daß man 30 Jahre lang flüchtige Hg-Verbindungen als Saatbeizen verwendete ($\text{C}_2\text{H}_5\text{HgCl}$ gegen Flugbrand bei Weizen) [30].
- 2) Als man 1922 erkannte, daß Bleitetraethyl $[\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4]$ die Oktanzahl von Benzin wesentlich erhöht, womit man das Kompressionsverhältnis im Motor steigern konnte, war die Geburtsstunde des "verbleiten" Benzins gegeben (1963: 300.000 t Zusatz von 0,5-0,75 ml/l Benzin).

Um die Bildung von verstopfendem PbO zu vermeiden, setzte man Cl- oder Br-haltige Verbindungen zu, die schließlich zur Bildung von flüchtigem PbCl₂ führten (von Haut resorbiert - Weidetiere an Autobahn gefährdet). Ein idealer Nährboden für eine breite Streuung des Bleis in der Umwelt. Zwar senkte der Gesetzgeber mehrfach die Grenze des Bleizusatzes zum Benzin, aber noch immer kann man verbleites Benzin tanken. Da Pb die Kraftfahrzeugkatalysatoren zerstört, wird sein Absatz zwangsläufig zurückgehen. Das Beispiel zeigt deutlich, wie gedankenlos wir die Umwelt behandeln.

- 3) Für Zwecke des Korrosionsschutzes und als Stabilisatoren im PVC werden 1.100 t Cd in Deutschland verbraucht. In Ni/Cd-Batterien und in Solarzellen wird davon ebenfalls eingesetzt. Das im Abwasser enthaltene Cd reichert sich in Kläranlagen an und wird mit dem Klärschlamm auf die Felder gebracht. Cd findet sich schließlich in den meisten natürlichen Phosphaten. Boden darf 0,1-1,0 mg Cd/kg enthalten. Enthält der Boden >3,0 mg/kg, so verbietet die Klärschlamm-Verordnung das weitere Aufbringen. Cd reichert sich im Nierenringewebe an und kann dort Funktionsstörungen auslösen. Bei Arbeitern, die Cd-haltigen Stäuben ausgesetzt waren, wurde gehäuft Lungenkrebs beobachtet [31].
- 4) Schließlich ist die elektronische Industrie ein Verbraucher seltener Elemente. Ga, As, In, Sb. Seltene Erdmetalle werden u.a. zum Aufbau von Chips benötigt. Bei einem weltweiten Marktwert von 200 Mrd. DM machen sie einen bedeutenden Anteil an der Produktion aus [32]. Die immer schnellere Entwicklung führt zur Verschrottung von Bauteilen, Batterien und Anzeigegeräten. Es ist schon erstaunlich, daß die in Batterien enthaltene elektrische Leistung global ebenso groß ist, wie die gegenwärtig vorhandene Kraftwerkskapazität (1,5TW). Diese Verschrottung in einen Wiederverwendungszyklus der teilweise wertvollen und seltenen Elemente einzuführen, stellt eine neue Herausforderung an die Chemie dar, die hierfür noch keine allgemein gültigen Lösungen gefunden hat. Insgesamt kann man feststellen, daß die Probleme, die sich aus der Spurenverteilung vieler Elemente ergeben, von der Chemie erkannt, aber noch nicht voll gelöst sind.

7. Formalin (Formaldehyd)

Schließlich noch ein Wort zum Formaldehyd. Seit 1984 diskutiert man die Frage, ob Formaldehyd, der sich durch einen stechenden Geruch auszeichnet, krebserregend ist. Erhöht man die Empfindlichkeit des Nachweises, so ist CHOH ein allgegenwärtiges Produkt. In Städten wurden bis 0,06 ppm in der Luft gemessen, aber auch über dem offenen Meer noch 0,005. Formaldehyd wird zu 500.000 t in Deutschland produziert. 40 % davon werden für die Spanplattenproduktion benötigt. Als Rohstoff für die sogenannten

Kondensationsharze spielt CHOH eine große Rolle. Ab 0,3 ppm nimmt der Mensch ihn in der Atemluft wahr. Allerdings wird Formaldehyd als Naturprodukt sehr schnell abgebaut, so daß Langzeitwirkungen nicht vorliegen können. Er gehört zu den toxikologisch am besten untersuchten Substanzen. 1980 wurden für Spanplatten drei Emissionsklassen festgelegt, die sich durch Emissionswerte von 0,1 - 2,3 ppm unterscheiden. Der Verdacht, daß Formaldehyd krebserregend ist, konnte bei Untersuchung von 20.000 Fällen nicht erhärtet werden. Übrigens bildet Zigarettenrauch eine der bedeutendsten Formaldehydquellen [33].

*

Wir werden jetzt die Einteilung nach Produkten verlassen und die Verantwortung der Chemie für die Reinhaltung von Luft und Wasser behandeln.

Beginnen wollen wir mit der

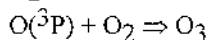
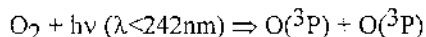
8. Reinhaltung der Luft

Ohne bereits Gesagtes zu wiederholen, sollen hier Probleme der Luftverunreinigung behandelt werden. SO_2 , NO , CO , CO_2 , KWw und Staub sind die wesentlichen von chemischen Prozessen ausgehende Verunreinigungen. Ich muß ehrlich gestehen, immer wenn am IJASA eine Landkarte mit der stärksten SO_2 -Belastung Europas gezeigt wurde, wobei das Gebiet der DDR, CSSR und Westpolens besonders dunkel gefärbt war, beschlich mich ein flaes Gefühl. War doch mit der von der DDR-Regierung verfüigten Verbrennung von 1986 betragenden 320 Mio. t Rohbraunkohle zwangsläufig eine Freisetzung von 5 Mio. t SO_2 in der DDR verbunden. Zusammen mit den 4 Mio. t SO_2 in der BRD und nochmals schätzungsweise weiteren 5 Mio. t in der CSSR und Polen war ein Gebiet in Mitteleuropa von weniger als 1 Mio. km^2 mit 14 Mio. t SO_2 belastet, d.h. je km^2 15 - 16 kg SO_2 /Jahr. Das hätte für das Guinness-Buch der Rekorde gereicht! Die Bezirke Cottbus und Halle in der DDR waren mit 30 - 35 kg SO_2 /Jahr/ km^2 belastet! Die chemische Industrie hat direkt an diesem Ausstoß nur einen Anteil von 4 %. Seit der Einführung der Doppelkatalyse bei der H_2SO_4 -Gewinnung gibt dieses Verfahren kaum noch SO_2 an die Umwelt ab. Als einer der bedeutendsten Energieverbraucher hat die chemische Industrie natürlich auch einen Anteil von etwa 25 % des bei der Energieerzeugung anfallenden SO_2 zu verantworten. SO_2 dringt in die Stratosphäre ein und bildet dort Schwefelsäure-Aerosole. Deren Konzentration wuchs in 20 Jahren jährlich um 9%. Sie bilden teilweise die Ursache für die beobachtete Erwärmung der Stratosphäre um $6-7^\circ\text{C}$ [34].

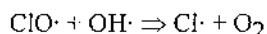
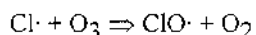
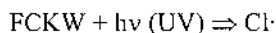
Die die Atmosphäre belastenden Stickoxide stammen zu 90 % aus dem Kraftverkehr. Die berüchtigten braunen Abgasfahnen in Bitterfeld gehören der Vergangenheit an. Durch die Entwicklung von Abgaskatalysatoren hat

die Chemie einen positiven Beitrag zum Kraftverkehr geleistet*. Das NO ist sowohl an der gefährlichen Smogbildung in Städten als auch an dem Abbau der Ozonschicht beteiligt. Dort wo NH₃ und Amine an die Atmosphäre abgegeben werden können, ist mit NO die Bildung krebserregender Nitrosamine möglich. Das traf z. B. auf den Bezirk Halle zu.

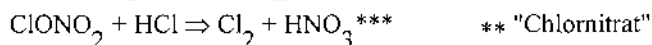
In der Stratosphäre, in etwa 10-50 km Höhe, wird durch ultraviolette Strahlung nach folgenden Mechanismus Ozon, O₃, gebildet:



In 20 - 50 km Höhe erreicht die Ozonkonzentration mit 7 ppm ihr Maximum. Das Absorptionsmaximum von Ozon für Lichtstrahlung liegt bei 254 nm. Durch diese Absorption verhindert das Ozon, daß gefährliche Dosen an ultravioletter Strahlung die Erdoberfläche erreichen und dort z.B. Zellen zerstören (das Absorptionsmaximum der DNA liegt sehr nahe, bei 260 nm). Unter dem Einfluß von ultravioletter Strahlung werden aus Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) Chlornradikale freigesetzt, die die schützende Ozonschicht abbauen. In 40 km Höhe beträgt der Ozonverlust etwa 8%:



An Eiskristallen laufen bei -80°C Oberflächenreaktionen ab, die zur Bildung von O·, ClO· und Cl· Radikalen führen (die Punkte bezeichnen reaktive Radikale).



Es ist ersichtlich, daß Fluorradikale an diesem Abbaumechanismus nicht in Erscheinung treten. Die Halbwertszeit der FCKW beträgt übrigens in der Stratosphäre etwa 107 Jahre.

CO ist zwar ein starkes Atemgift, das Methämoglobin bildet, infolge seiner Leichtflüchtigkeit ist die von ihm an freier Atmosphäre ausgehende Gefahr jedoch gering. Das CO₂ gehört zu den natürlichen Bestandteilen der Luft. Es ist Ausgangspunkt der alles Leben bedingenden Fotosynthese.

* vgl. den Vortrag von E. Hoyer am 19. Mai 1994 vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät, vorgesehen zum Abdruck in den Sitzungsberichten der Leibniz-Sozietät 7(1995)7.

Anders sieht die Verantwortung für die Verunreinigung mit Kohlenwasserstoffen aus. Die einfachen KWw leisten ihren Beitrag zum Treibhauseffekt, ringförmige KWw wie Benzen und Toluol können Krebs auslösen. Das Reinigen und Waschen größerer Abgasströme ist jedoch eine in der chemischen Industrie gut beherrschte Grundoperation. Luftverunreinigung tritt örtlich durch H₂S, Mercaptane (Leuna), HF, Dioxine, VC (Buna) auf, sie wurden bereits behandelt.

Bleibt noch die Staubbildung. Wer die Rauchfahnen der Carbidöfen in Schkopau, von Zementanlagen und Düngemittelanlagen in Erinnerung hat, glaubt gern, daß auf der nördlichen Halbkugel der Erde die Staubbildung längst meteorologischen Einfluß gewonnen hat. Wer die Idee hatte, gefährliche Abfälle auf See zu verbrennen, hat grob fahrlässig gehandelt (1989/1994). Seit 1989 ohne deutsche Beteiligung, ab 1994 verboten.

Kommen wir zur

9. Verunreinigung des Wassers

Auf diesem Gebiet steht die chemische Industrie viel stärker in der Kreide als auf dem Luftsektor, verwendet sie doch Wasser als Kühlmittel und belastet es mit zahlreichen Produkten. Um 1960 wurde die Saale zur Hälfte durch das Leuna-Werk geleitet, um den Kühlwasserbedarf zu decken. Heute bestehen in Betrieben Kühlwasserkreisläufe, die eine Mehrfachverwendung von Kühlwasser gestatten. Auf alle Fälle muß das im Chemiebetrieb eingesetzte Wasser von gelöstem NH₃, Aminen, Phenolen, Fe- und Cr-Salzen, Fettsäuren und Aldehyden - um nur einiges zu nennen - gereinigt werden, ehe es an Vorfluter abgegeben werden kann.

Das Verfahren der Wahl ist heute eine mehrstufige biologische [35] Abwasserreinigung, die mit Belebtschlamm arbeitet, indem organische Verbindungen durch Mikroorganismen zersetzt und die anorganischen Bestandteile (Metalle, Oxide) im Schlamm adsorbiert werden. Über die Verwendung dieses Schlammes wurde bereits gesprochen. Das so gereinigte Wasser kann, wenn es auf Umgebungstemperatur abgekühlt ist, unbedenklich an Flüsse abgegeben werden. Die deutsche chemische Industrie investiert gegenwärtig etwa ½ Mrd. DM/Jahr in den Abwasserschutz, wobei sich die Betriebskosten auf 1 Mrd. DM/Jahr belaufen. Auf jeden Fall muß eine Gefährdung des Trinkwassers ausgeschlossen werden!

Auch wenn die Belastungen des Rheins in den letzten Jahren erheblich gesenkt werden konnten, geurteilt wird nach spektakulären Vorkommnissen [36]! Das betrifft auch den Zustand der Elbe, die nach wie vor bereits in ihrem Oberlauf erheblich mit Chemieabfällen belastet ist. (Im November 1994 gab die Presse bekannt, daß der Hg- und Cd-Gehalt der Elbe erheblich gesenkt werden konnten.)

Fortschritte im Gewässerschutz wurden in der Papierherstellung, in der Textil- und Lederindustrie, allesamt sehr abwasserbelastend, gemacht, ohne daß die Einzelheiten hier dargelegt werden können. Bis jetzt wurden die Maßnahmen zum Schutz der Umwelt durch die chemische Industrie im allgemeinen durch zusätzliche Verfahrensschritte ausgeführt. Man baute also eine Gaswäsche ein, um Abgas zu reinigen, man fügte eine zusätzliche Entstaubungsanlage ein oder eine Adsorptionsstufe mit Aktivkohle. Man nennt dies additiven Umweltschutz. Zukünftig muß jedoch vom Prinzip des integrierten Umweltschutzes ausgegangen werden., d.h. das Produktionsverfahren muß so gestaltet werden, daß es die umweltschädigenden Stoffe gar nicht erst hervorbringt [37,38]. Dazu gehören vor allem geschlossene Stoffkreisläufe, aber nicht nur diese. Viele Beispiele dafür wurden in den letzten Jahren bekannt. Es kommt also darauf an, die bestehenden Produktionsverfahren unter dem Aspekt der Umweltverträglichkeit neu zu konzipieren. Das ist natürlich ein Prozeß, der Zeit braucht, um neue Erkenntnisse in die Praxis einzuführen und die entsprechenden Investitionen zu veranlassen. Diese Entwicklung ist unabdingbar, je eher sie vorankommt, um so besser.

Noch ein Wort zu den Transportunfällen. Am auffälligsten sind Tankerunfälle mit Erdöl. Tagelang berichtet die Presse - sehr zu Recht - über verseuchte Strände und verendete Seevögel. Der Schaden, den der Tanker "Exxon Valdez" vor Alaska angerichtet hat, wird, alles aufgelistet, auf 5 Mrd. Dollar geschätzt. Allein die Gerichte haben bisher den betroffenen Fischern mehrere 100 Mio. Dollar Entschädigung zugesprochen. Hinzu kommt, daß verantwortungslose Reeder Tanker mit technischen Mängeln einsetzen. Ein ganz anderes "Transportproblem" stellen die Versuche dar, Giftmüll in anderen Ländern zu deponieren.

Ziehen wir Bilanz.

10. Wie teuer ist uns der Schutz der Umwelt?

- 1) Umweltschutz ist teuer - um einen üblichen Gemeinplatz zu variieren: zum Nulltarif ist er nicht zu haben. Die Produktionskosten der meisten Erzeugnisse weisen ein bedenkliches Defizit auf (hierin waren sich Markt- und Planwirtschaft ausnahmsweise einmal einig): sie tun so, als biete uns die Natur ihre Schätze umsonst an. Um eine neue Erdölquelle ausbeuten zu können, berechnet man heute die Kosten für die Exploration, die Produktion und die Nutzung, die gemeinsam die Selbstkosten für das Produkt am Entstehungsort ausmachen. Eigentlich müßte noch eine Umweltabgabe dazukommen, die die Wiederherstellung des natürlichen Gleichgewichtes, das durch die Produktion und Nutzung gestört wurde, angibt. Im Falle des Erdöls würde das auch die Kosten für die Beseitigung von Umweltschäden bei der

Verbrennung der daraus hergestellten Produkte umfassen. Diese Kosten können wir heute noch nicht einmal annähernd nennen. Also: die Erde wird von uns immer noch ausgebeutet.

- 2) Besonders auf die chemische Industrie kommen in dieser Hinsicht riesige Aufwendungen zu. Es genügt eben nicht, Abwasser zu reinigen, Abluft zu filtern und keine Schadstoffe zu produzieren, sondern auch Kompensationen für alle sich erschöpfenden Rohstoffe rechtzeitig zu leisten und intensiv nach Ersatzlösungen zu suchen. Insgesamt gab die deutsche chemische Industrie für die Umwelt von 1982 bis 1991 11 Mrd. DM für Investitionen und 44 Mrd. DM an Betriebskosten aus.

Wie berechnet man die gesundheitliche Gefährdung von Menschen in Chemiezentren? Wer kommt für die Schäden an Kulturdenkmälern auf, die durch sauren Regen verursacht werden? In den letzten 20 Jahren hat die Akropolis durch Umweltschäden mehr gelitten als in 2.000 Jahren vorher. Am IJASA führten Mitarbeiter 1987/88 die Studie "Ökologische Schadensbilanz der Bundesrepublik Deutschland" durch und berechneten für Schäden durch Luft- und Gewässerverschmutzung, für Bodenbelastung und Lärm eine Schadenssumme von 104 Mrd. DM/Jahr [39]. Man kann über einige Posten dieser Bilanz anderer Meinung als die Autoren sein, aber realistisch erscheint uns diese Summe schon. Sie bezieht sich auf die gesamte Volkswirtschaft, die chemische Industrie hat sicherlich einen mindestens ihrem volkswirtschaftlichen Gewicht entsprechenden Anteil daran. Allein die Sanierung der Luft wird insgesamt 250 Mrd. DM kosten. Wenn also die deutsche chemische Industrie seit 1979 jährlich etwa 3-4 Mrd. DM für den Umweltschutz ausgibt, so braucht man kein Prophet zu sein, um zu erkennen, daß diese untere Grenze in Zukunft auf ein höheres Niveau angehoben werden muß. Übrigens weisen die genannten Autoren darauf hin, daß sich ein Nutzen/Kosten-Verhältnis von 2,3 : 1 einstellen würde, wenn man alle störenden Umweltbelastungen beseitigen würde. Dieser Nutzen würde sich auf den Gebieten Gesundheitsverbesserung, Materialschutz, Tierwelt und Freilandvegetation einstellen (Waldschäden). Nebenbei bemerkt, das Nutzen/Kosten-Verhältnis beträgt beim Neubau von Autobahnen nur 1,8 : 1, für den Main/Donau-Kanal sogar nur 0,5 : 1. Diese Zahlen wollen wir hier nicht weiter kommentieren. Wenn wir die Zukunft unserer Kinder und Enkel sichern wollen, bleibt uns gar nichts anderes übrig, als für den Schutz der Umwelt Ausgaben zu machen, auch wenn das Nutzen/Kosten-Verhältnis unter 1 : 1 liegen sollte.

11. Gesetzgebung und Eigeninitiative

Der Staat muß als Gesetzgeber zum Schutz seiner Bürger vor Chemiegefahren tätig werden. Staatliche Festlegungen zum Schutz von Arbeitern in der chemischen Industrie gibt es seit langem, am bekanntesten davon sind die MAK-Werte (maximale Arbeitsplatzkonzentration), die eine Kommission der

Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgearbeitet hat. Seit 1980 ist die Störfall-VO in Kraft, die systematische Sicherheitsanalysen in Chemieanlagen vorschreibt. Im gleichen Jahr trat das mit der EG abgestimmte Chemikaliengesetz in Kraft, das zum ersten Mal davon ausgeht, daß "Mensch und Umwelt besser als bisher vor den Wirkungen gefährlicher Stoffe" geschützt werden müssen [40]. Vor Einführung neuer Produkte sind intensive Untersuchungen über mögliche Schäden für die Umwelt vorzunehmen. Das seit 1977 geltende "Programm zur Verhütung von Gesundheitsschäden durch Arbeitsstoffe" wurde von der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie erarbeitet. Es widmet sich der Sicherheit am Arbeitsplatz und hat dabei besonders die krebserregenden Substanzen im Auge. Es gründete ein "Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe" (BUA), das die 70.000 vorhandenen Altchemikalien in der BRD auf ihre Umweltverträglichkeit hin untersuchen sollte. Natürlich muß eine solche Aufgabe Prioritäten haben. Ob die "Feinauswahl" von 512 Altstoffen (darunter 60 Stoffberichte) alle Möglichkeiten der Analyse nutzt, können wir nicht beurteilen. Uns scheint das Ganze ein Jahrhundertprogramm zu sein. Erst im Jahre 1985/86 hat die chemische Industrie ihre "Umwelt-Leitlinien" zu Papier gebracht. In 21 Punkten werden thesenartig die Grundsätze dargestellt, die die chemische Industrie in ihrem Verhältnis zur Umwelt beachten will.

Uns erscheinen alle diese Maßnahmen als reichlich spät. Wenn wir deutschen Chemiker mit der gleichen Intensität, mit der wir an technischen Großsynthesen von 1925 bis 1955 gearbeitet haben, stärker Fragen der Umwelt in unsere Forschung einbezogen hätten, wozu sich zweifellos Gelegenheiten boten, hätten wir 20 Jahre an Erkenntnisvorsprung gewinnen können. Das meinte ich mit dem eingangs zitierten Wort vom "argen Weg der Erkenntnis". Es soll heute über 1.000 Gesetze und Verordnungen geben, die Chemikalien und Arzneimittel betreffen. Besonders bei pharmazeutischen Produkten werden vor der Einführung viele zeitraubende Prüfungen verlangt. Ob das lediglich die Bürokratie erhöht oder tatsächlich zu größerer Umweltverträglichkeit der Chemie führt, werden wir bald sehen. Noch hat die deutsche chemische Industrie die Chance, das Vertrauen der Öffentlichkeit zurückzugewinnen.

12. Schlußfolgerungen

1. Wie sich zeigt, sind wir von der Verwirklichung der Forderung, mit der Natur dauerhaft in einer energetisch, stofflich und biologisch verträglichen Wechselwirkung zu leben, noch sehr weit entfernt. Die Energie- und Verkehrspolitik, aber auch die Auswirkungen der chemischen Großproduktion sind hierbei, trotz mancher positiver Maßnahmen im letzten Jahrzehnt, Störfaktoren ersten Ranges.
2. Die chemische Industrie muß bald und konsequent für jedes ihrer Produktionsverfahren das Prinzip des integrierten Umweltschutzes, das in einer

hohen Energieeffizienz und in einer gegen Null gehenden Umweltbelastung besteht, verwirklichen. Die bestehenden Verfahren sind auf höchste Selektivität der Katalysatoren und Trennoperationen, auf Kreislaufprozesse und Wiederverwendung von Abprodukten hin zu entwickeln. Auf diesem Gebiet bestehen noch große Reserven.

3. Die Wissenschaft sollte die Forschung über Struktur-Wirkungs-Beziehungen und über bestmögliche Anwendungen von Fertigprodukten, über die Lebensdauer von Werkstoffen u.a. verstärken. Wir benötigen unbedingt vertieftes Wissen über die Toxikologie vieler chemischer Produkte.
4. Um die wachsende Weltbevölkerung ernähren zu können, können wir nicht auf die wissenschaftlichen Grundlagen der Pflanzenernährung und des Pflanzenschutzes verzichten. Landwirtschaft, Umwelt und Chemie bilden eine Einheit, deren wissenschaftliche Grundlage ständig vervollkommenet werden sollte.
5. Extreme Forderungen, z.B. nach völliger Beseitigung der Chlorchemie, taugen nicht zur Lösung der Probleme. Nur in Auswertung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse sollte nach Abstimmung zwischen Öffentlichkeit und Produzenten entschieden werden, welcher Teil der Erzeugung der Chlorprodukte eingestellt wird.
6. In allen Handlungen muß sich die chemische Industrie an die Forderung halten, daß der Schutz von Mensch und Umwelt das Maß aller Dinge ist. Das gilt sowohl für Entscheidungen in der Kunststoffproduktion als auch für die Reinhaltung von Luft und Wasser.
7. Wir erkennen, daß wir von dem Ziel einer ökologisch orientierten sozialen Marktwirtschaft noch weit entfernt sind. Es müssen noch viel traditionell ausschließlich auf Gruppenprofit orientierte Haltungen aufgegeben werden, ehe man den möglichen Gewinn für alle Bürger durch Erhaltung ihrer Umwelt erreicht. Insbesondere sind Gesellschafts- und Wirtschaftsmodelle zu verwerfen, die nur bei Produktionswachstum funktionieren. Wir wissen heute mit großer Sicherheit, daß Wachstum Grenzen hat.
8. Das Tragische dabei ist, daß die Zeiger der Weltuhr auf kurz vor Zwölf stehen. Wir haben keine Zeit zu verlieren. Die Tatsache, daß die Initiatoren des Clubs of Rome 1970 in Ost und West Rufer in der Wüste waren, obwohl sie absolut recht hatten, gibt zu denken. Der unbefriedigende Ausgang der UN-Umweltkonferenz 1992 verstärkt diesen Eindruck. Daß es auch anders geht, zeigen die FCKW-Abkommen von Montreal und London, auch das endlich unterzeichnete Abkommen über die Ächtung der Chemiewaffen. In diesem optimistischen Sinne unverzüglich zu handeln, sind wir unseren Nachkommen schuldig.

Literaturverzeichnis

- Mit der Abkürzung JIASA wird das International Institute for Applied Systems Analysis bezeichnet.
 - Unter "Fakten zur Chemie-Diskussion" sind vom VCI im Verlag Dr. C. Häfner, PF 106060, 69050 Heidelberg, herausgegebene Faltblätter (seit 1980) zu verstehen, im folgenden zitiert mit "Fakten, Blatt Nr. ..."
 - Unter "Folienserie" sind die vom Fonds der Chemischen Industrie herausgegebenen Texthefte zu verstehen, zitiert als "Folienserie".
- [1] Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt/Main, *Chemie im Dialog*, Umweltbericht 1992.
 - [2] *Our Common Future*, The World Commission on Environment and Development, Report Oxford Univ. Press 1987, S. 43 ff.
 - [3] R. U. Ayres - P. K. Rohatgi, *Bhopal-Lessons for Technological Decision-Makers*, Research-Report 87-10, JIASA 1987
 - [4] K. Lohs, *Rüstungsaltpasten*, Z. Umweltchemie u. Ökotoxikologie 1991, 3, S. 74-75
R. Trapp, *Kontrolle der Nichtproduktion chemischer Waffen*, Sitzungsberichte der Akad.d.Wiss der DDR (AdW), 9 N, Akademie-Verlag Berlin 1989
 - [5] VCI, *Strukturwandel in der Chemischen Industrie*, Frankfurt/Main, 1994; Statistische Jahrbücher der BRD 1960-1992 und der DDR bis 1989
 - [6] M. Krautter, *Chlorchemie - die organisierte Vergiftung*, Gruppe Argument Hamburg-Berlin, 1991
 - [7] K. Fedra, E. Weigkricht und L. Winkelbauer, Research Rep. 87-12, JIASA 1987.
 - [8] Gesellschaft Deutscher Chemiker, Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe (BUA), *Altstoffbeurteilung*, Bericht 3. Aufl., Frankfurt/Main 1992, S. 7-11
 - [9] W. Schirmer, L. Ebner, *Wissenschaft und Fortschritt* 36, 1986, S. 24-27
 - [10] W. Schirmer, *Chemie in der Schule*, VEB Verlag Volk und Wissen Berlin 34, 1987, S. 316-323
 - [11] A. Finck, *Dünger und Düngung*, VCH Weinheim 1979, S. 29 ff.
 - [12] *Neue Werkstoffe*, Folienserie Nr. 25
 - [13] *Arzneimittelsicherheit*, Fakten, Blatt Nr. 19, 1990 *Arzneimittel*, Fakten, Blatt Nr. 6, 1994
 - [14] J. Buße, *Düngung und Umweltschutz*, Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, herausgegeben von der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, 24, Heft 1968
 - [15] *Nitrat im Trinkwasser*, Fakten, Blatt Nr. 17, 1987
 - [16] H. Harenz, *Probleme der Schließung des Phosphatkreislaufs*, Nachrichten Mensch-Umwelt, AdW, IfGG 3, 1987, S. 23
 - [17] *Pflanzenschutz*, Fakten, Blatt Nr. 8, 1981; K. Lohs, H. Haenel, R. Engst, E. Heinisch, *Umwelttoxikologische Bewertung chemischer Produkte*, Sitzungsbericht des AdW 15 N, Akademie-Verlag Berlin 1980
 - [18] *Pflanzenschutz*, Fakten, Blatt Nr. 8, 1981, S. 4
 - [19] *Alternativer Landbau*, Fakten, Blatt Nr. 22, 1994

- [20] M. Krautter, *Ausstieg aus der Chlorchemie*, Thesenpapier zur Achema 1994, Greenpeace e.V. Hamburg. Chemische Rundschau AZA, Solothurn **48**, **1995**, Nr. 1/2
- [21] *Informationen zur Chemie mit Chlor*, VCI, Frankfurt/M. **1993** G. Fellenberg, *Chemie der Umweltbelastung*, B.G. Teubner Stuttgart **1992**, S. 98-102, S. 119-120
- [22] *FCKW und Ozonschicht, Fakten*, Blatt Nr. 14, **1989**; *Chemie im Dialog - Schnellerer Ausstieg aus FCKW*, VCI, Frankfurt **1990**
- [23] H. Schreiber, M. Krautter, *Es geht auch ohne PVC*, Greenpeace Alternativen, Hamburg **1994**
- [24] *Chlorierte Lösemittel. Fakten*, Blatt Nr. 44, **1991**; *Informationen zur Chemie mit Chlor*, VCI, Frankfurt/Main **1993**
- [25] T. Vaahtorantz, *The Politics of Ozone*. Vortrag gehalten am 20. Mai 1987 im Rahmen der IIASA-Konferenz "The Processes of International Negotiations"
- [26] *Dioxin, Fakten*, Blatt Nr. 24, **1984**
- [27] *Waschmittel, Fakten*, Blatt Nr. 31, **1986**
- [28] *Kunststoff-Recycling, Fakten*, Blatt Nr. 45, **1992**
- [29] *Verwertung von Kunststoffen. Fakten*, Blatt Nr. 49, **1994**
- [30] G. Fellenberg, *Standort Chemie*, Das Journ. f. Chemie, Wirtschaft u. Politik, VCH Weinheim **1995**, Nr. 4/2, S. 6
- [31] *Schwermetalle in der Umwelt - das Beispiel des Cadmiums*", Fakten, Blatt Nr. 15, **1989**
- [32] *Chemie und Elektronik, Fakten*, Blatt Nr. 33, **1986**
- [33] *Formaldehyd, Fakten*, Blatt Nr. 26, **1984**
- [34] J. Alcamo et alii, *Acidification in Europe - a Simulation Model for Evaluating Control Strategies (RAINS)*". Report, Ambio, Vol. 16, Nr. 5, **1987** S. 235-239; M. Amann, *Transboundary Air Pollution*". IIASA Options, Winter **1993**
- [35] M. Zlokarnik, *Umweltschutz - eine ständige Herausforderung*, Chem.-Ing.-Techn. **61**, **1989**, S. 378-385
- [36] W.M. Stigliani, G. Anderberg, *Industrial Metabolism and the Rhine Basin*, IIASA, Options, Sept. **1991**, S. 4-8
- [37] *Chemie im Dialog - Umweltschutz von Anfang an*, VCI, Frankfurt/Main **1993**
- [38] M. Schubert, *Zur Entwicklung abproduktarmer bzw. -freier Verfahren*, Sitzungsberichte AdW 21 N, Akademie-Verlag Berlin **1981**
- [39] L. Wicke, N. Janz, Rechnet sich Umweltschutz, Umwelt-Magazin August 1988, S. 24-26, September 1988, S. 44-48
- [40] *Chemikaliengesetz, Fakten*, Blatt Nr. 4, **1981**; *Schutz vor Chemieschäden, Fakten*, Blatt Nr. 37, **1987**