

Peter Liebertz (Untereinheit Chlorchemie)

Magdalena Hartmann-Kuntermann, Peter Kuntermann (Untereinheit SKS-6)

# CHEMIEPARK KNAPSACK

## Lehrplananbindung

### Kopiervorlage / Unterrichtsinhalte, -ziele, -methoden

#### Industrieunternehmen der Region (Sw, Ek, Ch, Bi)

S I/II (1) Chemiepark Knapsack; (problemorientierter Einstieg Chlorchemie, SKS-6)

#### 1. Untereinheit Chlorchemie

S I/II **Chlor / Chemische Reaktion / Chlorchemie**

(2) Bedeutung des Elements Chlor als Reaktionsermöglicher  
(Information, problemorientierte Aufgaben)

(2) Bedeutung des Elements Chlor für das tägliche Leben und für die Chemische Industrie

S I/II **Polyvinylchlorid / Vinylchlorid / Kunststoffe**

(3) Herstellung von PVC durch Direktchlorierung und Oxychlorierung  
(Information; problemorientierte Aufgaben)

(4) Herstellung und Verwendung von PVC (Information, Reorganisation)

(4) PVC-Diskussion

(5) Meinungsbildung Chlorchemie (S. diskutieren auf der Grundlage der  
Stellungnahmen von Befürwortern und Gegnern der Chlorchemie.)

#### 2. Untereinheit Waschmittelbuilder SKS-6

S I/II **Waschmittelbuilder, Pentanatriumtriphosphat, Zeolith, SKS-6 / Wasserenthärter / Ionenaustauscher / Eutrophierung / Silikate**

(6) Waschmittelbuilder im historischen Kontext (Information (Lesetext)  
mit problemorientierten Aufgaben)

(7) Funktion und Zusammensetzung von Waschmittelbuildern  
(Information mit problemorientierten Aufgaben)

(7) Aufbau und Funktion des Waschmittelbuilders SKS-6  
(Information mit problemorientierten Aufgaben)

S I **Unterrichtsversuche mit Waschmittelbuildern**

(8) Einfache Versuche zur Funktion von Waschmittelbuildern (qualitativ)

S II **Unterrichtsversuche mit Waschmittelbuildern**

(9) Messung des Kalkbindevermögens von SKS-6 (quantitativ)

(10) Bestimmung der Alkalität und der Pufferkapazität von SKS-6 (qualitativ/quantitativ)

**Materialien:** SKS-6 (zu beziehen über die Kontaktadresse, siehe letzte Seite)

### Kontaktschulen

**Friedrich-Ebert-Realschule**  
**Krankenhausstraße 91**  
**50354 Hürth**  
**(Untereinheit Chlorchemie)**

**Albert-Schweitzer-Gymnasium**  
**Sudetenstraße 37**  
**50 354 Hürth**  
**(Untereinheit SKS-6)**

Mitarbeit und fachliche Beratung: Bernd Königsman, Michael Maier, Dr. Helmut Perkow  
(Chemiepark Knapsack)

Co-Autor: Dr. Christoph Merschhemke (I&S GmbH)

## Chemiepark Knapsack

Wenn du im Süden von Köln auf der linksrheinischen Seite wohnst, wirst du der Chemiepark Knapsack sicherlich bekannt sein. Das 160 Hektar große Industriegelände umfaßt genau das Areal, auf dem bis 1997 die Hoechst AG ihr Werk Knapsack mit den Werkteilen Knapsack und Hürth betrieb.

Von der A4 aus, auf der Höhe der Abfahrt Klettenberg, kann man in südliche Richtung blickend die Höhenzüge der Ville aufsteigen sehen, an deren Hängen die Produktionsanlagen des Chemieparks wie mächtige Bollwerke aufragen.

Früher hat Hoechst hier unter seinem Namen in den zwei Werkteilen mit zuletzt 2700 Mitarbeitern vielfältige Chemieaktivitäten betrieben.

Der Werkteil Knapsack entstand im Gründungsjahr 1907. Der Werkteil Hürth wurde dagegen viel später, im Jahre 1960, nach den Regeln moderner Werkplanung errichtet.

Früher waren die Carbid- und die Phosphorproduktion die wichtigsten Standbeine des Werkes. Mit der Veränderung der Nachfrage und des Marktes für Chemieprodukte mußte jedoch die Produktion dieser Stoffe in Hürth-Knapsack eingestellt werden. In der Folge konzentrierte man sich vor allem auf die Produktion von Kunststoffen und Pflanzenschutzmitteln. Dabei nahm die Produktion des Kunststoffes Polyvinylchlorid (PVC) eine bedeutende Rolle ein.

Aber der Standort Hürth hat auch eine lange Tradition in der Entwicklung und Herstellung von Waschmittelrohstoffen. Eines dieser Produkte, Schichtkieselsäure oder kurz SKS, wirst du beim Durcharbeiten der Arbeitsblätter noch näher kennenlernen. Dieses Produkt, so hoffen die Hersteller, soll in absehbarer Zeit dem zur Zeit meistverwendeten Waschmittelbuilder Zeolith A Konkurrenz machen.

Die **Chlorchemie** und die **Herstellung von Waschmittelrohstoffen** spielen auch im Chemiepark Knapsack, der 1997 an die Stelle des Werkes Knapsack der Hoechst AG getreten, ist eine wichtige Rolle.



Mehrere Einzelunternehmen produzieren im Chemiepark Knapsack auf dem Gelände des ehemaligen Hoechst Werkes Knapsack.

### Hoechst und der Chemiepark Knapsack

Die Gründung des Chemieparks Knapsack im **Frühjahr 1997** stellt ein Musterbeispiel dar für den Strukturwandel in der modernen Industrielandschaft. Du kennst den Hoechst Konzern als einen weltumspannenden Chemieriesen, der unter seinem Namen eine unüberschaubare Vielfalt von chemischen Produkten hergestellt hat. Um auf den internationalen Märkten konkurrenzfähig zu bleiben, hat man sich zu einer Umstrukturierung entschlossen.

Die vielen unterschiedlichen Chemieaktivitäten werden jetzt nicht mehr von einer in sich geschlossenen Chemiefirma Hoechst betrieben, sondern vielen weltweit agierenden, unabhängigen Einzelunternehmen übertragen, an denen Hoechst in unterschiedlichem Maße beteiligt ist. **Eine in sich abgeschlossene Chemiefirma Hoechst gibt es nicht mehr.**

Für den Chemiepark Knapsack bedeutet das, daß auf dem ehemaligen Gelände des Werkes Knapsack der Hoechst AG eine Vielzahl von Einzelunternehmen tätig sind. An einigen dieser Firmen ist Hoechst in unterschiedlichem Maße beteiligt. So wird z.B. die PVC-Produktion am Standort Knapsack von der Vinnolit Kunststoff GmbH betrieben, einem Gemeinschaftsunternehmen von Hoechst und Wacker.

Ein Serviceunternehmen von Hoechst, die InfraServ GmbH, ist mit dem Aufbau des Chemieparks und mit dem Gesamtmanagement beauftragt worden. Dieses Unternehmen beschäftigt alleine 976 Mitarbeiter. Mit zur Zeit insgesamt etwa 3000 Beschäftigten ist der Chemiepark Knapsack der größte Arbeitgeber der Stadt Hürth.



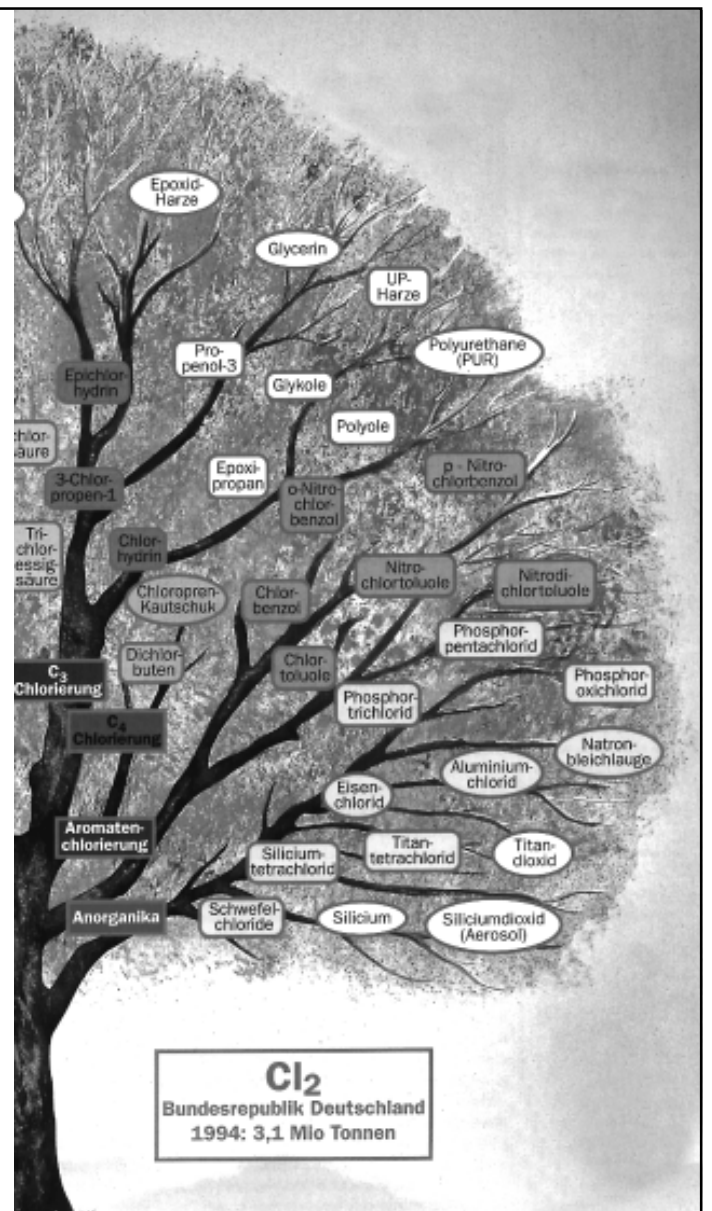
### Denk nach und informiere dich

1. Beschreibe den Strukturwandel der Hoechst AG mit deinen Worten.
2. Welche Gründe könnten den Hoechst Konzern dazu bewogen haben, einen solchen Strukturwandel durchzuführen?
3. In dem neugegründeten Chemiepark produzieren viele Unternehmen in enger Nachbarschaft zueinander. Nenne einige Vorteile einer solchen Standortstruktur.
4. Der Industriepark Knapsack hat eine besonders verkehrsgünstige Lage. Nenne die wichtigsten Verkehrswege, auf denen Rohstoffe und produzierte Waren an- und abtransportiert werden können.
5. Stichwort Chlorchemie. Mit ihr erzielen die Chemieunternehmen einen großen Teil ihrer Umsätze. Erkundige dich (📖).  
Was versteht man unter Chlorchemie?  
Von welcher häufigen Verbindung, die dir im täglichen Leben täglich begegnet, nimmt die Chlorchemie ihren Ausgang?

# Dichlorbuten - Chlormethan - Epichlorhydrin - Polyvinylchlorid - Chloroprenkautschuk - Ich verstehe nur noch Chlor (äääh ... Bahnhof)!

**Herstellung und Weiterverarbeitung von Chlor**

Chlorfreie Endprodukte	Chlorhaltige Endprodukte
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Silicone</b> z.B. für Dichtstoffe</li> <li>- <b>Polytetrafluorethylen</b> z.B. als Pfannenbeschichtung</li> <li>- <b>Polyurethane</b> z.B. als Schaumstoffe für Möbel und Autos</li> <li>- <b>Epoxidharze</b> z.B. für Tennisschläger und Skier</li> <li>- <b>Silicium</b> z.B. für Solarzellen und Computerchips</li> <li>- <b>Arzneimittel</b> wie Clotrimazol zur Desinfektion gegen Pilzkrankungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Polyvinylchlorid (PVC)</b> z.B. für Wasserrohre und Fensterrahmen</li> <li>- <b>Arzneimittel</b> wie Dichlofenal gegen Rheuma</li> <li>- <b>Pflanzenschutzmittel</b> (Insektizide, Herbizide, Fungizide)</li> </ul>



Teilausschnitt aus dem Chlorstammbaum mit einem schematischen Überblick über die „verzweigten Wege“ sowie die Produkte der Chlorchemie

## Chlor macht müde Kohlenwasserstoffe munter!

Die Herstellung zahlreicher Produkte des täglichen Lebens wie z.B. von Arzneimitteln, Lacken oder Kunststoffen geht in vielen Fällen von **Kohlenwasserstoffen** aus. Für die Chemische Industrie besitzen diese Kohlenwasserstoffe aber einen bedeutenden Nachteil. Sie sind relativ reaktionsträge, so daß sie nur mit wenigen Stoffen zur Reaktion gebracht werden können. Sobald aber ein Wasserstoffatom durch ein Chloratom ersetzt worden ist, steigt das Reaktionsvermögen dieser Stoffe an. Der **chlorierte Kohlenwasserstoff** reagiert mit anderen Stoffen, wobei das Chloratom häufig ersetzt wird, wie in der Abbildung oben links zu sehen ist. Die Vielzahl möglicher Reaktionspartner ermöglicht die Synthese unzähliger neuer Verbindungen mit unterschiedlichen Eigenschaften.

## Aufgaben

1. Erkläre, warum man Chlor zur Herstellung chlorfreier Endprodukte verwendet.
2. In dem Chlorstammbaum auf der rechten Seite findest du oben rechts die Eintragung Glycerin. Versuche herauszufinden, ob es sich um ein chlorfreies oder um ein chlorhaltiges Endprodukt der Chlorchemie handelt, wo dieser Stoff auftritt und wofür er verwendet wird.

## Zum Beispiel PVC

### 1. Schritt: Vom Ethen zum Vinylchlorid

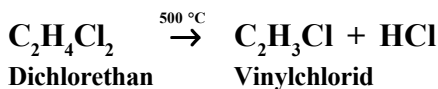
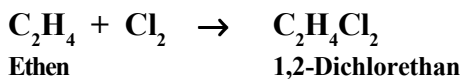
Der erste Schritt zur Synthese von Polyvinylchlorid (PVC) ist die Herstellung von Chlorethen (Vinylchlorid) aus Ethen über Dichlorethan. Im Chemiepark Knapsack werden in getrennten

Anlagen zwei Verfahren zur Herstellung von Dichlorethan aus Ethen angewendet, die **Direkt-** und die **Oxychlorierung**.



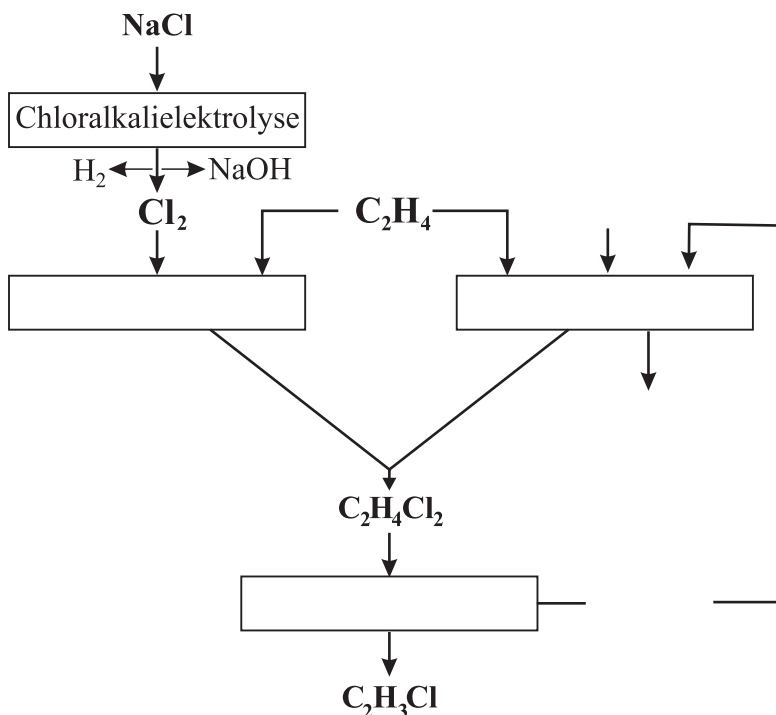
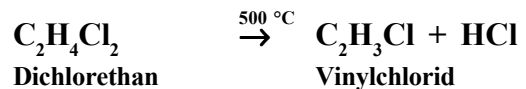
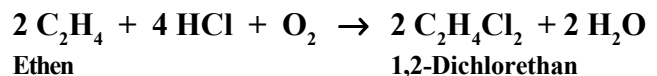
**Spaltöfen**

In der **Direktchlorierung** wird Dichlorethan durch die Reaktion von Ethen mit Chlor hergestellt. Daraus wird in einem zweiten Reaktionsschritt, der **Spaltung**, Vinylchlorid.



**Oxychlorierung**

Bei der **Oxychlorierung** wird Ethen mit HCl und Sauerstoff zur Reaktion gebracht. Dabei entstehen Dichlorethan und Wasser. Wie bei der Direktchlorierung findet anschließend die **Spaltung** zu Vinylchlorid statt.



#### Aufgaben

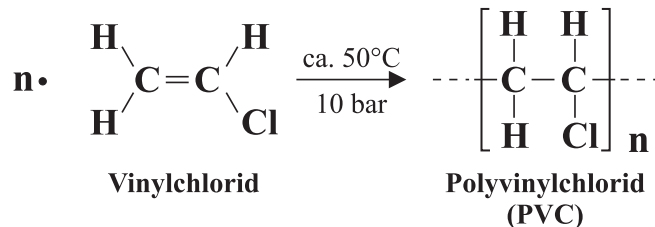
- Beschrifte die Abbildung auf der linken Seite an den dafür vorgesehenen Stellen.
- Zeichne die Strukturformeln von Ethen und Vinylchlorid.
- Im Chemiepark Knapsack wird Dichlorethan in zwei Produktionsanlagen nach verschiedenen Verfahren hergestellt. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sollte man meinen, daß es günstiger wäre, nur ein einziges Verfahren anzuwenden. Fallen dir Gründe dafür ein, daß an dieser scheinbar unwirtschaftlichen Herstellung von Dichlorethan festgehalten wird?
- Welche Möglichkeiten fallen dir ein, um überschüssigen Chlorwasserstoff zu nutzen, der bei der Spaltung von Dichlorethan anfällt?

## Zum Beispiel PVC

### 2. Schritt: Herstellung aus Vinylchlorid und Verwendung

#### Herstellung von PVC aus Vinylchlorid

Die Bildung von PVC ist ein Beispiel für eine Polymerisation, d.h. für die Vereinigung tausender kleiner Moleküle mit mindestens einer Doppelbindung zu einem Riesenmolekül, das als Makromolekül bezeichnet wird.



Die Polymerisation findet bei 50-70 °C und geringem Druck in Anwesenheit organischer Sauerstoffverbindungen statt, die als Initiator wirken.

PVC ist eines der preiswertesten und meistverwendeten Polymeren.

#### Aufgabe

- Trage die einzelnen Reaktionsschritte für die PVC-Herstellung in das Schema ein!

Direktchlorierung



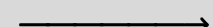
Oxychlorierung



Spaltung



Polymerisation



#### Eigenschaften und Verwendung von PVC

PVC gilt als außerordentlich stabiler Werkstoff. Er ist witterungsbeständig und schwer entflammbar. Ferner zeichnet sich PVC durch gute mechanische Eigenschaften sowie Chemikalienbeständigkeit aus.

In Deutschland werden jährlich rund 600.000 Tonnen PVC im Bausektor verwendet; damit geht etwa die Hälfte der jährlichen PVC-Produktion in den Baubereich.

Aus **Weich-PVC** werden u.a. Schläuche, Bodenbeläge, Schutzkleidung oder Kabelisolationen hergestellt. Dagegen wird **Hart-PVC** z.B. zu Rohren, Dachrinnen, Rolläden oder Verpackungen verarbeitet.

#### PVC als Wirtschaftsfaktor und als Streitfall

PVC ist nach PE der wirtschaftlich bedeutendste Kunststoff. Rund ein Viertel der deutschen Chlorproduktion wird zu PVC verarbeitet. Allein im Bausektor werden riesige Mengen an PVC verbraucht.

In jüngster Zeit ist PVC aber in die Kritik von Umweltschutzverbänden geraten. Unter der Überschrift „Perverses Plastik: PVC“ veröffentlichte z.B. Greenpeace eine Stellungnahme, in der betont wird, daß für PVC von der Produktion bis zur Müllhalde ein beispielloser Umweltfrevler in Kauf genommen werde. So sei z.B. Vinylchlorid eine besonders krebserregende Substanz, die bei der Herstellung von PVC in die Umgebung gelange. Bei der Verbrennung von PVC in der Müllverbrennungsanlage und bei Brandunfällen entstünden giftige Verbindungen wie die berüchtigten Dioxine. Die Kunststoffindustrie hält dem entgegen, daß für PVC-Ersatzstoffe Informationen über Energieverbrauch und Emissionen bei der Herstellung, über die Lebensdauer und die Produktions- und Entsorgungskosten fehlten. Deshalb könne man ohne wirtschaftliche und ökologische Begründung den Austausch von PVC durch andere Werkstoffe nicht empfehlen. Darüber hinaus würden große Anstrengungen von Seiten der Industrie unternommen, PVC-Abfälle wiederzuverwerten. Außerdem seien wirksame Verfahren entwickelt worden, die verhindern, daß Vinylchlorid bei der Herstellung von PVC in die Umgebung gelangt.



Verschiedene PVC-Produkte

#### Aufgabe

- In dem Textausschnitt werden verschiedene Argumente für und gegen die Herstellung und die Verwendung von PVC genannt. Stelle die Argumente in einer Tabelle (pro und contra PVC) gegenüber. Versuche, weitere Argumente für oder gegen PVC zu finden (Schulbuch, Chemiepark Knapsack, Greenpeace etc.).

## Streitfall Chlorchemie

### Vom Wert unserer Vorurteile:

Von uns werden Meinungen, Haltungen, Einstellungen zu allen möglichen Sachverhalten erwartet, politischen wie persönlichen. Wir bilden uns diese Meinungen aus unterschiedlichen Informationsquellen: Fernsehen, Rundfunk, Zeitungen, Freunde, Eltern, Schule. Vieles übernehmen wir, ohne es genau prüfen zu können oder zu wollen. Je glaubwürdiger und sympathischer uns ein Informant erscheint, um so mehr sind wir bereit, uns dessen Argumente ungeprüft zu eigen zu machen.

Oft werden jedoch unsere Einstellungen mehr durch Gefühle als durch rationale Überlegungen gesteuert. Dabei entstehen Vorurtei-

le, die uns helfen, uns in einer komplexen Welt zurechtzufinden.

Wir müssen uns aber darüber bewußt sein, daß solche Einstellungen nur vorläufig sind und einer ständigen Überprüfung bedürfen. Wir müssen bereit sein, uns bei strittigen Themen bei allen beteiligten Seiten zu informieren, um solche Einstellungen zu überprüfen.



### Zum Beispiel Chlorchemie

Zum Thema Chlorchemie melden sich immer wieder Befürworter und Gegner zu Wort.

Welcher Einstellung neigst du mit deinem aktuellen Kenntnisstand über dieses Thema mehr zu? Kreuze an

### Wir sollten aus der Chlorchemie aussteigen!

auf alle Fälle			weiß nicht	auf keinen Fall		
1	2	3	4	5	6	7

### Pro und Kontra Chlorchemie

#### Argumente der Chemischen Industrie

Der größte Produzent organischer Chlorverbindungen ist die Natur selber: So werden z.B. durch die Tätigkeit von Algen und Bakterien pro Jahr mehr als 5 Millionen Tonnen Methylchlorid freigesetzt. 99,5 % dieses jährlich insgesamt produzierten gasförmigen Chlorproduktes sind natürlichen Ursprungs. Ähnliche Zahlen gelten auch für Chloroform, das als Stoffwechselprodukt von Algen in die Atmosphäre gelangt.

Auch natürliche anorganische Chlorverbindungen wie z.B. Kochsalz sind giftig, wenn man sie in größeren Mengen zu sich nimmt. Für alle Stoffe gilt: Die Dosis bestimmt, ob sie giftig sind oder nicht.

Die Produkte der Chlorchemie sind von ihrer Giftwirkung her gut untersucht, was nicht für eventuelle Ersatzstoffe gilt.

Unfälle sind bei keiner menschlichen Tätigkeit ausgeschlossen. Für die Chlorchemie sind besonders gute Sicherungssysteme entwickelt worden.

Die Einbringung von **Lösemitteln** in die Atmosphäre soll unabhängig vom Typ verringert werden. Wäßrige Lösemittel sind nicht für jeden Zweck geeignet.

Keiner der **PVC-Ersatzstoffe** hat eine ähnliche Lebensdauer wie PVC selber. Der Einsatz von Ersatzstoffen führt also zu größeren Müllmengen, auch deshalb ist die Ökobilanz bei Verwendung von Ersatzstoffen ungünstiger.

Die Einbringung von **FCKW** in die Atmosphäre muß verringert werden. Der schrittweise Ausstieg ist gesetzlich festgelegt.

Auf den Einsatz von **Pflanzenschutzmitteln** auf der Basis chlorierter Verbindungen kann im Hinblick auf die Ernährung der Weltbevölkerung nicht verzichtet werden.

**Fazit:** Wegen einiger Problemstoffe kann nicht die gesamte Chlorchemie verteufelt werden. Unsere Gesellschaft kann auf die Produkte der Chlorchemie nicht verzichten.

#### Argumente von Greenpeace

(Greenpeace-Ausstellung: „Spiel mir das Lied vom Chlor“)

Ein erheblicher Teil der heutigen Umweltgifte und Umweltschäden wird durch die Chlorchemie verursacht. Politikern und Industrie ist diese Tatsache bekannt.

Chlor und seine Produkte sind in der Hauptsache giftig und gefährlich für Umwelt und Menschen.

Die Produkte der Chlorchemie können von der Natur nicht abgebaut werden.

Die Technik ist durch den Menschen nicht beherrschbar, so daß Unfälle nicht ausgeschlossen werden können.

Auf die Produkte der Chlorchemie kann verzichtet werden. Ersatzstoffe sind längst vorhanden:

**Chlorierte Lösemittel:** Diese Stoffe lassen sich durch erprobte wäßrige Lösemittel ersetzen. Viele Unternehmen haben sich schon umgestellt.

**PVC:** Schon viele Städte und Gemeinden verzichten auf den Einsatz von PVC, weil bereits in ausreichendem Maße Ersatzstoffe auf dem Markt sind.

**FCKW:** Die Ozonkiller und Klimaaufheizter! Sie können durch umweltfreundliche Treib- und Kältegas leicht ersetzt werden.

**Pestizide:** Durch eine ökologische Land- und Forstwirtschaft kann auf den Einsatz von Pestiziden ganz verzichtet werden.

**Papier aus chlorfreiem Zellstoff:** Die Papierbleiche auf der Basis von Sauerstoff ist seit langem bekannt und erprobt.

**Fazit:** Ein sofortiger Ausstieg aus der Chlorchemie ist unumgänglich.

### Aufgaben

1. Formuliere die unterschiedlichen Standpunkte zu drei Punkten mit eigenen Worten.
2. Notiere dir Fragen an Vinnolit und an Greenpeace.

## Algenpest und weiße Weste - Warum die Industrie nach neuen Wasserenthärtern sucht

In den fünfziger Jahren, als unsere Waschmittel immer besser wurden und die Wäsche immer weißer, wurden auch die Schaumberge auf unseren Gewässern immer größer und die Fische darin immer seltener. Der Grund dafür waren vor allem kostengünstige **Tenside** mit einer hohen Waschkraft. Leider waren diese Tenside nur schwer biologisch abbaubar.

Das erste **Detergentengesetz**, welches 1964 in Kraft trat, sollte Abhilfe schaffen und forderte, daß Tenside in den Waschmitteln bis zu 90 % abbaubar sind.

Ein noch größeres Problem aber stellte das in den Waschmitteln verwendete **Pentanatriumtriphosphat** dar, das den größten Massenanteil in den Vollwaschmitteln ausmachte. Diese Substanz hat als sogenannter „**Waschmittelbuilder**“ zweierlei Funktion: Sie enthärtet das Wasser und unterstützt den Waschvorgang, indem sie die mit Hilfe der Tenside gebildeten Schmutzmicellen von der Wäsche abzutragen hilft. Die Enthärtung des Wassers ist nötig, damit die Tenside überhaupt wirksam sind.

Der besondere Nachteil von Pentanatriumtriphosphat ergab sich daraus, daß Phosphate für die im Wasser lebenden Organismen Nährsalze sind, die normalerweise für diese Organismen im Minimum vorliegen. Der hohe Eintrag von Phosphaten in die Gewässer führt zu einer Überdüngung (Eutrophierung). Algen und andere Wasserpflanzen und in der Folge auch die davon lebenden Tiere wachsen und vermehren sich im Übermaß. Nach dem Absterben der Organismen wird die Biomasse durch aerobe, also auf Sauerstoff angewiesene Bakterien abgebaut. Dabei verbrauchen die Mikroorganismen den im Wasser gelösten Sauerstoff, und das umso mehr, je größer die anfallende Biomasse ist.

Bei vermindertem Sauerstoffgehalt im Gewässer vermehren sich in der Folge anaerobe Bakterien, die vor allem im tiefen Wasser Faulschlamm produzieren, in welchem u.a. Methan, Schwefelwasserstoff und Ammoniak entstehen. Die beiden letztgenannten Gase können ein völliges Absterben aller Lebewesen im Wasser verursachen. Das Gewässer „kippt um“.

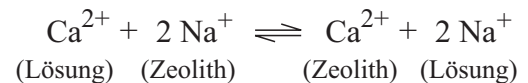
In den sechziger Jahren wurde deshalb ein Ersatzstoff entwickelt, der auf dem Prinzip des Ionenaustauschers beruht. Diese Substanz, **Zeolith A**, ist ein aus natürlich vorkommendem Gestein



**Waschmittelschaumberge im Gewässer, ein typischer Anblick in den sechziger Jahren**

gewonnenes Natriumaluminiumsilikat. Die Silicium-, Aluminium- und Sauerstoffionen sind ortsfest in einem Kristallgitter eingebunden und bilden kleine Hohlräume mit einem Durchmesser von 0,42 nm. Die Natriumionen in diesen Hohlräumen sind frei beweglich und können in wässriger Lösung gegen Ionen mit vergleichbarer Größe (z.B. Calciumionen) ausgetauscht werden.

Für den Fall, daß  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen gegen  $\text{Na}^{+}$ -Ionen ausgetauscht werden, ergibt sich folgendes Gleichgewicht:



Zum Ionenaustausch müssen die Kationen in die Hohlräume des Zeoliths hineindiffundieren, ein relativ langsamer Vorgang, so daß beim Waschen Fällungsreaktionen dieser Ionen möglich sind, die zu Ablagerungen auf dem Gewebe führen. Zeolith A benötigt daher sogenannte Co-Builders, um die gleiche Wirksamkeit wie Pentanatriumtriphosphat zu erreichen.

### Aufgaben

1. Was versteht man unter dem Begriff „Wasserenthärtung“?
2. Welche Aufgabe haben die Tenside in den Waschmitteln? (nachforschen📖!)
3. Welche Aufgaben haben die im Text genannten Buildersubstanzen Pentanatriumtriphosphat und Zeolith A beim Waschvorgang?
4. Welche Vor- und Nachteile haben die genannten Waschmittelbuilder?

## An die modernen Buildersysteme werden immer höhere Forderungen gestellt

Tenside büßen einen großen Teil ihrer Waschkraft durch die im Leitungswasser gelösten Ionen ein. Aus diesem Grunde werden Komplexbildner oder Ionenaustauscher zur Enthärtung des Wassers zugegeben, die sogenannten **Builder**.

Nachdem Phosphate in Form des Pentanatriumtriphosphat als Waschmittelbuilder jahrzehntelang hervorragend geeignet waren, mußten sie aus ökologischen Gründen durch andere Stoffe ersetzt werden.

Zur Zeit dominiert eine Kombination aus **Zeolith A**, **Polycarboxylaten** und **Soda** als leistungstarker Phosphatersatz.

**Zeolith A**, ein kristallines, unlösliches Natriumaluminiumsilikat, sorgt als Ionenaustauscher für die Wasserenthärtung und adsorbiert zusätzlich Schmutzteilchen. **Polycarbonate**, polymere Systeme aus Acrylsäure und Maleinsäure, dispergieren die Schmutzteilchen in der Waschlauge und verhindern ein Wiederauflagern auf der Wäsche.

**Soda** sorgt für eine für die Waschwirkung günstige Alkalität der Lauge. Die verwendeten Polycarboxylate werden nur langsam abgebaut und zusammen mit den unlöslichen Zeolithen mit dem Klärschlamm ausgetragen.

### Aufgaben

1. Wie könnte man verhindern, daß Phosphate im Abwasser die Gewässer belasten?
2. Wie unterscheidet sich das zur Zeit verwendete Buildersystem von dem Phosphatsystem der Vergangenheit?
3. Mit dem bestehenden Buildersystem ist man nicht restlos zufrieden.
  - Welche Gründe lassen sich dafür aus dem Text ableiten?
  - Welche Ziele verfolgt man vermutlich bei der Suche nach Alternativen zu den bestehenden Buildersystemen?

## Bei der Entwicklung von Phosphatersatzstoffen „setzt man im Chemiepark Knapsack auf Sand“

Der im ehemaligen Werk Knapsack von Hoechst entwickelte Builder ist ein Schichtsilikat mit der Werksbezeichnung SKS-6. Dabei handelt es sich um eine Verbindung, die ausschließlich aus Natrium, Silicium und Sauerstoff ( $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ) aufgebaut ist. Sie ähnelt dem weit verbreiteten Wasserglas, ist aber wasserfrei und kristallin.

Als Ausgangsstoffe für die Herstellung von SKS-6 werden sehr reiner Sand und Soda oder Natronlauge verwendet. Aus diesen Stoffen wird zunächst eine Wasserglaslösung hergestellt. Diese Lösung wird anschließend entwässert, und bei hoher Temperatur wird das Silikat in der gewünschten Struktur auskristallisiert. Das auf diese Weise hergestellte Produkt kann gemahlen und bei Bedarf zu Granulat verarbeitet werden.



### Aufgaben

4. Informieren Sie sich über die chemische Zusammensetzung von Sand und Wasserglas.
  - Welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten weisen SKS-6, Sand und Wasserglas auf?
5. Vergleichen Sie SKS-6 mit Zeolith A (Schulbuch). Welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten können Sie erkennen?

Die Struktur von SKS-6 (siehe Abbildung links) wurde durch Röntgenbeugung an Einkristallen bestimmt.

Man erkennt den polymeren, wellenförmigen Aufbau des Silikatgerüsts und die Natriumionen (die größten Kugeln), die nahezu in einer Ebene liegen.

Bei der Herstellung von SKS-6 wird das altbekannte Wasserglas durch Kristallisation und Polymerisation „veredelt“.

## SKS-6 als multifunktionaler Builder

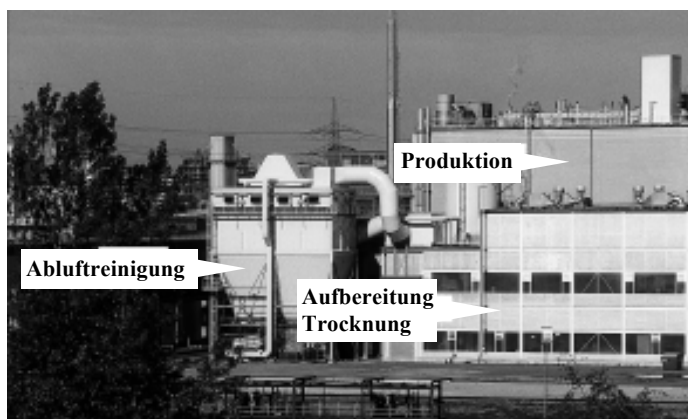
Das Schichtsilikat bindet Calcium- und Magnesiumionen in einem **Ionenaustauschprozeß**. Diese Austauschprozesse erfolgen besonders schnell wegen der geringen Größe der Silikate.

Neben seiner Fähigkeit, Wasser zu enthärten, sorgt SKS-6 für die Einstellung und Aufrechterhaltung der für den Waschvorgang notwendigen **Alkalität**.

Absorbierte Schmutzpartikel werden sehr gut **dispergiert**, setzen sich also nicht auf der Wäsche oder in der Maschine ab.

### Aufgaben

6. Wie kommt die Alkalität von SKS-6 zustande?
7. Was versteht man unter einem multifunktionalen Builder, und welche Vorteile hat ein solches System gegenüber herkömmlichen Buildersystemen?



In diesen neuen Produktionsanlagen können pro Jahr 50.000 Tonnen SKS-6 hergestellt werden.

## Einfache Unterrichtsversuche mit den Waschmittelbuildern Zeolith A und SKS-6

Moderne Vollwaschmittel enthalten verschiedene Bestandteile, die jeweils unterschiedliche Funktionen für den Waschvorgang erfüllen. Neben den eigentlichen waschaktiven Substanzen werden dem Waschmittel sogenannte Waschmittelbuilder zugegeben, das sind Stoffe, die die Reinigungswirkung unterstützen, indem sie u.a das Wasser enthärten. In der Vergangenheit wurde

hierzu häufig **Pentanatriumtriphosphat (Abkürzung PNTP)** verwendet. Die heutigen Waschmittel enthalten überwiegend **Zeolithe** als Waschmittelbuilder. Eines der jüngsten Produkte auf diesem Markt ist das von der Clariant GmbH im Chemiepark Knapsack produzierte **SKS-6**.

### Materialien und Chemikalien zur Durchführung der Versuche:

Leitungswasser, pH-Meter bzw. Indikatorlösung oder -papier, Erlenmeyerkolben, Reagenzgläser, alkoholische Kernseifenlösung oder Kernseifenlösung in destilliertem Wasser  
 Waschmittelbuilder: Zeolith A, SKS-6

#### Versuch 1: Verhalten im Wasser

In je einem Erlenmeyerkolben wird eine Spatelspitze (0,1 g) der oben genannten Builder mit 100 ml Leitungswasser versetzt und kräftig geschüttelt.

#### Aufgabe

1. Formuliere deine Beobachtungen nach Zugabe der Waschmittelbuilder zum Leitungswasser.

Leitungswasser + Zeolith A	Leitungswasser + SKS-6

#### Versuch 2: Bestimmung des pH-Wertes der Waschlauge

Bestimme den pH-Wert der zwei hergestellten Gemenge aus Versuch 1 mit einem pH-Meter oder mit Indikatorlösung oder -papier und vergleiche mit dem pH-Wert von Leitungswasser.

#### Aufgabe

2. Trage die gemessenen pH-Werte in die Tabelle ein.

Messung	pH-Wert gemessen
Leitungswasser	
Leitungswasser + Zeolith A	
Leitungswasser + SKS-6	

#### Versuch 3: Wasserenthärtung durch Waschmittelbuilder

In je ein Reagenzglas mit 5 ml der oben hergestellten Gemenge aus Waschmittelbuildern und Leitungswasser werden 5 ml der alkoholischen Kernseifenlösung (oder einer Lösung von Kernseife in destilliertem Wasser) gegeben. Zusätzlich werden in ein Reagenzglas mit 5 ml Leitungswasser ebenfalls 5 ml Kernseifenlösung gegeben.

Verschließe die Reagenzgläser und schüttele kräftig!

#### Aufgaben

3. Halte deine Beobachtungen vor und nach dem Schütteln in der nachstehenden Tabelle fest.
4. Versuche, deine Beobachtungen zu erklären. Informiere dich dazu über Kernseife in deinem Schulbuch!

Leitungswasser + Seifenlösung	Zeolith (H <sub>2</sub> O) + Seifenlösung	SKS-6 (H <sub>2</sub> O) + Seifenlösung

#### Versuch 4: Erhöhung der Rieselfähigkeit von Waschmitteln

In der Werbung werden häufig Waschmittel angepriesen, die nicht klumpen und auch im feuchten Keller rieselfähig bleiben. Daher ist es eine wichtige Eigenschaft von Buildern, Feuchtigkeit zu binden, um die **Feststoff-Fließfähigkeit** des Waschmittels zu erhalten.

Durchführung:

Vermenge jeweils eine Spatelspitze der drei Builder mit einer gleichen Anzahl von Wassertropfen aus einer Tropfpipette. Erhöhe die Tropfenzahl und vergleiche.

#### Aufgabe

5. Formuliere deine Beobachtungen und vergleiche die Waschmittelbuilder in ihrer Fähigkeit, die Rieselfähigkeit von Waschmitteln zu erhalten.

---



---



---

## Untersuchung des Kalkbindevermögens von SKS-6

Die wichtigste Aufgabe eines Waschmittelbuilders besteht darin, die im Leitungswasser gelösten Ionen wie Calcium- und Magnesiumionen zu binden, weil deren Vorhandensein sich nach-

teilig auf das Waschergebnis auswirkt. Wir wollen in dem nachfolgend beschriebenen Versuch das Kalkbindevermögen von SKS-6 untersuchen.

### 1. Thema: Bestimmung des Kalkbindevermögens (KBV) von SKS-6 in Leitungswasser

#### 2. Geräte und Chemikalien

- Bechergläser (2 l)
- Bechergläser (400 ml)
- Bürette
- Trichter
- Faltenfilter
- Magnetrührer
- Pipette
- Waage
- Ammoniaklösung konz.
- EDTA-Lösung 0,1 mol/l
- Indikatorpuffertabletten (Riedel Best. Nr. 36818)
- Leitungswasser
- SKS-6 (zu beziehen bei der Hoechst AG)

#### 3. Durchführung

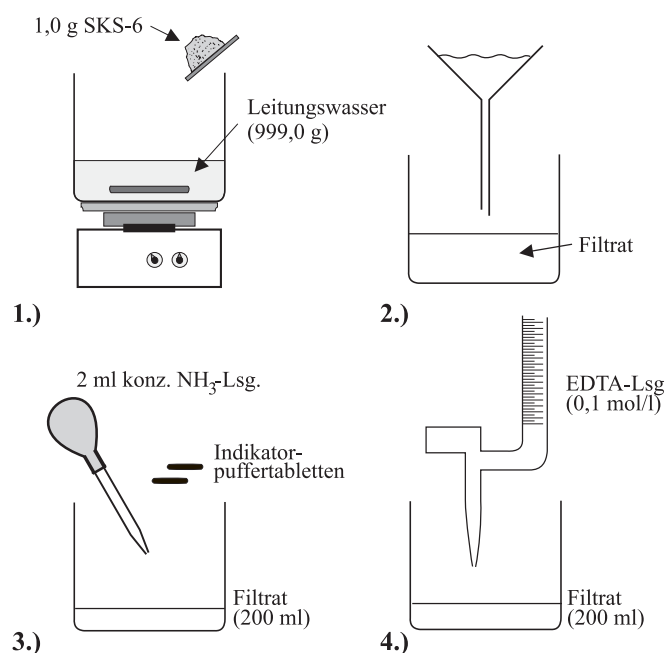
999,0 g Leitungswasser werden in ein 2-l-Becherglas eingewogen. Nach Zugabe von 1,0 g SKS-6 wird das Gemenge 10 Minuten gerührt.

Anschließend wird die Probe über einen Faltenfilter filtriert. Die ersten 50 ml des Filtrates werden verworfen, danach werden ca. 600 ml aufgefangen (Möglichkeit der Doppelbestimmung).

Davon werden genau 200 g in ein 400 ml Becherglas überführt und mit 2 Indikatorpuffertabletten sowie 2 ml konzentrierter Ammoniaklösung versetzt.

Die Probe wird nun mit EDTA-Lösung der Konzentration 0,1 mol/l bis zum scharf erfolgenden Umschlag von ROT nach GRÜN (mit schwach grauem Unterton) ausstitriert.

Zur Bestimmung des Calciumgehaltes von reinem Leitungswasser wird der Vorgang ohne Zugabe von SKS-6 wiederholt.



#### 4. Beobachtung/Meßergebnis

Die für die Titration verbrauchten Volumina an EDTA-Lösung mit und ohne SKS-6:

$V_1$  (mit SKS-6) = .....  $V_2$  (ohne SKS-6) = .....

#### 5. Auswertung

Hinweis: Der Verbrauch von 1 ml EDTA-Lösung (0,1 mol/l) entspricht einem Calciumgehalt von 4,0008 mg ( $\text{Ca}^{2+}$ ).

Der Calciumgehalt im Leitungswasser beträgt: .....

Der Calciumgehalt des mit SKS-6 versetzten Leitungswassers beträgt: .....

Das Kalkbindevermögen von SKS-6 errechnet sich aus der Differenz des Calciumgehaltes des Leitungswassers ohne und mit Zugabe von SKS-6.

KBV = .....

Komplexometrische Titration von Metallionen

**Hinweis: Der oben beschriebene Versuch kann in gleicher Weise mit Zeolith A durchgeführt werden.**

#### Aufgaben

1. In welcher Weise wirkt sich das Vorhandensein gelöster zweiwertiger Kationen wie Calcium- und Magnesiumionen negativ auf das Waschergebnis aus?
2. Ein Problem für die Waschmittelhersteller liegt in der richtigen Dosierung der Waschmittelbuilder im Waschmittel. Was ist die Ursache für diese Schwierigkeit?

## Bestimmung der Alkalität und Pufferkapazität von SKS-6 im Unterricht

Um ein gutes Waschergebnis zu erzielen, muß eine gewisse Alkalität der Lauge vorliegen. Früher lieferten die auch als Ionenaustauscher fungierenden Phosphate die Alkalireserve für eine optimale Waschkraft, heute wird die benötigte Alkalität häufig durch die Zugabe von Soda zur Waschflotte erreicht. Moderne Waschmittelbuilder sollten wie die „alten“ Phosphate in der Lage sein, einerseits als Ionenaustauscher das Wasser zu enthär-

ten und andererseits für die Alkalisierung der Waschlage zu sorgen.

Wir wollen untersuchen, ob der Waschmittelbuilder SKS-6 dieser Forderung gerecht wird. Wichtiges Untersuchungskriterium ist auch, ob der Waschmittelbuilder in der Lage ist, einen einmal eingestellten pH-Wert auch zu stabilisieren; untersucht wird also seine Pufferwirkung.

### 1. Thema: Bestimmung der Alkalität und Pufferkapazität von SKS-6

#### 2. Geräte und Chemikalien

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bechergläser</li> <li>- Bürette</li> <li>- Trichter</li> <li>- Faltenfilter</li> <li>- Magnetrührer</li> <li>- Pipette</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Waage</li> <li>- pH-Meter</li> <li>- Salzsäure (0,1 mol/l)</li> <li>- Leitungswasser</li> <li>- SKS-6 (zu beziehen bei der Hoechst AG)</li> </ul> |
|--|--|

#### 3. Durchführung

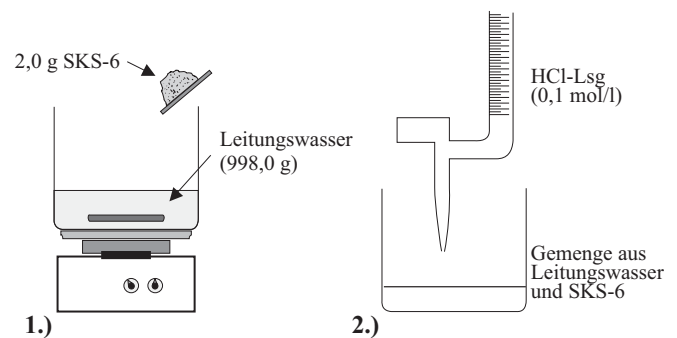
998,0 g Leitungswasser werden in ein 2-l-Becherglas eingewogen. Nach Zugabe von 2,0 g SKS-6 wird das Gemenge 10 Minuten gerührt.

Anschließend werden 200 g des Gemenges in ein 400 ml Becherglas überführt und mit 24 ml Salzsäure in Portionen von 1 ml versetzt (Bürette).

Der pH-Wert wird nach jeder Salzsäureportion abgelesen und notiert.

Zum Vergleich wird der Versuch mit normalem Leitungswasser ohne SKS-6 durchgeführt.

**Anmerkung:** Für diesen Versuch eignet sich besonders die Meßwerterfassung mit Hilfe des Computers.



#### 4. Beobachtung/Meßergebnis

V (ml)	pH	V (ml)	pH	V (ml)	pH	V (ml)	pH
0		6		12		18	
1		7		13		19	
2		8		14		20	
3		9		15		21	
4		10		16		22	
5		11		17		23	

#### 5. Auswertung

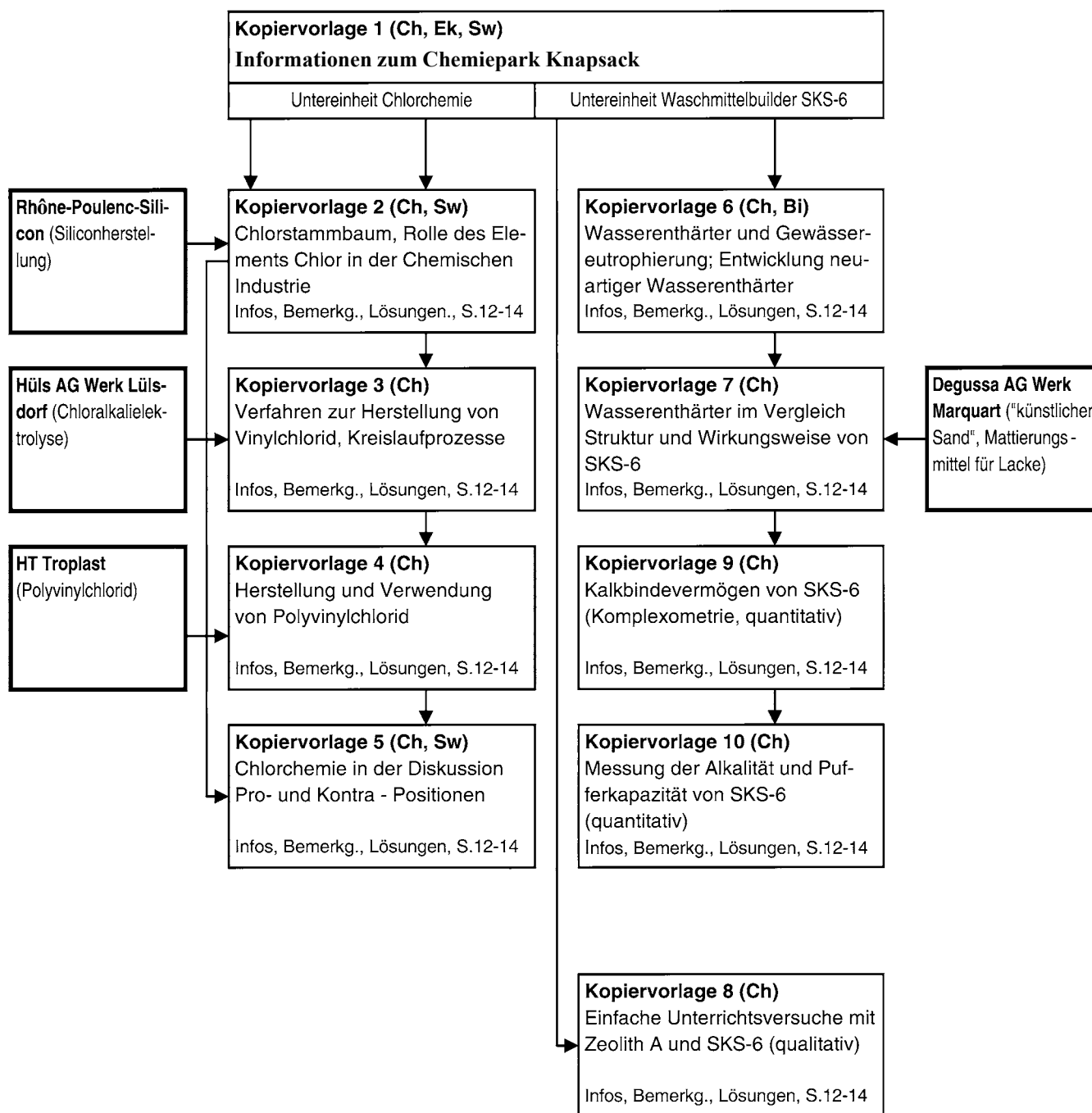
1. Zeichnen Sie ein Diagramm, welches die Abhängigkeit des pH-Wertes der Lösung vom Volumen der zugeführten Salzsäure zeigt.
2. Belegen Sie die Pufferwirkung von SKS-6 anhand eines Vergleichs der Meßkurven mit und ohne SKS-6.

**Hinweis:** Der oben beschriebene Versuch kann in gleicher Weise mit Zeolith A und Pentanatriumtriphosphat durchgeführt werden.

### Aufgabe

Erklären Sie folgende Begriffe: Alkalität der Waschflotte, Builder, Tenside, waschaktiv, Wasserhärte, Weichmacher.

Das nachstehende Fließschema gibt einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten und die mögliche Abfolge der Kopiervorlagen:



## Vorbemerkungen zu den Kopiervorlagen und Einsatzmöglichkeiten im „Normalunterricht“ unter Einbeziehung der Richtlinien

### Kopiervorlagen 2-5 (Chlorchemie)

Die **Chlorchemie** ist für die Chemische Industrie eine der wichtigsten Fertigungssparten. Noch vor kurzer Zeit wurde die Bedeutung großer Chemieunternehmen an dem Verbrauch bzw. der Produktion von Chlor gemessen. Entsprechend seiner Wichtigkeit für die Chemische Industrie und auch deshalb, weil sich an diesem Thema die öffentliche Diskussion in letzter Zeit verstärkt entzündet hat, sollte das Thema „Chlorchemie“ auch im Schulunterricht eine Rolle spielen.

Eine Einbindung der vorgestellten Unterrichtseinheit in den Unterricht der Sekundarstufe I kann an verschiedenen Stellen erfolgen. So bietet sich u.a. ein Einsatz an, wenn die Elementgruppe der Halogene behandelt wird. Noch besser geeignet wäre aller-

dings eine Einbindung der vorgestellten Unterrichtseinheit im Rahmen des Themenschwerpunktes Organische Chemie, da der anorganische Stoff Chlor vor allem für die Herstellung organischer Produkte benötigt wird.

### Kopiervorlagen 6-10 (Waschmittelbuilder SKS-6)

Während die Chlorchemie eher konventionelle Tätigkeitsfelder der Chemischen Industrie beleuchtet, wird mit dem **Waschmittelbuilder SKS-6** ein relativ neues Produkt vorgestellt, das verschiedene schulrelevante Lerninhalte in sich vereint.

Das Thema „Seifen/Waschmittel“ wird häufig im Rahmen der Behandlung des Themenkomplexes Organische Chemie in den Jahrgangsstufen 10/11 bzw. vertiefend in der Jahrgangsstufe 13 an den allgemeinbildenden Schulen erarbeitet. Hier bietet sich ein möglicher Bezugspunkt für die vorliegenden Materialien.

Eine weitere Anknüpfung für den Schulunterricht ergibt sich aus der chemischen Zusammensetzung des Waschmittelbuilders. Es handelt sich um ein Schichtsilikat, also eine Siliciumverbindung. Zur Zeit besteht immer noch eine starke Diskrepanz zwischen der stark vernachlässigten Behandlung der Chemie des Siliciums in den Schulen und seiner überragenden Bedeutung für die Industrie und damit auch für die Lebenswelt der Schüler. Die Bedeutung des Elements Silicium zeigt sich u.a. darin, daß drei weitere Unternehmen dieses Kontaktsystems – Wacker-Chemie (Silicone), Rhône-Poulenc-Silicon (Silicone) und die Degussa AG mit ihrem Werk Marquart (Mattierungsmittel für Lacke) – wichtige Siliciumprodukte herstellen.

Die Unterrichtsversuche auf den Kopiervorlagen 9 und 10 sind als integraler Bestandteil des Themas „Komplexchemie“ für die Jahrgangsstufe 13 geeignet.

Die Richtlinien für allgemeinbildende Schulen fordern verstärkt den Umweltbezug und die Themenorientiertheit der Lehr- und Lerninhalte. Hierbei sollen vor allem die örtlichen Gegebenheiten der jeweiligen Schule in den Unterricht einbezogen werden. Für die Schulen in der direkten Umgebung der chemischen Industriebetriebe kann das nur bedeuten, daß auch auf die Produkte und Produktionslinien der örtlichen Industrie eingegangen wird. Je nach Schulform wird sich dieses Anliegen nur sehr unterschiedlich realisieren lassen, wobei ein praxisorientierter Einstieg in den Unterrichtsstoff durch die **Zusammenarbeit von Schule und Industrie** gewährleistet sein sollte. Für die Schulen der Stadt Hürth und der näheren Umgebung bietet sich eine Zusammenarbeit mit der Abteilung Aus- und Weiterbildung der InfraServ GmbH im Chemiepark Knapsack (siehe Kontaktinformationen am Ende der Materialien) an. Das Unternehmen ist diesbezüglich sehr abgeschlossen.

Wie die kleine Einleitung zur Geschichte des Unternehmens in Hürth und Knapsack zeigt, können auch andere Unterrichtsfächer an der Bearbeitung der Arbeitsblätter beteiligt werden. Dabei können z.B. in den Fächern Erdkunde und Sozialwissenschaft die geographischen und wirtschaftlichen Aspekte beleuchtet werden, die für die Wahl des Standortes Hürth von großer Wichtigkeit waren (Stichworte: Braunkohlevorkommen, billiger Strom). Eine Einbeziehung unter dem Gesichtspunkt des fächerübergreifenden Lernens wäre wichtig und wünschenswert.

## Informationen, Bemerkungen, Lösungen

### A. Bemerkungen zu den Kopiervorlagen

#### Kopiervorlage 1

Ziel dieser Kopiervorlage ist es, am Beispiel der Umwandlung des Werkes Knapsack als drittgrößtes Außenwerk der Hoechst AG in den Chemiepark Knapsack, allgemeine Gründe und Ursachen aktueller Strukturveränderungen in der Großindustrie zu beleuchten.

Die Schüler sollen verstehen, daß die Zergliederung eines Großunternehmens in kleinere Einheiten mit scharf umrissenen Aufgabenfeldern, straffer Betriebsstruktur und eigener Verantwortlichkeit für den wirtschaftlichen Erfolg eine zur Zeit gängige Strategie ist, wirtschaftliche Konsolidierung der Großindustrie im internationalen Wettbewerb herbeizuführen.

### Kopiervorlagen 2-5 (Untereinheit Chlorchemie)

#### Kopiervorlage 2

Die Schüler bekommen die interessante und vielleicht überraschende Erkenntnis vermittelt, warum gerade das Element Chlor für die Chemische Industrie eine solch überragende Rolle einnimmt.

Die Schüler sollen erkennen, daß das Element Chlor vor allem dazu benutzt wird, um ansonsten reaktionsträge organische Verbindungen in einen reaktionsfreudigen Zustand zu überführen. Dabei sollte den Schülern verdeutlicht werden, daß die zur Reaktionsbeschleunigung eingesetzten Chloratome in den meisten Endprodukten nicht mehr vorhanden sind. Die beiden möglichen Reaktionswege zum chlorhaltigen bzw. chlorfreien Endprodukt werden exemplarisch beschrieben.

Weiterhin soll den Schülern an Beispielen aufgezeigt werden, daß für die Herstellung vieler Produkte des täglichen Lebens das Vorhandensein des Elements Chlor eine notwendige Voraussetzung ist. Hieraus ergeben sich wichtige Voraussetzungen für eine sachkompetente Diskussion zum Thema „Streitfall Chlorchemie“ (Kopiervorlage 5).

#### Kopiervorlage 3

Am Beispiel der Herstellung von PVC wird exemplarisch gezeigt, wie moderne Produktionsprozesse aus ökonomischen und ökologischen Notwendigkeiten optimiert werden. Es wird gezeigt, daß Chlorwasserstoff als „Abfallprodukt“ aus der Vinylchloridherstellung wieder in den Produktionsprozeß eingeschleust wird. Die Tatsache, daß bei der Herstellung von Dichlorethan zwei sich ergänzende Verfahren gleichzeitig betrieben werden, ist ein Beispiel für geschlossene Produktionskreise in der Chemischen Industrie.

Hierbei ist auch ein fächerübergreifender Ansatz möglich. In Zusammenarbeit der Fächer Chemie und Sozialwissenschaft kann die auf dem Arbeitsblatt beschriebene Produktionsweise unter chemischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten beleuchtet werden.

#### Kopiervorlagen 4+5

Die beiden Arbeitsblätter fordern die sachliche Auseinandersetzung mit dem Thema PVC und der Chlorchemie allgemein. Ausgehend vom Thema PVC, kann in die Diskussion über die Chlorchemie als Ganzes übergegangen werden. Nach Darbietung und Diskussion der Argumente von Befürwortern und Gegnern der Chlorchemie soll eine vorurteilsfreie, sachlich fundierte Stellungnahme von den Schülern verlangt werden.

An dieser Stelle der Reihe wird sich zeigen, daß Vorurteile und Angstgefühle kein guter Berater für das Auffinden einer persönlichen Einstellung zu einem in der Gesellschaft kontrovers diskutierten Themengebiet sind, wie es die Chlorchemie darstellt. Es zeigt sich auch, daß die kritische Auseinandersetzung mit einigen Arbeitsfeldern der Chlorchemie angemessen ist, daß aber eine pauschale Verurteilung der Chlorchemie in seiner konsequenten Ausführung zu unüberschaubaren Schwierigkeiten für die Menschheit führen würde.

## Kopiervorlagen 6-10 (Untereinheit SKS-6)

### Kopiervorlage 8

Die vorgeschlagenen Unterrichtsversuche sind vor allem für die Sekundarstufe I, Jahrgangsstufe 10, geeignet. Mit einfachen Versuchen können einige Eigenschaften der Phosphatersatzstoffe Zeolith A und SKS-6 untersucht werden. Aufschlußreich ist hier vor allem die Rieselfähigkeit der Ersatzstoffe unter Zugabe von Leitungswasser. Es lassen sich interessante Unterschiede herausarbeiten. Die Verbesserung der Rieselfähigkeit von Waschmitteln durch die Waschmittelbuilder spielt auch deshalb eine wichtige Rolle, weil die Tenside in flüssiger Form hinzugegeben werden.

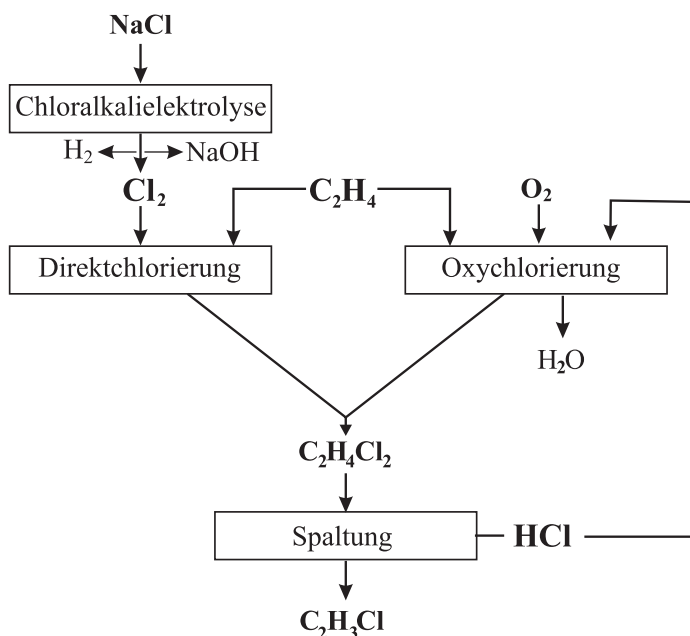
Aus didaktischer Sicht könnte es reizvoll sein, Pentanatriumtriphosphat in die Untersuchungen einzubeziehen. Experten aus der Waschmittelbranche heben noch heute das unübertroffene Leistungsvermögen dieses Waschmittelbuilders hervor und die Tatsache, daß auf Grund der Nachrüstung von Fällstufen in Kläranlagen die Gefahr von Überdüngung der Gewässer nicht mehr gegeben ist.

## B. Hilfen und Hinweise zur Beantwortung der Fragen und Aufgaben

Die Aufgaben problematisieren den Zusammenhang zwischen chlorfreien und chlorhaltigen Endprodukten. Hierbei sind recht unterschiedliche Lösungen denkbar. Entscheiden Sie frei über Art und Umfang der Lösungen.

### Kopiervorlage 3 (Chlorchemie)

#### Aufgabe 1



### Kopiervorlagen 9+10

Die komplexometrische Bestimmung der Wasserhärte ist ein konventionelles Meßverfahren, das im Rahmen des fakultativen Themas „Komplexchemie“ im gymnasialen Oberstufenunterricht Standard ist. Die Möglichkeit, Veränderungen der Wasserhärte durch Waschmittelzusatzstoffe quantitativ belegen zu können (Kopiervorlage 9), dürfte das Interesse der Schüler für dieses Meßverfahren deutlich steigern.

Im Rahmen der Behandlung des Themas „Das chemische Gleichgewicht“ wird die Pufferwirkung verschiedener Stoffe untersucht. Häufig lassen die gewählten Beispiele aber keinen Alltagsbezug für die Schüler zu. Am Beispiel der Untersuchung der Pufferkapazität der Waschmittelbuilder wird ein praktischer Nutzen der Pufferkapazität für die Schüler erfahrbar gemacht. Zur Veranschaulichung der Pufferwirkung der Waschmittelbuilder wird vorgeschlagen, die Messungen des pH-Wertes mit und ohne

### Kopiervorlage 8 (SKS-6)

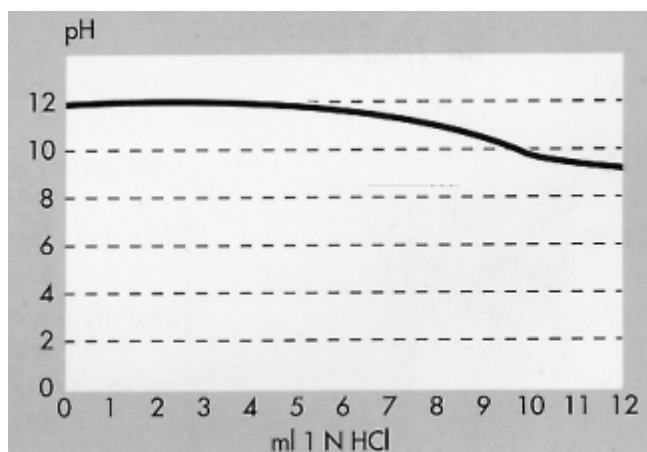
#### Aufgabe 4

Kernseife besteht aus Natriumsalzen von Fettsäuren. Wenn man Seife ins Wasser gibt, löst sie sich, und es bilden sich freie Natrium- und Säurerestionen. In hartem Wasser, das reichlich Calcium- und Magnesiumionen enthält, entsteht aus einer Seifenlösung Kalkseife, d.h. es bilden sich z.B. Calciumsalze der Fettsäuren, die nur schwer löslich sind und als fester Stoff ausfallen. Die Waschmittelbuilder binden die im Wasser gelösten Erdalkalitionen.

### Kopiervorlage 10 (SKS-6)

#### Pufferkapazität von SKS-6

Die Auswertung der Versuche mit SKS-6 zeigt in etwa folgenden Meßverlauf:



aus: SKS-6; Builder-Generation der Zukunft, Broschüre der Hoechst AG

## Hintergrundinformationen zu . . .

### Historie des Standortes Knapsack

Bis 1997 war das Werk Knapsack das drittgrößte Außenwerk der Hoechst AG. Das Werk war mit seinen etwa 2700 Mitarbeitern größter Arbeitgeber der Stadt Hürth. Es bestand aus den beiden miteinander verbundenen Werkteilen Knapsack und Hürth. Der Werkteil Knapsack entstand bei der Werkgründung im Jahre 1907, der Werkteil Hürth dagegen erst viel später im Jahre 1960.

Im Werk Knapsack wurden in ca. 40 Produktionsanlagen rund 450 Produkte hergestellt. Die Produktpalette spannte sich von Grund-

chemikalien und Kunststoffen bis zu Spezialitäten, Feinchemikalien und Pigmenten. Neben diesen im Werk vertretenen Produktionen waren bereits die Vinnolit Kunststoff GmbH (Polyvinylchlorid) und die Hoechst Schering AgrEvo GmbH (Pflanzenschutzmittel) als Gemeinschaftsunternehmen am Standort vertreten.

Das Werk Knapsack wurde 1907 als Deutsche Carbid AG Frankfurt/Main mit dem Ziel gegründet, Kalkstickstoff-Dünger aus Carbid herzustellen und eine Basis für Ammoniak zu schaffen. Durch seine geographische Lage in unmittelbarer Nähe der großen Braunkohlevorkommen konnte in der Folgezeit eine stromintensive Chemieproduktion aufgebaut werden.

Ein Vertrag mit dem benachbarten Stromerzeuger RWE sichert bis heute diese Energieversorgung des Standortes.

1918 wurde das Werk in AG für Stickstoffdünger umbenannt. Neue organische Produkte auf Acetylenbasis kamen hinzu.

Mit dem Wiederaufbau nach dem Zweiten Weltkrieg begann eine umfangreiche Phosphorchemie in Knapsack. Das Werk gehörte weiter zur Hoechst Gruppe, firmierte als Knapsack-Griesheim AG und später, nach Abgabe einzelner Aktivitäten an die Messer Griesheim GmbH, als Knapsack AG.

Mit Erschließung des neuen Werkteils Hürth im Jahre 1960 kamen die Chlorerzeugung und nachfolgend die Chlorchemie hinzu. Ursprünglich auf Acetylen basierende Verfahren wie die bis heute betriebene Essigsäure-Produktion wurden auf Ethen umgestellt. Seit 1974 firmierte Knapsack als ein Werk der Hoechst AG. Mit den Produkten Polyethen, Polypropen und PVC wurde der Kunststoffsektor ausgebaut. Azo-Pigmente und Pflanzenschutzmittel kamen als weitere Bausteine hinzu. Mit einer Anlage zur Herstellung des Waschmittelrohstoffes SKS-6 begann 1994 ein neues Arbeitsgebiet in Knapsack. Mit der Gründung der Gemeinschaftsunternehmen Vinnolit Kunststoff GmbH und Hoechst Schering AgrEvo GmbH entstanden neue eigenständige Strukturen im Werk.

### Chemiepark Knapsack

Der Chemiepark Knapsack ist das Ergebnis von Umstrukturierungsmaßnahmen innerhalb des Hoechst Konzerns. Als Folge dieser Neustrukturierung betreibt Hoechst kein eigenes operatives Geschäft mehr, sondern führt weltweit agierende unabhängige Einzelunternehmen.

Der Chemiepark Knapsack vereint 1997 auf dem Gelände des ehemaligen Werkes Knapsack der Hoechst AG sieben namhafte Firmen der Chemischen Industrie, deren Aktivitäten von der InfraServ GmbH, einem lokalen, effizienten Dienstleistungsanbieter unterstützt werden.

Jede dieser Firmen konzentriert sich auf ihr Arbeitsgebiet:

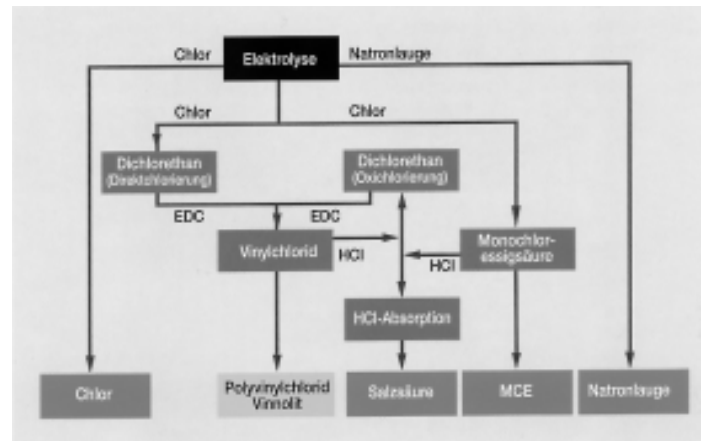
operative Unternehmen	Besitzverhältnisse, Aufgaben
AgrEvo	Gemeinschaftsunternehmen Hoechst/Schering (60/40); Pflanzenschutzmittel
Celanese	Celanese GmbH (Zentrale in Dallas, USA), 100% Hoechst; Weiterführung des Chemikaliengeschäftes der Hoechst AG
Clariant	Clariant AG, Stammhaus in Muttenz (Schweiz) Hoechst hält 45% des Aktienkapitals Weiterführung des Spezialchemikaliengeschäftes der Hoechst AG
Messer Griesheim GmbH	Gemeinschaftsunternehmen Hoechst/Messer; Luftzerlegung, Industriegase
Hostalen Polyethylen GmbH	Hoechst 100 %; Führt die Polyethenproduktion der Hoechst AG fort; Ziel: Joint Venture - Gründung
Targor	Gemeinschaftsunternehmen Hoechst/BASF (50/50); Hersteller von Polypropen
Vinnolit	Gemeinschaftsunternehmen Hoechst/Wacker (50/50); PVC-Produktion

Die **InfraServ GmbH** ist mit dem Chemiepark Management beauftragt. Sie stellt neben voll erschlossenen Grundstücken eine moderne Infrastruktur zur Verfügung und bietet wettbewerbsfähige Dienstleistungen an.

### Chlorchemie im Werk Knapsack

Im Chemiepark Knapsack werden ca. 160.000 t Chlor pro Jahr produziert. Ein Großteil der Chlorproduktion wandert in die Herstellung von Polyvinylchlorid. Die Vinnolit Kunststoff GmbH produziert etwa 110.000 t PVC pro Jahr. Das untenstehende Schema zeigt den Chlorverbund im Chemiepark Knapsack.

### Chlorverbund im Chemiepark Knapsack



### Waschmittelbuilder SKS-6

Die Anforderungen an moderne Builder sind vielfältig. Sie müssen vor allem das Wasser enthärten und damit Maschine und Wäsche vor Kalkablagerungen schützen. Buildersubstanzen sollen aber auch die für den Waschprozeß notwendige Alkalität liefern und für einen stabilen pH-Wert sorgen. Darüber hinaus ist ein möglichst gutes Schmutzabtragevermögen von Bedeutung, damit sich der abgelöste Schmutz nicht wieder auf dem Gewebe absetzt.

Jahrzehntelang wurde Natriumtripolyphosphat als Builder mit sehr guten Eigenschaften eingesetzt. Allerdings hat die Diskussion über die Eutrophierung der Gewässer durch Phosphate zu einem regional unterschiedlichen Rückgang beim Einsatz dieses Builders geführt. Als Phosphatersatzstoff wird heute eine Kombination des (unlöslichen) Zeolith A mit Polycarboxylat und Natriumcarbonat (Soda) eingesetzt. Zeolith enthärtet dabei das Wasser durch Ionenaustausch, Polycarboxylat verhindert, daß das unter anderem aus Soda gebildete Calciumcarbonat die Textilfasern schädigt. Natriumcarbonat dient im wesentlichen zum Alkalisieren der Waschlauge. Nach jahrelanger Forschungsarbeit wurde mit dem Schichtsilikat SKS-6 bei Hoechst ein neuartiger, multifunktionseller Waschmittelbuilder entwickelt. Es handelt sich um reines Natriumsilikat, d.h. es ist ausschließlich aus Natrium, Silicium und Sauerstoff aufgebaut. Es ähnelt Wasserglas, ist aber wasserfrei und kristallin. Als Basismaterialien kommen bei der Herstellung von SKS-6 sehr reiner Sand und Soda oder Natronlauge zur Verwendung, aus denen eine Wasserglaslösung hergestellt wird. Die Herstellung von SKS-6 im Chemiepark Knapsack hängt insofern mit dem werksinternen Chlorverbund zusammen, als die bei der Chloralkalielektrolyse anfallende Natronlauge für die SKS-6-Produktion verwendet wird.

Die Pilotanlage für die Herstellung von SKS-6 hat der Hoechst Konzern 1990 bei der französischen Tochtergesellschaft Société Française Hoechst in Betrieb genommen. 1994 hat der Konzern im Werk Knapsack eine neue Anlage mit einer Kapazität von mehr als 50.000 Tonnen in Betrieb genommen. Eine weitere Anlage ist 1995 in Japan fertiggestellt worden. Für dieses Projekt hat Hoechst mit dem japanischen Unternehmen Tokuyama Soda ein Joint Venture geschlossen.

### Umweltaspekte

Moderne Waschmittel sollen nicht nur gute anwendungstechnische Eigenschaften besitzen, sie sollen auch ein möglichst hohes Maß an Umweltverträglichkeit aufweisen. Neben dem sparsamen Energieeinsatz bei Rohstoffgewinnung, Formulierung, Produktion, Distribution und beim Waschen ist besonders wichtig, wie sich die Bestandteile des Waschmittels bei der Abwasseraufbereitung und wie sie sich in Flüssen und Seen verhalten.

Pentatriumtriphosphat wurde wegen seines eutrophierenden Einflusses auf die Gewässer durch Zeolithe verdrängt. In der Zwischenzeit wurden verschiedene Phosphatersatzstoffe geprüft. Sie alle haben gewisse Nachteile. Zeolith A z.B. wirkt nur in Kombination mit weiteren Zusatzstoffen. SKS-6 zeigt diesbezüglich günstige Eigenschaften. Es vereint die wichtigsten Aufgaben eines multifunktionalen Builders in einem einzigen Stoff: Enthärtung, Schmutzabtragevermögen und pH-Regulierung.

Beim Waschprozess zerfällt es in zahllose mikroskopisch kleine Teilchen, die die Härteionen aufnehmen. Diese Waschlauge wird durch Spülwasser der Waschmaschine und weitere Wassermengen aus dem Haushalt etwa im Verhältnis 1/10 verdünnt in die Kanalisation gegeben. Auf dem Weg vom Haushalt zur Kläranlage lösen sich die beladenen Schichtsilikate in die chemischen Grundbestandteile auf, die im Wasser gelöst bleiben. In diesem Punkt unterscheidet sich SKS-6 deutlich von den unlöslichen Zeolithen, die einen nicht unerheblichen Beitrag zum mineralischen Anteil im Klärschlamm liefern.

## Literatur:

### Untereinheit Chlorchemie

- [1] Fakten zur Chemie-Diskussion „Chlor, Chemie und Umwelt“: Bundesarbeitgeberverband Chemie e.V. Wiesbaden u. Verband der Chemischen Industrie e.V. (Hrsg.), Broschüre Nr. 48, 1993
- [2] Klaus Naumann: Chlorchemie der Natur; Chemie in unserer Zeit, Heft 1, 1993, S. 33-41
- [3] Praxis der Naturwissenschaften Chemie (PdN-Ch): Themenheft Halogene; Heft 5, 1990
- [4] Spiel mir das Lied vom Chlor: Greenpeace-Broschüre zu einer Ausstellung zur Chlorchemie, Greenpeace Hamburg, 1992

### Untereinheit SKS-6

- [5] Waschmittel, Enthärter: Naturwissenschaftliche Reihe - Chemie und Ökologie, Klett Verlag 1993, S. 60-65
- [6] Praxis der Naturwissenschaften Chemie (PdN-Ch): Themenheft Waschmittel; Heft 2, 1988 (spezielle Artikel: Komplexbildner in Waschmitteln, Builder in modernen Waschmitteln, Unterrichtsprojekt Waschmittel)
- [7] Chemie im Haushalt: M. Engerer, M. Lederer (Hrsg.), Chamba, Klett Verlag 1990, S. 206-212
- [8] Chemie mit Chlor - Chancen - Perspektiven - Risiken: Bayer AG, Konzernzentrale Öffentlichkeitsarbeit, Leverkusen (Hrsg.), 1995
- [9] SKS-6 Builder-Generation der Zukunft: Broschüre der Hoechst AG, Frankfurt a. M., 1994

## Kontaktinformationen

### 1. Ansprechpartner

Michael Maier, Bernd Königsmann; InfraServ GmbH, Aus- und Weiterbildung, Chemiepark Knapsack, Industriestraße, 50351 Hürth, Tel. (0 22 33) 48-22 02, Fax (022 33) 48-60 41

### 2. Betriebsbesichtigungen und Betriebspraktika

Schüler- und Betriebspraktika sind grundsätzlich möglich; über die Durchführung wird individuell entschieden.

### 3. Ausbildungsplätze, berufliche Möglichkeiten

Fragen zu den beruflichen Möglichkeiten beantwortet Ihnen Herr Maier (s.o.).

Folgende Berufsausbildungen werden angeboten:

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| im technischen Bereich:             | - Industriemechaniker, Fachrichtung Betriebstechnik |
|                                     | - Prozeßleitelektroniker                            |
| im naturwissenschaftlichen Bereich: | - Chemikanten                                       |
|                                     | - Chemielaboranten                                  |
| im kaufmännischen Bereich:          | - Industriekaufleute                                |
|                                     | - Kaufleute für Bürokommunikation                   |