

# Soznat

**Materialien für den Unterricht 8**

**Michael Pape**

**Umweltbelastung durch Kunst-  
stoffe**



**Naturwissenschaften sozial**

CIP - KURZTITELAUFNABME DER DEUTSCHEN BIBLIOTHEK

Pape, Michael:

Umweltbelastung durch Kunststoffe : Materialien  
zu e. Unterrichtsreihe / Michael Pape. Hrsg.:  
AG Naturwiss. sozial. 4., erw. Aufl. -  
Marburg : Redaktionsgemeinschaft Soznat, 1985.

(Soznat ; Bd. 8)  
ISBN 3-922850-35-9

NE: GT

Vierte erweiterte Auflage 1985

(c) Redaktionsgemeinschaft Soznat  
Postfach 2150, 3550 Marburg

Druck: Alpdruck Marburg

Alle Rechte vorbehalten - Kopien zu Unterrichtszwecken erlaubt

ISBN 3-922850-35-9

M i c h a e l P a p e

U M W E L T B E L A S T U N G D U R C H K U N S T S T O F F E

Materialien zu einer Unterrichtsreihe

4. Auflage

Marburg 1985

Redaktion: R.George, A.Kremer, L.Stäudel

Graphik: A.Stille

HERAUSGEBER: AG NATURWISSENSCHAFTEN SOZIAL  
c/o Lutz Stäudel, Gesamthoch-  
schule Kassel, Fachbereich 19,  
Heinrich-Plett-Str.40,35 Kassel

## I N H A L T

1. ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DES INHALTS	s. 1
2. ZUSAMMENHANG VON KURSINHALT UND KSP	s. 2
3. SACH-/PROBLEMSTRUKTURSKEITZE MIT ANMERKUNGEN	s. 4
4. DER TATSÄCHLICHE UNTERRICHTSVERLAUF	s. 6
5. MATERIALIEN	s. 9
6. LITERATUR	s. 37
7. ERFAHRUNGSBERICHT	s. 39
8. HINWEISE ZUR LEISTUNGSÜBERPRÜFUNG	s. 41

## 1. Allgemeine Beschreibung des Inhalts

Die folgenden Materialien zu einer Unterrichtseinheit "Umweltbelastung durch Kunststoffe" basieren auf den Erfahrungen mit einem Leistungskurs (Jahrgangsstufe 12), der an einem Hanauer Gymnasium durchgeführt wurde.

Die hier vorliegende dritte Auflage dieses Heftes wurde gegenüber den vorhergehenden Auflagen an vielen Stellen überarbeitet, aktualisiert und ergänzt. Die Ergänzungen betreffen besonders den Materialteil: dort wurden Texte neu aufgenommen, die die Fragen von Kunststoff-Recycling und Kunststoffverwendung überhaupt problematisieren. Überarbeitet wurden auch die Literaturhinweise.

Die Thematisierung der ökologischen Konsequenzen von Kunststoffen im Müll geht von der Feststellung aus, daß Kunststoffe heute in großem Umfang sowohl in der industriellen Produktion wie auch im privaten Alltag anzutreffen sind. Unterschiedlich in Zuschnitt, Eigenschaften und Zusammensetzung haben Kunststoffe in den letzten Jahrzehnten andere traditionelle Materialien wie Metalle, Glas und Papier verdrängt, besonders im Verpackungsbereich - bei gleichzeitig erheblich ausgeweitetem Produktionsumfang. Diese Substitution und die gewachsene Abfallmenge spiegelt sich auch im anfallenden Müll wieder und führt zu Umweltproblemen besonderer Art.

Diese Ausgangssituation läßt im Unterricht verschiedene Akzentsetzungen zu. Die Auswahl von thematischen Schwerpunkten sollte möglichst durch die Schüler, zumindest aber gemeinsam mit ihnen erfolgen; möglich wären z.B. die folgenden Stichworte:

Kunststoffe in der Müllverbrennung:

- Verbrennungsprodukte
- Schadstoffbelastung der Umwelt durch Kunststoffverbrennung
- Schadstoffwirkung einzelner Komponenten
- Grenzwerte für Schadstoffe und deren Festlegung
- Alternativen zur Kunststoffverbrennung

Im Materialteil werden dazu Versuche und Texte vorgeschlagen, und zwar sowohl unter chemischen wie auch unter pflanzenphysiologischen Gesichtspunkten (Verbrennung von Kunststoffproben aus dem Alltag und Nachweis der Verbrennungsprodukte/

nekrotisierende Wirkung von HCl-Gas auf Pflanzen usw.).

Die Ergebnisse der Untersuchungen können schließlich in wiederum verschiedener Weise auf die Ebene gesellschaftlicher Probleme bezogen werden:

- indem Alternativen zur Verbrennung von Kunststoffen herausgearbeitet werden (z.B. Pyrolyse und Wiederverarbeitung / Veränderung des Produktionsanteils / Verwendung alternativer bzw. traditioneller Materialien)
- oder: indem die Umweltbelastung als Gegenstand staatlicher Umweltpolitik problematisiert wird (Festlegung von Grenzwerten im internationalen Vergleich)

Bezogen auf die Situation in der Sekundarstufe II in Hessen eignen sich die Materialien für folgende Kursthemen:

- Aspekte der chemischen Technologie (Grundkurs in 13/II);  
Unterthema: Probleme der Abfallbeseitigung.
- Chemie und Umwelt (Leistungskurs in 13/II);  
Unterthemen: Rolle der Kunststoffe, Müllanfall und Möglichkeiten der Beseitigung, Recycling, Ursachen der Luftverschmutzung, ihre Folgen für Mensch, Tier und Pflanze; Möglichkeiten der Verminderung der Luftverunreinigung; die Rolle der Kunststoffe als Substitutionswerkstoffe.
- Analysenmethode zur Umweltuntersuchung (Grundkurs 13/I);  
Unterthema: Untersuchung von Kunststoffen; Methoden der Luftanalyse; Ursachen der Luftverunreinigungen, Möglichkeiten zur Verbesserung der Luftreinheit.

## 2. Zusammenhang von Kursinhalt und Kursstrukturplänen (Hessen)

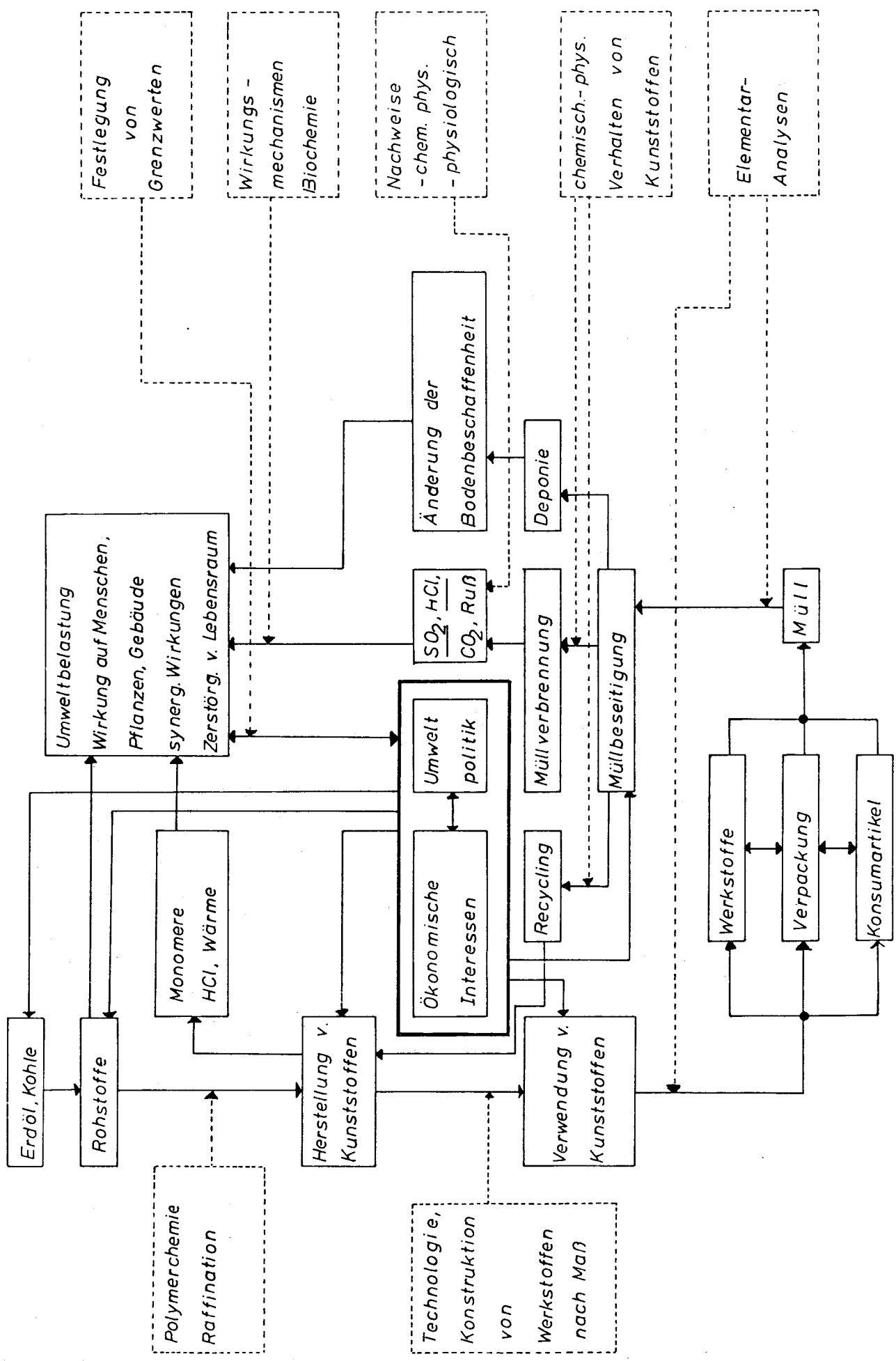
Der mit diesen Materialien realisierbare Unterricht bezieht sich auf die in den KSP gegebene Begründung für den Chemieunterricht in der Oberstufe, insbesondere auf die Ausführungen über die "tiefgreifenen Verflechtungen von chemischer Forschung, Technologie und ihren Erzeugnissen für die Lebensbedingungen der Menschen" (S. 1).

Die weiter unten aufgeführte Sach-/Problemstrukturskizze verdeutlicht, daß die Schüler angeregt werden können, "chemische Zusammenhänge in ihrer Umwelt zu erkennen" (S. 4), was wiederum ein wichtiger Faktor bei der "Mitwirkung an Entscheidungsprozessen ... zum Schutze der Umwelt und zur Verbesserung der Lebensbedingungen" (S. 4) ist.

Die Verwendung von Kunststoffen als neuartige Werkstoffe - Werkstoffe die in Richtung gewünschter Eigenschaften gezielt hergestellt werden können -, ihre Substitutionsfunktion im Verpackungsbereich und die in der Folge auftretenden Probleme bei der Abfallbeseitigung zeigen, "daß die Produkte der chemischen Technologie nicht nur den Stand der Zivilisation maßgeblich bedingen, sondern (daß) die ständig wachsende Produktion zu einer Gefährdung des Menschen und seiner Umwelt führen kann, wenn der technische Fortschritt nicht auch die ökologischen Fragen mit einbezieht." (S. 45, GK 13/II, Aspekte chemischer Technologie)

Die sich bei der Müllbeseitigung ergebenden Möglichkeiten: Recycling, Müllverbrennung, Deponie - sowie deren ökonomisch-politische Determiniertheit - stellen Problembereiche dar, "die im Sinne der Optimierung des Nutzens bzw. der Geringhaltung des Schadens von den Wissenschaftlern, Technologen und Wirtschaftlern bewältigt werden müssen" (S. 45. s.o.).

"Welche Rolle chemische Methoden beim Erkennen und Lösen von Umweltproblemen spielen" (S. 43, GK 13/I, Analysemethoden zur Umweltuntersuchung) ist z.B. durch die jeweilige Methode der Schadstoffnachweise bei den verschiedenen Verwendungsbereichen von Kunststoffen und deren Folgeprodukten aufzeigbar. Dies ist (auf Seite 4) durch gestrichelte Zuordnung in der Sach-/Problemstrukturskizze dargestellt.





### 3. Sach-/Problemstrukturskizze - Anmerkungen

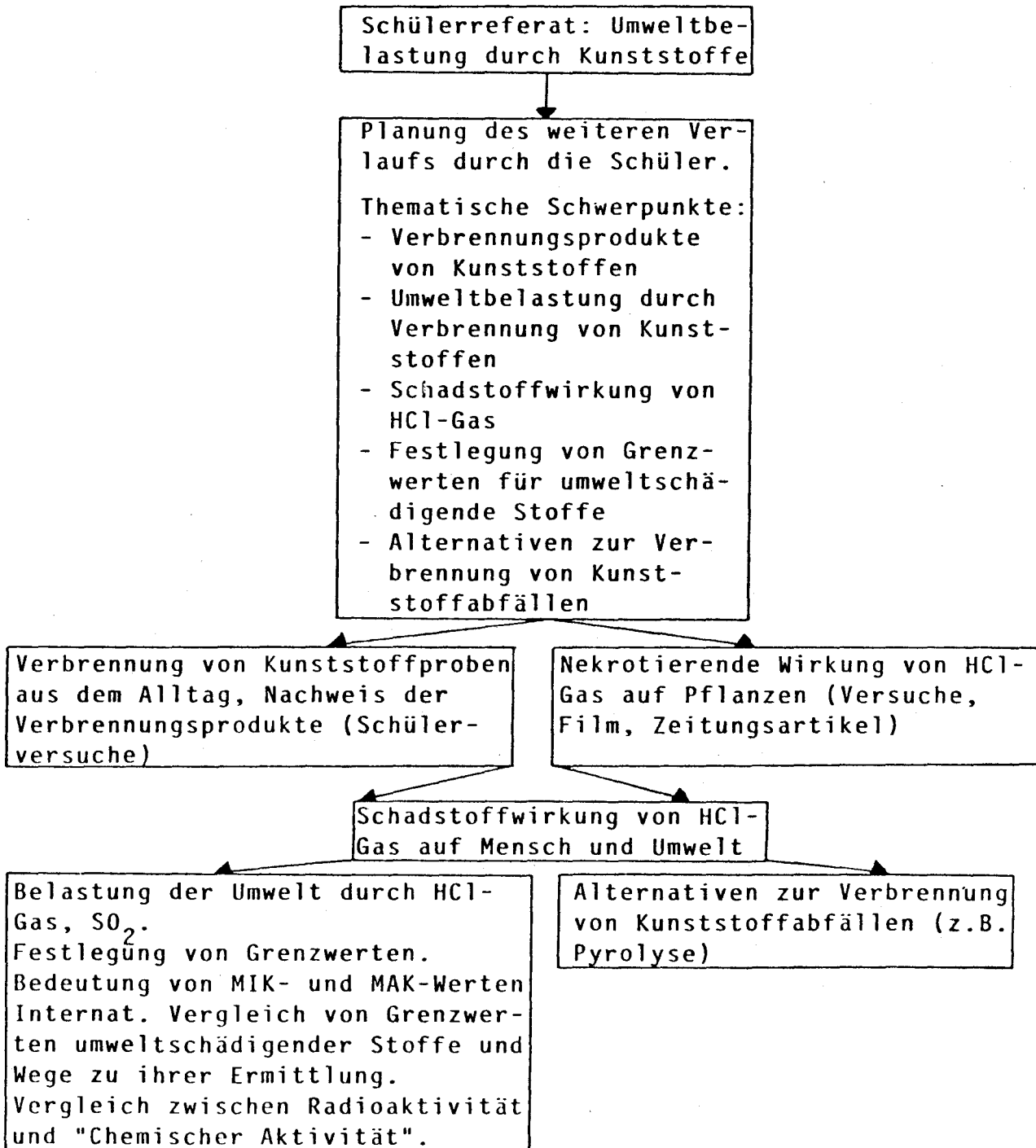
Die Sach-/Problemstrukturskizze stellt einen Versuch dar, ein Problem - hier die Umweltbelastung durch Kunststoffe - möglichst in seiner Komplexität zu erfassen. Damit wird keineswegs der Anspruch erhoben, daß alle aufgeführten Details, Verzweigungen und Zusammenhänge auch im Unterricht behandelt werden sollen. Vielmehr besteht die Möglichkeit und Notwendigkeit, daß Lehrer und Schüler aus diesem Raster einen oder mehrere Stränge herausgreifen und zum Schwerpunkt des Unterrichts machen (dies kann z.B. auch durch arbeitsteiliges Vorgehen in Gruppen erfolgen).

Selbstverständlich ist es auch möglich, daß eine vergleichbare Sach-/Problemstrukturskizze - z.B. auch zur weiteren Strukturierung von Teilbereichen - mit bzw. von Schülern selbst im Unterricht erarbeitet wird.

Bei der auf S. 4 wiedergegebenen Skizze erfolgt mittels der gestrichelten Pfeile und Kästen eine Zuordnung von naturwissenschaftlichen Inhalten, Methoden etc. zu bestimmten Problemaspekten. Nicht in die Skizze aufgenommen wurde der Aspekt "Energie", da energetische Probleme in praktisch allen Teilbereichen eine wichtige Rolle spielen (Kunststoffproduktion ... Müllverbrennung); andernfalls hätte die Übersichtlichkeit darunter gelitten.

Alle genannten Bereiche sind nicht nur sachlogisch miteinander verbunden, sie sind auch über den gesellschaftspolitischen Bereich miteinander verschränkt.

"Umweltbelastung durch Kunststoffe"



#### 4. Der tatsächliche Unterrichtsverlauf

Das Unterrichtsvorhaben wird eingeleitet von einem Schülerreferat. Dieses hat in erster Linie die Funktion, Fragen anzuschneiden und für Diskussion und Planung möglichst provokante und konträre Thesen bereitzustellen. Aus der Diskussion des Referats soll der weitere Verlauf der Einheit mit den Schülern geplant werden, am besten ist es natürlich, wenn das die Schüler alleine ohne den Lehrer machen. Die selbständige Planung wird aber nur dann von den Schülern alleine vorgenommen werden können, wenn sie mit solchen methodischen Aufgabenstellungen vertraut sind.

Der Punkt "Verbrennung von Kunststoffproben und Nachweis der Verbrennungsprodukte" wird erfahrungsgemäß schnell von den Schülern vorgeschlagen. Hier können je nach den geäußerten Vorstellungen Elementaranalysen von Kunststoffproben geplant werden, oder es kann die Kunststoff-Verbrennung mit einer einfachen Apparatur und der Nachweis der Produkte in den Rauchgasen vorgesehen werden.

Die Schadstoffwirkungen von HCl-Gas und SO<sub>2</sub> können anhand von Arbeitsblättern aus dem Materialteil besprochen werden, eine Ergänzung aus Meldungen von Tageszeitungen o.a. ist zur Verdeutlichung des verwendeten Zahlenmaterials (Moll) sinnvoll. Weitere Informationsquellen hierzu sind Materialien des Umweltbundesamtes sowie der Bundesregierung (vgl. Literaturliste).

Im weiteren ergeben sich zwei verschiedene Möglichkeiten des Vorgehens (vgl. Fließschema):

A) Ausgehend von der Schadstoffbelastung der Umwelt durch die Verbrennung von Kunststoffabfällen:

1. Schülerversuche zur Elementaranalyse von Kunststoffproben anhand eines Arbeitsblattes
2. Besprechung der Nachweisreaktionen; Methodenkritik: wie werden heute kontinuierliche qualitative und quantitative Umweltanalysen durchgeführt (Beispiele)
3. Schadstoffwirkung von HCl-Gas auf Mensch und Umwelt
4. Belastung der Umwelt durch Schadstoffe wie HCl-Gas und SO<sub>2</sub>; Festlegung von Grenzwerten für umweltschädigende Stoffe (Emissions-, Immissions- und MAK-Werte) und internationaler Vergleich; Vergleich von Radioaktivität und "chemischer Aktivität"

B) Ausgehend von einem Artikel über Pflanzenschäden durch HCl-Gas:

1. Versuch: Nekrotierende Wirkung von HCl-Gas auf Pflanzen; Auswertung des Versuchs (Zeitungsartikel)
2. Schadstoffwirkung von HCl-Gas auf Mensch und Umwelt
3. Alternativen der Verbrennung von Kunststoffabfällen (z.B. Pyrolyse).

Die Variante A) ist eher für den Einsatz in den Kursen "Aspekte der chemischen Technologie" bzw. "Chemie und Umwelt" projektiert, die Variante B) für den Kurs "Biochemie und Makromoleküle"\*) , in dem die Schüler u.U. eher von den fachspezifischen Fragestellungen ausgehen und in Fragen der Umweltproblematik eingeführt werden sollen. (Ausführliche Skizzen zu den alternativen Unterrichtsvorschlägen befinden sich im Materialteil).

\*) Ein Kurs dieser Bezeichnung existiert in den KSP letzter Ausgabe nicht mehr. Wir haben trotzdem auf eine Umarbeitung an dieser Stelle verzichtet, weil die konkreten Planungsbeispiele allenfalls Möglichkeiten für eine Realisierung von Unterricht mit diesen Materialien darstellen.  
Wegen der Zuordnung zu anderen Kursen/Kursthemen vgl. Abschnitt 2, Seite 2/3.

## 5. Materialien

### M 1: Allgemeine Informationen über Umweltbelastung durch Kunststoffe.

Kunststoffabfälle verrotten praktisch nicht, weshalb sie auf Mülldeponien großen Raum beanspruchen und andere Verarbeitungsalternativen erforderlich machen. Die bisher wichtigste Art der Beseitigung von Kunststoffabfällen ist die Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen.

Bei der Verbrennung der Kunststoffabfälle in Müllverbrennungsanlagen fällt als wichtigster Schadstoff Chlorwasserstoffgas (HCl) an. Der Anteil an Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) aus der Verbrennung stickstoffhaltiger Kunststoffe (Polyamide, Polyurethane) ist vernachlässigbar klein gegenüber dem Ausstoß von Stickoxiden bei der Metallverhüttung, bei Produktionsprozessen der chemischen Industrie (z.B. Salpetersäureproduktion) und bei Verbrennungsvorgängen bei hoher Temperatur - besonders in PKW-Motoren. Die Verbrennung von Altreifen setzt aus dem Vulkanisierschwefel im Gummi Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) frei.

Chlorwasserstoffgas und Schwefeldioxid sind als Umweltgifte für Flora und Fauna und damit auch für den Menschen bekannt. In der pflanzlichen Umwelt werden diese Schadstoffe durch die Spaltöffnungen der Blätter aufgenommen; im pflanzlichen Organismus reagieren diese Stoffe mit dem Wasser und dissoziieren in die entsprechenden Ionen. Je nach der Konzentration der Schadstoffe kommt es zu folgenden biochemischen Wirkungen:

- Senkung der Photosyntheseleistung durch teilweise bis vollständige Zerstörung des Chlorophylls
- Störung des Pflanzenstoffwechsels durch Störung der Ionen-gleichgewichte
- Störung des osmotischen Potentials durch Bildung entsprechender Ionen, die zur Verstärkung der Transpiration bis zur letalen Wasserabgabe, Austrocknung von Zellorganen und letztlich zur Zerstörung der Zelle führen
- Nekrosen (Braunfärbung) der Blätter, Blattfall und Wachstumsschäden als sichtbare Anzeichen der biochemischen Veränderungen in der Zelle

Die biochemischen Reaktionen führen zu sichtbaren Veränderungen an den Pflanzen. Deshalb können Pflanzen als Indikatoren für die Umweltverschmutzung eingesetzt werden, besonders wenn es sich um die Einwirkung sehr geringer, eventuell auch nicht meßbarer Konzentrationen über längere Zeit handelt. (Bsp.: Flechten-Kartierung in Belastungsgebieten)

Umweltschäden können durch

- Schädigungen der Blätter (Langzeitexperimente)
- Veränderung der Wachstumsrate (Vergleich mit Kontrollpflanzen in einem anderen Gebiet bzw. einem Gewächshaus)
- Veränderungen der Ertragshöhe (bei Nutzpflanzen) und
- Schadstoffanreicherungen in Pflanzenorganen (Elementaranalyse der "Meßpflanzen" im Vergleich zu Kontrollpflanzen)
- Absterben von Pflanzen (Waldsterben)

nachgewiesen werden.

Tiere und Menschen absorbieren Schwefeldioxid in den Schleimhäuten der Luftröhre bzw. der Lungenbläschen.  $\text{SO}_2$  löst eine Kontraktion der Bronchiolen und der Venen aus und verringert damit die Lungenleistung. Die Reizwirkung von  $\text{SO}_2$  wird durch einen geringen Anteil von Schwefeltrioxid ( $\text{SO}_3$ ), das durch eine Oxidation an Staubteilchen der Luft entsteht, verstärkt. Bei längerem Einatmen von niedrigen Konzentrationen an  $\text{SO}_2$  ist mit Bronchitis, bei höheren Konzentrationen an  $\text{SO}_2$  mit Herz- und Kreislaufbeschwerden zu rechnen. Der Zusammenhang zwischen der Einatmung von  $\text{SO}_2$  alleine und Erkrankung der Atemwege bzw. Herzbeschwerden läßt sich nicht eindeutig nachweisen, weil  $\text{SO}_2$  in der Regel nicht der einzige in der Luft enthaltene Schadstoff ist.

Sind in der Luft mehrere Schadstoffe nebeneinander vorhanden, können die Wirkungen

- sich gegenseitig aufheben,
- unabhängig voneinander erfolgen,
- sich addieren oder
- sich potenzieren oder multiplizieren (synergistische Wirkungen).

Die erste Möglichkeit kommt praktisch nicht vor, nach der zweiten Möglichkeit werden die deutschen MAK-Werte (maximale Arbeitsplatzkonzentrationen) berechnet, nach der dritten Möglichkeit die sowjetischen Immissionswerte. Häufig ist mit der vierten Möglichkeit zu rechnen (Synergese), die jedoch in die Berechnung von Grenzwerten bisher kaum eingegangen ist.

Ein Versuch mit Tabakpflanzen (R.J. Larsen, 1970) zeigte die synergetische Wirkung von Schadstoffgemischen: 0.7 ppm  $\text{SO}_2$  allein bzw. 2 ppm  $\text{NO}_2$  allein schädigten Tabakpflanzen nicht, ein Gemisch aus  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_2$  in der Konzentration von 0.25 ppm (gleiche Anteile von  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_2$ ) führte zu vollständiger Zerstörung der Pflanzen. Ähnlich verhält es sich mit dem "Smog" über Industriestädten: hier führen Gemische aus Staubteilchen,  $\text{SO}_2$  u.a. zu Erkrankungen der Atemwege und zu Herz- und Kreislaufkrankungen.

Friedrich Scholl

# Ohne Kunststoff geht fast nichts mehr

1980 wurden in den westlichen Industrieländern etwa 50 Millionen t Kunststoffe produziert, zu denen weitere 30 Millionen t polymerer organischer Materialien kamen, die für Fasern, Synthetikgummi, Lacke, Klebstoffe und viele andere Anwendungen „ungeformter Kunststoffe“ verwendet wurden. 30 Jahre zuvor, im Jahre 1950, betrug die vergleichbare Kunststoffproduktion etwa 5 % dieser Menge.

Das enorme Wachstum - in drei Jahrzehnten auf das Zwanzigfache - wurde möglich, weil Kunststoffe aufgrund ihrer Eigenschaften in vielen Gebieten die traditionellen Werkstoffe verdrängten, ebenso aber auch eine große Zahl von Produkten wesentlich verbesserten oder deren Produktion überhaupt erst ermöglichten. Zahlreiche Konsumgüter, etwa Haushaltsgeräte, Sport- und Freizeitartikel, sind zu Preisen herstellbar geworden, die sie für viele Verbraucher erschwinglich machen. Für die breite Anwendung waren die vielfältigen Verarbeitungsmöglichkeiten und die besondere Kombination von Eigenschaften bestimmend.

Ende der 70er Jahre wurden die Zuwachsraten der Kunststoff-Industrie geringer, in den beiden letzten Jahren stagnierte die Produktion oder war in Teilbereichen rückläufig. Dabei überlagerten sich in der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung - dies gilt auch künftig - verschiedene wesentliche Einflüsse: Gewichtige Substitutionen anderer Werkstoffe haben in vielen Gebieten einen Abschluß erreicht und werden nunmehr stärker konjunkturabhängig; mengenmäßig bedeutende, neuartige Anwendungen und Märkte werden seltener; die zunehmende Verschiebung von quantitativem zu qualitativem Wachstum führt auf manchen Gebieten sogar zu einem beträchtlichen Mengenrückgang. Wenn beispielsweise bei Verpackungsfolien durch bessere Kunststoffeigenschaften und Herstellverfahren die Qualität so angehoben wird, daß die geforderte Festigkeit mit wesentlich dünneren Folien als vorher üblich erreicht

werden kann, dann ist bei gleichem Packmittelbedarf der Kunststoffverbrauch entsprechend der Dickenveränderung geringer.

Für den Rest des Jahrzehnts rechnet die Kunststoffindustrie mit einem Mengenzuwachs, der bei Standardkunststoffen 1 % bis 2 %, bei technischen Kunststoffen 3 % bis 6 % über dem realen Wachstum der Gesamtindustrie liegt.

Kunststoffe haben in diesem Jahrhundert, besonders aber in den letzten zwei Jahrzehnten, zu wesentlichen Veränderungen bei Produktion und Produktionsverfahren geführt. Durch den damit verbundenen Wandel wurden Arbeitsplätze erubrigt, verändert oder sind neu hinzugekommen. Wollte man die aus und mit Kunststoff hergestellten Produkte aus anderen Materialien fertigen, so wäre dazu, falls es überhaupt möglich wäre, viel mehr Arbeitsaufwand erforderlich. Sicher ist aber auch, daß dann vieles unbezahlbar würde, der Lebensstandard wäre für viele niedriger.

Kunststoffe sind unentbehrlich geworden, sie sind ein Teil der modernen Technik, ohne sie geht fast nichts mehr.

VDI nachrichten Nr. 40 / 7. Oktober 1983

Helga Roder

# Kunststoffe - unentbehrliche Packstoffe

Verpackungen überbrücken Zeit und Raum. Verpackung ermöglicht es, daß eine Ware in dem Zustand, in dem sie produziert wurde, vom Produzenten über die zahlreichen Zwischenstufen zum Endverbraucher gelangt. Jeder, der an dieser Kette beteiligt ist, sollte sich bewußt sein, daß Verpackung ein Funktionspaket ist, auch wenn nicht jeder alle Funktionen als gleich wichtig erachtet.

In den letzten Jahren hat sich auf dem Konsumgütermarkt ein Wandel vollzogen. Folgende Erscheinungen sind hierfür kennzeichnend: Der Übergang vom Bedienungsgeschäft zum Selbstbedienungsgeschäft; die Verlagerung der Konsumgüterproduktion vom kleinen Handwerksbetrieb zum Mittel- und Großbetrieb; die grundlegenden Änderungen der Kaufgewohnheiten, Käuferwünsche und Lebensgewohnheiten und die Eingriffe des Gesetzgebers.

Die Zahlen des Anteils der Selbstbedienung am Gesamtumsatz des Lebensmitteleinzelhandels sprechen für sich: Bundesrepublik Deutschland 97,9%, Schweden 94,6%, Niederlande 80,6%, Österreich 89,6%, Belgien 80,6%, Dänemark 69,1%, Schweiz 84,1%. Handel und Konsumenten haben diese Einzelhandelsform also völlig akzeptiert. Selbstbedienung ohne Vorverpackung aber ist undenkbar und vom Gesetzgeber nicht gestattet.

Wenn man bedenkt, daß heute immer noch 40% aller Nahrungsmittel, die weltweit produziert werden, verderben, bevor sie zum Verbraucher gelangen, und wenn man

ferner bedenkt, daß immer noch an den Folgen von Unterernährung und Infektionen täglich 40 000 Menschen sterben, wird bewußt, daß es auf der Erde noch viel zu tun gibt.

Was hat das alles mit Verpackung zu tun? Nur entsprechende Lager-, Transport- und Verteilungssysteme, zusammen mit funktionsgerechten Verpackungen, die füllgutgerecht dem Lager- und Transportsystem und vor allem den klimatischen Beanspruchungen und den Verbrauchergewohnheiten angepaßt sind, können dieses weltweite Problem lösen. Falls alle verfügbaren Möglichkeiten genutzt werden könnten, wäre die gegenwärtige Lebensmittelproduktionskapazität ausreichend, um für die nächsten 25 Jahre alle Menschen dieser Erde zu ernähren. Aber nur, wenn eben nichts verdirbt. Zur Änderung dieser Situation könnte die Verpackung einen wichtigen Beitrag leisten.

Im allgemeinen wird aus einem oder mehreren Packstoffen das Packmittel hergestellt und ergibt eine Verpackung. Durch Zusammenfügen von Packgut und Verpackung, also durch den Arbeitsvorgang Verpacken entsteht dann eine Packung. Nicht immer ist ein besonderes Packmittel erforderlich. Durch Einwickeln, Einschrumpfen und andere Methoden kann eine Packung unmittelbar durch Zusammenfügen von Packgut und Packstoff aufgebaut werden.

Es gibt praktisch keinen Verpackungsbereich, in dem nicht Kunststoffe eingesetzt werden. Rund 25% aller Verpackungen sind heute aus

Kunststoff, rund ein Drittel aller Nahrungsmittel werden in der westlichen Welt in Kunststoff verpackt. Hygienisch einwandfrei, entsprechend den strengen Vorschriften des Lebensmittelgesetzes.

Kunststoffe sind Packstoffe, die aus natürlichen Rohstoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas hergestellt werden. Es gibt viele Arten und Typen von Kunststoffen, so daß man für den jeweiligen Verpackungszweck stets einen geeigneten Kunststoff auswählen kann. Kunststoffe lassen sich sowohl untereinander, als auch mit anderen Packstoffen zu Kombinationspackstoffen vereinigen. Auf diese Weise kann man den „Packstoff nach Maß“ herstellen, also den Packstoff, der alle Anforderungen, die das Füllgut an ihn stellt, berücksichtigt. Kein anderer Packstoff kann so viele Anwendungsmöglichkeiten aufweisen. So gibt es Kunststoffverpackungen in Form von Bechern, Flaschen, Fässern, Folieneinschlägen und Schaumstoffverpackungen.

Selbst viele herkömmliche Packstoffe wie Glas, Blech oder Karton erfüllen oft erst mit Hilfe von Kunststoffen die gewünschten Funktionen, denn diese Packstoffe bekommen durch Kunststoffe zusätzliche Eigenschaften wie Lichtundurchlässigkeit, Korrosionsfestigkeit, Bruchfestigkeit. Auch bei Verschlüssen in den vielfältigsten Formen spielen Kunststoffe eine große Rolle bis hin zum kindersicheren Spezialverschluß. Für den Erfolg der Kunststoffe im Verpackungswesen waren vor allem folgende Gesichtspunkte entscheidend:

- günstige physikalische, chemische und physikalisch-chemische Eigenschaften wie geringes Gewicht, Unempfindlichkeit gegen Wasser und diverse chemische Lösungsmittel.
- Verträglichkeit mit den meisten Füllgütern,
- gute mechanische Eigenschaften,

- gute Verarbeitbarkeit auf schnell laufenden Maschinen, also auf Verpackungsstraßen, die Kunststoffverpackungen formen, füllen und verschließen.

- günstige Energiebilanz, denn im Kunststoff ist noch ein Großteil der Energie, die im Öl oder im Erdgas oder in der Kohle enthalten ist, und kann, nachdem der Kunststoff seine Arbeit als Verpackung geleistet hat, wieder freigesetzt werden. Kunststoffe sind also keine „Erdölfresser“. Im Gegenteil, nur 4% des Mineralöls werden zu Kunststoff verarbeitet.

Kunststoffe sparen Energie bei ihrer Weiterverarbeitung zu Verpackungen, denn für die Herstellung von Kunststoffverpackungen braucht man weniger Energie als für die meisten anderen Packmittel.

Kunststoffe sparen auch Energie bei dem Einsatz als Verpackung, denn Verpackungen aus Kunststoff sind leichter als die meisten anderen Packmittel, sparen also Transportenergie.

Außer diesen Vorteilen bieten die meisten Kunststoffe die Möglichkeiten des Recycling, und zwar als Werkstoff oder als Energie. Recycling bedeutet, Produkte nach Gebrauch neuen Bestimmungen durch Wiederverwertung oder Wiederverwendung zuzuführen. Recycling hilft Rohstoffe und Energie sparen und verringert den Abfall.

Die Verfahren des Kunststoff-Recycling sind: Schmelze, Pyrolyse, Hydrolyse und Verbrennung.

Die Pyrolyse liefert speicherfähige Energie in Form von Gas, Öl und Rußkohle sowie wertvolle chemische Rohstoffe.

Es wird nicht um des Verpackens willen verpackt, sondern Verpacken ist heute die letzte Stufe der Produktion. Verpackung ist also in die Warenproduktion integriert. Das moderne Marketing braucht die Verpackung, und die Verpackung wiederum braucht das Packmittel Kunststoff. Deshalb sind Kunststoffe als Packstoffe unentbehrlich.

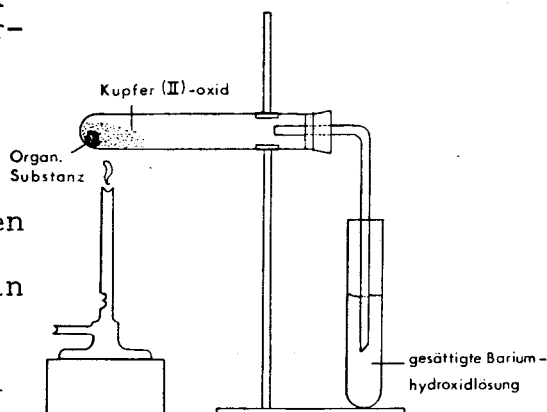
M 2: Versuche mit Kunststoffen

nach: STAPF/HRADETZKY: Chemische Schulversuche  
Teil 3 - Organische Chemie, Frankfurt/M.  
1975<sup>5</sup> (z.T. verändert)

Qualitativer Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff

Material: 2 RG, Glasrohr mit Winkel, durchbohrter Stopfen, Stativmaterial, RG-Gestell, Spatel, Brenner  
Kunststoffproben, Kupfer(II)-oxid, Ba(OH)<sub>2</sub>-Lösung (gesättigt)

In ein trockenes RG gibt man ein Stück Kunststoff (halbe Erbsengröße) und darauf 4 cm hoch CuO. Das RG wird mit Stopfen (und Glasrohr) verschlossen und waagrecht am Stativ befestigt. (Siehe Abb.) Das zweite RG wird zu einem Viertel mit Ba(OH)<sub>2</sub>-Lösung gefüllt und über den nach unten zeigenden Schenkel des Glasrohres geschoben. Das RG wird von der Mitte zum Boden hin erst langsam dann kräftig erhitzt. Das schwarze CuO wird teilweise zu rotem Kupfer reduziert, im kalten Teil des RG schlagen sich Wassertröpfchen nieder, das Barytwasser wird getrübt (durch CO<sub>2</sub>).

Hitzespaltung von PVC

Material: RG, Glasstab, RG-Halter, Brenner  
PVC-Proben, NH<sub>3</sub>-Lösung 25 %ig, Indikatorpapier (Lackmus blau)

Ein Stückchen PVC-Kunststoff wird in einem trockenen RG schwach erhitzt. Die entweichenden Dämpfe werden mit angefeuchtetem Indikator-Papier geprüft. Weiter hält man die Öffnung einer Flasche mit konz. Ammoniak-Lösung neben die RG-Öffnung oder taucht einen NH<sub>3</sub>-benetzten Glasstab in das RG ein.

Ergebnis: Beim Erhitzen wird PVC unter Dunkelfärbung zersetzt. Die entstehenden Dämpfe zeigen saure Reaktion und bilden mit Ammoniak weißen Rauch (NH<sub>4</sub>Cl). Beim Erhitzen wird demnach HCl abgespalten.

Prüfung auf Halogene nach der Kalkmethode

Material: 2 RG, RG-Halter, RG-Gestell, Trichter, Filter, Reibschale mit Pistill, dest. Wasser, Becherglas, Brenner  
Materialprobe halogenhaltig (z.B. PVC), CaO, HNO<sub>3</sub> 10 %ig, AgNO<sub>3</sub>-Lösung 5 %ig, NH<sub>3</sub>-Lösung 25 %ig und 10 %ig, Indikatorpapier

Man verreibt eine kleine Menge der halogenhaltigen Substanz (PVC zerbröseln z.B. nach Eintauchen in flüssige Luft) mit etwa der dreifachen Menge CaO, glüht die Mischung einige Zeit in einem RG und taucht das noch heiße RG in ein Becherglas mit ca. 10 dest. Wasser. Das RG zerspringt, man gibt bis zur deutlich sauren Reaktion HNO<sub>3</sub> dazu und filtriert etwas in das zweite RG ab. Bei Halogen-Gehalt der Probe bildet sich bei Zugabe von AgNO<sub>3</sub>-Lösung ein käsiger Niederschlag.



### Prüfung auf Halogene durch die Beilsteinprobe

Material: RG-Halter, Brenner, Uhrglas

Materialprobe (z.B. PVC), Kupferdraht oder -blechstreifen

Mit dem ausgeglühten Kupferdraht (in der entleuchteten Bunsenflamme erscheint keine Flammenfärbung mehr) nimmt man etwas von der zu untersuchenden Substanz auf und erhitzt wieder in der nicht leuchtenden Flamme. Eine grüne Flammenfärbung weist auf Halogengehalt der Probe hin.

(Achtung: unsauberes Arbeiten, Spuren von NaCl etc. täuschen leicht Halogene vor!)

### Stickstoffnachweis durch Bildung nitroser Gase

Material: RG, RG-Halter, Spatel, Filter, Brenner

Materialprobe (z.B. Polyamid) stickstoffhaltig, CuO, GRIESS-Reagens

In ein trockenes RG gibt man eine Spatelspitze der zu untersuchenden Substanz und darauf ca. 4 cm hoch CuO. Weiter rollt man ein Filterpapier zusammen, befeuchtet es mit GRIESS-Reagens und steckt die Rolle zu etwa einem Drittel in die Mündung eines RG. Man faßt das RG mit dem RG-Halter bei der Mündung und hält es waagrecht in die Bunsenbrenner-Flamme. Erhitzen von der Mitte aus zum Boden hin.

Im Falle der Gegenwart von Stickstoff färbt sich das Filterpapier rot.

### Stickstoffnachweis nach ROSENTHALER

Material: 2 RG, RG-Halter, RG-Gestell, Spatel, Trichter mit Filter, Brenner

Materialprobe, Schwefelpulver,  $K_2CO_3$ ,  $FeCl_3$ -Lösung 10 %ig,  $H_2SO_4$ -Lösung 10 %ig, Indikatorpapier

In ein trockenes RG gibt man eine Spatelspitze des zu untersuchenden Materials, fügt etwa die fünffache Menge Schwefelpulver und die gleiche Menge  $K_2CO_3$  hinzu und mischt durch Schütteln. Das Gemisch wird über dem Brenner kräftig erhitzt. Die entstehende Schmelze wird noch einige Zeit weiter erhitzt und dann erkalten lassen. Die erstarrte Schmelze wird in reichlich verdünnter Schwefelsäure gelöst.

Achtung!

Achtung! Nur im Abzug durchführen!

Der dabei entstehende Schwefelwasserstoff darf nicht in die Raumluft gelangen.

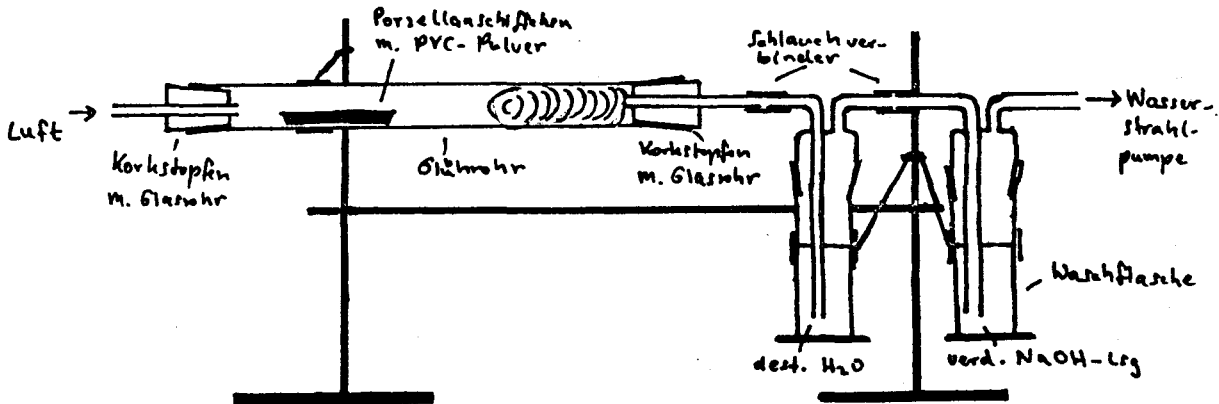
Nach Beendigung der Gasentwicklung muß die Lösung noch sauer sein. Ein Teil der Lösung wird in ein RG filtriert (Trübung durch kolloidalen Schwefel stört den Nachweis nicht). Das Filtrat wird schließlich mit 1 bis 2 Tropfen Eisen-III-Chlorid versetzt. Rote bis braune Färbung weist auf Stickstoff hin.

Wegen weiterer Versuche vgl. auch: R. FLÜGEL, Kunststoffe - Chemie, Physik und Technologie, Phywe Schriftenreihe, Göttingen 1970<sup>2</sup>

M 3: A R B E I T S B L A T T

Nekrotierende Wirkung von Chlorwasserstoffgas  
auf grüne Blattpflanzen

Versuchsaufbau:



Geräte und Chemikalien:

- 2 Plattenstative
- 1 Stativstab
- Doppelmuffen
- Schraubklammern
- 2 Waschflaschen
- 1 Glührohr
- durchbohrte Korkstopfen
- Glasstäbe
- Gummschlauch
- Vakuumschlauch
- Porzellanschiffchen
- Spatel

- PVC-Pulver
- dest. Wasser
- verd.  $\text{AgNO}_3$ -Lösung
- verd.  $\text{NaOH}$ -Lösung
- pH-Papier

Versuchsbeschreibung:

Das PVC-Pulver wird in das Schiffchen gefüllt, an das andere Ende des Glührohrs wird ein grünes Blatt (aufgerollt) hineingeschoben. Die Apparatur wird gemäß Abbildung aufgebaut. Das Porzellanschiffchen wird vorsichtig mit dem Brenner erwärmt, bis das PVC zu schmelzen beginnt (Gasentwicklung!). Mit der Wasserstrahlpumpe wird Luft über das PVC gesaugt, das Gas wird durch die beiden Waschflaschen gesaugt. Nach etwa 20 min. wird der Brenner abgestellt, noch einige Minuten Luft durch die Apparatur gesaugt, bis die Gasentwicklung nachläßt. Das Blatt wird aus der Apparatur geholt und mit einem Kontrollblatt (gleiche Pflanze, unbehandelt) verglichen.

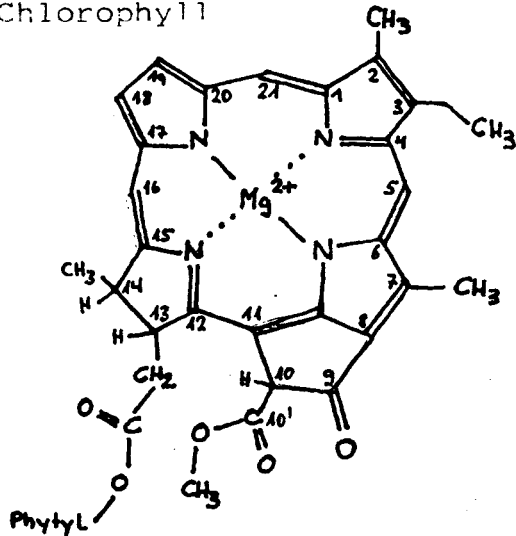
Beobachtung:

M 4:

ARBEITSBLATT

Biochemische Wirkung von Chlorwasserstoffgas  
auf Pflanzen

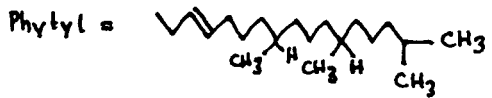
Chlorophyll



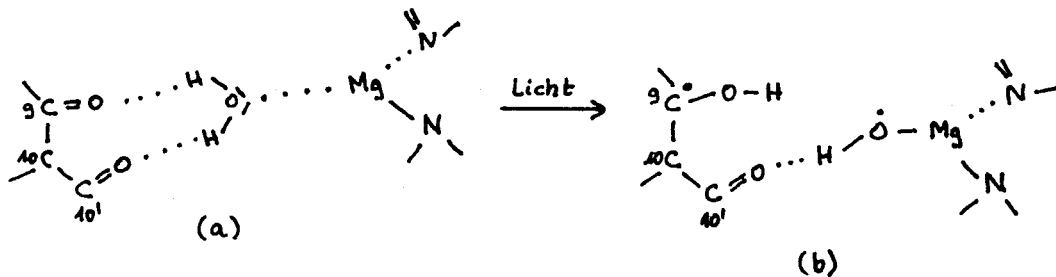
Die einzelnen Chlorophyllmoleküle liegen schichtartig übereinander, jeweils durch Wassermoleküle zwischen den Carbonylgruppen (9) und (10') und dem Magnesium-Zentralion des nächsten Chlorophyllmoleküls verknüpft.

Unter Lichteinfluß bildet sich aus der Struktur (a) vermutlich die Struktur (b) aus (untere Abbildung). Die einzelnen Chlorophyll-Radikale sind miteinander verbunden, die Elektronen können über weite Strecken verschoben werden. Diese Radikalbildung ist der erste Schritt der Photosynthese.

Quelle: Cotton-Wilkinson, Anorganische Chemie, Weinheim 1967, S. 220



Bildung von Chlorophyll-Radikalen unter Lichteinfluß



Fragen zum Arbeitsblatt:

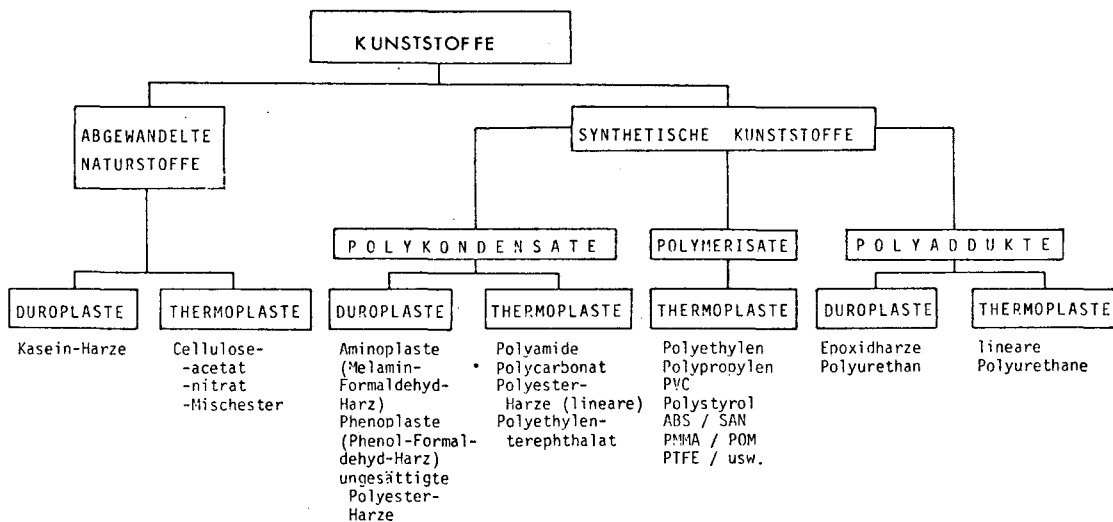
1. Warum können die Elektronen in den Chlorophyll-Radikalen verschoben werden? Welche Rolle spielt dabei das Magnesium-Ion?
2. Was passiert, wenn eine Pflanze mit HCl-Gas in Berührung kommt? Versuchen Sie, Reaktionsschritte (beschreibend) zu formulieren.

M 5: Tabellen zur Kunststofftechnik

nach: Techniker-Kalender 1979, Christiani-Verlag Konstanz  
und : DOMININGHAUS: Kunststoffe, O.Maier-Verlag Ravensbg. 1974

Kunststoff-Kurzzeichen (DIN 7728)

Kurzzeichen	Erklärung	Kurzzeichen	Erklärung
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere	PBTP	Polybutylenterephthalat
AMMA	Acrylnitril-Methylmethacrylat-Copolymere	PETP	Polyethylenterephthalat
ASA	Acrylnitril-Styrol-Acrylsäure-ester-Copolymere	PF	Phenolformaldehyd
CA	Celluloseacetat	PIB	Polyisobutylen
CAB	Celluloseacetatobutyryrat	PMMA	Polymethylmethacrylat
CAP	Celluloseacetatopropionat	POM	Polyoximethylen, Polyformaldehyd
CF	Kresolformaldehyd	PP	Polypropylen
CMC	Carboxymethylcellulose	PS	Polystyrol
CN	Cellulosenitrat	PTFE	Polytetrafluorethylen
CP	Cellulosepropionat	PUR	Polyurethan
CS	Kasein	PVAC	Polyvinylacetat
EC	Ethylcellulose	PVAL	Polyvinylalkohol
EP	Epoxid	PVB	Polyvinylbutyrat
EPS	Expandierbares Polystyrol	PVC	Polyvinylchlorid
EVA	Ethylen-Vinylacetat-Copolymerisat	PVCA	Vinylchlorid-Vinylacetat-Copolymere
GF	Glasfaser, glasfaserverstärkt	PVDC	Polyvinylidenchlorid
HDPE	Polyethylen hoher Dichte	PVF	Polyvinylfluorid
LDPE	Polyethylen niedriger Dichte	PVFM	Polyvinylformiat
MF	Melaminformaldehyd	SAN	Styrol-Acrylnitril-Copolymere
PA	Polyamid	SB	Styrol-Butadien-Copolymere
PC	Polycarbonat	SI	Silikon
PCTFE	Polychlortrifluorethylen	SMS	Styrol- Methylstyrol-Copolymere
PDAP	Polydiallylphthalat	UF	Harnstoffformaldehyd
PE	Polyethylen	UP	Ungesättigte Polyester



"Gebräuchliche Kunststoffe: Das Sortiment der heute verfügbaren Kunststoffe umfaßt etwa zwei Dutzend Thermoplaste und ein Dutzend Duroplaste. Die in der Übersicht (s.o.) aufgeführten Kunststoffsorten sind die z.Zt. wichtigsten. Von jeder Sorte gibt es 20 bis 40 unterschiedliche Typen, von denen jeder seine besonderen Eigenschaften und damit auch Anwendungsgebiete hat. Sie werden am Markt nicht nur unter ihrer chemischen Bezeichnung, sondern unter Hunderten von Handelsnamen angeboten. Die wichtigsten Kunststoffsorten finden wir unter den Thermoplasten. Es sind vor allem die Massenkunststoffe: PE, PVC und PS. Ihr Anteil beträgt ca. 70 % ." (Domininghaus, S. 1)

**Kunststoffbestimmung**

Chemische Bezeichnung	Aussehen (ungefärbt)	Klang	Verhalten bei Erwärmung	Verhalten bei Verbrennung (Bild 11)	Farbe und Geruch der Schwaden	Farbe und Verhalten d. Flamme
Polyvinylchlorid (PVC-hart)	transparent	scheppernd	Zersetzung ohne Schmelzen, verkohlter Rückstand	schwer brennbar, verloscht außerhalb Zündflamme	braungelb; stechend, kratzend nach Salzsäure	gelb, evtl. orangefarben gesaumt, rußt
Polystyrol (normal und schlagfest)	glasklar bis opak	blechern	zähflüssige Schmelze, wenig Rückstand	brennt weiter, tropft	weißlich; süßlich, blumig nach Teer oder Leuchtgas	gelb, rußt stark
Polyäthylen Polypropylen	transparent bis opak	dumpf	dünnflüssige, fettige Schmelze, kein Rückstand	schwer entflammbar, brennt weiter, tropft, Tropfen brennen weiter	weißlich; nach Paraffin, Kerzenwachs	leuchtend gelb, blauer Saum, rußt schwach
Polymethylmethacrylat (Acrylglas)	glasklar	scheppernd	zähflüssige, blasse Schmelze, kein Rückstand	brennt weiter, tropft, Tropfen brennen weiter	farblos bis weiß; fruchtartig, angenehm	hellgelb, knisternd, rußt schwach
Polyoxymethylen (Polyacetal)	weiß, opak	scheppernd	dünnflüssige Schmelze, kein Rückstand	brennt weiter, tropft, Tropfen brennen	farblos bis weiß; stechend nach Formaldehyd	schwach bläulich, durchsichtig bis farblos
Polyamid	milchig, opak	dumpf	dünnflüssige, blasse Schmelze, verkohlter Rückst.	schwer entflammbar, brennt knisternd u. blaug weiter, tropft	weißlich, nach verbranntem Horn	bläulich, durchsichtig, gelber Rand
Celluloseacetat	durchsichtig bis opak	dumpf	zähflüssige Schmelze, wenig Rückstand	brennt weiter, tropft, Tropfen brennen	grauweiß, stechend nach verbranntem Papier	gelb, stark rußend
Polycarbonat	glasklar leichter Gelbton	scheppernd	zähflüssige, bläuliche Schmelze, färbt sich braun, schwarzbrauner Rückstand	verloscht außerhalb verkohlt rußend	gelbweiß, nach Zahnarzt (Phenolgeruch)	gelb, stark rußend
Phenoplaste	opak bis undurchsichtig	hell	Zersetzung ohne Schmelzen, verkohlter Rückstand	Je nach Füllstoff schwer bis mäßig brennbar, Aufblähen	farblos bis weißlich nach Teer oder Formaldehyd	gelb, wenig oder nicht rußend
Aminoplaste	opak bis undurchsichtig	scheppernd (hell)	Zersetzen ohne Schmelzen, verkohlter Rückstand, weißer Kanten	schwer brennbar, verloscht außerhalb, Aufblähen, Springen	weißlich, stechend nach Ammoniak	schwach gelb
Ungesättigte Polyester	durchsichtig, leichter Gelbton	scheppernd	Zersetzung bei Erweichung, nicht schmelzend	schwer entflammbar, brennt weiter, verkohlt knackend	wie Polystyrol	gelbrost stark rußend

Hinweis: Eine weitere Bestimmungstabelle für Kunststoffe ist abgedruckt in DOMININGHAUS: Kunststoffe (s.o.)

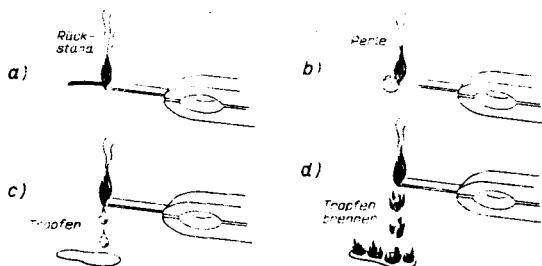
Materialproben definierter Zusammensetzung sind erhältlich von allen großen Chemiekonzernen bzw. vom Verband der Kunststoffindustrie (VKE) Frankfurt/M.

**Kunststoffbestimmung**

Durch einfache Prüfungen, die jeder leicht durchführen kann, läßt sich feststellen aus welchem Kunststoff ein Gegenstand besteht. Geprüft wird:

1. Nach dem Aussehen.
2. Durch Ritzen der Oberfläche und Biegen (Härte und Elastizität).
3. Nach dem Klang beim Hinwerfen des Gegenstands auf eine Platte.
4. Durch Schwimmprobe. Als Testflüssigkeiten können dienen:  
 Wasser 1,0 g/cm<sup>3</sup>  
 Kochsalzlösung 20 % 1,15 g/cm<sup>3</sup>  
 Zuckerslösung 40 % 1,18 g/cm<sup>3</sup>  
 Glycerin 1,26 g/cm<sup>3</sup>  
 Tetra 1,59 g/cm<sup>3</sup>
5. Durch vorsichtiges Erwärmen bis zum Fließen bzw. Zersetzen.
6. Durch Beobachten der Flamme (Bild 11).
7. Durch Feststellen des Geruchs der Schwaden.
8. Durch Betrachten des Verbrennungsrückstands.

Bei Mischpolymerisaten können Brennprobe und Geruchsprobe versagen. Das gleiche ist der Fall, wenn Kunststoffe Weichmacher, Füllstoffe oder Verstärkungstoffe enthalten. In derartigen Zweifelsfällen müssen weitere Untersuchungen helfen. Lösungsversuche z. B. zeigen in welchen Lösungsmitteln sich der Kunststoff löst, oder chemische Reaktionen weisen bestimmte Elemente oder Atomgruppen nach.



Verhalten von Kunststoffen in der Flamme:

- a) PVC
- b) Polycarbonat
- c) Polyamid
- d) Polyäthylen

M 6: Kunststoffe - Übersichtstabelle

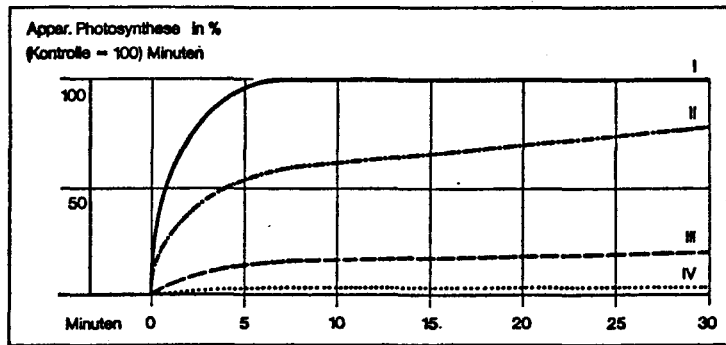
Bezeichnung	Chemische Bestandteile	Verbrauch 1970 (in 1000 t) [1981]	Einsatzgebiete und Anwendungsbeispiele
Polyolefine		745 [1500]	
Polyethylen	C, H		Haushaltsartikel, Verpackungspolien, Plastikbeutel und -säcke, Abdichtungsfolien, Flaschen, Spielzeug, Kabelisolierungen, elektrotechnische Teile, Flaschenkästen, Transportbehälter
Polypropylen	C, H		Hochbeanspruchte technische Teile, Teile für Elektrogeräte und Fahrzeuge, Haushaltsartikel, Schuhabsätze
Polyvinylchlorid	C, H, Cl	725 [900]	Fassadenverkleidungen, Rohre, Dachschindeln, Türen, Rolläden, Fensterbänke, beschichtete Platten, Fußbodenbeläge, Klebefolien, Leiterisolation, Kunstleder, Tischtücher, Wäscheleinen, Schläuche, Schuhmaterialien, Polsterbezüge, Innenauskleidungen für Kfz, Metallbeschichtungen, Folien, Schallplatten
Polystyrol	C, H	420 [500]	Massenartikel für Werbung, Verpackung, Büro- und Zeichenbedarf, Telefonapparate, Plattenspieler, Radiogehäuse, Fotoapparate, geschäumt als Kühlschranksauskleidung, Isoliermaterial für stoßfeste Verpackungen, Möbelteile
Aminoplaste	C, H, O, N	400	Leime, Textilhilfsmittel, Elektrozubehör, Campinggeschirr, kratzfeste Tischbeläge, Küchenmaschinengehäuse
Phenolharze	C, H, O	200	Technische und elektrische Kleinteile, Schaltgeräte, Verteilerkästen, Beschläge, Gehäuse, Schreibwaren, Farbbanddosen, Tasten, Hartpapier, Preßschichtholz, Lacke, Leime, Raumfahrttechnik
Polyurethane	C, H, O, N	120 [300]	Kupplungen, Dichtungen, Schuhsohlen, Absätze, Isolierungen, Lacke, Möbelteile, Schaumstoffe, Polstermöbel, Schwämme
Acrylharze	C, H, O	100	Lacke, Acrylglas für hochwertige Gegenstände mit guter Transparenz (Salatbestecke, Brillengläser, optische Linsen, Uhrgläser, Lichtkuppln, Bedachungen)
Ungesättigte	C, H, O	70	Lacke, Kitten, Knöpfe. Mit Glasfasern zu Lichttafeln, Behälter- und Bootsbau, Balkonverkleidungen, Spültische, Angelruten, Wasserski, Fahrzeugaufbauten, Schilcer
Polyamide	C, H, O, N	40	Fasern, Teile für Feinwerktechnik, Optik, Elektronik, Maschinenbau, Hydraulik, Metallbeschichtung
Polycarbonate	C, H, O	25	Schüsseln, Teller, Tassen, Bestecke, Teile für Licht-, elektrotechnik, Optik, Elektroisolierungen, Behälter
Epoxidharze	C, H, O	15	Klebstoffe, Vergußmassen in Elektroindustrie, Flugzeugbau, Klebverbindungen von Metallen, Lacke
Polytetrafluorethylen	C, F	1	Technische Teile, Dichtungen, Drucklager, Laborgeräte, Topf- und Pfannenbeschichtung
Thiokol	C, H, S	1	Chemikalienbeständige Auskleidungen, Kabelummüllungen, Öl- und Benzinleitungen, Dichtungen
Gesamtverbrauch		3400 [5800]	

Quelle: Kunststoffe in der Abfallbeseitigung. Herausgegeben vom Verband der kunststoffherzeugenden Industrie (VKE), Frankfurt o.J., S. 30/31

M 7:

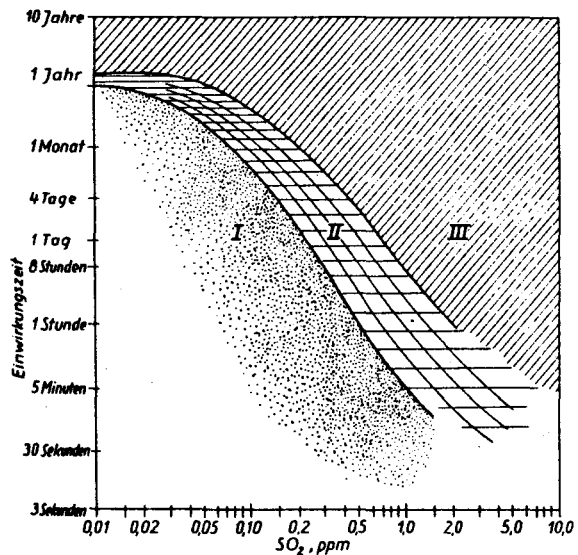
M7

Unterschiedlicher Erholungsgrad bei Inkarnatkiee nach verschieden langer Begasung mit gleichen SO<sub>2</sub>-Konzentrationen



- I: unbehandelte Kontrollpflanzen
- II: 30 min. Begasung
- III: 60 min. Begasung
- IV: 90 min. Begasung

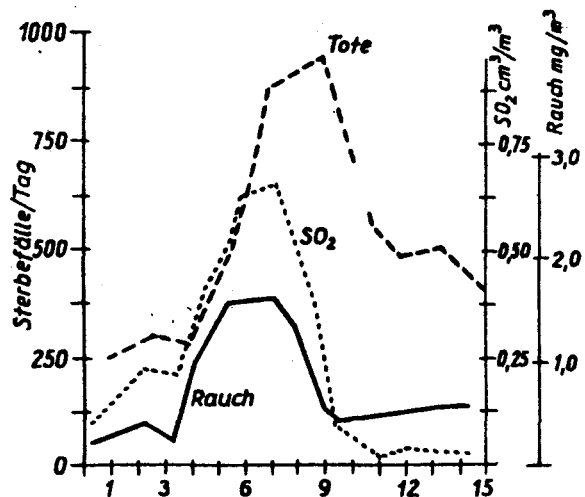
aus:  
H. Schulze  
(Hrsg.)  
Umweltreport  
FfM 1972  
S. 209



Gesundheitsschäden in Abhängigkeit von Einwirkungszeit und Konzentration an SO<sub>2</sub> (nach A. C. Stern, Air Pollution I).

- I = Beginnende Schädigung (z. B. Verschlechterung des Befindens von Bronchitiskranken)
- II = Signifikante Schädigungen (Einlieferung ins Krankenhaus, kardiovaskuläre und respiratorische Erkrankungen)
- III = Schwere Schädigungen (Tod)

aus: Moll,  
a.a.O. S. 53



aus: Moll,  
a.a.O. S. 48

Sterbefälle, SO<sub>2</sub>- und Staubkonzentration in London. (Abszisse: Monatstage Dez. 1952.)

M 8: Definitionen (Luftverunreinigung, MAK, MIK)

## Definitionen

Luftverunreinigung

*Weltgesundheitsorganisation (WHO):* „Luftverunreinigung liegt vor, wenn sich ein luftverunreinigender Stoff oder mehrere luftverunreinigende Stoffe oder Gemische dieser Stoffe in solchen Mengen und solange in der Außenluft befinden, daß sie für Menschen, Tiere, Pflanzen oder Eigentum schädlich sind, zur Schädigung beitragen oder das Wohlbefinden oder die Besitzausübung unangemessen stören können.“

*Der Bundesminister für Gesundheitswesen:* Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TAL) v. 8. 9. 1964: „Luftverunreinigende Stoffe im Sinne dieser Anleitung sind feste, flüssige und gasförmige Stoffe, die die natürliche Zusammensetzung der Atmosphäre ändern.“

*Emissionen* ... sind luftverunreinigende Stoffe, die beim Verlassen der Anlage in die Atmosphäre gelangen. Emissionen werden angegeben in: mg/Nm<sup>3</sup> Rauchgas, Abgas, Abdampf oder Abluft (als Konzentrationsmaß) und: kg/h oder g/h (als zeitliche Emissionsmenge).

*Immissionen* ... sind luftverunreinigende Stoffe, die in der Nähe der Einwirkungsstelle (in der Regel in 1,5 m Höhe über dem Erdboden oder der oberen Begrenzung der Vegetation in einem Abstand von 1,5 m von der Oberfläche eines Bauwerks) auftreten.

Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Werte)

Als MAK bezeichnet die Kommission (zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft) diejenige Konzentration eines gas-, dampf- oder staubförmigen Arbeitstoffes in der Luft am Arbeitsplatz, die nach der derzeitigen Kenntnis auch bei langfristiger, in der Regel achtstündiger Einwirkung, jedoch bei Einhaltung einer Wochenarbeitszeit bis zu 45 Stunden, im allgemeinen die Gesundheit der hier Beschäftigten nicht schädigt.

Maximale Immissionskonzentration (MIK-Werte)  
VDI-Richtlinien 2306

Die MIK-Werte luftverunreinigender Stoffe sind definiert als diejenigen Konzentrationen in bodennahen Schichten der freien Atmosphäre, bzw. bei Staub auch als diejenigen Niederschlagsmengen im Gelände, die nach den derzeitigen Erfahrungen im allgemeinen für Mensch, Tier oder Pflanze bei Einwirkung von bestimmter Dauer und Häufigkeit als unbedenklich gelten können.

Quelle: W. Moll, Taschenbuch für Umweltschutz,  
Bd. 1: Chemische und technologische Informationen,  
UTB Steinkopff-Verlag, Darmstadt 1973, S. 718

Die MAK wird von der Kommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DF) auf Grund „arbeitsmedizinischer und industriehygienischer Erfahrungen“ erarbeitet. „Für die Mehrzahl der Stoffe mußten jedoch Unterlagen aus der Literatur herangezogen werden.“ Die russische Literatur wurde anscheinend nicht berücksichtigt. Die MAK-Werte sollen dem Schutz des Menschen am Arbeitsplatz dienen.

Die MIK-Werte werden von der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft in jahrzehntelanger Arbeit abgestimmt und dem Gesetzgeber als „Entscheidungshilfe“ dargestellt (VDI-Richtlinien 2306, 2310) (119). Sie sollen „die Allgemeinheit ... vor Gefahren, erheblichen Nachteilen oder erheblichen Beeinträchtigungen schützen“. Die MIK-Werte sollen „eine Gesundheitsschädigung des Menschen, insbesondere auch von Kindern, Alten und Kranken, selbst bei langfristiger Einwirkung vermeiden“. Für karzinogene, teratogene und mutagene Stoffe können keine MIK-Werte festgesetzt werden. Die MIK-Werte werden „für die einzelnen luftverunreinigenden Stoffe festgesetzt, obwohl diese in der Regel zusammen mit anderen Komponenten auftreten.“

Hier liegt einer der Angriffspunkte der Kritik. Wissenschaftliche Versuche werden mit *reinen* Chemikalien durchgeführt und daraus auf MIK-Werte geschlossen. Selbst die „chemisch reinen“ haben meist nur einen Reinheitsgrad von 99%, die technischen Chemikalien häufig nur 90%. Gerade die Verunreinigungen schwankender Zusammensetzung können aber noch unbekannte schwere Schäden bewirken. – In der Praxis werden von einer chemischen Fabrik oder einem Hüttenwerk keine reinen Stoffe, sondern Gemische von vielen Verbindungen emittiert.

Die MIK-Werte sind tatsächlich Kompromisse zwischen der Industrie, die hohe Kosten für den Umweltschutz scheut, und Medizinern, die ohne Rücksicht auf wirtschaftliche Faktoren die Gesundheit der Menschen schützen möchten. Häufig dienen die MIK-Werte mehr dem rechtlichen Schutz der Verursacher, sind eine Festschreibung bereits bestehender Verhältnisse. – Auch durch die Art der Mittelwertbildung wird die Allgemeinheit geschädigt. Entscheidend sind für die physiologische Wirkung häufig kurzdauernde Höchstwerte, die meßtechnisch und statistisch nicht erfaßt werden. Z. B. kann eine Verdopplung der Konzentration eines Schadstoffes eine zehnfach erhöhte Schädigung des Betroffenen bewirken!

Die russischen MIK-Werte liegen häufig um Zehnerpotenzen niedriger als die deutschen. Nach D. Stöfen (120) gehen sie davon aus, daß „lichtbedingte funktionelle Störungen des Zentralnervensystems (ZNS) bei chronischer Einwirkung späterer Erkrankungen ankündigen“. Stöfen weist aber auch darauf hin, daß selbst diese sehr empfindlichen Methoden (Messung der Veränderung der Reflexe) manche Schäden nicht aufdecken, z. B. Verschlechterung des Sperma.

Ein warnendes Beispiel für das Vertrauen auf MAK- und MIK-Werte ist u. a. das Vinylchlorid (siehe Kap. III, 3.8.2). Innerhalb von 10 Jahren mußte die MAK von 500 auf 5 ppm herabgesetzt werden, als nach und nach erkannt wurde, daß es außer anderen Krankheiten auch Krebs bewirkt. So ist zu erwarten, daß zwar für immer mehr Stoffe MIK-Werte ermittelt werden, daß aber ebensoviel wieder aus der Liste gestrichen werden müssen, weil sie Krebsverdächtig sind. Von immer mehr Verbindungen wird erkannt, daß sie nicht nur karzinogen, sondern auch mutagen wirken.

Quelle: W. Moll, Taschenbuch für Umweltschutz,  
Bd. 2: Biologische Informationen, UTB Steinkopff,  
Darmstadt 1976, S. 151/152



M 9: Tabellen zur Luftverunreinigung  
aus : MOLL, Bd. 2, a.a.O., S. 160/161

Globale gasförmige Luftverunreinigungen nach K. H. Raasmussen u. a.

Verunreinigung	Hauptquellen		Geschätzte Jahresemission kg		Grundpegel $\mu\text{g m}^{-3}$
	Mensch	Natur	Mensch	Natur	
SO <sub>2</sub>	Verbrennung von Kohle und Öl	Vulkane	130 x 10 <sup>9</sup>	2 x 10 <sup>9</sup>	1-4
H <sub>2</sub> S	Chemische Prozesse	Vulkane Verwesung	3 x 10 <sup>9</sup>	100 x 10 <sup>9</sup>	0,3
N <sub>2</sub> O	keine	Verwesung	keine	590 x 10 <sup>9</sup>	460-490
NO	Verbrennung	Bodenbakterien Photo- dissoziation von N <sub>2</sub> O und NO <sub>2</sub>	53 x 10 <sup>9</sup>	768 x 10 <sup>9</sup>	0,3-2,5
NO <sub>2</sub>	Verbrennung				
NH <sub>3</sub>	Kohleverbrennung Düngemittel	Verwesung	4 x 10 <sup>9</sup>	170 x 10 <sup>9</sup>	4
CO	Autoabgase Verbrennungsprozesse	Oxidation von Methan Dissoziation von CO <sub>2</sub> Ozeane	360 x 10 <sup>9</sup>	3000 x 10 <sup>9</sup> ?	100
O <sub>3</sub>	keine	Tropo- und Stratosphäre	keine	?	20-60
Kohlenwasserstoffe					
nicht reaktiv	Überverbrennung	Biologische Prozesse	70 x 10 <sup>9</sup>	300 x 10 <sup>9</sup>	CH 1000 nicht CH <sub>4</sub> <1
reaktiv	Überverbrennung	Biologische Prozesse	27 x 10 <sup>9</sup>	175 x 10 <sup>9</sup>	<1

Globale Aerosol-Emissionen  
(Mio. t pro Jahr)

Vom Menschen erzeugte Aerosole	
Staubteilchen	92
Aerosole aus SO <sub>2</sub> -Umwandlung	147
Aerosole aus NO <sub>x</sub> -Umwandlung	30
Photochemische Aerosole aus Kohlenwasserstoffen	27
	296
Natürliche Aerosole:	
Erdstaub	200
Aerosole aus H <sub>2</sub> S-Umwandlung	204
Aerosole aus NO <sub>x</sub> -Umwandlung	432
Aerosole aus NH <sub>3</sub> -Umwandlung	269
Photochemische Aerosole aus Terpenen u. a.	200
Vulkanasche	4
Waldfeuer	3
Seesalz	1000
	2312

Maximale Immissionskonzentrationen (MIK-Werte) (mg/m<sup>3</sup>)

Stoff	TA Luft 1974		TA Luft 1964		VDI 2310 Mittelwerte über:		
	IW 1	IW 2	IW 1	IW 2	1 Jahr	24 h	0,5 h
Staubniederschlag*)	0,35	0,65	0,85	1,3			
Schwebstaub	0,10	0,20			0,1	0,2	0,3
Chlor	0,10	0,30	0,3	0,6			
Chlorwasserstoff	0,10	0,20					
Fluorwasserstoff	0,002	0,004			0,05	0,1	0,2
Kohlenmonoxid	10,0	30,0			10	10	50
Schwefeldioxid	0,140	0,40	0,4	0,75	0,1	0,3	1
Schwefelwasserstoff	0,0050	0,010	0,15	0,3			
Stickstoffdioxid	0,10	0,30	1	2		0,1	0,2
Stickstoffmonoxid	0,20	0,60	1	2		0,5	1
Ammoniak					0,1	0,3	0,5
Ozon					0,05	0,05	0,15
Schwefelsäure					0,05	0,1	0,2

\*) Einheit für Staubniederschlag: g/m<sup>2</sup> Tag  
IW 1: Langzeitwert / IW 2: Kurzzeitwert

Ergänzung: Durch die Novellierung der TA Luft durch die "Allgemeine Verwaltungsvorschrift vom 23.2.1983 zur Änderung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) gelten seit 1983 für folgende Stoffe niedrigere Grenzwerte:

	IW 1	IW 2	
NO <sub>2</sub> :	0,08	0,30	mg/m <sup>3</sup>
Fluorverbindungen, HF:	0,001	0,003	mg/m <sup>3</sup>

Die übrigen Werte, insbesondere für HCl, sind unverändert (auch für SO<sub>2</sub>).

nach: Gem.Ministerialblatt, 34, Nr. 6/1983, S. 93-112

Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationen (MAK-Werte)  
in verschiedenen Ländern

Quelle: MOLL: Taschenbuch f. Umweltschutz, a.a.O.,  
Band II, Tabelle 37

Technische Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe  
(TRgA), Bekanntmachung des BMA vom 14. September  
1982 - III b 4 - 35107; in: Bundesarbeitsblatt  
10/1982, S. 37 ff.

	USA-OSHA 1974 mg/m <sup>3</sup>	BRD 1974 mg/m <sup>3</sup>	DDR 1973 mg/m <sup>3</sup>	Schweden 1975 mg/m <sup>3</sup>	CSSR 1969 mg/m <sup>3</sup>	USSR 1972 mg/m <sup>3</sup>
Aceton	2400	2400	1000	1200	800	200
Acetonitril	70	70	-	-	-	10
Acrolein	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.7
Benzol	30	0	50	30	50	5
Carbon- tetrachlorid	65	65	50	65	50	20
Ethyl-acetat	1400	1400	500	1100	400	200
Ethanol	1900	1900	1000	1900	1000	1000
Ethyl-amin	18	18	20	-	-	1
Ethyl-ether	1200	1200	500	1200	300	300
Formaldehyd	3	1.2	2	3	2	0.5
Hydrogen- chlorid	7	7	5	7	8	5
Maleinsäure- anhydrid	1	0.8	-	1	1	1
Methyl-acrylat	35	35	20	-	-	20
Methylen- chlorid x)	1740	1750	500	350	500	50
Phenol	19	19	20	19	20	5
Phthalsäure- anhydrid	12	5	10	12	5	1
Propylen- dichlorid	350	350	50	-	-	10
Propylen- oxid x)	240	240	-	-	-	1
Styrol	420	420	200	210	200	5
Schwefeldioxid x)	13	13	10	5	10	10
Trichlor- ethylen	535	260	250	160	250	10

x) Seit 1982 gelten für die oben gekennzeichneten Stoffe  
abweichend die folgenden MAK-Werte:

Methylenchlorid	:	360 mg/m <sup>3</sup>
Propylenoxid	:	120 mg/m <sup>3</sup>
Schwefeldioxid	:	5 mg/m <sup>3</sup>

M 10: "Industrie forscht für den Umweltschutz"  
(Quelle: BDI, Köln 1980; z.T. verändert)

Chlorwasserstoff in den Abgasen der Müllverbrennungsanlage

Eine firmeneigene Müllverbrennungsanlage wird seit dem Jahr 1964 für die Beseitigung der betriebsbedingten Abfälle eingesetzt. Und das mit einer positiven Nebenwirkung. Die durch die Verbrennung entstehende Energie wird zur Erzeugung von Hochdruckheißwasser genutzt. Was an Asche übrig bleibt, kann unschädlich abgelagert werden. Ein Elektrofilter sorgt für die Entstaubung der Abgase, die aus der Verbrennung von täglich 75 Tonnen Abfall resultieren. Herausgefiltert werden konnte jedoch nicht das Chlorwasserstoffgas, das bei der Verbrennung von PVC-Kunststoffen entsteht. Betriebsinterne Maßnahmen, den Kunststoffanteil im Müll und damit den Chlorwasserstoffgehalt im Abgas auf ein vertretbares Maß zu reduzieren, brachten nicht den erwarteten Erfolg.

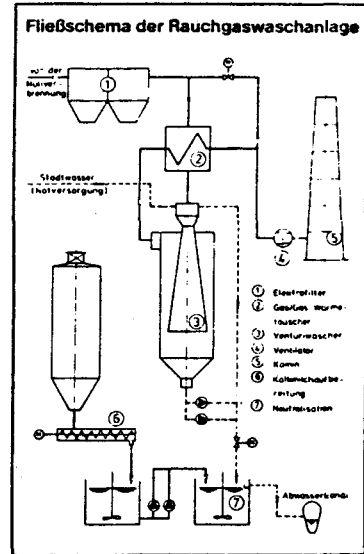
Als 1972 die Modernisierung dieser Anlage beschlossen worden war, knüpfte die genehmigende Behörde an die Erlaubnis die Auflage, neben der

Einhaltung der Grenzwerte für Staub zusätzlich auch Chlorwasserstoff bis auf einen Restgehalt von 100 mg/m<sup>3</sup> aus den Abgasen zu entfernen. Hierzu aber mußte mit dem Einbau einer Rauchgaswaschanlage technisches Neuland betreten werden.

Wie die neue, Ende 1979 fertiggestellte und Anfang 1980 noch in der Erprobung befindliche Anlage funktioniert wird aus der nebenstehenden Abbildung deutlich:

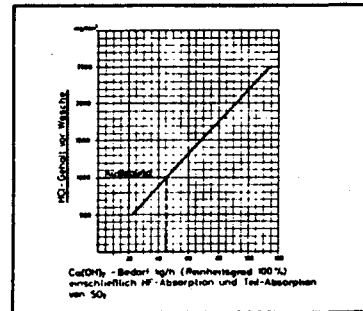
Die im Elektrofilter weitgehend vom Staub befreiten Abgase (Reststaubgehalt 150 mg/m<sup>3</sup>) werden in einem Gas/Gas-Wärmetauscher durch die gereinigten Abgase von maximal 300°C auf 100°C gekühlt. Im nachgeschalteten Venturi-Wäscher werden die im Rauchgas enthaltenen Schadstoffe durch intensive Verwirbelung mit Wasser abgeschieden. Das Wasser enthält nun die Schadstoffe; das gereinigte Rauchgas durchströmt wieder den Wärmetauscher und verläßt ihn

mit einer Temperatur von 140°C. Die gereinigten Gase aber gelangen über einen Kamin in die Atmosphäre



Ein Teil des Wassers wird ständig durch Frischwasser ersetzt. Das verschmutzte Wasser ist stark sauer und wird deshalb mit Kalk neutralisiert, bevor es in den städtischen Schmutzkanal gelangt.

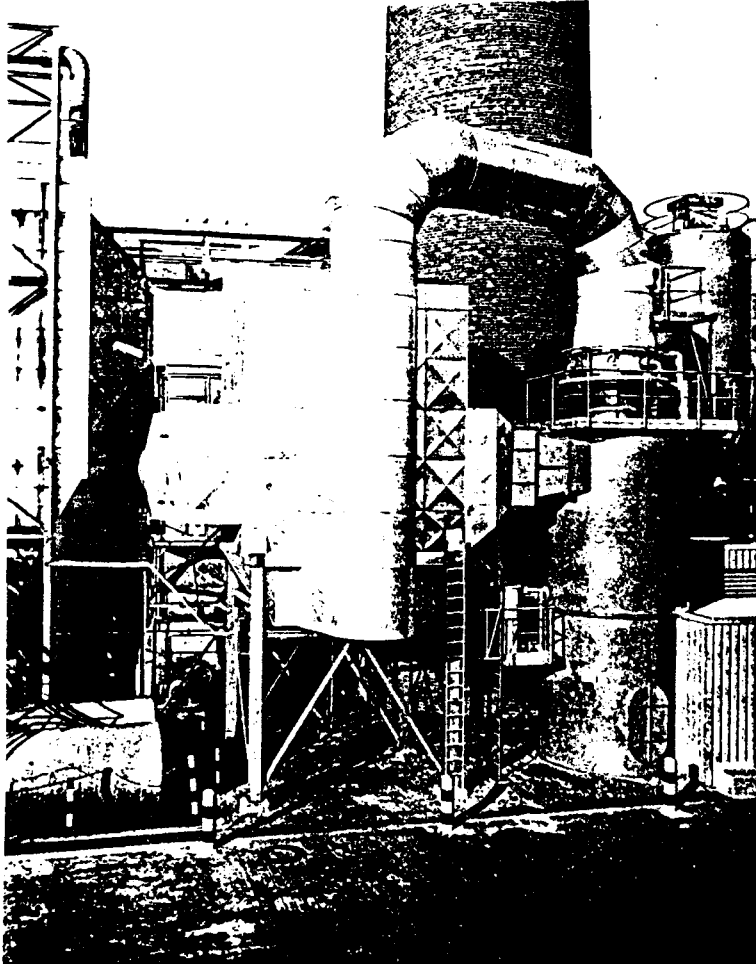
Die Abbildung auf Seite 59 zeigt den theoretischen Verbrauch an Kalkhydrat je Stunde in Abhängigkeit vom Chlorwasserstoffgehalt der Rauchgase.



Insgesamt reinigt die Gaswaschanlage in der Stunde 45000 m<sup>3</sup> Abgas, wobei der Gehalt an Chlorwasserstoff im Reingas unter 100 mg/m<sup>3</sup> bleibt.

Mit dieser Anlage ist ein erheblicher Beitrag zur Luftreinigung in einem ohnehin stark belasteten Industriegebiet geleistet worden.

Investitionskosten 1,6 Millionen DM;  
Betriebskosten (geschätzt) für Chemikalien 140000 DM;  
Strom, Wasser, ohne Abschreibungen 140000 DM;  
Instandhaltung (geschätzt) 150000 DM.



Neue Müllverbrennungsanlage mit zusätzlicher Gaswäsche

M 11: Stundenskizzen mit alternativem Verlauf1. Stunde: Schülerreferat "Umweltbelastung durch Kunststoffe"

Lehrerverhalten	erwartetes Schülerverhalten	Medien	Kommentar
<p>Lehrer macht Diskussionsleiter (nicht mehr!)</p> <p>Lehrer beantworten Verständnisfragen u. U. anhand von Tabellen, Literatur</p>	<p>Schülerreferat wird vorgelesen, Zwischenfragen werden direkt gestellt und beantwortet</p> <p>Referat wird entlang der möglichen Schwerpunkte diskutiert (vgl. dazu Abschnitt 4, S. 6)</p>	<p>Thesen zum Referat liegen allen vor</p> <p>u. U. erläuternde Tabellen auf Overheadfolien</p> <p>Diskussion in Stichworten (Gliederung) an der Tafel festhalten</p>	

2. Stunde: Planung des weiteren Verlaufs der Einheit

Vergleiche hierzu Abschnitt 4, S. 6-8 (unterschiedliche Schwerpunktsetzung) und die Sach-/Problemstrukturskizze (Abschnitt 3, S. 4-5). Die Erarbeitung einer solchen Skizze kann der Schwerpunktplanung u. U. vorausgehen.

Variante A3./4. Stunde: Schülerversuche zur Elementaranalyse von Kunststoffproben aus dem Alltag (von ihnen mitgebracht)

Lehrerverhalten	erwartetes Schülerverhalten	Medien	Kommentar
Verteilen des Arbeitsblattes (z. B. M 2)	lesen Arbeitsblatt	Arbeitsblatt "Versuche mit Kunststoffen (Elementaranalysen) M 2"	Leseпаusen einplanen

Vorschlag: Bildung von Arbeitsgruppen für die Versuche	Schüler bilden Arbeitsgruppen und teilen die Versuche untereinander auf		
Frage: warum sollen Versuche doppelt durchgeführt werden?	Diskussion über Fehlerquellen der qualitativen Analysen. Konsequenz: Doppelbestimmungen		Doppelbestimmungen sinnvoll bei geringen Experimentier-erfahrungen der Schüler
Hilfestellungen geben	Gruppenarbeit: Durchführung der Versuche		Zeitplanung: Versuche dauern etwa 1 h
Ergebnissicherung	Gruppen tauschen Versuchsbeobachtungen aus	Tafelanschrieb bzw. vorbereitete Folie für OH-Projektor	
Hausaufgabe: Versuchsauswertung der durchgeführten Versuche			

5./6. Stunde: Auswertung der Versuche und Methodenkritik

Lehrerverhalten	erwartetes Schülerverhalten	Medien	Kommentar
Besprechung der Hausaufgabe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wiederholung: Aufgabenstellung der Versuche</li> <li>- Versuchsbeobachtungen beschreiben</li> <li>- Reaktionsprodukte benennen</li> <li>- Reaktionsgleichung aufstellen</li> </ul>	Arbeitsblatt "Elementaranalyse von Kunststoffen" (M 2)	darauf kann verzichtet werden
Methodenkritik der Versuche: Vorstellung moderner Methoden der Umweltanalytik	<p>Diskussion: Vergleich "naßchemischer" und instrumenteller Methoden (Nachweis-sicherheit, Erfassungsgrenze)</p> <p>Diskussion: Ökonomische und politische Determinanten der Anwendung fachspezifischer Ergebnisse am Beispiel der Umweltanalytik</p>	<p>OH-Folie: Tabelle der Methoden</p> <p>Zeitungsartikel, Videoaufzeichnungen von Ausschnitten aus Fernseh-sendungen</p>	

7. Stunde: Schadstoffwirkungen von Chlorwasserstoffgas auf Mensch und Umwelt

Lehrerverhalten	erwartetes Schülerverhalten	Medien	Kommentar
<p>Eingabe eines Arbeitsblattes zur Schadstoffwirkung von HCl-Gas</p> <p>Leitfrage zur Diskussion: Vergleich mit der Wirkung von SO<sub>2</sub></p> <p>Erweiterung: Wirkung von Schadstoffgemischen</p> <p>Leitfrage: Festlegung von Grenzwerten für umweltschädigende Stoffe</p>	<p>Arbeitsblatt wird gelesen</p> <p>Bearbeitung der Fragen in Gruppen</p> <p>Diskussion: Ökonomische und politische Voraussetzungen für Umweltschutzpolitik</p>	<p>Arbeitsblatt "Biochemische Wirkung von HCl-Gas" (M4)</p> <p>OH-Folie o. Arbeitsblatt zur Londoner Smogkatastrofe von 1952 (M7)</p>	<p>Lesepause einplanen</p>

8./9. Stunde: Belastung der Umwelt durch Schadstoffe; Grenzwertfestlegungen und internationaler Vergleich

Lehrerverhalten	erwartetes Schülerverhalten	Medien	Kommentar
<p>Konkretisierung der Diskussion der vorherigen Stunde</p> <p>Eingabe eines Arbeitsblattes zu Definition und Festlegung von Grenzwerten umweltschädigende Stoffe</p>	<p>Diskussion: Internationaler Vergleich der Grenzwerte als Ausdruck politischer Setzungen. Herausarbeiten der Grundlagen dieser Setzungen und Vergleich mit den Diskussionsergebnissen der vorherigen Stunde</p>	<p>OH-Folie zur Umweltbelastung durch einige Schadstoffe (M9)</p> <p>Arbeitsblatt "Definition und Festlegung von Grenzwerten umweltschädigender Stoffe (Emission, MIK, MAK)" (M8)</p>	<p>Lesepause einplanen</p>

<p>Diskussion: Wo treten diese Umweltprobleme in der eigenen Umgebung auf? Konsequenzen (Bürgerinitiativen)? Auswirkungen der Umweltbelastung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sinkende Erträge bei Nutzpflanzen</li> <li>- Pflanzen als Indikatoren für langfristig wirkende Umweltschadstoffe</li> </ul>	<p>Umweltschutzdiskussion in den Medien, insbesondere den Zeitungen der Region</p>
---	--

Variante B

3./4. Stunde: Nekrotierende Wirkung von HCl-Gas auf Pflanzen

Lehrerverhalten	erwartetes Schülerverhalten	Medien	Kommentar
<p>Versuch zur nekrotierenden Wirkung von HCl-Gas auf Pflanzen wird durchgeführt</p> <p>Versuchsauswertung</p>	<p>Versuchsbeobachtung aufschreiben</p> <p>Vergleich begastetes - unbegastetes Blatt: makroskopische Wirkung einer relativ hohen Dosis von HCl-Gas (Beschleunigung der Reaktion)</p> <p>Beschreibung der biochemischen Wirkung von HCl auf die Pflanze (Zerstörung des Chlorophylls, Unterbrechung der Photosynthese)</p>	<p>Arbeitsblatt "Nekrotierende Wirkung von HCl-Gas auf Pflanzen" (M3)</p> <p>Arbeitsblatt "Biochemische Wirkung von HCl-Gas auf Pflanzen" (M4)</p>	<p>Versuch dauert etwa eine halbe Stunde</p> <p>Gruppenarbeit möglich</p>

5. Stunde: Schadstoffwirkungen von Chlorwasserstoffgas auf Mensch und Umwelt

Lehrerverhalten	erwartetes Schülerverhalten	Medien	Kommentar
Fortsetzung der Diskussion der vorherigen Stunde (M1)	<p>Diskussion:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wirkung von SO<sub>2</sub> auf den Menschen</li> <li>- Wirkung von Stoffgemischen (Addition, Multiplikation, Synergie der Wirkungen); Aufstellen einer Tabelle</li> </ul>	<p>Arbeitsblatt "Biochemische Wirkung von HCl-Gas auf Pflanzen" (M4)</p> <p>OH-Folie zur Smogkatastrophe in London 1952 (M7)</p>	
Leitfrage: Festlegung von Grenzwerten für umweltschädigende Stoffe	Diskussion: Ökonomische und politische Voraussetzungen der Grenzwertfestlegung	Zeitungsartikel, Fernsehsendungen (Videoaufz.)	

6. Stunde: Alternativen der Verarbeitung von Kunststoffabfällen

Lehrerverhalten	erwartetes Schülerverhalten	Medien	Kommentar
Leitfrage: Welche Möglichkeiten für Senkung von Emissionswerten gibt es?	<p>Diskussion der Frage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung bestehender Anlagen (Filter, Rauchgaswäsche)</li> <li>- Pyrolyse (Cracken der Kunststoffketten zu kurzkettigen Kohlenwasserstoffen)</li> <li>- Ersetzen von Kunststoffen mit umweltschädigenden Verbrennungsprodukten durch andere, deren Verbrennungsprodukte nicht giftig bzw. handhabbar sind.</li> </ul>	<p>OH-Folie: Pyrolyseanlage</p> <p>Informationsblatt zur VC-Krankheit (nach Levinson)</p>	
Leitfrage: Umweltpolitik in der BRD	Diskussion: Möglichkeiten und Grenzen der in der BRD betriebenen Umweltpolitik	Informationsblatt zur Umweltpolitik (Zeitungsauschnitte, Stellungnahmen von Politikern u.a.)	



M 12: Umweltgefährdung durch Kunststoffe?

” Weit verbreitete Vorurteile und Irrtümer über die Kunststoffe

Wir waren schon auf dem besten Wege, die Kunststoffe als hochwertige, unentbehrliche Werkstoffe anzusehen und nicht mehr als fragwürdige Ersatzstoffe für arme Leute oder Leute ohne Geschmack. Da kamen die Umweltschützer und versuchten alles madig zu machen, was die Chemiker leisten, natürlich auch die Kunststoffe, denn: “Sie sind giftig und überall liegen Tüten, Flaschen und Becher aus Kunststoffen herum und verschandeln die Landschaft”.

Jedes Pauschalurteil ist von Übel, auch dieses. Immer wieder behaupten Fernsehkommentatoren, die Tragetaschen aus Polyäthylen, die es in den Geschäften gratis gibt, verwandelten sich beim Verbrennen in giftige Dämpfe. Der Leser dieser Broschüre weiß es besser, die Tüten verbrennen wie Wachs und der Rauch ist ebenso harmlos.

Unter den Stammesfürsten der Kunststoffe, es sind rund zwanzig, befindet sich einer, der den Prügelknaben für alle abgeben muß, das Polyvinylchlorid, und zwar wegen der Silbe Chlor. In den Molekülen des PVC's steckt ein Chloratom, das sich beim Verbrennen des Materials in Chlorwasserstoffgas umsetzt. Die bekanntere Bezeichnung für Chlorwasserstoff ist Salzsäure.

Nun hat ein kluger Kopf festgestellt, daß von den Müllverbrennungsanlagen der Bundesrepublik täglich 8.000 Tonnen Salzsäure in die Luft gejagt werden und daß daran folgende Abfälle beteiligt sind:

Straßenkehrer, Papier, Gemüse und Konsumwaren aus PVC. Da jedoch die Kunststoffherzeugnisse insgesamt nur 2 bis 4 Prozent vom Gewicht des heutigen Mülls ausmachen, ist der spezielle Anteil des PVC's so gering, daß man ihn bisher nicht präzise feststellen konnte. Das ganze Lamento nennt man, aus einer Mücke einen Elefanten machen. ”

aus: Hessischer Minister  
für Landesentwicklung,  
Umwelt, Landwirtschaft  
und Forsten (Hrsg.):  
Umweltschutz in Hessen -  
Waldsterben  
Wiesbaden 1983, S. 55

aus:

Hans BLAU:  
Kunststoffe im  
Alltag  
herausgegeben  
vom AKI  
Frankfurt 1975<sup>5</sup>  
S. 43

” Chlorwasserstoff -HCl-  
Farbloses Gas mit stechendem Geruch. Es ist vor allem in Form von Salzsäure eine der bedeutendsten Grundchemikalien. Wichtiges Einsatzgebiet ist die Herstellung von Polyvinylchlorid (PVC). HCl wird beim Verbrennen von PVC-Kunststoffen freigesetzt. Müllverbrennungsanlagen sind dabei mit über 50% die Hauptquelle. HCl wirkt ätzend auf die Atemorgane, führt bei längerer Einwirkung zu Bronchialkatarhen mit heftigem Reizhusten und verursacht an Pflanzen ähnliche Schäden wie Fluorwasserstoff. ”

Zum NACHDENKEN und AUSRECHNEN:

Wenn jährlich 900.000 t PVC verbraucht werden und etwa ebensoviel in den Müll gelangt, wenn weiter ca. 1/3 des Mülls z.Zt. (1983) verbrannt wird, wieviel m<sup>3</sup> HCl-Gas entstehen dann?

**Sind Kunststoff-  
Verpackungen  
ein Umweltproblem?**

# M13

## M 13: Kunststoff-Recycling aus industrieller Sicht

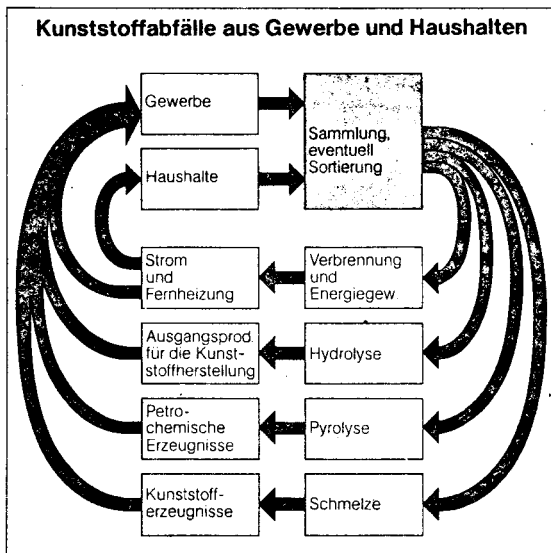
# Kunststoffe kann man wiederverwerten

### Recycling ist das Gegenteil von Wegwerfen!

Kunststoff-Recycling ist der sinnvolle Umgang mit unseren Ressourcen und unserer Umwelt.

Kunststoff-Recycling führt Produkte nach ihrem Gebrauch durch Wiederverwertung einer neuen Bestimmung zu.

Kunststoff-Recycling spart Rohstoffe, spart Energie und begrenzt den Abfall.



### Kunststoffe kann man wiederverwerten: Heute schon 400.000 Tonnen jährlich

Kunststoff ist nicht gleich Kunststoff. Mehr als 50 wichtige Arten gibt es. Sie alle haben ihre ganz speziellen Eigenschaften – auch bei ihrer Wiederverwertung.

**Sortenreine Kunststoffe** lassen sich nach ihrem Gebrauch sehr gut wiederverwerten.

**Bei Kunststoffmischungen** eine praktikable sinnvolle Lösung zu finden, war eine Aufgabe, die viel Forschergeist, Innovation und Zeit erforderte.

Für Kunststoffe sind in den vergangenen Jahren neue zukunftssträchtige Verfahren entwickelt worden. Heute werden bereits jährlich 400.000 Tonnen Kunststoff mit einem Neuwert von 1 Milliarde DM nach ihrem Gebrauch wiederverwertet. Die Kunststoffe nehmen heute bei der Wiederverwertung eine Spitzenstellung ein. 20 Prozent aller Kunststoffabfälle gelangen wieder in den Produktionskreislauf.

In Zukunft bieten sich noch weitere, verbesserte Möglichkeiten der Wiederverwertung, zum Beispiel durch **Schmelze, Pyrolyse, Hydrolyse und Verbrennung.**

### Kunststoffe kann man wiederverwerten: Durch Umschmelzen neu formbar

Thermoplastische Kunststoffe, das sind 70 Prozent aller Kunststoffe, eignen sich besonders gut zum Recycling. Es sind Kunststoffe, die bei höheren Temperaturen erweichen und bei Abkühlung wieder erhärten. Sie können nach ihrem Gebrauch durch Wärmeeinwirkung geschmolzen werden und sind dann wieder zu neuen Halb- und Fertigerzeugnissen formbar.

Aber auch duroplastische Kunststoffabfälle – die restlichen 30 Prozent – die durch Erwärmen nicht umformbar sind, lassen sich erneut verarbeiten. Sie werden gemahlen und dem Neumaterial zugesetzt.

### Heute lassen sich durch Umschmelzen wiederverwerten:

- **sortenreine saubere Kunststoffe** gemeinsam mit Neumaterial wieder zu hochwertigen Produkten wie Bau- und Landwirtschaftsfolien oder Flaschenkästen
- **undefinierte Kunststoffe** als Ausgangsmaterial für weniger anspruchsvolle Erzeugnisse wie Blumentöpfe und Leitpfosten
- **Kunststoffmischungen** mit Fremdmaterial, etwa Metallteilchen oder Erde durchsetzt, noch zu einfachen Produkten wie Einfriedungen, Fahrbahnrandbefestigungen oder Rasenkantensteinen.

Sortenreine saubere Kunststoffabfälle bieten die besten Wiederverwertungsmöglichkeiten. Es ist deshalb sinnvoll, vermischte oder undefinierte Kunststoffe zunächst zu sortieren. Dafür gibt es inzwischen neu entwickelte vielversprechende Verfahren, die sich in der Praxis bereits bewährt haben und von Wertstoffbetrieben genutzt werden.

### Kunststoffe kann man wiederverwerten: Durch Pyrolyse zu wertvollen Gasen und Ölen

Zur Pyrolyse von Kunststoffabfällen wurde ein neues richtungweisendes Verfahren entwickelt. Hierbei werden die Kunststoffe in ihre chemischen Bausteine zerlegt. Dies geschieht nach dem sogenannten „Hamburger Verfahren“ in einem geschlossenen Reaktor durch hohe Temperaturen ohne Sauerstoff.

### Die Pyrolyse ist keine Verbrennung. Es entstehen keine Abgase.

Größter Vorteil dieser Art der Wiederverwertung: Fast alle Kunststoffe sind geeignet. Sie können sortenrein oder gemischt sein oder sogar bis zu 20 Prozent Fremdstoffe wie etwa Papier und Metall enthalten.

### Die Pyrolyse liefert speicherfähige Energie in Form von Gas, Öl und Rußkohle sowie wertvolle chemische Rohstoffe.

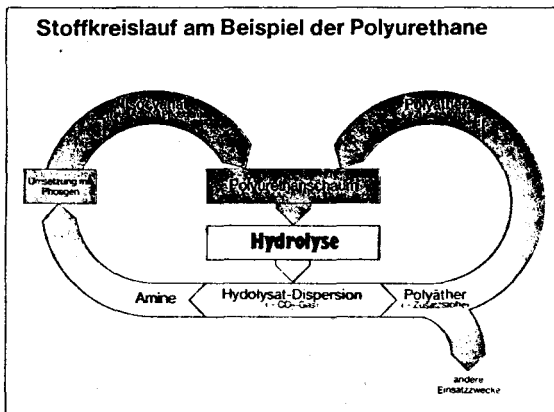
Vom gewonnenen Gas genügt weniger als die Hälfte für den Betrieb der Anlage. Sie versorgt sich selbst mit Energie. Der Rest kann als Stadtgas in die öffentlichen Gasleitungen eingespeist werden. Die fast vollständig aus wertvollen Aromaten bestehenden Öle lassen sich zur Verbesserung der Benzinqualität, als Rohstoffe zur Herstellung von neuen Kunststoffen oder anderen chemischen Produkten verwenden.

**Kunststoffe kann man wiederverwerten:  
Durch Hydrolyse zurück zu den Ausgangsprodukten**

Hydrolyse ist die Rückgewinnung der zur Herstellung bestimmter Kunststoffe benötigten Ausgangsprodukte durch Einwirkung von Wasserdampf, hohem Druck und hoher Temperatur. Hierbei gelingt es, die Ausgangsstoffe in qualitativ hochwertiger Form direkt wiederzugewinnen.

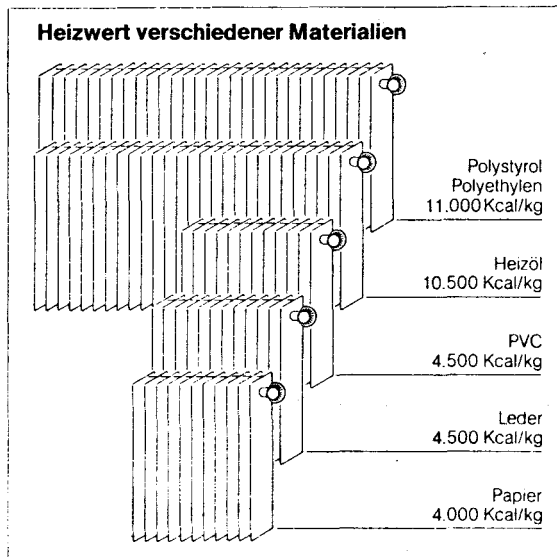
**Für die Hydrolyse geeignet sind:** Polyurethane (Polsterschäume, Matratzen, Beschichtungen, Autoteile) Polyamide und Polyester (Textilien, Bodenbeläge, technische Teile).

Die Hydrolyse kann besonders dort erfolgreich eingesetzt werden, wo große Schaummengen anfallen, deren Zusammensetzung bekannt ist. Beispielsweise bei der Matratzenherstellung.



**Kunststoffe kann man wiederverwerten:  
Durch Verbrennung – Gewinnung von Energie**

**Kunststoffe sind gespeicherte Energie. Ihr Heizwert liegt meist über dem von Heizöl.**



Kunststoffe helfen nach ihrem Gebrauch in Müllverbrennungsanlagen zusätzliche Energie zu gewinnen. Ohne Kunststoffe gingen in manchen Müllverbrennungsanlagen gelegentlich die Öfen aus oder es müßte mit teurem Heizöl zugefeuert werden.

Etwa ein Drittel unseres Mülls wird verbrannt. In 39 von 43 Müllverbrennungsanlagen wird die entstehende Wärme genutzt. **Die so gewonnene Energie reicht aus, die 250.000 Einwohner der Stadt Wiesbaden dauerhaft mit Heizenergie und Strom zu versorgen.**

Müllverbrennungsanlagen sind aber nicht der einzige Weg, sonst nicht verwertete Kunststoffe nach ihrem Gebrauch sinnvoll zu verfeuern. Eine wichtige Rolle spielen Kunststoffabfälle auch bei der Herstellung energieintensiver Produkte. Etwa als Ersatz für Heizöl bei der Zementherstellung.

**Kunststoffe kann man wiederverwerten:  
Verbrauch und Abfall**

**Kunststoffverbrauch Bundesrepublik 1981 in Tonnen:**

Insgesamt	5 800 000
<b>davon</b>	
Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP)	1 500 000
Polyvinylchlorid (PVC)	900 000
Styrol-Polymerisate, auch Schäume	500 000
Polyurethane (PU)	300 000

**Verwendung von Kunststoffserzeugnissen:**

Kurzfristig	(unter 1 Jahr)	20%
Mittelfristig	(1-8 Jahre)	15%
Langfristig	(über 8 Jahre)	65%

Kunststoffe werden überwiegend für mittel- und langfristig verwendbare Erzeugnisse eingesetzt.

**Kunststoffabfälle Bundesrepublik in Tonnen:**

Nutzung durch Verbrennung	600 000
Nutzung durch Verwertung	400 000
Deponiert	1 000 000
Insgesamt	2 000 000

Der Kunststoffanteil im Müll beträgt 5 bis 6 Prozent des Gewichtes.

**Das Kunststoff-Recycling hat sich in den letzten Jahren wie folgt entwickelt:**

	1971	1981
Kunststoffverbrauch	3 400 000 t	5 800 000 t
Kunststoff-Recycling	150 000 t	400 000 t

M 14: Industrielle Produktion zwischen Ökonomie und Ökologie**Einwegverpackungen**

Unter dem Zwang zur Rationalisierung ist auch die unverändert dominierende Rolle der Einwegverpackung in allen Wirtschaftsbereichen zu sehen. Mehrwegverpackungen bringen im Vergleich dazu finanzielle Mehrbelastungen im Handel und beim Transport mit sich; nicht zu vergessen die Probleme bezüglich Hygiene und Umweltschutz: Die zurückgenommenen, meist verunreinigten Behältnisse müssen zwischengelagert werden, bis sie der Lieferant wieder abholen läßt.

Zur Reinigung werden erhebliche Mengen Trinkwasser benötigt. Die verwendeten Wasch- und Reinigungsmittel ergeben eine zusätzliche Belastung des Abwassers. Für Einwegverpackungen spricht also mehr, als nur Bequemlichkeit.

**Wiederverwertung . . .**

Schon immer führen ökonomische Überlegungen dort zur Verwertung von Abfällen, wo deren Rohstoffe in aufbereiteter Form billiger sind, als neues Material.

Ebenso wie steigende Rohstoffkosten machen strengere Auflagen für die Beseitigung von Abfallstoffen die Aufarbeitung und Wiederverwertung wirtschaftlich interessanter. Weltweit befassen sich daher Forschungsinstitute und die Industrie mit der Entwicklung neuer Technologien, um wiedergewonnene Materialien wettbewerbsfähiger zu machen.

Bei allen Versuchen, Kunststoffabfälle wiederzuverwerten, muß sorgfältig zwischen ökologischen, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten abgewogen werden. Es gibt Fälle, in denen technisch realisierbare und kostengünstige Verfahren wegen ihrer Umweltbeeinträchtigungen ausscheiden; andere wiederum scheiterten bisher an zu hohen Kosten oder noch nicht ausgereiften Technologien.

aus: Kunststoffe, Verpackungen, Umwelt; VKE (Hrsg.)  
Frankfurt, o.J.

**Wiederverwendung**

Ein ideales Beispiel der Wiederverwendung wären Erzeugnisse, bei denen ohne zusätzlichen Aufwand und ohne Umweltbeeinflussung eine zweite, andersartige Nutzung möglich ist. Denkbar wären Verpackungen, deren Konstruktion eine weitere Nutzung als Verschalungen im Baugewerbe möglich macht. Typisch für die Wiederverwendung sind aber Mehrwegverpackungen, die immer wieder zurücktransportiert und gereinigt werden müssen.

**Recycling**

Durch Wiederverwertung von Altmaterialien können die Vorräte mancher Rohstoffe gestreckt werden, außerdem entstehen z. T. andere ökonomische und ökologische Vorteile. Trotzdem sollten die Möglichkeiten nicht überschätzt werden, da

- bei einer weiteren Steigerung der Verbrauchsdaten die Verknappung eines Rohstoffs nur unwesentlich herausgezögert werden kann
- auch beim Recycling, z.B. aufgrund erhöhten Energieaufwands, gewässerbelastender Reinigung, Verwendung stark verunreinigter Altmaterialien ökologische Probleme entstehen können.

**Ökologische Orientierung der Abfallwirtschaft**

Für eine ökologisch orientierte Abfallwirtschaft lassen sich im wesentlichen zwei Maßnahmegruppen mit folgenden Kriterien unterscheiden:

- Die Vermeidungsstrategie, d.h. Steuerung des Abfallaufkommens von vornherein.
- Beseitigungs- und Verwertungsstrategie, d.h. möglichst schadlose, geordnete Beseitigung und/oder Rückführung in natürliche Stoff- und industrielle Produktionskreisläufe bzw. -prozesse.

Beseitigung ist zu verstehen als physikalische, biologische und/oder chemische Umwandlung in andere feste, flüssige oder gasförmige Stoffe.

Eine ökologisch orientierte Abfallwirtschaft erfordert:

- Reduzierung der Abfallstoffe aus Produktion und Konsum;
- Minimierung der anfallenden Belastungswirkung bei der Abfallbeseitigung;
- Verbesserung konventioneller Beseitigungsmethoden;
- Verstärkten Einsatz von Wieder- und Weiterverwertungstechniken.

aus: Fischer-Öko-Almanach  
Frankfurt  
1980, S. 124  
1982/83, S. 253

# Abfall ist billiger Rohstoff

## Kunststoff-Recycling schont Ressourcen

Recycling liefert Rohstoffe. So dringend diese benötigt werden, wirtschaftlich sind die Verfahren zur Wiedergewinnung von Rohstoffen aus Abfällen oft noch nicht. Polyethylen-Müll, der sich bei entsprechender Aufbereitung wieder zu Polyethylen-Rohstoff verarbeiten läßt, ist jedoch ein vielversprechender Stoff, aus dem sich in einer Art Kreislauf immer wieder das gleiche Produkt fertigen läßt: Kunststoffolie wird nach Gebrauch zur Kunststoffolie zum Gebrauch.

Eine der bisher größten Recycling-Anlagen Europas für Kunststoffabfälle kommt von der Aluplast GmbH, Mayen, einem Unternehmen der Aluteam-Gruppe. Die Anlage hat mit einem Durchsatz von 1000 kg/h eine doppelt so hohe Kapazität wie übliche Standardanlagen.

Zum Recyclinggeschäft mit Kunststoffabfällen stieß die 1978 gegründete Aluplast GmbH über Problemlösungen bei der Weiterverarbeitung von Materialien, die in Flaschenschraubverschlüssen aus Aluminium stecken: Die darin enthaltenen Kunststoffdichtungen störten zunächst das Recycling von Aluminium, dann schließlich waren sie von Wert. Das Trennen der Dichtungen vom Aluminium konnte bewerkstelligt werden, und das beherrgte Metall stand als Ausgangsstoff für die Aluminiumproduktion ebenso zur Verfügung wie die Kunststoffe zur erneuten Verwendung bei der Herstellung von Kunststoffprodukten.

Trennen, Reinigen und Trocknen sind die Arbeitsgänge beim Recycling. Im ersten Schritt des Recycling-Prozesses werden Kunststoffabfälle aus dickwandigen Materialien oder Folien (Hauptbestandteil Polyethylen), die vermischt und verschmutzt anfallen, grob zerklüffert und dann in die Anlage gegeben.

Bei der Recycling-Anlage von Aluplast wird das Ausgangsmaterial in einer ersten Station in mehreren hintereinander geschalteten, umlaufenden Laminar-Strömungen in einer Salzlösung oder Wasser gesichtet. Dabei werden Fremdstoffe, wie andere Kunststoffe, Steine, Glas, Metalle, Papier und Vlies, von den Polyethylen-Schnitzeln abgetrennt. In der folgenden, zweiten Stufe werden die Polyethylen-Schnitzeln einem Frikationswäscher zugeführt und dort vom Schmutz befreit (gewaschen). Anschließend werden die Schnitzeln in der dritten Stufe mechanisch getrocknet. Bei Bedarf reduziert eine thermische Nachbehandlung die Restfeuchte auf etwa 0,5 %.

Wegen der hohen Reinheit des Granulats können bei entsprechenden Ausgangsprodukten hochwertige Verpackungsmaterialien produziert werden, selbst dünne Folien lassen sich erzeugen.

Bei der Aluplast konzentriert man sich seit 1981 ganz auf das Recycling von Kunststoffabfällen. In Einzelfertigung werden nicht nur komplette Recycling-Anlagen, sondern auch Bausteine des Konzepts verkauft. Trenner, Frikationswäscher, Folienschnitzeltrockner, Mahlgut-trockner, thermische Trockner und Granulat-trockner werden angeboten. **srp**

Seite 24 **VDI nachrichten** Nr. 42 / 21. Oktober 1983

### Das Umwelt-Problem:

Bei der Herstellung von Vinylchlorid, der Vorstufe des Kunststoffes PVC und bei verschiedenen anderen chemischen Produktionsprozessen entstehen als „Abfall“ immer gewisse Mengen nicht verwertbarer chlorhaltiger Nebenprodukte. Die umweltlichere Beseitigung dieser Rückstände war für ein großes Chemieunternehmen jahrelang ein Problem, das viel Mühe und Geld kostete. Entweder mußten diese Stoffe auf hoher See oder in stationären Anlagen bei den Unternehmen schadlos verbrannt werden oder man mußte sie in einem stillgelegten Salzbergwerk in großer Tiefe unter der Erdoberfläche deponieren.

Wissenschaftler und Techniker des Werkes suchten deshalb einen wirtschaftlichen Weg, die bisher nicht verwertbaren Chlorkohlenwasserstoffrückstände anders und vor allem besser aufzubereiten.

### Die Lösung:

Der Weg zur Lösung dieses Problems lag im eigenen Unternehmensbereich: In einer der zahlreichen Produktionsanlagen wird Tetrachlorkohlenstoff hergestellt, eine Flüssigkeit, die für die Synthese anderer wichtiger Verbindungen benötigt wird. Für die Gewinnung von Tetrachlorkohlenstoff braucht man den Kohlenwasserstoff Methan und Chlor, beides Rohstoffe, die bis dahin anderweitig beschafft wurden.

Die Möglichkeit der Verwendung von chlorhaltigen Rückständen zur Herstellung von Tetrachlorkohlenstoff wurde Mitte der sechziger Jahre zum Ausgangspunkt gezielter und aufwendiger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

# Vom Abfall zum Rohstoff

Es kam darauf an, ein rationelles Verfahren zu erarbeiten, mit dem der „Abfall“ aus der Produktion als „Rohstoff“ für die andere Produktion verwertet werden kann, so daß eine Umwandlung der Rückstände in Tetrachlorkohlenstoff erfolgt und dabei keine unverwertbaren Restmengen entstehen.

Ende 1970 wurde eine größere Versuchsanlage in Betrieb genommen, die jährlich 6.000 t Tetrachlorkohlenstoff durch Umsetzung von chlorhaltigen Rückständen herstellt. Bis es soweit war, mußten noch schwierige Werkstoffprobleme und eine Vielzahl von verfahrenstechnischen Fragen gelöst werden. Immerhin finden in einer Anlage dieser Art chemische Reaktionen mit Chlor bei Drücken bis 200 bar (204 at) und Temperaturen bis über 600 °C statt!

### „Chlorolyse“: Recycling für chlorhaltige Abfallprodukte

Die Arbeiten an der Versuchsanlage zeigten so gute Ergebnisse, daß sich das Unternehmen bald zum Bau einer Großanlage mit einer Jahreskapazität für 50.000 t Tetrachlorkohlenstoff entschloß. Dieses Verfahren – „Chlorolyse“ genannt – läuft seit Ende 1976. Diese Anlage steht nicht nur für den eigenen Unternehmensbereich zur Verfügung, es werden auch chlorhaltige Rückstände anderer Chemieunternehmen zu Tetrachlorkohlenstoff verarbeitet. Als weiteres Produkt wird in dieser Anlage noch Chlorwasserstoff gewonnen – ein wertvoller Rohstoff für andere chemische Reaktionen.

Durch dieses Verfahren fallen die früher notwendigen Kosten für die Abfallbeseitigung weg, außerdem wird ein nicht unbeträchtlicher, für die Rohstoffbeschaffung erforderlicher Energiebedarf (elektrischer Strom) eingespart. Die Anlage ist weitgehend automatisiert und kommt mit einem Minimum an Personalaufwand aus.

M 16: Die Stoffe ändern - oder das Verhalten ?

**Ihre und unsere Kunststoffe**

San Francisco, 25. Mai. Eine überraschende Übereinstimmung zwischen Ökotopia und dem heutigen Amerika besteht darin, daß beide riesige Mengen von Kunststoff verwenden. Anfänglich schloß ich daraus, daß sich unsere Lebensweisen im Grunde doch nicht so weit auseinanderentwickelt hätten. Genauere Nachforschungen haben jedoch ergeben, daß die Ähnlichkeiten nur oberflächlicher Natur sind und die beiden Länder Plastik auf ganz unterschiedliche Weise verwenden.

In Ökotopia werden Kunststoffe ausschließlich aus lebenden biologischen Grundstoffen (Pflanzen) und nicht, wie es bei uns die Regel ist, aus fossilen Stoffen (Petroleum, Kohle) gewonnen. Unmittelbar nach der Unabhängigkeit wurde auf diesem Gebiet eine intensive Forschungstätigkeit entfaltet, die bis heute andauert. Wie es heißt, verfolgte man dabei zwei große Ziele. Zum einen sollte mit geringem Kostenaufwand eine breite Palette der verschiedensten Kunststofftypen hergestellt werden (leichte, schwere, starre, flexible, durchsichtige, opake usw.), und zwar in einer Technik, die ihrerseits nicht zur Umweltverschmutzung führte. Das zweite Ziel bestand darin, sämtliche Kunststoffherzeugnisse *biologisch abbaubar*, d. h. verwesungsfähig, zu machen. Das bedeutete, daß man sie den Feldern wieder als Dünger zuführen konnte, als Nahrung für neue Pflanzen, die man dann wiederum zu Kunststoff verarbeiten würde - in einem endlosen Kreislauf, von dem die ÖkotoPIaner mit beinahe religiösem Eifer als einem System des »stabilen Gleichgewichts« sprechen.

Zu den interessantesten Ergebnissen des angestrebten biologischen Abbaus gehört ein Kunststoff, der nur eine begrenzte Lebensdauer hat und sich nach Ablauf einer bestimmten Zeit oder unter bestimmten Bedingungen von selbst zersetzt. (In ihrer typischen, von der Biologie geprägten Denkweise bezeichnen die ÖkotoPIaner den beginnenden Zerfall derartiger Plastikherzeugnisse als »Absterben«.) Aus Kunststoffen dieses Typs stellt man Bierdosen, Behälter für verschiedene Nahrungsmittel, zeilophanähnliches Verpackungsmaterial und vieles andere mehr her. Die Materialien »sterben« nach etwas mehr als einem Monat ab, besonders, wenn sie den ultravioletten Strahlen des Sonnenlichts ausgesetzt werden. Ich habe festgestellt, daß die sonst so ordnungsliebenden ÖkotoPIaner ohne Zögern leere Bierdosen auf die Straße werfen (und sie zertreten); sie wissen ja, daß die Überreste innerhalb weniger Wochen zerfallen und die Bestandteile vom Erdboden aufgenommen werden. Aus der gleichen Überlegung heraus wird in ökotopianischen Haushalten Verpackungsmaterial auf den Komposthaufen geworfen, wo es im Zuge des allgemeinen Zersetzungsprozesses zu wertvollem Gartendünger wird.

Eine andere Entwicklung auf dem Kunststoffsektor brachte eine Vielfalt von haltbaren Materialien hervor, die man in steigendem Maß an Stelle von Metall einsetzt.

Die haltbaren ökotopianischen Kunststofftypen, die für Kleinbuskarosserien, Preßhäuser, Münzen, Flaschen und eine Vielzahl von Maschinen verwendet werden, besitzen eine ähnliche Molekularstruktur wie unsere Kunststoffe und sind unter normalen Bedingungen praktisch zerfallsicher - insbesondere, solange sie nicht mit dem Erdboden in Berührung kommen. Aber mittels bislang geheim gebliebener chemischer Neuerungen gelang es ökotopianischen Wissenschaftlern, in die Moleküle sogenannte »Schlösser« einzubauen, die nur von Mikroorganismen im Erdboden »geöffnet« werden können! Ist das Molekül einmal »aufgeschlossen«, zerfällt die gesamte Struktur innerhalb kurzer Zeit.

In der Praxis bedeutet dieses unheimliche, aber geniale System, daß selbst große Kunststoffgegenstände allmählich zerfallen, wenn sie über längere Zeit mit feuchter Erde in Berührung kommen. Gewöhnlich zerkleinert man aber die Plastikgegenstände, die für das Recycling vorgesehen sind, in handliche Stücke und wirft sie in sogenannte »Biofässer« - riesige Bottiche, die mit einem speziellen Erdbrei gefüllt sind, der einen guten Nährboden für die Mikroorganismen abgibt. Nach einiger Zeit werden die Ergebnisse des Verwesungsprozesses zu Schlamm getrocknet und als Dünger wieder dem Boden zugeführt. (In solche Fässer wird der Inhalt der mit »P« bezeichneten Abfallbehälter gekippt.)

Trotz ihrer offensichtlichen Vorzüge aber zeigen sich nicht alle ÖkotoPIaner von den Kunststoffen beeindruckt, besonders diejenigen nicht, die in Holz vernarrt sind. Man erkennt natürlich an, daß Kunststoff formbarer, widerstandsfähiger, flexibler und häufig auch haltbarer ist als Holz. Die Radikalen protestieren jedoch weiterhin gegen jede Verwendung von Kunststoffen, da sie der Überzeugung sind, daß es sich dabei um unnatürliche Materialien handelt, für die in einer ökologisch vollkommenen Welt kein Platz ist. Diese Puristen wollen ausschließlich in Holzhäusern leben und verwenden nur Behältnisse wie Holzkisten, geflochtene oder gewebte Taschen und Tontöpfe. Die Befürworter von Kunststoffen bringen ihrerseits zahlreiche stichhaltige wirtschaftliche Gründe vor und sind meiner Ansicht nach auch relativ erfolgreich in ihrem Bemühen gewesen, Plastikarten herzustellen, die für das Auge und den Tastsinn kaum noch Kunststoff-Charakter haben.

Doch trotz der unbestreitbaren wissenschaftlichen Fortschritte auf dem Gebiet der Kunststoffherstellung habe ich den Eindruck, daß ÖkotoPIas Zukunft den Puristen gehört. Denn hier wie in so vielen anderen Lebensbereichen besteht noch immer eine starke Tendenz, sämtliche Errungenschaften der modernen Technik abzulehnen - gleichgültig, wie harmlos sie sein mögen -, und statt dessen lieber den romantischen, aber kostspieligen Schritt zurückzutun zu dem, was die Radikalen den »Naturzustand« nennen.

aus: E. CALLENBACH: Ökotopia, Rotbuch-Verlag

**Schriftliche Antwort**

des Bundesministers Genscher vom 3. November 1971 auf die Schriftlichen Fragen des Abgeordneten Hansen (SPD)

Kann die Bundesregierung bestätigen, daß die industrielle Herstellung von Plastikfolien möglich ist, die den gleichen Festigkeitsgrad wie herkömmliche Folien aufweisen, im Gegensatz zu diesen jedoch innerhalb kurzer Zeit verrotten und deshalb ihre Beseitigung als Abfall wesentlich erleichtern?

Welche Maßnahmen hält die Bundesregierung für geeignet, die Hersteller von Plastikfolien in der Bundesrepublik Deutschland zur Umstellung auf die ausschließliche Produktion solcher umweltfreundlicher Materialien zu veranlassen?

Die Bundesregierung ist der Auffassung, daß die industrielle Herstellung von Plastikfolien möglich ist, die innerhalb von kurzer Zeit verrotten und deshalb ihre Beseitigung als Abfall erleichtern. Ihre erste Frage geht offensichtlich noch von der Annahme aus, daß die zur Zeit überwiegend verwendeten Plastikfolien praktisch nicht verrottbar sind, zumindest nicht innerhalb eines Zeitraumes, der für die Abfallbeseitigung technisch interessant ist. Nach neuesten Untersuchungsergebnissen, die

am 15. Oktober 1971 auf dem 21. Müllkolloquium der Universität Stuttgart vorgetragen wurden, ist diese Auffassung jedoch erschüttert worden. Danach soll es unter bestimmten biologischen Voraussetzungen durchaus möglich sein, Plastikfolien bis auf geringe Ausnahmen bei Kunststoff bestimmter Zusammensetzung verhältnismäßig rasch zu verrotten. Beispielsweise soll es im Kompostwerk Blaubeuren unter den dort gegebenen technischen und biologischen Bedingungen möglich sein, Plastikfolien innerhalb von etwa 7 Tagen weitgehend zu verrotten. Diese Ergebnisse bedürfen weiterer wissenschaftlicher Nachprüfung.

Es gehört zu den vorrangigen Zielen der Umweltschutzpolitik der Bundesregierung, auf die Industrie einzuwirken, daß sie ihre Produktion auf umweltfreundliche Produkte ausrichtet. Im Umweltschutzprogramm der Bundesregierung ist diese Forderung, die selbstverständlich auch für Plastikfolien gilt, besonders herausgestellt worden.

aus: **Kunststoffe, Verpackungen, Umwelt**  
VKE, Frankfurt, O.J.

Mit abbaubaren Kunststoffen glaubt man vielfach, die Verschandelung der Landschaft durch weggeworfene Verpackungen verhindern zu können. Ebenso erwartet man eine Erleichterung für die Abfallbeseitigung und daß auf diese Weise eine Rückführung der Kunststoffabfälle in den natürlichen Stoffkreislauf möglich wird.

Es gibt heute bereits wasserlösliche Kunststoffe; sie entsprechen diesen Vorstellungen jedoch nicht, denn allein durch Auflösen in Wasser kann von einer Beseitigung ihrer Bestandteile keine Rede sein. Es gibt nämlich keine Auflösung in Nichts.

Auch die wenigen, bereits angebotenen sogenannten abbaubaren Kunststoffe müssen unter diesem Gesichtspunkt betrachtet werden.

Weil die meisten Kunststoffe nicht absolut witterungsbeständig sind, werden sie — wenn dies erforderlich ist — stabilisiert. Bei der Suche nach geeigneten Stabilisatoren fanden sich auch chemische Verbindungen, die das Gegenteil bewirken. Durch ihren Einbau erfolgt eine beschleunigte Versprödung, so daß damit ausgerüstete Kunststoffverpackungen, die im Freien lagern, bereits nach einigen Monaten in kleine Bruchstücke zerfallen. Auslösende Faktoren dafür sind entweder die UV-Strahlung der Sonne oder Sauerstoff in Verbindung mit Wärme.

Eine andere, immer wieder diskutierte Möglichkeit wäre ein Abbau durch Mikroben. Davon werden jedoch nur solche Kunststoffe angegriffen, die auf

Naturstoffen, wie zum Beispiel Zellulose aufgebaut sind. Alle anderen, insbesondere die für Verpackungszwecke verwendeten Massen-Kunststoffe, widerstehen dem Angriff von Kleinstlebewesen — eine Voraussetzung für ihre vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten. Etwa neu gezüchtete, diese Kunststoffe zersetzende Mikroben würden ihr Einsatzgebiet erheblich begrenzen. Darüber hinaus würden unübersehbare Gefahren heraufbeschworen. Man denke nur an isolierte Stromkabel, Wasserrohre, Gasleitungen . . .

Stark umstritten ist aber auch, ob man Verpackungen aus UV- oder sauerstoffempfindlichen Kunststoffen überhaupt herstellen würde.

Die verwendeten Substanzen — Sensibilisatoren genannt — verändern die Eigenschaften der Kunststoffe. Deshalb gibt es für schneller verspröden- des Material, wie es bereits in den Labors verschiedentlich entwickelt worden ist, noch keine Verwendungsmöglichkeiten. Will man Erzeugnissen aus abbaubarem Material einen Gebrauchswert geben, so muß dessen Empfindlichkeit herabgesetzt werden. Das aber bedeutet, daß die Versprödung erst nach längerer Zeit einsetzt und sich monatelang hinzieht. Es wäre also wenig gewonnen.

Als Packmittel verwendete Kunststoffe müssen ihre Schutzfunktion für das Füllgut über die gesamte, von Fall zu Fall unterschiedliche Lagerzeit ausüben können. Deshalb müßte der

# Keine Auflösung in Nichts

Zerfallsprozeß jeweils so einstellbar sein, daß mit Sicherheit die Zeit bis zum Verbrauch überbrückt wird. Solange darf die Verpackung ebenso wenig wie der Inhalt dem Verderb durch chemische, physikalische oder mikrobiologische Einflüsse unterliegen.

Die Mehrheit der Frisch-Lebensmittel ist empfindlich gegen UV-Strahlung. Eine Verpackung in gleichfalls UVempfindliche Kunststoffe käme schon deshalb nicht in Betracht, weil diese selbst vor Lichteinwirkung geschützt werden müßten.

Einer breiteren Anwendung abbaubar gemachter Kunststoffe stehen also schwierige Hindernisse im Wege, zumal vor allem sicherzustellen wäre, daß die verwendeten Zusatzstoffe gesundheitlich unbedenklich sind. Darüber hinaus müßte der Aufwand durch den Nutzen für die Abfallbeseitigung gerechtfertigt sein.

Bei Sammlung und Transport des Mülls sind mit abbaubaren Kunststoffen keinerlei Erleichterungen zu erwarten. Das gleiche gilt für die Müllverbrennung. In geordneten Deponien müssen Kunststoffverpackungen, ob abbaubar oder nicht, wie alle anderen Abfälle eingebaut und abgedeckt werden. Danach ist ein Abbau durch UV-Strahlung oder Sauerstoff so gut wie ausgeschlossen, weil die auslösenden Faktoren dafür fehlen.

Würden Kunststoffe in der Deponie abgebaut, hätten ihre Zersetzungprodukte möglicherweise nachteilige Auswirkungen auf das Grundwasser oder die Luft. Gerade weil sie sich später nicht verändern, eignen sich Abfälle aus Kunststoff für diese Beseitigungsmethode in idealer Weise.

Bei der Kompostierung wären abbaubare Kunststoffe sicherlich nützlich, — unschädliche Zersetzungprodukte wiederum vorausgesetzt. Dann aber könnten entsprechend ausgerüstete Folien, wenn auch weniger im Verpackungsbereich, so doch vielleicht in der Landwirtschaft, vorteilhafte Verwendung finden. Ausgediente Frühl- beetabdeckungen oder Mulch-Folien, die beispielsweise in Erdbeerplantagen das Aufkommen von Unkräutern verhindern, sowie Düngersäcke könnten einfach untergepflügt werden.

Ohne Zweifel stellen gedankenlos in die Landschaft geworfene Abfälle ein optisches Ärgernis dar. Abbaubare Kunststoffe könnten daran nur wenig ändern, weil ihr Anteil infolge der beschränkten Verwendungsmöglichkeiten äußerst gering wäre.

Im Gegenteil, schon der Begriff „abbaubare Kunststoffe“ birgt ein neues Umweltproblem in sich, denn er führt dazu, sich seiner Abfälle einfach durch Wegwerfen zu entledigen. Alle bisherige Aufklärungsarbeit im Sinne des Landschafts- und Naturschutzes würde damit unterlaufen.

M 18: Umweltfreundliche Kunststoffe - oder: Jute statt Plastik ?



**Praktiziere:  
Umweltschutz**

**Diese Tragetasche aus Polyäthylen ist auf der Müllhalde grundwasserneutral und in der Müllverbrennung völlig unschädlich - also umweltfreundlich.**

**Tragetasche nach Gebrauch in die Mülltonne in die Landschaft!**

oder so:

Täglich begegnet sie uns. Sie verfolgt uns auf Schritt und Tritt: Die Plastiktüte.

Ohne sie -so scheint es- funktioniert das Einkaufen heutzutage nicht mehr. Kauft man in irgendeinem Geschäft etwas, wird das Gekaufte (und sei es auch noch so klein) automatisch mit dem Kassenschein in eine Plastiktüte gesteckt. Da hilft dann alles Protestieren nichts, denn so etwas ist "Vorschrift".

Plastik -aus dem erschöpflichen Rohstoff Erdöl hergestellt- hat fast alle Bereiche unseres Lebens erobert. Doch vieles aus Plastik ist auch völlig unnötig. Da gibt es mit Folie überzogene Äpfel und Gemüse im Supermarkt und Werbesendungen in Plastiksichtumschlägen. Riesige Mengen an Energie werden verschwendet: Trotz massenhaft verteilter "Ich bin Energiesparer"-Aufklebern und anderer Maßnahmen dieser Sorte, bestimmt immer noch ein Überfließen die deutsche Energiesituation.

Auch die Plastiktüte ist ein Beispiel für Energieverschwendung: 45 Kilowattstunden (kWh) Energie müssen für ein Kilogramm Plastiktüten eingesetzt werden: Pro 25-g-Tüte also 1,125 kWh.

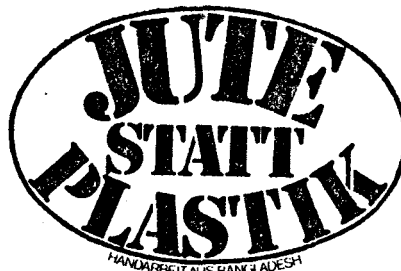
Plastik-Tüte	
Polyäthylen	
Aethylen	17,4 kWh/kg
Polymerisation	27,0 kWh/kg
Diverses, Transport	0,6 kWh/kg
<b>Total</b>	<b>45,0 kWh/kg</b>
1 Plastik-Tüte (25 g): Energieeinsatz: 1,125 kWh/Tüte	

Für die Herstellung von einem Kilogramm Jutestoff müssen jedoch nur 4,7 kWh an Energie eingesetzt werden (vgl. Schaubild!). Eine 120 Gramm schwere Jutetasche bedarf also der Energie von 0,564 kWh. Damit braucht man für eine Plastiktüte einen 2-mal größeren Energieeinsatz als für eine Jutetasche.

Jute-Tasche	
Verarbeitung	
Waschen, Trocknen	0,5 kWh/kg
Spinnen maschinell	1,8 kWh/kg
Weben maschinell	1,4 kWh/kg
Nähen	0,4 kWh/kg
Seetransport	0,3 kWh/kg
Landtransport	0,3 kWh/kg
<b>Total</b>	<b>4,7 kWh/kg</b>
1 Jute-Tasche (120 g): Energieeinsatz: 0,564 kWh/Tasche	

Wenn die Jutetasche dazu noch 5-mal länger hält (und sie hält bestimmt noch länger), beträgt die Energieeinsparung das 10-fache und mehr!

Die Plastiktüte bringt außer dem Problem Energieaufwand (Raubbau am Rohstoff Erdöl, dessen Vorräte beschränkt sind!) auch das ungelöste Vernichtungsproblem mit sich. Kunststoffe sind durch keinen biologischen Prozeß abbaubar und können nur verbrannt werden. Auch sogenannte "umweltfreundliche Plastiktüten" sind nur deshalb "grundwasserneutral", weil die Bestandteile der Plastiktüten sich nicht in Wasser lösen können; Bei der Verbrennung wird unsere sowieso nicht mehr saubere Luft noch mehr verschmutzt. Durch das Verbrennen von vier Plastiktüten wird der Luft ebensoviel Sauerstoff entzogen, wie ein Mensch während eines Tages benötigt. Jutetaschen zersetzen sich dagegen durch Verfaulungs- und Verrottungsprozesse.



aus: Die Plastiktütengesellschaft, Informationsblatt aus dem Begleitmaterial zur TV-Sendung "G L O B U S" Nr. 6/83  
(Hrsg.: BUND, Natur, Globus-Redaktion)



## 6. Literatur und weitere Materialien

zum Aspekt Kunststoffe:

- R. FLÜGEL: Kunststoffe - Chemie, Physik und Technologie (Phywe-Schriftenreihe, Industrie-Druck-GmbH), Göttingen 1970<sup>2</sup>
- R. FRANIK: Demonstrationen zur Kunststoffchemie; (Praxis-Schriftenreihe Bd. 16, Aulis Verlag), Köln 1973
- H. NIERMANN: Makromoleküle als Kunststoffe, Bayer AG, Leverkusen o.J. (kostenlos; auf Anfrage werden auch Kunststoff-Proben übersandt)
- H. DOMININGHAUS: Kunststoffe, (Verlag Otto Maier) Ravensburg 1974
- G. KUBIK: Kunststoffe heute - eine Übersicht; in: Naturwissenschaften im Unterricht P/C 29 (1981), H. 4, S.136 ff.
- C. GOTTMANN: Zur historischen Entwicklung der Polymerenchemie bis 1920; in: Naturwissenschaften im Unterricht P/C 28 (1980), H. 12, S. 420 ff.

zum Aspekt Umweltbelastung/Umweltschutz:

- E. PHILIPP: Experimente zur Untersuchung der Umwelt; (BSV München 1977
- Versuche zum Umweltschutz, (Beltz-Verlag), Weinheim/Basel 1972
- M. BORRELLI: Umweltschmutz und Umweltschutz, Stuttgart 1974
- W. L. H. MOLL: Taschenbuch für Umweltschutz, 2 Bd., (UTB Steinkopf) Darmstadt 1973 und 1976
- C. LEVINSON : PVC zum Beispiel - Krebserkrankung bei der Kunststoffherstellung, (Rowohlt Verlag) Hamburg 1975 (Reihe rororo aktuell)
- H. SCHULZE (Hrsg.): Umweltreport, Frankfurt 1972
- Fischer-Öko-Almanach, Frankfurt/M. 1980 und 1982
- Müll für Anfänger (Themenheft der Zeitschrift "Öko-päd", H. 3/4 1983), Bensheim
- Globus-Informationsmappen 1 - 6/1983: Save Our Soils, BUND-Umweltzentrum Stuttgart 1983
- u.v.a.m. z.B. Tagespresse ...

zum Aspekt Recycling:

- H. SINN, W. KAMINSKY, J. JANNING: Verarbeitung von Altreifen und Kunststoffmüll zu Chemierohstoffen, besonders durch Pyrolyse; in: Angewandte Chemie 88 (1976), H. 6, S. 737 ff.
- W. MONDEN u.a.: Pyrolyse von Altreifen - ein Beitrag zur Behandlung von Recyclingverfahren im Chemieunterricht; in: Naturwissenschaften im Unterricht P/C 30 (1982), H. 6, S. 203 ff.
- H.J. BADER u.a.: Recycling - Erarbeitung der Problematik am Beispiel des Autos; in: Naturwissenschaften im Unterricht P/C 30 (1982), H. 6, S. 207 ff.
- Müll für Fortgeschrittene, Themenheft der Zeitschrift "Öko-päd", Bensheim, H. 1/1984
- Umweltbundesamt: Recycling-Fibel, Berlin
- u.v.a.m.

Informationen von staatlichen Stellen:

alle: Umweltbundesamt Berlin (Hrsg):

- Materialien 2/76 - Materialien zum Abfallwirtschaftsprogramm 1975 der Bundesregierung; Kap. III: Kunststoffabfälle / Kap. IV: Altreifen; Berlin 1976
- Räumliche Erfassung der Emissionen ausgewählter luftverunreinigender Stoffe aus Industrie, Haushalt und Verkehr in der Bundesrepublik Deutschland 1960 - 1980, Bonn/Berlin 1976
- Was Sie schon immer über Auto und Umwelt wissen wollten, Berlin 1980
- Was Sie schon immer über Abfall und Umwelt wissen wollten, Stuttgart 1981 (Hrsg.: Innenministerium)
- Was Sie schon immer über Umweltschutz wissen wollten, Stuttgart 1981 (Hrsg.: Innenministerium)

Informationen von der chemischen Industrie:

(alle zu beziehen durch: VKE - Verband der kunststofferzeugenden Industrie e.V., Karlstraße 21, 6000 Frankfurt/M.; über diese Stelle gibt es auch weitere Materialien, in der Regel kostenlos; Liste anfordern!)

- Kunststoffe kann man wiederverwenden; Faltblatt
- Kunststoffindustrie auf einen Blick; Faltblatt
- Kunststoffe in der Abfallbeseitigung; Broschüre
- Kunststoffe, Verpackung, Umwelt; Broschüre
- H. BLAU: Kunststoffe im Alltag; Broschüre (Ffm 1973)

von der Hoechst AG:

- Produktionsfaktor "Recycling", Kursbaustein, Ffm. 1982 (Sammlung von Literaturstellen, Artikeln, Broschüren)

## 7. Erfahrungen zur Einheit

Diese Einheit wurde in der folgenden Version

- 1./2. Stunde: Schülerreferat und Planung der Einheit (vgl. Stundenskizze 1./2. Stunde, siehe Abschnitt 5, M 11)
- 3./4. Stunde: Schülerversuche zur Elementaranalyse von Kunststoffproben (vgl. Variante A, 3./4. Stunde)
- 5./6. Stunde: Auswertung der Schülerversuche, Umweltbelastung durch Chlorwasserstoffgas (Variante A, 5. Stunde (Hausaufgabenbesprechung, Reaktionsgleichung zu den Versuchen), Variante B, 4. Stunde (Biochemische Wirkung von Chlorwasserstoffgas), Variante B, 5. Stunde (Festlegung von Grenzwerten für umweltschädigende Stoffe))

an dem Gymnasium Karl-Rehbein-Schule in Hanau in einem Leistungskurs Chemie der Jahrgangsstufe 12 unter dem Oberthema "Synthetische Makromoleküle" durchgeführt. Der Vorschlag zu dem Thema "Umweltbelastung durch Kunststoffe" wurde von einigen Schülern des Kurses geäußert; einer von ihnen hat dann auch das Referat als Einleitung zu dieser Einheit vorbereitet. Im Kurs überwog jedoch das Interesse an fachlichen Themen, die Behandlung fachübergreifender Themen mußte vorsichtig angegangen werden. Die Bearbeitung von Texten im naturwissenschaftlichen Unterricht wurde z.T. als "Laberei" abgelehnt. Das Interesse an umweltbezogenen Themen ist in erster Linie ein fachbezogenes Interesse: was hat die Chemie dazu zu sagen? Daß es bei Einheiten "Chemie und Umwelt" eher darum gehen sollte, die Einbettung der Naturwissenschaften in politische, ökonomische und ökologische Zusammenhänge zu beschreiben und zu analysieren, muß den Schülern schrittweise nahegebracht werden; sie müssen die einzelnen Schritte in jedem Fall nachvollziehen können. Dies hat sich als die größte Schwierigkeit bei der Durchführung der Einheit erwiesen; das Zurückgehen auf eine rein fachliche Ebene kann sowohl Schülern wie auch dem Lehrer leicht passieren und ist mir auch das eine oder andere Mal so passiert.

Der schwierigste Schritt der Einheit ist die Planung des Verlaufs durch die Schüler. Ich habe in dem fraglichen Kurs die Erfahrung gemacht, daß die Schüler das selbständige Planen von Unterrichtssequenzen (Anforderung an ihre methodische Kompetenz) nicht gewohnt waren und sich hier z.T. verweigert haben. Es blieb mir dann nichts übrig, als den weiteren Verlauf durch Planungsimpulse zu beeinflussen. Eine zusätzliche Schwierigkeit war der Zeitpunkt der Einheit: kurz vor den Sommerferien.

Die Schülerversuche stießen auf große Zustimmung, einzelne Schüler hatten auch Kunststoffproben mitgebracht, die dann untersucht wurden. Teilweise waren die Schüler mit der Durchführung der Versuche etwas überfordert, weil sie zum großen Teil kaum experimentelle Erfahrungen aus dem bisherigen Chemieunterricht mitbrachten. Trotzdem experimentierten sie gerne. Es ist vielleicht generell sinnvoll, bei neuen Kursen jeweils zu Beginn eines Halbjahres die Handhabung einfacher Laborgeräte zu erläutern und Versuche machen zu lassen.

Die Aufstellung der Reaktionsgleichungen in der Auswertung der Versuche stieß nicht auf besondere Schwierigkeiten, zumal die Schüler diese Arbeitsweise aus ihrem sonstigen Unterricht kennen, zum Teil dann auch verlangen. In der Behandlung der biochemischen Wirkungen sollte man sich auf die Beschreibung beschränken und das wesentliche herausarbeiten (Blockierung der Photosynthese bei Pflanzen, Reizung der Schleimhäute in Luftröhre und Lunge beim Menschen). Die Besprechung der Grenzwertfestlegung dient in erster Linie dazu, Informationen über bestehende Grenzwerte und die Methoden der Festlegung zu geben; eine Diskussion der politischen Hintergründe stieß leider nicht auf das größte Interesse.

#### 8. Hinweise zur Leistungsprüfung

Im Rahmen dieses Kurses habe ich keine schriftliche Lernkontrolle durchgeführt. An Stelle einer Kursarbeit halte ich die Vergabe weiterführender Referate für sinnvoll, z.B. zu den Themen

- Abfallbeseitigung und Umweltprobleme
- Festlegung von Emissions- und Immissionswerten am Bsp. gasförmiger anorganischer Verbindungen ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NO}_x$ ) im internationalen Vergleich und deren (politische und ökonomische) Quellen.

Anhand solcher Referate sehe ich eher Anwendungs- und Transfermöglichkeiten, als in einem Fragebogen. Ich will diese Möglichkeit jedoch nicht grundsätzlich ausschließen und habe daher den folgenden Entwurf für eine Lernkontrolle ausgearbeitet.

Lernkontrolle zur Unterrichtseinheit "Umweltbelastung durch  
Kunststoffe"

1. Welche Atomsorten enthalten Kunststoffe? Unterscheiden Sie dabei zwischen Stoffklassen (z.B. Polyamide, Polyester usw.)
2. Welche Produkte entstehen beim Verbrennen von Kunststoffabfällen?
3. Welche dieser Produkte können Schadstoffe sein und warum?
4. Versuchen Sie, die Menge der anfallenden Schadstoffe mit der Menge der selben Schadstoffe aus anderen Produktionsbereichen (z.B. chemische Industrie) zu vergleichen. In welchem Umfang werden Ihrer Meinung nach Schadstoffe aus der Verbrennung von Kunststoffabfällen in die Gesamtschadstoffbilanz eingehen?  
(Literatur: Abfallwirtschaftsprogramm der Bundesregierung, erhältlich als Bundestagsdrucksache)
5. Wie werden Emissions- und Immissionsgrenzwerte im internationalen Vergleich festgelegt?
  - a) Definieren Sie "Emission" und "Immission".
  - b) Beschreiben Sie die Grenzwertfestlegung am Beispiel der BRD, der USA und der UdSSR.
  - c) Auf welchen Grundannahmen basieren die entsprechenden Verfahrensweisen?  
(Literatur: Moll, Bd. 1, S. 49-52, 78-87; Bd. 2, S. 151-155, 160-167)
6. Beschreiben Sie die umweltschädigende Wirkung von HCl-Gas auf Pflanzen und den Menschen.  
(Arbeitshilfen: Struktur des Chlorophylls, Schema des ersten Schritts der Photosynthese, Struktur eines Lungenbläschens, Aufbau einer Zelle)
- 7) Beurteilen Sie die verschiedenen Verfahren der Verarbeitung von Kunststoffabfällen (Lagerung auf Mülldeponien, Recycling-Verfahren) hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen.



