



HESSISCHER LANDTAG

06. 01. 93

Antwort

des Ministers für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz

auf die Kleine Anfrage des Abg. Lenz (CDU)

betreffend sozialer Wohnungsbau

Drucksache 13/2409

Vorbemerkung des Ministers für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz:

1. Aufgrund der Kleinen Anfrage wurden die Antragsakten von 3.782 geförderten Wohnungen aus dem Ergänzungshaushalt zum Programmjahr 1991 sowie die wenigen WE aus 1992, für die am 30. April bereits Fördervereinbarungen getroffen bzw. Fördermittel ausgezahlt waren, einzeln überprüft, ob eine Unbedenklichkeitsbescheinigung oder eine Baugenehmigung oder keines von beiden vorlag.
2. Im Hinblick auf die Beantwortung der Frage 3 wurde folgende regionale Aufschlüsselung vorgenommen:
 - a) Das Rhein-Main-Gebiet entspricht dem Regierungsbezirk Darmstadt.
 - b) Mittelhessen ist mit dem Regierungsbezirk Gießen identisch.
 - c) Unter Nordosten Hessens werden der Werra-Meißner-Kreis, der Landkreis Hersfeld-Rotenburg und der Landkreis Fulda, einschließlich der Stadt Fulda, unter Norden Hessens die übrigen Landkreise und die kreisfreie Stadt Kassel im Regierungsbezirk Kassel verstanden.
3. Stichtag für die Auswertungen ist der 31. August 1992.
4. Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Ermittlungsergebnisse wird zunächst das Antrags- und Bewilligungsverfahren bei der Förderung von neuen sozialgebundenen Wohnungen im Lande Hessen erläutert:

1. Förderungsweg (Mietwohnungsbau)

Interessierte Bauherren haben zunächst die Mitfinanzierung der Gemeinde, in der das Bauvorhaben verwirklicht werden soll, zu klären. Dann kann die Baumaßnahme über den Magistrat/Kreisausschuß zu einem Stichtag beim Landesentwicklungsministerium angemeldet werden. Wird die Maßnahme in das Bauprogramm aufgenommen, erhält der Bauherr vom Magistrat/Kreisausschuß eine Mitteilung hierüber verbunden mit der Aufforderung, den förmlichen Förderungsantrag möglichst umgehend mit allen erforderlichen Unterlagen einzureichen. Zur Beschleunigung des Antragsverfahrens kann zu diesem Zeitpunkt auf eine Baugenehmigung verzichtet werden. Die Vorlage einer bauaufsichtlichen Unbedenklichkeitsbescheinigung genügt.

Nach wohnungstechnischer Vorprüfung durch den Magistrat/Kreisausschuß werden die dann entscheidungsreifen Anträge unmittelbar der Landestreuhandstelle Hessen (LTH) der Landesbank Hessen-Thüringen

in Frankfurt am Main zur Bewilligung vorgelegt. Für Bauvorhaben, deren Baugenehmigung bereits erteilt ist, kann auf Antrag ein Baubeginn vor Bewilligung der Fördermittel des Landes zugelassen werden.

Hessisches Eigentumsprogramm

Die Fördermittel für Eigentumsmaßnahmen im 1., 2. und 3. Förderungsweg werden auf die Städte und Landkreise (Kontingenträger) verteilt. Die Kontingenträger wählen aus den bei ihnen vorliegenden Anträgen die dringlichen Förderungsanträge aus und leiten diese Anträge nach Vorprüfung an die LTH zur Bewilligung weiter. Mit dem Bau der Maßnahme kann im 1. Förderungsweg begonnen werden nach Bewilligung der Fördermittel, wenn die Baugenehmigung erteilt ist. Ein Baubeginn vor Bewilligung kann genehmigt werden.

Im 3. und 4. Förderungsweg kann nach Antragstellung mit dem Bau begonnen werden, soweit die Baugenehmigung erteilt wurde, da die Förderung in der Form von Aufwandssubventionen zur Senkung der laufenden Belastung besteht und nicht in Form von Finanzhilfen zum Bau selbst.

3. Förderungsweg (Mietwohnungsbau)

Bis zum Programmjahr 1991 erfolgte die Berücksichtigung von Antragstellern im sogenannten Windhundverfahren, das heißt in der Reihenfolge des Antragseingangs bei der LTH und im Rahmen der vom Ministerium zugewiesenen Kontingente. Zuvor mußten die Bauherren ihre Bauvorhaben ebenfalls zunächst vom zuständigen Magistrat/Kreisausschuß in wohnungstechnischer Hinsicht vorprüfen lassen.

Zur Beschleunigung des Programmablaufs galt auch hier die Vorlage einer bauaufsichtlichen Unbedenklichkeitsbescheinigung als ausreichend. Weil im 3. Förderungsweg anders als im 1. Förderungsweg die Auszahlung des vereinbarten Kostenzuschusses in einer Summe nach Fertigstellung und Bezug einer Wohnung erfolgt, wird die Baugenehmigung oft erst zu diesem Zeitpunkt der Landestreuhandstelle Hessen vorgelegt. Aus dem gleichen Grund hat die LTH in der Regel keine Erkenntnisse über den jeweiligen Bautenstand.

Mit Inkrafttreten neuer Richtlinien für das Programm 1992 ist das "Windhundverfahren", das alle Bauherren bevorteilt hat, die fertig ausgearbeitete "Schubladepläne" hatten, durch ein Vorschlagsverfahren seitens der Städte/Landkreise ersetzt worden. Alle interessierten Bauherren können sich beim Magistrat/Kreisausschuß anmelden. Die Anmeldungen werden zu einem Stichtag nach Prioritätsgesichtspunkten aufgelistet und dem Ministerium mitgeteilt. Mit der Zuweisung von Kontingenten teilt das Ministerium dem Magistrat/Kreisausschuß mit, welche Anträge der LTH vorgelegt werden können. Zum weiteren Verfahrensablauf gilt das vorher Gesagte. Mit der Bauausführung darf grundsätzlich erst begonnen werden, wenn die LTH dem Bauherren eine Förderungsvereinbarung anbietet. In Ausnahmefällen kann einem vorzeitigen Baubeginn zugestimmt werden.

Hessisches Mietwohnungsbauprogramm (4. Förderungsweg)/Sonderprogramm zur Förderung des Wohnungsbaus in Regionen mit erhöhter Wohnungsnachfrage

Sofern die erforderliche Mitfinanzierung durch Kommune, Arbeitgeber oder Mieter geklärt ist, gilt in der Folge der gleiche Verfahrensablauf wie bei der Antragstellung und der Bewilligung der Kostenzuschüsse im 3. Förderungsweg.

Aus diesen Vorbemerkungen ergibt sich, daß bei jedem neu aufgelegten Förderprogramm mit zum Teil erheblichen Zeiträumen zwischen der Bekanntgabe der Programmbedingungen und der Fertigstellung von Vorhaben, die aus dem neuen Programm gefördert werden, zu rechnen ist. In der Regel ist damit zu rechnen, daß neue Wohnungen frühestens zwei Jahre nach

Auflage eines neuen Programms im Haushaltsplan des Landes bezogen werden können.

Diese Vorbemerkungen vorangestellt, beantworte ich die Kleine Anfrage wie folgt:

- Frage 1. Wie viele Wohnungen im sozialen Wohnungsbau (aufgeschlüsselt nach Förderungswegen) sind auf Grundlage des 4. Nachtragshaushalts 1991 zum gegenwärtigen Zeitpunkt
- genehmigt,
 - bereits im Bau oder
 - bereits fertiggestellt und bezogen?
- Frage 2. Wie viele Wohnungen im sozialen Wohnungsbau (aufgeschlüsselt nach Förderungswegen) sind auf Grundlage der Haushaltsansätze für das Jahr 1992
- genehmigt,
 - bereits im Bau oder
 - bereits fertiggestellt und bezogen?
- Frage 3. Wie viele dieser oben genannten Wohnungen liegen
- im Rhein-Main-Gebiet,
 - in Mittelhessen,
 - im Norden und Nordosten Hessens?

Durch das 4. Nachtragshaushaltsgesetz 1991 vom 26. Juni 1991 (GVBl. I S. 211) wurden die Wohnungsbauprogramme 1991 um zusätzlich 25 Mio. DM im 1. Förderungsweg und 100 Mio. DM im 3. Förderungsweg aufgestockt. Für den 1. Förderungsweg ist eine getrennte statistische Auswertung für das 25 Mio. DM-Zusatzprogramm möglich. Dagegen kann im 3. Förderungsweg das mit dem 4. Nachtrag zusätzlich etatisierte Bewilligungsvolumen in Höhe von 100 Mio. DM nur zusammen mit dem von der Vorgängerregierung veranschlagten Ergänzungsprogramm von 35,944 Mio. DM, also zusammen 135,944 Mio. DM, statistisch ausgewertet werden. Die zur Beantwortung herangezogenen Zahlen basieren auf diesem Gesamtbetrag.

Im Rahmen des Landeshaushaltsplans für 1992 (Haushaltsgesetz 1992 vom 18. Dezember 1991, GVBl. I S. 411) wurden insbesondere folgende Wohnungsbaufördervolumina für 1992 etatisiert (Zahlen gerundet):

- Traditioneller sozialer Wohnungsbau (1. Förderungsweg): 600 Mio. DM (Förderbare Wohnungen: 5.000 WE)
- 2. Förderungsweg: 37,1 Mio. DM (850 WE)
- 3. Förderungsweg: 50,0 Mio. DM (1.000 WE)
- 4. Förderungsweg: 85,0 Mio. DM (1.700 WE)
- Bund-Länder-Sonderprogramm zur Förderung des Wohnungsbaus in Regionen mit erhöhter Wohnungsnachfrage: 80,7 Mio. DM (1.600 WE).

Der Anlage 1 ist in regionaler Aufgliederung die Zahl der Wohnungen zu entnehmen, für die auf den verschiedenen Förderungswegen im Sinne der Fragestellungen in den Programmjahren 1991 und 1992 bereits Unbedenklichkeitsbescheinigungen (abgekürzt mit UB) oder Baugenehmigungen (BG) oder noch keine entsprechenden Nachweise (ohne) am Stichtag der LTH vorgelegen haben. Damit wird Buchstabe a) von Frage 1 und 2 beantwortet.

Die Anlage 2 gibt detaillierte Auskünfte - auch in regionaler Gliederung - darüber, wie viele geförderte Wohnungen bereits im Bau sind. Hierbei wurde die Auszahlung von Förderungsmitteln im 1. Förderungsweg mit dem Baubeginn gleichgesetzt. Dagegen wurde im 3. Förderungsweg aufgrund des in den Vorbemerkungen dargelegten Antrags- und Bewilligungsverfahrens

der Bestand der zum 30. April 1992 abgeschlossenen Förderungsvereinbarungen als Kriterium für den Baubeginn zugrundegelegt. Aufgrund der abgeschlossenen Förderungsvereinbarungen sind die Bauherren verpflichtet, innerhalb von drei Monaten nach Abschluß der Vereinbarung mit dem Bau zu beginnen. Hierdurch wird Buchstabe b) von Frage 1 und 2 beantwortet.

Anlage 3 gibt den Stand der bereits fertiggestellten oder sogar schon bezogenen geförderten Wohnungen in den Programmjahren 1991 und 1992 wieder. Bis zum Stichtag 31. August 1992 waren nur im 3. Förderungsweg geförderte Wohnungen fertiggestellt. Dies wurde über die Vollausszahlung der Fördermittel ermittelt.

Insofern wird hiermit Buchstabe c) von Frage 1 und 2 beantwortet. Die Beantwortung von Frage 3 ist durch die Regionalaufteilung in die Tabellen integriert.

Wiesbaden, den 10. Dezember 1992

Jordan

Anlagen

(Quelle: LTH)

zu a Anzahl WE (Wohnein- heiten)	Reg.-Bez. Darmstadt						Reg.-Bez. Gießen						Reg.-Bez. Kassel											
	1991			1992			1991			1992			Norden			1991			1992			Nordosten		
	UB	BG	ohne	UB	BG	ohne	UB	BG	ohne	UB	BG	ohne	UB	BG	ohne	UB	BG	ohne	UB	BG	ohne	UB	BG	ohne
1. Förderweg	34	92	90	9	72	1	-	6	-	5	32	-	-	-	-	8	103	-	-	-	-	13	13	-
2. Förderweg	-	-	-	3	34	-	-	-	-	4	20	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	6	1
3. Förderweg	189	341	1	22	14	11	245	711	1	61	89	20	240	539	-	47	18	-	160	280	5	37	39	24
4. Förderweg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	45	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-
Sonderprogramm	-	-	-	-	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Erläuterungen:

1. Norden des Regierungsbezirks Kassel = Stadt Kassel, Landkreis Kassel, Schwalm-Eder-Kreis und Kreis Waldeck-Frankenberg;
Nordosten des Regierungsbezirks Kassel = Kreis Fulda, Kreis Hersfeld-Rotenburg und Werra-Meißner-Kreis.
2. UB = Unbedenklichkeitsbescheinigung; BG = Baugenehmigung; ohne = Keines von beiden.

(Quelle: LTH)

zu b	Reg.-Bez. Darmstadt		Reg.-Bez. Gießen		Reg.-Bez. Kassel			
					Norden		Nordosten	
	1991	1992	1991	1992	1991	1992	1991	1992
	<i>WE</i>	<i>WE</i>	<i>WE</i>	<i>WE</i>	<i>WE</i>	<i>WE</i>	<i>WE</i>	<i>WE</i>
1. Förderweg	60	-	-	1	-	28	-	-
2. Förderweg	-	-	-	-	-	-	-	-
3. Förderweg	475	-	812	-	682	-	374	-
4. Förderweg	-	-	-	-	-	-	-	-
Sonderprogramm	-	-	-	-	-	-	-	-

Erläuterungen:

WE = Zahl der Wohneinheiten. - (Zur regionalen Gliederung: Norden und Nordosten des Regierungsbezirks Kassel -siehe Anlage 1 -).

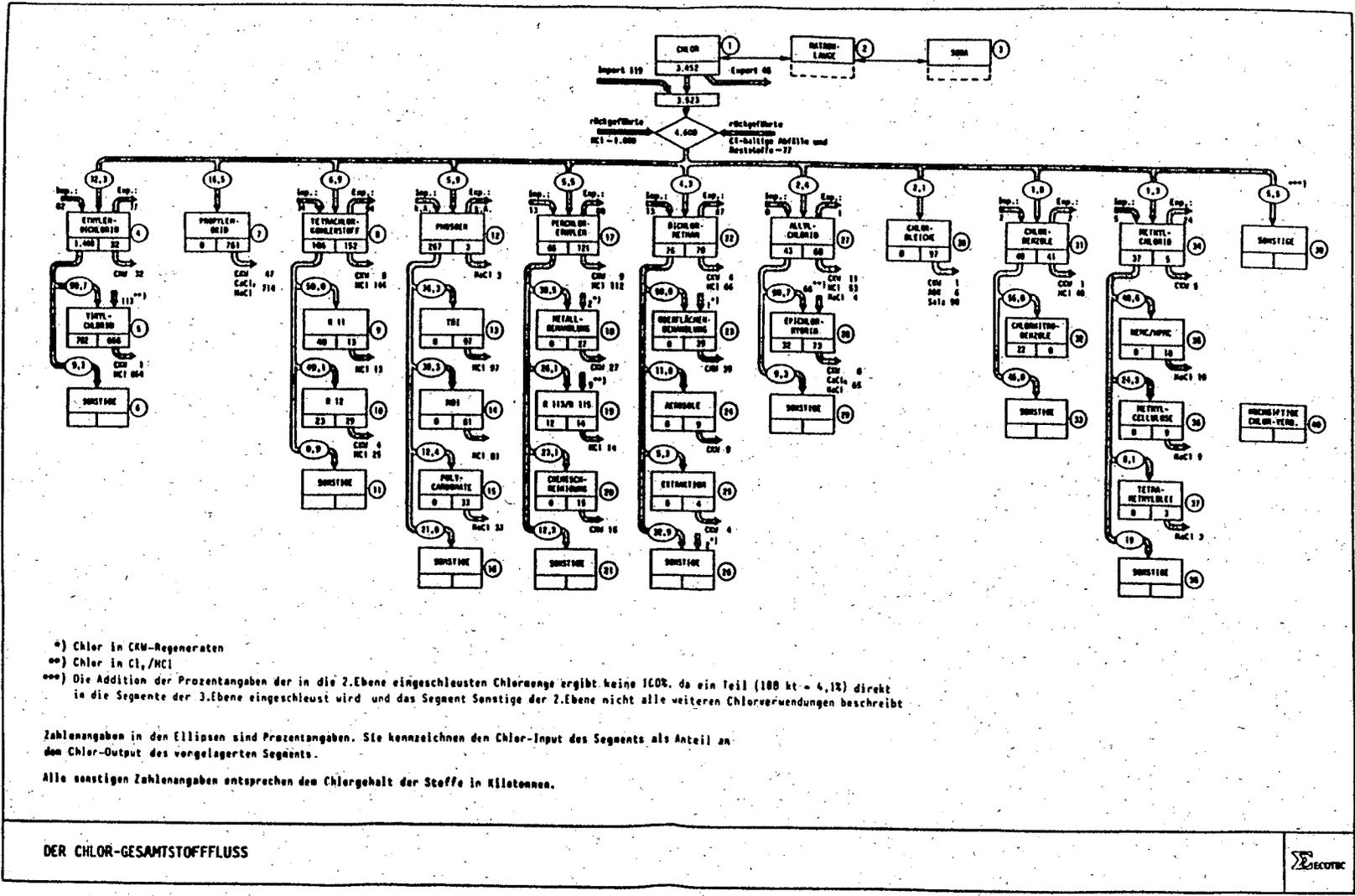
(Quelle: LTH)

zu c	Reg.-Bez. Darmstadt		Reg.-Bez. Gießen		Reg.-Bez. Kassel			
					Norden		Nordosten	
	1991	1992	1991	1992	1991	1992	1991	1992
	WE	WE	WE	WE	WE	WE	WE	WE
1. Förderweg	-	-	-	-	-	-	-	-
2. Förderweg	-	-	-	-	-	-	-	-
3. Förderweg	146	-	376	-	365	-	188	-
4. Förderweg	-	-	-	-	-	-	-	-
Sonderprogramm	-	-	-	-	-	-	-	-

Erläuterungen:

1. Zur regionalen Gliederung: Norden und Nordosten des Regierungsbezirks Kassel -siehe Erläuterungen zu Anlage 1 -.
2. WE = Zahl der Wohneinheiten.

Abbildung 2-1: Chlor-Gesamtstofffluß (aus Handbuch Chlorchemie I, S. 31 [1])



*) Chlor in CRM-Regeneraten
 **) Chlor in Cl₂/HCl
 ***) Die Addition der Prozentangaben der in die 2.Ebene eingeschleusten Chlormenge ergibt keine 100%, da ein Teil (100 kt = 4,1%) direkt in die Segmente der 3.Ebene eingeschleust wird und das Segment Sonstige der 2.Ebene nicht alle weiteren Chlorverwendungen beschreibt.

Zahlenangaben in den Ellipsen sind Prozentangaben. Sie kennzeichnen den Chlor-Input des Segments als Anteil an dem Chlor-Output des vorgelagerten Segments.

Alle sonstigen Zahlenangaben entsprechen dem Chlorgehalt der Stoffe in Kilotonnen.

DER CHLOR-GESAMTSTOFFFLUSS



Tabelle 2.1: Segmente der Chlorchemie nach Handbuch Chlorchemie I

Segment	Bezeichnung
1	Die Produktion von Chlor
2	Die Herstellung von Natronlauge
3	Die Herstellung von Soda
4	Die Produktion von Ethylendichlorid
5	Die Herstellung von Vinylchlorid
6	Sonstige Verwendung von Ethylendichlorid
7	Die Herstellung von Propylenoxid
8	Die Produktion von Tetrachlorkohlenstoff
9	Die Herstellung von Trichlorfluormethan (R 11)
10	Die Herstellung von Dichlordifluormethan (R 12)
11	Sonstige Anwendung von Tetrachlorkohlenstoff
12	Die Herstellung von Phosgen
13	Die Herstellung von TDI
14	Die Herstellung von MDI
15	Die Herstellung von Polycarbonaten
16	Sonstige Anwendung von Phosgen
17	Die Produktion von Perchlorethylen
18	Die Anwendung von Perchlorethylen in der Metallbehandlung
19	Die Herstellung von R 113, R 114, R 115
20	Die Anwendung von Perchlorethylen in der Chemischen Reinigung
21	Sonstige Verwendung von Perchlorethylen
22	Die Produktion von Dichlormethan
23	Die Anwendung von Dichlormethan in der Oberflächenbehandlung
24	Die Anwendung von Dichlormethan in Aerosolen
25	Die Anwendung von Dichlormethan in der Extraktion
26	Sonstige Anwendung von Dichlormethan
27	Die Produktion von Allylchlorid
28	Die Herstellung von Epichlorhydrin
29	Sonstige Anwendung von Allylchlorid
30	Die Verwendung von Chlor zum Bleichen
31	Die Herstellung von Chlorbenzolen
32	Die Herstellung von Chlornitrobenzolen
33	Sonstige Verwendung von Chlorbenzolen
34	Die Produktion von Methylchlorid
35	Die Herstellung von Mischcelluloseether
36	Die Herstellung von Methylcellulose
37	Die Herstellung von Tetramethylblei
38	Sonstige Verwendung von Methylchlorid
39	Sonstige Anwendung von Chlor
40	Hochgiftige chlororganische Verbindungen

(2) Diese im Handbuch benutzte Systematik und die angeführten Einzelsegmente unterliegen verschiedentlich Kritik, wie sie auch in einer Stellungnahme des Verbandes der Chemischen Industrie [2] u.a. zum Ausdruck gebracht wurde:

- Einzelne Segmente stehen, da sie die Anwendungen chemischer Produkte beschreiben, im Widerspruch zum Aufbau des Handbuches, das primär die Herstellung chemischer Produkte unter Ausnutzung der Chemie mit Chlor bearbeitet (z.B.: Anwendungen von Perchlorethylen, Anwendungen von Dichlormethan).
- Einzelne, wichtige Erzeugnisse als Folgeprodukte wurden nicht berücksichtigt (z.B.: 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethylen).

(3) Unter Berücksichtigung dieser Kritikpunkte sowie den Ergebnissen aus den Untersuchungen im Rahmen der "Technikfolgenforschung Chlorchemie" wurde die Systematik der wesentlichen Segmente chlorchemischer Produktion überarbeitet und in erster Linie auf Produktstufen zusammengefaßt.

Einige der weiteren Bearbeitung zugrundegelegten Segmente der Chlorchemie sind somit in ihrem Umfang nicht deckungsgleich mit dem "Handbuch Chlorchemie I". Auch die Segmentnummerierung ist anders. Im einzelnen wurden an der Systematik folgende Änderungen vorgenommen:

- Die Primärproduktion von Chlor muß aufgrund seiner Stellung als Ausgangsstoff für vielfältige Folgeprodukte und -prozesse innerhalb der Chlorchemie als übergeordneter Bereich betrachtet werden. Eine Konversion einzelner Bereiche der Chlorchemie bedingt in jedem Fall Rückwirkungen auf die Chlor-Primärproduktion. Im Rahmen der Hauptstudie werden diese Rückwirkungen innerhalb jedes, für die Konversion relevanten Bereichs betrachtet, sowie die in Summe erwartbare Gesamtreduktion der Chlorbasisproduktion und die damit verbundene Umweltentlastung dargestellt. Unter diesem Aspekt werden auch die weiter an diesem Ast hängende Herstellung von Natronlauge resp. Soda betrachtet.
- Einzelne Segmente, welche in erster Linie die Anwendung der Produkte behandeln, sind für die Prioritätensetzung, d.h. die Auswahl der zu untersuchenden Bereiche chlorchemischer Produktion unter dem Gesichtspunkt einer "Konversion Chlorchemie", aus systematischen Gründen zusammengefaßt.

Folgende Segmente des Handbuchs werden unter dem entsprechenden Produkt geführt und hierin berücksichtigt:

- 11 Sonstige Anwendung von Tetrachlorkohlenstoff

- 18 Die Anwendung von Perchlorethylen in der Metallbehandlung
- 20 Die Anwendung von Perchlorethylen in der chemischen Reinigung
- 21 Sonstige Verwendung von Perchlorethylen

- 23 Die Anwendung von Dichlormethan in der Oberflächenbehandlung
- 24 Die Anwendung von Dichlormethan in Aerosolen
- 25 Die Anwendung von Dichlormethan in der Extraktion
- 26 Sonstige Anwendung von Dichlormethan

- 29 Sonstige Anwendung von Allylchlorid

- 38 Sonstige Verwendung von Methylchlorid

— Zusätzlich werden folgende wichtige Produkte bzw. Folgeprodukte aus chlorchemischer Herstellung als Einzelsegmente in die Zusammenstellung aufgenommen:

- PVC
- Ethylendiamin
- 1,1,1-Trichlorethan
- Epoxidharze
- Chlorsilane/Silikon
- Trichlorethylen

— Die im Handbuch Chlorchemie I unter Segment 39 "Sonstige Anwendung von Chlor" angeführten Erzeugnisse werden im folgenden als eigenständige Segmente der Chlorchemie bearbeitet:

- Monochloressigsäure
- Phosphortrichlorid
- Cyanurchlorid
- Chlortoluole
- Monochlorethan

— Segment 40 des Handbuches "Hochgiftige chlororganische Verbindungen" wird unter der Bezeichnung "PCB, Pestizide" geführt.

- Aus Gründen der Vollständigkeit sowie in Abstimmung mit dem vom VCI veröffentlichten "Chlorstammbaum" [3] wird die Aufstellung um drei im Chlorhandbuch I nicht berücksichtigte Segmente erweitert:
 - Chlorwasserstoff (als Anwendungsprodukt)
 - Sulfuryl-/Thionylchlorid
 - Metallchloride

(4) In Tabelle 2.2 ist die Aufstellung der relevanten Segmente der chlorchemischen Produktion, wie sie der weiteren Bearbeitung der Prioritätensetzung zugrundegelegt werden, ersichtlich. Neben der gewählten Segmentnumerierung sind einzelne, weitere für die Stoffe geläufigen Bezeichnungen angeführt. Darüber hinaus erfolgt in der letzten Spalte eine Kennzeichnung der möglichen Produktstufe.

Die Untergliederung nach der Produktstufe ergibt sich aus der stufenweisen Verknüpfung einzelner Segmente untereinander im Rahmen bestimmter Hauptproduktionsabläufe.

- **P:** Primärprodukt, kennzeichnet die Stufe, in welcher Chlor bei der Produktion direkt zum Einsatz gelangt.
- **Z:** Zwischenprodukt, wird in direkter Folge durch Umwandlung aus Primärprodukten hergestellt und dient als Einsatzprodukt für Folgeprozesse.
- **E:** Endprodukte werden als solche in weiteren Anwendungen (innerhalb und außerhalb der Chemischen Industrie) nicht mehr chemisch verändert.

Tabelle 2.2 Neuordnung der Segmente nach Prognos

Segment Nr. Neuordnung nach Prognos	Bezeichnung	Primär/ Zwischen-/ End-Produkt	Segment Nr. nach Handbuch Chlorchemie I
1	EDC (Ethylendichlorid; 1,2-Dichlorethan)	P,Z	4
2	VC (Vinylchlorid)	Z	5
3	PVC (Polyvinylchlorid)	E	-
4	Ethylendiamin (1,2-Diaminoethan)	E	6
5	1,1,1-Trichlorethan (TRI; Methylchloroform)	E	-
6	Propylenoxid (1,2-Epoxypropan)	P	7
7	TETRA (Tetrachlorkohlenstoff; Tetrachlormethan)	P,Z,E	8,11
8	R 11 (Trichlorfluormethan)	E	9
9	R 12 (Dichlordifluormethan)	E	10
10	Phosgen (Carbonylchlorid)	P	12
11	TDI (Toluylendiisocyanat)	Z	13
12	MDI (4,4-Diphenylmethandiisocyanat)	Z	14
13	Polycarbonate	E	15
14	Sonstige Anwendung von Phosgen (isocyanate)	E	16
15	PER (Perchlorethylen; Tetrachlorethen)	P,Z,E	17,18,20,21
16	R 113/R 114/R 115 (FCKW)	E	19
17	Dichlormethan (Methylenchlorid)	P	22,23,24,25,26
18	Allylchlorid (3-Chlorpropen)	P	27,29
19	Epichlorhydrin (1-Chlor-2,3-Epoxypropan)	Z	28
20	Epoxydharze	E	-
21	Chlorbleiche	E	30
22	Chlorbenzole	P,Z	31
23	Chlornitrobenzole	Z	32
24	Sonstige Verwendung von Chlorbenzolen	Z	33
25	Methylchlorid (Chlormethan)	P,Z	34,38
26	Chlorsilane/Silikon	Z,E	-
27	HEMC/HPMC (Mischcellulose)	E	35
28	Methylcellulose	E	36
29	Tetramethylblei (Bleitetramethyl)	E	37
30	Chloroform (Trichlormethan)	Z	39
31	Trichlorethylen (Trichlorethen)	Z,E	-
32	Monochloressigsäure	Z	39
33	Phosphortrichlorid/Phosphorchlorid	Z	39
34	Cyanurchlorid	Z	39
35	Chlortoluole	Z,E	39
36	Monochlorethan (Ethylchlorid)	Z	39
37	PCB/Pestizide	Z,E	40
38	Chlorwasserstoff	E	-
39	Sulfuryl-/Thionylchlorid	Z	-
40	Metallchloride	Z,E	-

3. KRITERIEN ZUR BEURTEILUNG DER SEGMENTE

Die Auswahl der Einzelsegmente, welche im Hinblick auf eine Konversion der Chlorchemie bevorzugt weiterverfolgt werden, erfolgt anhand eines systematischen Prioritätensetzungsverfahrens. Als übergeordnete Auswahlkriterien werden dazu

- die Mengenrelevanz,
- die Umweltrelevanz und
- die technischen Möglichkeiten der Substitution

verwendet. Jedes der Segmente wird für sich in einer Einzeluntersuchung anhand dieser übergeordneten Kriterien bewertet. Aus einer anschließenden Zusammenstellung aller Segmente wird die Rangfolge ermittelt. Gleichzeitig erfolgt eine Untergliederung in verschiedene Prioritätsstufen.

3.1 Mengenrelevanz

Die Beurteilung der Mengenrelevanz erfolgt auf Basis der Chloreinsatzmenge. Dieses Einzelkriterium zeigt die Bedeutung des Segmentes innerhalb des Gesamtsystems der "Chlorchemie", insbesondere im Hinblick auf den Gesamtbedarf für die Chloralkalielektrolyse. Im Rahmen der Untersuchung erfolgt vorerst keine Differenzierung zwischen der Verbrauchsmenge an primär erzeugtem Chlor und der "Chlorbezugsmenge". Als Chlorbezugsmengen gelten die im Stoffverbund eingebrachten Cl-haltigen Reststoffe einschließlich HCl.

3.2 Umweltrelevanz

Für die Beurteilung der Umweltrelevanz werden mehrere Einzelkriterien berücksichtigt, welche in ihrer Summe das Gefährdungspotential für Umwelt und Gesundheit charakterisieren. Für die Untersuchung und Bewertung der Segmente werden folgende vier Einzelkriterien direkt betrachtet:

- der Chlorgehalt,
- das krebserregende Potential,
- der MAK-Wert und
- die Menge an CKW-Rückständen.

Hinsichtlich der Beurteilung der Umweltrelevanz der einzelnen Segmente aus human- und öko-toxikologischer Sicht muß vermerkt werden, daß mit der getroffenen Auswahl an Kriterien zweifellos nicht alle denkbar möglichen Gesichtspunkte erfaßt werden, jedoch stellen diese u.E. in ihrem Umfang sowie dem methodischen Vorgehen entsprechend, eine hinreichend genaue und vor allem konsistente Bewertungsbasis dar. Aus methodischer Sicht muß zu bedenken gegeben werden, daß durch eine weitere Erhöhung der Anzahl von Subkriterien bei gleichgewichtender Betrachtungsweise die Aussageschärfe jeweils entsprechend vermindert wird.

Chlorgehalt

Mit der Berücksichtigung des Chlorgehaltes im Produkt wird einerseits auf mögliche Emissionen chlorhaltiger Stoffe (z.B. chlorhaltige Lösemittel) hingewiesen, zum zweiten auf mögliche Probleme, welche nach der Nutzungsdauer des Produktes im Rahmen der Entsorgung auftreten können. Die Beurteilung erfolgt auf Basis einer qualitativen Einschätzung.

Krebserregendes Potential

Als eines der klar klassifizierbaren Toxizitätsmerkmale hinsichtlich des Schädigungspotentials einzelner Stoffe, kann die krebserregende Wirkung betrachtet werden. Die Beurteilung der krebserregenden Wirkung wird entsprechend den Definitionen der MAK-Liste [4] durchgeführt, wobei Kategorie III A für nachgewiesenes krebserregendes Potential und III B für begründeten Verdacht auf Kanzerogenität steht. In der MAK-Liste wird Kategorie III A weiter untergliedert in die Kategorien III A1 und III A2, wobei III A2 für bislang im Tierversuch eindeutig nachgewiesener Kanzerogenität steht.

MAK-Wert

Neben der Kanzerogenität wird als weiterer Indikator für die gesundheitsschädigende Wirkung, welche von der Produktion bzw. bei der Anwendung ausgehen kann, die Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) berücksichtigt. Die zwei Kriterien Kanzerogenität und MAK-Wert stehen in enger Verbindung insofern, daß für Stoffe, für welche ein krebserregendes Potential nachgewiesen wurde, kein MAK-Wert angeführt ist. Für die Bewertung in der vorliegenden Untersuchung bedeutet dies, daß für nachgewiesenermaßen kanzerogene Stoffe der MAK-Wert als "maximal" bezeichnet und in die höchste Kategorie eingestuft wird.

CKW-Rückstände

Als weiterer Indikator für die Umweltrelevanz werden durch Einbeziehung der CKW-Rückstandsmengen, die bei der Erzeugung anfallenden und zu entsorgenden Abfall- und Reststoffmengen an organisch gebundenem Chlor berücksichtigt. Es erfolgt in dieser Stufe keine Differenzierung, ob die Rückstandsmengen zu entsorgen sind oder wiederum in den Produktionsprozess rückgeführt werden können.

3.3 Substitutionsmöglichkeiten

Im dritten Grobkriterium für die Rangfolgenentwicklung werden die Möglichkeiten der Substitution in den einzelnen Segmenten untersucht. Vorhandene und mögliche Substitutionspotentiale stellen eine wichtige Voraussetzung im Hinblick auf Fragen einer Konversion dar. An dieser Stelle werden zunächst in erster Linie die rein technischen Möglichkeiten betrachtet; eine Bewertung hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Wirkungen erfolgt im Rahmen der weiteren Untersuchungen. Das Substitutionspotential der einzelnen Segmente wird auf Basis zweier Aspekte ermittelt. Einerseits werden die bisher eingesetzten Verfahren auf die Möglichkeiten einer technischen Ablösung untersucht, zum zweiten werden die Möglichkeiten eines Ersatzes der erzeugten Produkte geprüft.

3.4 K.O.-Kriterien

Im Sinne einer übergeordneten Betrachtungsweise der Einzelsegmente der Chlorchemie und um bereits eingeleiteten Entwicklungstrends seitens der Industrie sowie gesetzter legislativer Vorgaben Rechnung zu tragen, werden neben den Auswahlkriterien zur Prioritätsermittlung sog. "K.O.-Kriterien" eingeführt.

Mit dem Inkrafttreten der "FCKW-Halon-Verbotsverordnung" per 1. August 1991 [5], wird das Inverkehrbringen, die Verwendung und auch die Herstellung der als bekannt ozonschädigenden halogenierten Stoffe geregelt. Der Ausstieg aus der Verwendung der Stoffe R11, R12, R13, R113, R114, R115 (vollhalogenierte FCKW), sowie 1,1,1-Trichlorethan ist bis zum Jahr 1995 vorgegeben. Der Einsatz von Tetrachlorkohlenstoff als Reinigungs- und Lösemittel wurde bereits Anfang 1992 verboten, sodaß sich dessen Verwendung auf die Herstellung von FCKW's beschränkt. Für R22 (teilhalogeniertes FCKW), dessen Ausgangsprodukt Chloroform darstellt, ist der Ausstieg bis zum Jahr 2000 vorgesehen.

Die Herstellung von Tetramethylblei als Treibstoffzusatz für verbleites Benzin wird aufgrund seiner abnehmenden Mengenrelevanz als künftighin nicht mehr bedeutsam eingestuft.

Gleichfalls mit künftig weiter abnehmender Bedeutung ist der Einsatz von Chlor für die Zellstoffbleiche zu bewerten. Nach Angaben der Industrie wird dieses Verfahren sukzessive von chlorfreien Verfahren abgelöst.

Im Rahmen der gewählten Methodik werden die angesprochenen Segmente zwar weiter verfolgt und bewertet, jedoch in der abschließenden Prioritätensetzung nicht mehr berücksichtigt.

3.5 Datenbasis, Erhebung der Kennzahlen

Die Ermittlung der Kennzahlen zu den genannten Einzelkriterien erfolgt auf Basis verschiedener Untersuchungen. In erster Linie stützen sich die Angaben auf das vom Umweltbundesamt herausgegebene "Handbuch Chlorchemie I" (NOLTE/JOAS, 1992). Als weitere Unterlagen wurden berücksichtigt: das "Handbuch Chlorchemie II" [6] des Umweltbundesamtes (1992), sowie in verfahrenstechnischen Fragen die Untersuchung von SCHULZE/WEISER, 1985 [7]. Einzelne Änderungen und Ergänzungen gegenüber dem "Handbuch Chlorchemie I" wurden der dazu

vorliegenden Stellungnahme des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI) entnommen. Tabelle 3.1 zeigt in einer Übersicht die Kennzahlen zu den Einzelkriterien für jedes Segment.

Kennzahlen der Einzelsegmente

Die Basisangaben zur Chloreinsatzmenge beziehen sich im Handbuch Chlorchemie I auf eine Gesamtmenge von 4.600 kt. In dieser Menge sind jedoch auch rund 1.000 kt an rückgeführtem Chlor in Form von HCl enthalten. Mit der Bewertung der Segmente auf Basis des relativen Anteils an der Gesamtchlormenge wird der Fehler der Doppelzählung des rückgeführten HCl weitgehend ausgeschaltet. Die Mengenangaben im Handbuch I beruhen auf der Datenbasis von 1987.

Die Bewertung der Einzelsegmente nach dem Chlorgehalt wird direkt aus den Produkten abgeleitet und stellt eine Beurteilung dar, ob Chlor direkt oder über ein Vorprodukt für die Herstellung eingesetzt wird und im Produkt verbleibt, oder aus dem Produktionsprozeß in veränderter Form (z.B. als HCl) wieder ausgeschleust wird. In den Segmenten "Sonstige Verwendung von Chlorbenzolen" und "Chlorsilane/Silikon" sind jeweils mehrere Produkte zusammengefaßt, die zum Teil chlorhaltig, zum Teil chlorfrei sind.

Die Beurteilung der Kanzerogenität erfolgt auf Basis der MAK-Liste (1992) der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Die Unterscheidung nach den Kategorien IIIA1 und IIIA2 (IIIA2: im Tierversuch als krebserzeugend nachgewiesen) wird angeführt, jedoch im Rahmen der Bewertung nicht unterschiedlich berücksichtigt.

Die Angaben zu den MAK-Werten (Maximale Arbeitsplatzkonzentration in ppm) sind der MAK-Liste (1992) entnommen. Für jene Stoffe, welchen ein eindeutig krebserregendes Potential nachgewiesen wurde, sind in der MAK-Liste keine Grenzwerte angegeben. In der Zusammenstellung werden diese Stoffe einer höchsten Bewertung entsprechend mit "maximal" bezeichnet. Im Gegensatz dazu werden Stoffe bzw. Produkte, von denen keine Gefährdungen gesundheitlicher Art zu erwarten sind – diese sind in der MAK-Liste nicht angeführt –, mit der Bewertung "minimal" versehen.

Die CKW-Rückstandsmengen (Einzelkriterium "CKW-Rückstände") sind als Absolutwerte in Kilotonnen (kt) angegeben und beziehen sich auf die jeweiligen Produktionsmengen in den einzelnen Segmenten. Die Angaben sind dem "Handbuch Chlorchemie I" entnommen.

Tabelle 3.1: Kennzahlen der Einzelkriterien

Seg.	Bezeichnung	Mengen		Umwelt				Substitution	
		Chloreinsatz-		Chlor-	Krebserr.	MAK-	CKW-	Verfahr.-	Produkt-
		menge							
(kt)	(%)			(ppm)	(kt)				
1	EDC	1487	32.3	ja	IIIA2	max	32	-	mittel
2	VC	1350	29.3	ja	IIIA1	max	1	gross	mittel
3	PVC	750	16.5	ja	nein	min	0	-	mittel
4	Ethylendiamin	40	<1.0	nein	nein	10	0	gross	-
5	1,1,1-Trichlorethan	64	1.4	ja	nein	200	9	-	gross
6	Propylenoxid	761	16.5	nein	IIIA2	max	47	gross	-
7	TETRA	317	6.9	ja	IIIB	10	8	-	gross
8	R 11	67	1.4	ja	nein	1000	0	-	gross
9	R 12	47	1.1	ja	nein	1000	0	-	gross
10	Phosgen	270	5.9	ja	nein	0.1	0	klein	mittel
11	TDI	97	2.1	nein	nein	0.01	1	mittel	klein
12	MDI	81	1.8	nein	IIIB	0.005	0	mittel	klein
13	Polycarbonate	33	0.7	nein	nein	min	0.2	mittel	klein
14	Sonst. Anw. Phosgen	56	1.1	nein	nein	0.01	0	mittel	mittel
15	PER	253	5.5	ja	IIIB	50	9	klein	mittel
16	R 113/R 114/R 115	14	0.3	ja	nein	500	0	-	gross
17	Dichlormethan	200	4.3	ja	IIIB	100	4	-	mittel
18	Allylchlorid	112	2.4	ja	IIIB	1	11	klein	klein
19	Epichlorhydrin	109	2.4	ja	IIIA2	max	8	mittel	klein
20	Epoxidharze	26	0.6	nein	nein	min	0	klein	klein
21	Chlorbleiche	97	2.1	ja	nein	0.1	<1	gross	mittel
22	Chlorbenzole	80	1.7	ja	nein	50	0.7	klein	klein
23	Chlornitrobenzole	44	0.9	ja	IIIB	max	1.4	klein	klein
24	Sonst. Verw. Chlorbenz.	30	0.6	ja/nein	nein	50	<1	klein	klein
25	Methylchlorid	61	1.3	ja	IIIB	50	5	-	klein
26	Chlorsilane/Silikon	55	1.2	ja/nein	nein	min	0	-	klein
27	HEMC/HPMC	18	0.4	nein	nein	min	0	-	klein
28	Methylcellulose	9	0.2	nein	nein	min	0	-	klein
29	Tetramethylblei	3	0.1	nein	nein	0.01	0	-	gross
30	Chloroform	41	0.9	ja	IIIB	10	0	mittel	mittel
31	Trichlorethylen	30	0.9	ja	IIIB	50	1.5	gross	-
32	Monochloressigsäure	50	1.1	ja	nein	min	0	-	klein
33	Phosphortrichlorid	44	0.9	ja	nein	0.5	0	-	klein
34	Cyanurchlorid	50	1.1	ja	nein	min	0	mittel	klein
35	Chlortoluole	31	0.7	ja	IIIA2	max	0.8	klein	mittel
36	Monochlorethan	15	0.3	ja	IIIA2	max	0.3	mittel	mittel
37	PCB/Pestizide	-	<1.0	ja	IIIA2	max	0	-	gross
38	Chlorwasserstoff	50	1.1	ja	nein	5	0.8	gross	gross
39	Sulfuryl-/Thionylchl.	30	0.7	ja	nein	1	0	-	klein
40	Metallchloride	40	0.9	ja	nein	min	<1	gross	mittel

Die Bewertung des technischen Substitutionspotentials erfolgt auf Basis qualitativer Angaben, welche die vorhandenen Möglichkeiten einer Verfahrens- oder Produktablösung beschreiben. Als Randbedingung gilt, daß die Alternativverfahren technisch möglich und ausgereift sind, bzw. bereits eingesetzt werden. Die Wertung des Substitutionspotentials erfolgt nach 3 Stufen:

- klein: Kein oder sehr geringes Substitutionspotential, keine Alternativverfahren bekannt oder erst im Labormaßstab untersucht;
- mittel: Alternativverfahren sind bekannt, werden derzeit jedoch noch nicht eingesetzt, eventuelle Kuppelprodukte können noch nicht am Markt abgesetzt und/oder weiterverarbeitet werden;
- groß: Allgemein anerkannte Verfahren, welche in der Chemie im In- oder Ausland bereits großtechnisch eingesetzt werden.

Erläuterungen zu den Kennzahlen

Basis vorliegender Untersuchung stellt das "Handbuch Chlorchemie I" dar. Aufgrund verschiedener Kritik an den darin angeführten Daten werden einzelne Korrekturen vorgenommen. Im folgenden werden die vom Handbuch I abweichenden Angaben segmentweise mit Angabe der Quelle angeführt.

PVC (3): Die Gesamtproduktionsmenge PVC betrug 1.320 kt (1987). Nach Schulze/Weiser beträgt der Chlorgehalt in PVC 57 %, daraus ergibt sich eine Chloreinsatzmenge von rund 750 kt.

Ethylendiamin (4): An Produktionskapazitäten für Ethylendiamin werden nach Nolte/Joas rund 18 kt (Bayer AG) angeführt, ob noch weitere Unternehmen Ethylendiamin produzieren ist nicht gesichert (BASF 40 kt), die Chloreinsatzmenge mit < 1 % angenommen.

1,1,1-Trichlorethan (5): gem. Stellungnahme des VCI entsprach die 1987 produzierte Menge einem Chloreinsatz von 64 kt. Bei der Herstellung anfallende CKW-Rückstände betragen nach Schulze/Weiser rd. 15 % der produzierten Menge und ergeben rund 9 kt.

TETRA (7): Die angeführten Importe sind nach VCI um rund 8 kt zu niedrig angesetzt, somit ergibt sich für die Produktion von R11 und R 12 eine verfügbare Chloreinsatzmenge von

rund 115 kt; die Cl-Einsatzmengen für diese Produkte werden entsprechend hochgerechnet.

R 11 (8): nach VCI werden für die Produktion rd. 67 kt Chlor eingesetzt, wovon 17 kt als HCl wieder ausgeschleust werden.

R 12 (9): nach VCI wurden 1987 rund 39,5 kt R 12 erzeugt. Bei der Produktion fallen dabei 23,8 kt in Form von HCl, jedoch keine CKW-Rückstände an. Bezogen auf den Gesamtimport von 115 kt Chlor über TETRA ergibt sich eine Gesamteinsatzmenge von rd. 47 kt für R 12.

MDI (12): In der MAK-Liste 1992 ist der Stoff in Klasse III B (begründeter Verdacht auf Kanzerogenität) angeführt. Nach VCI fallen bei der Herstellung keine CKW-Rückstände an.

Sonstige Anwendung Phosgen (14): Die Produkte sind in erster Linie Mono- und Diisocyanate. Die MAK-Werte für diese Isocyanate liegen bei 0,01 ppm. (HDI, IPDI, NDI, Methylisocyanat).

R 113/R 114/R 115 (16): nach VCI wurden im Bezugsjahr 1987 nicht 22 kt sondern rund 12 kt dieser FCKW hergestellt. Die Chloreinsatzmenge wird dementsprechend von rd. 26 kt auf rd. 14 kt vermindert.

Epichlorhydrin (19): Die Chloreinsatzmenge für die Produktion von 84 kt Epichlorhydrin setzt sich nach VCI aus 39 kt Chlor in Form von Allylchlorid sowie durch zusätzlichen Chloreintrag von 70 kt in Form von unterchloriger Säure zusammen. Im Produkt verbleiben dabei rund 32 kt Chlor.

Epoxidharze (20): gemäß Folienserie des Fonds der Chem. Industrie, Textheft 24 [8], werden rund 80 % des erzeugten Epichlorhydrins zur Erzeugung von Epoxidharzen eingesetzt. Dies entspricht einer Chloreinsatzmenge von rund 26 kt.

Chlorbenzole (22): nach Angaben des Handbuches Chlorchemie II werden rund 80 kt Chlor für die Gesamtproduktion von 102 kt Chlorbenzolen eingesetzt. Die CKW-Rückstände sind mit rund 0,65 kt angegeben. Der Hauptanteil der Produktion liegt bei Mono- und Dichlorbenzolen, höherchlorierte Benzole (Tri-, Tetra-, Penta-, Hexachlorbenzole) besitzen eine geringere Bedeutung hinsichtlich der Chloreinsatzmengen.

Chlornitrobenzole (23): als Ausgangsprodukt dafür können alle oben angeführten Chlorbenzole gesehen werden, wobei Monochlorbenzol als wichtigstes eingesetzt wird. In Summe

werden aus rd. 102 kt Chlorbenzolen rd. 70 kt Cl-Nitro-Benzole hergestellt, der Chloreinsatz beträgt rund 44 kt. Der Rückstandsanfall beträgt nach Handbuch II rund 1,4 kt.

Sonstige Verwendung von Chlorbenzolen (24): rund 30 kt Chloreinsatzmenge, der überwiegende Teil verbleibt in den Produkten, die CKW-Emissionen werden mit < 1 kt angenommen. Die Kennzeichnung Chlorgehalt erfolgt aufgrund unterschiedlicher Produkte mit ja/nein, d.b. einzelne Produkte enthalten Chlor, andere sind chlorfrei.

Chlorsilane/Silikon (26): Die Herstellung der Chlorsilane erfolgt über die Methanolyse, ein Verfahren, bei welchem die eingesetzte Chlor-/Methylchloridmenge größtenteils im Kreis gefahren werden kann. 1987 wurden zur Herstellung der Chlorsilane rund 55 kt Chlor in Form von Methylchlorid eingesetzt. Die Gesamtsilikonproduktion betrug nach Produktionsstatistik 1991 rund 130 kt.

Trichlorethylen (31): nach Schulze/Weiser entstehen an CKW-Rückständen bei der Produktion über Acetylen rund 6 % der erzeugten Trichlorethylenmenge, wobei der Chloreinsatz rund 1,2 t/t Tri beträgt, d.b. Chloreinsatz von 30 kt für 25 kt Produkt und rund 1,5 kt CKW-Rückstände.

Phosphortrichlorid (33): nach Chlorstammbaum des VCI sowie Handbuch Chlorchemie II betrug der Chlorverbrauch 1989 für die Herstellung rd. 44 kt.

Chlortoluole (35): nach Handbuch Chlorchemie II wurden für die Erzeugung von 53 kt Chlortoluolen rund 31 kt Chlor eingesetzt, CKW-Rückstand bei der Herstellung von rd. 0,8 kt. Die Kanzerogenität für α -Chlortoluol wird mit III A2 gekennzeichnet, höherchlorierte Toluole sind in Klasse III A 1 angeführt (MAK-Werte 1992).

Monochlorethan (36): nach Schulze/Weiser beträgt der Anfall von CKW-Rückständen bei der Hydrochlorierung von Ethylen (Fa. CWH) 1-2 % der Ethylchloridmenge und werden mit 0,3 kt angeführt.

PCB/Pestizide (37): Diese sehr umfangreiche Produktpalette ist mengenmäßig schwierig zu erfassen, der Ansatz für die Chloreinsatzmenge wurde mit < 1 % angenommen.

Chlorwasserstoff (38): Die Chloreinsatzmenge nach Stammbaum VCI beträgt 40 kt, jedoch wird hier als Bezugsbasis 3500 kt zugrundegelegt. Die Chloreinsatzmenge wird, bezogen auf die Basismenge von 4600 kt nach Nolte/Joas, auf rund 50 kt hochgerechnet.

Sulfuryl-/Thionylchlorid (39): wie oben erfolgt eine Hochrechnung von 26 kt nach Stammbaum VCI auf rd. 30 kt.

Metallchloride (40): wie oben erfolgt eine Hochrechnung von 33 kt nach Stammbaum VCI auf rund 40 kt Chloreinsatzmenge, CKW-Rückstände werden < 1 kt angenommen.

4. BEWERTUNG UND AUFSTELLUNG DER PRIORITÄREN RANGFOLGE DER SEGMENTE

Für die Ermittlung der Rangfolge der einzelnen Segmente wird ein Vorgehen gewählt, bei welchem auf einer ersten Stufe die drei Auswahlkriterien getrennt voneinander betrachtet werden. Auf der zweiten Stufe erfolgt die Aufstellung der Rangfolge der Einzelsegmente mit Hilfe der Auswahlkriterien, wobei deren Bedeutung hinsichtlich einer Konversion entsprechend, eine Gewichtung vorgenommen wird.

Die Gewichtung der Auswahlkriterien auf der zweiten Stufe erfolgt nach dem Schlüssel:

— Mengenrelevanz	4-fach
— Umweltrelevanz	3-fach
— Substitutionsmöglichkeiten	2-fach

Im Hinblick auf eine "Konversion Chlorchemie" wird dem Kriterium der Mengenrelevanz die höchste Bedeutung zugemessen, die Umweltrelevanz sowie die technischen Substitutionsmöglichkeiten werden mit abnehmender Bedeutung berücksichtigt. Die Ergebnisse bei Verwendung anderer Gewichtungsschemata sind in Anhang A dargestellt.

Auf der ersten Stufe werden für die zu den einzelnen Segmenten ermittelten Kennzahlen Bewertungsklassen gebildet. Die Klassenanzahl variiert zwischen 3 und 5. Als Bewertungsskalierung wird jedoch jedem der Einzelkriterien ein Wertebereich mit Minimalwert 1 und Maximalwert 5 Punkten zugrundegelegt.

Hohe Punktzahlen bedeuten hinsichtlich der Mengenrelevanz höhere Chloreinsatzmengen, hinsichtlich der Umweltrelevanz höhere Belastungen von Mensch und Umwelt. Hinsichtlich der Substitutionsmöglichkeiten bezeichnen hohe Punktzahlen bessere Möglichkeiten eines Ersatzes der Produkte oder einer Umstellung der Produktionsverfahren auf chlorfreie Routen.

Die Tabelle 4.1 zeigt die Klasseneinteilung der Kriterien und die als Skalierungsmaßstab zugrundegelegte Punktzahl.

Tabelle 4.1: Einzelkriterien, Klasseneinteilung und Bewertungsskalierung

Bewertung	1	2	3	4	5
Kriterien					
Menge					
- Chloreinsatzmenge [%]	<1	1-2	2-5	5-10	>10
Umwelt					
- Chlorgehalt	nein	-	ja/nein	-	ja
- Kanzerogenität	nein	-	IIIB		IIIA1/IIIA2
- MAK-Wert [ppm]	min.	1000-50	<50-1	<1	max.
- CKW-Rückstände [kt]	<1	1-2	2-5	5-10	>10
Substitution					
- Verfahren	klein	-	mittel	-	groß
- Produkt	klein	-	mittel	-	groß

Im folgenden Schritt der ersten Stufe werden die Einzelkriterien der jeweiligen Segmente gemäß obiger Skalierung bewertet. In Tabelle 4.2 ist das Ergebnis dieser numerischen Einzelbewertung dargestellt.

Die Berechnung der Mittelwerte der Auswahlkriterien erfolgt durch arithmetische Mittelwertbildung. Im Falle des Fehlens einzelner Bewertungen, wird nur die Anzahl vorhandener Werte berücksichtigt. Die Werte der Spalte "Mittel" geben das Ergebnis der Bewertung der Auswahlkriterien wieder.

Tabelle 4.2: Bewertung der Einzelkriterien und Mittelwerte der Auswahlkriterien

Seg.	Bezeichnung	Mengen		Umwelt				Substitution			
		Chlor-		Chlor-	Krebs-	MAK-	CKW-	Verf.-	Prod.-		
		einsatz	Mittel	gehalt	err. Pot.	Wert	Rstd.	subst.	subst.	Mittel	
1	EDC	5	5.00	5	5	5	5	5.00	-	3	3.00
2	VC	5	5.00	5	5	5	2	4.25	5	3	4.00
3	PVC	5	5.00	5	1	1	1	2.00	-	3	3.00
4	Ethylendiamin	1	1.00	1	1	3	1	1.50	5	-	5.00
5	1,1,1-Trichlorethan	2	2.00	5	1	2	4	3.00	-	5	5.00
6	Propylenoxid	5	5.00	1	5	5	5	4.00	5	-	5.00
7	TETRA	3	3.00	5	3	3	4	3.75	-	5	5.00
8	R 11	2	2.00	5	1	2	1	2.25	-	5	5.00
9	R 12	2	2.00	5	1	2	1	2.25	-	5	5.00
10	Phosgen	4	4.00	5	1	4	1	2.75	1	3	2.00
11	TDI	3	3.00	1	1	4	2	2.00	3	1	2.00
12	MDI	2	2.00	1	3	4	1	2.25	3	1	2.00
13	Polycarbonate	1	1.00	1	1	1	1	1.00	3	1	2.00
14	Sonst. Anw. Phosgen	2	2.00	1	1	4	1	1.75	3	3	3.00
15	PER	3	3.00	5	3	2	4	3.50	1	3	2.00
16	R 113/R 114/R 115	1	1.00	5	1	2	1	2.25	-	5	5.00
17	Dichlormethan	2	2.00	5	3	2	3	3.25	-	3	3.00
18	Allylchlorid	3	3.00	5	3	3	5	4.00	1	1	1.00
19	Epichlorhydrin	3	3.00	5	5	5	4	4.75	3	1	2.00
20	Epoxidharze	1	1.00	1	1	1	1	1.00	1	1	1.00
21	Chlorbleiche	3	3.00	5	1	4	1	2.75	5	3	4.00
22	Chlorbenzole	2	2.00	5	1	2	1	2.25	1	1	1.00
23	Chlornitrobenzole	1	1.00	5	3	5	2	3.75	1	1	1.00
24	Sonst. Verw. Chlorbenz.	1	1.00	3	1	2	1	1.75	1	1	1.00
25	Methylchlorid	2	2.00	5	3	2	3	3.25	-	1	1.00
26	Chlorsilane/Silikon	2	2.00	3	1	1	1	1.50	-	1	1.00
27	HEMC/HPMC	1	1.00	1	1	1	1	1.00	-	1	1.00
28	Methylcellulose	1	1.00	1	1	1	1	1.00	-	1	1.00
29	Tetramethylblei	1	1.00	1	1	4	1	1.75	-	5	5.00
30	Chloroform	1	1.00	5	3	3	1	3.00	3	3	3.00
31	Trichlorethylen	1	1.00	5	3	2	2	3.00	5	-	5.00
32	Monochloressigsäure	2	2.00	5	1	1	1	2.00	-	1	1.00
33	Phosphortrichlorid	1	1.00	5	1	4	1	2.75	-	1	1.00
34	Cyanurchlorid	2	2.00	5	1	1	1	2.00	3	1	2.00
35	Chlortoluole	1	1.00	5	5	5	1	4.00	1	3	2.00
36	Monochlorethan	1	1.00	5	5	5	1	4.00	3	3	3.00
37	PCB/Pestizide	1	1.00	5	5	5	1	4.00	-	5	5.00
38	Chlorwasserstoff	2	2.00	5	1	3	1	2.50	5	5	5.00
39	Sulfuryl-/Thionylchl.	1	1.00	5	1	3	1	2.50	-	1	1.00
40	Metallchloride	1	1.00	5	1	1	1	2.00	5	3	4.00

Die Ermittlung der Rangfolge der Segmente erfolgt auf der zweiten Stufe durch Einführung einer Gewichtung der Auswahlkriterien, wobei das Kriterium Menge mit höchster Gewichtung (4-fach), die weiteren Kriterien mit abnehmender Gewichtung, d.s. Umwelt (3-fach) und Substitution (2-fach), in die Bewertung einfließen.

Die Segmentrangfolge ist in Tabelle 4.3 dargestellt.

Die Berechnung der Wertgröße der einzelnen Segmente (Spalte "Bewertung") erfolgt durch Summierung der mit der entsprechenden Gewichtung versehenen Mittelwerte der Auswahlkriterien unter anschließender Reskalierung auf den Wertebereich von 1 bis 5. Für die weitere Untergliederung der Segmentrangfolge werden drei Prioritätsklassen gebildet, deren Klassengrenzen an die Drittelpunkte der Bewertungssumme aller Segmente gelegt werden.

Zur Abstützung der ermittelten Rangfolge der Segmente werden anhand einer Sensitivitätsanalyse mit variierten Gewichtungen der Auswahlkriterien weitere Segmentrangfolgen entwickelt und die Ergebnisse einander gegenübergestellt. Die detaillierten Berechnungen sowie eine Gegenüberstellung aller ermittelten Rangfolgen sind als Anhang A dem vorliegenden Bericht beigelegt.

Für die Auswahl der im Rahmen der Hauptuntersuchung weiter zu verfolgenden Segmente der Chlorchemie wird vorgeschlagen, in erster Linie jene Segmente der beiden oberen Prioritätsklassen (I und II) zu berücksichtigen. In dem bisherigen Ablauf der Prioritätensetzung wurden alle zu Beginn ermittelten Segmente, somit auch jene mit K.O.-Kriterien, in den Bewertungsvorgang einschließlich der Prioritätsklassenbildung einbezogen. Zur Erreichung einer zweckmäßigen Segmentauswahl hinsichtlich ihrer zukünftigen Bedeutung wird jedoch an dieser Stelle der Gesamtumfang der Einzelsegmente um die Segmente, für welche ein sog. K.O.-Kriterium vorliegt, reduziert.

Tabelle 4.3: Rangfolge der Einzelsegmente mit Prioritätsklassen
(Gewichtung: Menge 4-fach, Umwelt 3-fach, Substitution 2-fach)

Segm.	Bezeichnung	4;3;2;	Summe	K.O.-Krit.	Priorität
6	Propylenoxid	4.67	4.67		I
1	EDC	4.56	9.23		I
2	VC	4.53	13.76		I
7	TETRA	3.69	17.45	ja	
3	PVC	3.58	21.01		I
19	Epichlorhydrin	3.36	24.37		I
10	Phosgen	3.14	27.51		I
21	Chlorbleiche	3.14	30.65	ja	
5	1,1,1-Trichlorethan	3.00	33.65	ja	
15	PER	2.94	36.59		II
18	Allylchlorid	2.89	39.48		II
37	PCB/Pestizide	2.89	42.37		II
38	Chlorwasserstoff	2.83	45.20		II
8	R 11	2.75	47.95	ja	
9	R 12	2.75	50.70	ja	
17	Dichlormethan	2.64	53.34		II
31	Trichlorethylen	2.56	55.90		II
11	TDI	2.44	58.34		II
36	Monochlorethan	2.44	60.78		II
16	R 113/R 114/R 115	2.31	63.09	ja	
35	Chlortoluole	2.22	65.31		III
25	Methylchlorid	2.19	67.50		III
14	Sonst. Anw. Phosgen	2.14	69.64		III
29	Tetramethylblei	2.14	71.78	ja	
30	Chloroform	2.11	73.89	ja	
12	MDI	2.08	75.97		III
4	Ethylendiamin	2.06	78.03		III
34	Cyanurchlorid	2.00	80.03		III
40	Metallchloride	2.00	82.03		III
23	Chlornitrobenzole	1.92	83.95		III
22	Chlorbenzole	1.86	85.81		III
32	Monochloressigsäure	1.78	87.59		III
26	Chlorsilane/Silikon	1.61	89.20		III
33	Phosphortrichlorid	1.58	90.78		III
39	Sulfuryl-/Thionylchl.	1.50	92.28		III
24	Sonst. Verw. Chlorbenz.	1.25	93.53		III
13	Polycarbonate	1.22	94.75		III
20	Epoxidharze	1.00	95.75		III
27	HEMC/HPMC	1.00	96.75		III
28	Methylcellulose	1.00	97.75		III
	Gesamtsumme	97.75			
	Prioritätsklassen	I	< 32.58		
		II	< 65.17		
		III	< 97.75		

Das bisher durchgeführte Verfahren der Prioritätensetzung unter Betrachtung der Einzelsegmente der Chlorchemie stellt einen möglichen Weg zur Reduktion der Komplexität des Gesamtsystems Chlorchemie dar. Im Hinblick auf eine Konversion ist es jedoch aufgrund der vielfältigen stofflogistischen und verfahrenstechnischen Vernetzung verschiedener Segmente untereinander nicht zielführend, nur einzelne, prioritäre Segmente auszuwählen und separat weiter zu untersuchen.

Für die Auswahl und künftige Bearbeitung ist es daher erforderlich, einzelne Segmente entsprechend ihrer Verknüpfungen auf Stufe Produkt und/oder Verfahrensablauf zu zusammenhängenden Bereichen der Chlorchemie zusammenzuführen.

In Tabelle 4.4 sind die mit Priorität I und II ausgewiesenen Segmente angeführt und in für die weitere Bearbeitung zweckmäßige Bereiche zusammengefaßt.

Abschließend werden insgesamt 9 Chlorchemiebereiche vorgeschlagen, welche im Rahmen der Hauptstudie im Hinblick auf eine mögliche Konversion zu untersuchen sind. In die als prioritär ausgewählten Bereiche fließen rund 70 % der gesamten, im System Chlorchemie erforderlichen Chloreinsatzmenge, die vier komplexen Bereiche der obersten Prioritätsstufe stellen davon 80 %.

in Anhang B sind erläuternde Steckbriefe zu den prioritären Bereichen abgedruckt.

Tabelle 4.4: Prioritäre Bereiche der Chlorchemie

Prioritäts- klasse	Bereich	Segment	Bezeichnung	Chloreinsatz- menge	
I	1	6	Propylenoxid	16,5 %	
		2	1	EDC	32,3 %
			2	VC	
	3		PVC		
	3	18	19	Allylchlorid	2,4 %
			20	Epichlorhydrin	
				Epoxidharze	
	4	10	11	Phosgen	5,9 %
			12	TDI	
			13	MDI	
14			Polycarbonate		
			Sonst. Anw. Phosgen		
II	5	37	PCB/Pestizide	<1,0 %	
	6	15	PER	5,5 %	
	7	17	Dichlormethan	4,3 %	
	8	38	Chlorwasserstoff	1,1 %	
	9	31	Trichlorethylen	0,9 %	
	10	36	Monochlorethan	0,3 %	

5. VORGEHENSWEISE BEI DER METHODISCHEN VORUNTERSUCHUNG FÜR DIE HAUPTSTUDIE

Die Absicht dieses Teiles der Voruntersuchung ist eine doppelte: Sie will zum einen in Form einer Untersuchungsstruktur oder einer Art Fragebogen diejenigen Fragen und Gliederungsschemata zusammenstellen, die für die vorliegende Problemstellung bisher als relevant erkannt worden sind. Zum anderen will sie Wege aufzeigen, auf welche Weise die aufgeworfenen Fragen beantwortet werden können.

Um mit dem zweiten Teil zu beginnen, so hat sich sehr schnell herausgestellt, daß die Aufgabe nicht theoretisch und abstrakt geklärt werden kann, sondern sich erst im Zuge der Untersuchung eines konkreten Gegenstandes in all ihren Facetten entfaltet. Die gewählte Vorgehensweise besteht darin, exemplarisch für einen Bereich der Chlorchemie zu demonstrieren, welche Wege sich als gangbar erweisen, wo Schwierigkeiten auftauchen und welche Möglichkeiten bestehen, sie zu überwinden. Bei dem ausgewählten Bereich handelt es sich um die Herstellung von Propylenoxid. Er nimmt in der Prioritätsliste unter den Bereichen der Chlorchemie den ersten Rang ein.

Die Gefahr, die in dieser Vorgehensweise liegt, besteht darin, daß nach Abschluß der Arbeiten zwar alle verfügbaren Antworten über den ausgewählten Bereich der Chlorchemie vorliegen, aber nicht bekannt ist, ob die Verhältnisse in den anderen Bereichen ähnlich oder ganz anders gelagert sind und dort möglicherweise andere Probleme bei der Informationsbeschaffung entstehen. Deswegen wurde versucht, jeweils im Anschluß an die exemplarische Bearbeitung eines Fragenkomplexes in einem eigenen Arbeitsschritt darzulegen, inwieweit die Art und Weise, mit der die exemplarischen Ergebnisse erzielt werden konnten, auf die anderen Bereiche der Chlorchemie übertragbar ist. Häufig genug, so ist selbstkritisch anzumerken, ist die Evidenz, die angeführt werden kann, daß die verwendeten Informationsquellen in ähnlicher Weise auch für die anderen Bereiche der Chlorchemie vorliegen, nur recht schwach. Einschränkend muß ferner darauf hingewiesen werden, daß es sich bei dem ausgewählten Bereich zwar um einen sehr wichtigen, andererseits aber relativ überschaubaren, also "einfachen" Bereich der Chlorchemie mit nur wenigen beteiligten Unternehmen handelt.

Die Gliederung, in der die Ergebnisse für den ausgewählten Bereich vorgelegt werden, entspricht genau der gefundenen Abfolge der Fragen und Gliederungsschemata, deren Entwicklung Gegenstand des ersten Teiles der methodischen Voruntersuchung darstellt. Der Fragenkatalog des ersten Teils der methodischen Voruntersuchung kann für den zweiten Teil mit den

exemplarischen Ergebnissen wie eine Checkliste verwendet werden, auf der abgehakt werden kann, welche Fragen behandelt und welche Ergebnisse erzielt wurden.

Es bestand von vornherein nicht der Ehrgeiz, in dem exemplarisch bearbeiteten Bereich alle Fragen in einer Weise zu beantworten, die vollständig befriedigt. Zu den verbliebenen Lücken zählen insbesondere Fragen zu der chemischen Verfahrenstechnik in engerem Sinne und zu dem Emissionsvergleich der beiden Verfahren. Andererseits hat die intensive Beschäftigung mit diesem Bereich zu einer Reihe neuer und relevanter Erkenntnisse geführt. Referenz des Kenntnisstandes, von dem die Bearbeitung des Bereichs ihren Ausgang nahm, ist der Abschnitt über Propylenoxid in Heft 24 der "Folienserie" des Fonds der Chemischen Industrie über "Die Chemie des Chlors und seiner Verbindungen". Der entsprechende Textabschnitt ist in der vorliegenden Studie als Vorspann zu dem Abschnitt mit den ausgearbeiteten exemplarischen Ergebnissen über Propylenoxid abgedruckt. Den Abschluß dieses Abschnittes bildet eine Übersicht, in der die "Neuigkeiten" in Stichworten zusammengestellt sind.

Ein Fragenkatalog, der, wie hier beabsichtigt, als Grundlage für die Formulierung einer Politik fungieren soll, kann seiner Natur nach nicht abschließend sein. Er ist notwendig geprägt von Vorwissen, Vor-Urteilen und Untersuchungsziel. Sei er noch so umfassend, so kann doch jederzeit in der gesellschaftlichen Realität ein neuer, bisher nicht bedachter Wirkungsfaktor als entscheidendes Argument die Diskussion bestimmen. Der hier verfolgte Anspruch besteht darin, ein Untersuchungsraaster zu entwickeln, das in sich schlüssig ist, möglichst alle eintretenden Wirkungen erfaßt und sich zugleich auf die tatsächlich relevanten Fragen beschränkt. Der besondere Akzent des hier vorgeschlagenen Untersuchungsraasters wird am klarsten deutlich durch die Unterschiede zu anderen, ähnlich gelagerten Untersuchungen. Die wesentlichen Momente sind dabei:

- die Loslösung von einer weitestgehenden Beschränkung auf die Chemische Industrie;
- die durchgehende Problematisierung chlorfreier Optionen im Hinblick auf ihre sonstigen Umweltauswirkungen;
- die Hervorhebung der potentiell mit einer Umstellung verbundenen Kosten.

Die bisherige starke Orientierung der Blickrichtung auf die Chemische Industrie macht es schwer, wahrzunehmen, daß in den Bereichen der Chlorchemie, in denen das Endprodukt chlorhaltig ist, und eine Verminderung des Chloreinsatzes mit einem Minderverbrauch des Produktes einhergeht, wirtschaftliche Wirkungen in viel größerem Ausmaß in den Bereichen auftreten, die das Produkt anwenden als in der Chemischen Industrie selbst. Das beste Beispiel dafür ist das PVC, dessen Wert nach den Ergebnissen der Prognos-Studie über "Techniken zur

Vermeidung, Verwertung und alternativen Entsorgung von Rückständen am Beispiel der Chlorchemie" in Form von Roh-PVC etwa 1,7 Mrd. DM beträgt, und in Form von Erzeugnissen der Kunststoffverarbeitenden Industrie aus PVC etwa 8 Mrd. DM, also knapp das Fünffache. Bei einem Verwendungsverzicht von PVC wird sich mit anderen Worten in der Kunststoffverarbeitenden Industrie und in den Branchen, die deren Produkte für die Herstellung ihrer Erzeugnisse verwenden, wie z.B. die Elektrotechnik, die Kfz-Industrie und das Baugewerbe, jeweils eine Wirkung (und ein Anpassungsbedarf) einstellen, die gemessen an den bisher erzielten Umsätzen bis zu fünfmal so stark sein wird wie in der Chemischen Industrie.

Mit der vorliegenden Untersuchungsstruktur wird ein umfassender Vergleich der Bereiche der Chlorchemie mit ihren chlorfreien Alternativen im Sinne einer Produktlinienanalyse nicht intendiert. Jedoch ist immer wieder neu zu problematisieren und zum Untersuchungsgegenstand zu machen, ob chlorfreie Alternativen auch bei einer umfassenden Einbeziehung anderer Umweltaspekte insgesamt die bessere Wahl darstellen. Dies gilt sowohl für den Fall, in dem ein chlorhaltiges Produkt durch ein anderes Produkt substituiert, als auch für den Fall, in dem ein chemisches Syntheseverfahren auf eine chlorfreie Route umgestellt werden kann.

Der dritte besondere Akzent der hier entwickelten Untersuchungsstruktur liegt in der Hervorhebung der mit einer potentiellen Umstellung verbundenen Kosten. Hier kommt der Kontext zur Wirkung, der der Vorstudie ihren Namen gegeben hat: "Konversion" bezieht sich im umgangssprachlichen Gebrauch allgemein auf die Umstellung auf eine andere ökonomische Tätigkeit und speziell auf die Möglichkeit einer Umrüstung oder Umwidmung bestehender investiver Anlagen für eine andere Nutzung. In dem Maße, in dem eine solche Umrüstung oder Umwidmung hier möglich ist, bleiben die Kosten einer Umstellung gemessen an den aufzuwendenden Investitionen niedrig. Dies gilt auch für ein zweites Kriterium, anhand dessen die Kosten gemessen werden. Dabei handelt es sich um die Umsatzeinbußen, die den bisher in einem chlorchemischen Produkt oder Verfahren engagierten Unternehmen durch die Umstellung entstehen. Wenn eine Konversion im obengenannten engeren Sinne technisch möglich ist, ist damit impliziert, daß in der Regel auch die Umsätze bei den bisher engagierten Unternehmen verbleiben.

Zum Abschluß der Übersicht über die Vorgehensweise soll noch auf die angestrebte Beschränkung auf die relevanten Fragen eingegangen werden. Chemiker mögen (mit Recht) die Suche nach neuen Synthesemöglichkeiten oder neuen (Ersatz-)Stoffen als die tatsächlich relevanten Fragen ansehen. Für sie steht die Erschließung neuer Optionen im Vordergrund ihres beruflichen Interesses. Auch für die Umweltpolitik mag es ein nützlicher und fruchtbarer Ansatz sein, über den es sich weiter nachzudenken lohnte, wie sie mit ihren Instrumenten verursachen könnten, daß den vorhandenen Optionen neue hinzugefügt werden. Dieser Fragenkreis ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchungsstruktur.

6. DIE ENTWICKELTE UNTERSUCHUNGSSTRUKTUR

6.1 Grobgliederung

Die Untersuchungsstruktur beginnt mit der

- a) **Aufnahme des Ist-Zustandes.**
Mit Ist-Zustand ist der gegenwärtige Zustand in den prioritären Bereichen der Chlorchemie gemeint. Die Aufnahme des Ist-Zustandes dient einer allgemeinen Orientierung über den Bereich und stellt Fakten zusammen, auf die weitere Analysen aufbauen. Darauf folgen unter der Fragestellung "Was kann man tun?":
- b) **Technische Optionen**
zur Verminderung des Chlorverbrauchs. Sie können an verschiedenen Stellen ansetzen. Technisch verfügbare Optionen mögen jedoch unter Umweltaspekten bei anderen Kriterien Nachteile aufweisen, so daß geprüft werden muß, ob sie wünschbar sind:
- c) **Vergleich der Option und des Ist-Zustandes unter Umweltaspekten.**
Für die Politik ebenso wie für die einzelnen Bürger und die betroffenen Unternehmen wichtige Fragen sind die voraussichtlichen
- d) **Kosten der Umstellung.**
Sie stehen teilweise in engem Zusammenhang mit dem letzten Punkt, den möglichen
- e) **Fristen der Umstellung.**

6.2 Aufnahme des Ist-Zustandes

Die genaue Abgrenzung des Bereichs, für den eine Ist-Aufnahme erfolgen soll, ergibt sich aus der Abgrenzung der untersuchten prioritären Bereiche der Chlorchemie einerseits und dem ausgewählten Ansatzpunkt der technischen Option andererseits. Handelt es sich um Verfahrensoptionen mit unverändertem Produkt, dann bezieht sich die Ist-Aufnahme direkt auf das Verfahren und sein Umfeld sowie auf die ihm vorgelagerten Bereiche. Handelt es sich um eine Produkt-Option, dann ist die Ist-Aufnahme für die Ebene der Vorleistungs-Verflechtungskette zu leisten, auf der die Option ansetzt, sowie für die vorgelagerten Bereiche.

Die Ist-Aufnahme erstreckt sich auf die folgenden Merkmale:

- Anteil an der Chloreinsatzmenge
- Hersteller, Standorte, Kapazitäten in Deutschland
- Jahr der Anschaffung/Inbetriebnahme der Anlagen
- zeitliche Entwicklung der inländischen Produktion nach Menge und Wert
- Preis des Produktes und seine wichtigsten Bestimmungsfaktoren
- Außenhandelsbeziehungen mit dem Produkt
- Verwendung des Produkts (use pattern)
- Herstellungsverfahren (vereinfacht)
- Herkunft der Einsatzstoffe

6.3 Technische Optionen

Den technischen Optionen ist gemeinsam, daß ihre Realisierung auf irgend eine Art den Chloreinsatz gegenüber dem bisherigen Zustand vermindert. Es kann sich um Optionen handeln, die bestehende (chlorchemische) Verfahren optimieren oder durch andere Verfahren ersetzen wollen, oder die die Verwendung Chlor enthaltender Produkte betreffen.

Mit der technischen Option geht eine orientierende Beschreibung ihrer Umstände und Anwendungsbedingungen einher. Diese Beschreibung bezieht sich auf die folgenden Merkmale:

- Grad der Entwicklung des Produktes/Verfahrens
- Art und Ort der Anwendung im Großmaßstab
- bei Substituten: jetzige Verwendung des Produkts
- Herstellungsverfahren (vereinfacht)
- Herkunft der Einsatzstoffe
- bei Substituten: abweichende Einsatzbedingungen aufgrund der Eigenschaften des Substituts

Die Entwicklung von Optionen bei Produktumstellungen setzt voraus, daß Kenntnis über die verschiedenen Verarbeitungsstufen besteht, die das betreffende Produkt bei seinem Durchgang durch die wirtschaftliche Vorleistungs-Verflechtungskette durchläuft.

6.4 Vergleich der Option und des Ist-Zustandes unter Umweltaspekten

Ein allgemeiner Konsens über die methodisch richtige Vorgehensweise beim Vergleich zweier Produkte oder Verfahren unter Umweltaspekten existiert noch nicht. Es wird vorgeschlagen, sich auf die direkten Emissionen in die Luft, das Wasser und in Form von "gefaßten" Stoffen (Abfälle, Reststoffe) zu beschränken. Solche Emissionen können ganz ähnlich wie die im nächsten Abschnitt betrachteten Kosten auf verschiedenen Verarbeitungsstufen auftreten.

Bei Verfahrensoptionen sind die Emissionen relevant, die bei den betrachteten Verfahren selbst, bei der Herstellung der für die Verfahren benötigten Inputs (einschl. der Chloreinsatzmenge) und - wegen eventuell vorhandener produktionstechnischer Zusammenhänge mit Kuppelprodukten, deren anderweitige Herstellung je nach Verfahren künftig nicht mehr oder ersatzweise zusätzlich erforderlich ist - bei der Herstellung von Kuppelprodukten auftreten.

Bei Produktoptionen sind Emissionen relevant, die bei der Herstellung der Produkte, bei der Herstellung der für ihre Produktion benötigten Inputs (einschl. der Chloreinsatzmenge) und auf allen Ebenen der Produkthanwendung entstehen, wobei im Anschluß an die letzte Stufe der Anwendung die Produkte selbst zu Emissionen werden und mit ihren Eigenschaften auf den Vergleich Einfluß nehmen.

Im Prinzip wäre es erforderlich, die Emissionen aller Stoffe zu erfassen. Sie könnten in einem zweiten Schritt nach ihrer Umweltrelevanz bewertet und in einem dritten Schritt zu einem gemeinsamen Indikator zusammengefaßt werden.

Zum Teil werden bei der Beschreibung von Emissionen Kategorisierungsschemata verwendet, die eine Kombination von Stoff und Bewertung darstellen. Bei Abwasser wird z.B. unterschieden nach

- leicht abbaubaren Stoffen,
- schwer abbaubaren Stoffen
- Salzen
- Schwermetallverbindungen
- Abwärme.

6.5 Kosten der Umstellung

Die Bezeichnung "Kosten" hat hier zunächst eine intuitiv-umgangssprachliche, unscharfe Bedeutung und bedarf der Präzisierung, wenn daraus eine operationalisierbare Meßvorschrift werden soll. Hier wird vorgeschlagen, die "Kosten" der Realisierung einer Option in dreifacher Weise aufzufassen:

1. Kosten sind Ausgaben mit investivem Charakter, die im Zuge der Realisierung der Option bei allen Beteiligten getätigt werden.

Die voraussichtliche Höhe dieser Kosten hängt wesentlich von den verfahrenstechnischen Umständen der Realisierung der Option ab. Dabei können die folgenden Fälle unterschieden werden:

- die Option kann durch eine Umrüstung der bestehenden Anlage realisiert werden (Konversion im engeren Sinne);
- die Option kann durch den Kauf und Einsatz neuer Ausrüstungsgüter realisiert werden, wobei für die obsolet gewordenen alten Ausrüstungsgüter eine anderweitige Nutzung gefunden wird;
- die Option kann durch den Kauf und Einsatz neuer Ausrüstungsgüter realisiert werden, wobei die obsolet gewordenen alten Ausrüstungsgüter nicht weiter verwendet werden.

Diese drei Möglichkeiten gelten je Option im Prinzip für jedes betroffene Unternehmen auf jeder Stufe der wirtschaftlichen Vorleistungs-Verflechtungskette.

Anhaltspunkte dafür, inwieweit eine Konversion im engeren Sinne in der jeweils betrachteten Option möglich ist, lassen sich aus einer vergleichenden Gegenüberstellung der verschiedenen Anlagenkomponenten und Ihrer wichtigsten Betriebsparameter ableiten.

2. "Kosten" entstehen den Käufern der von einer Option betroffenen Produkte, wenn nach einer Verfahrensumstellung das Produkt oder nach einer Produktumstellung das Endprodukt teurer ist als zuvor. Einen Maßstab dafür, ob es sich um "fühlbare" oder "relevante" Kostensteigerungen handelt, kann man aus den effektiven Preisveränderungen des betroffenen Produktes in der jüngeren Vergangenheit ableiten: fühlbar sind mit der Realisierung einer Option verbundene Kostensteigerungen z.B. dann, wenn sie die Bandbreite verlassen, in der sich in der Vergangenheit der Preis des betreffenden Produktes bewegt hat.
3. Kosten sind die aufgrund der Realisierung der Option eintretenden Umsatzeinbußen bei allen bisher in der wirtschaftlichen Vorleistungs-Verflechtungskette beteiligten Unternehmen.

Diesen optionsbedingten Umsatzeinbußen stehen Umsatz-Zugewinne bei anderen Unternehmen gegenüber, die in vielen Fällen zumindest der Größenordnung nach gleich hoch sein werden wie die Umsatzeinbußen. Theoretisch sind insofern bei vielen Optionen keine "Kosten" für die Wirtschaft insgesamt zu erwarten. Dies schließt jedoch zum Teil erhebliche Umstrukturierungen zwischen Unternehmen und Wirtschaftszweigen nicht aus. Die dadurch möglicherweise bedingten Funktionsverluste können sogar sehr groß werden und zu nachhaltigen regionalen, sektoralen oder gesamtwirtschaftlichen "Kosten" führen. Dies schlägt sich dann meist auch in Arbeitsplatzverlusten, Geschäftsaufgaben und ähnlichem nieder.

Angesichts ihrer Bedeutung muß auch diese Art von "Kosten" zum Untersuchungsgegenstand gemacht werden, selbst wenn der Zugang zu den notwendigen Fakten - einzelne Transaktionen mit bestimmten Produkten zwischen Unternehmen - oft noch weniger gewährleistet erscheint als im Falle technischer Details einzelner Anlagen. Dennoch erscheint zumindest ein Versuch, die verschiedenen Stufen der Vorleistungsverflechtung zu identifizieren, zwingend erforderlich.

Diese Art von Kosten kann auch als Indikator für weitere Auffassungen von "Kosten" gesehen werden, wie z.B. der Zahl der an ihrem Arbeitsplatz von einer Umstellung betroffenen Beschäftigten oder der mit der Aufgabe eines Geschäftszweiges entgangenen Gewinne.

6.6 Fristen der Umstellung

Wenn eine Option technisch machbar, umweltpolitisch wünschbar und ökonomisch tragbar ist, stellt sich als nächstes die Frage nach den Fristen, innerhalb derer die Option realisiert werden kann. Für die Bestimmung solcher Fristen kann es z.B. von Belang sein, welche Laufzeiten langfristige Lieferverträge haben, die bei der Realisierung einer Option gekündigt werden müßten, oder welche Einarbeitungs- und Umschulungszeiten für Beschäftigte entstehen. Am wichtigsten für die Bestimmung von Übergangsfristen ist jedoch, inwieweit die betroffenen Verfahren und Prozeduren durch die Funktionsweise der vorhandenen investiven Ausrüstungsgüter festgelegt sind, so daß die Optionen nicht ohne Kosten im Sinne investiver Aufwendungen realisiert werden kann.

An Fakten für die Eingrenzung solcher Fristen müßte bekannt sein,

- welche verfahrenstechnischen Zusammenhänge hinsichtlich bestehender Freiheitsgrade und getroffener Festlegungen bei der optionsinduzierten Umstellung vorliegen,
- wie alt die betreffenden Ausrüstungsgüter sind,
- welche Investitionszyklen in der betreffenden Branche normalerweise gelten.

7. EXEMPLARISCHE ERGEBNISSE FÜR DEN BEREICH PROPYLENOXID

7.1 Der Kenntnisstand bei Beginn der Arbeiten

Als Bezugspunkt für die Darstellung wird im folgenden der Text zu Propylenoxid aus Heft 24 der Folienserie des Fonds der Chemischen Industrie über "Die Chemie des Chlors und seiner Verbindungen" [8] wiedergegeben.

Epoxipropan (Propylenoxid)	2.2
----------------------------	-----

Allgemein	2.2.1
-----------	-------

Epoxipropan ist ein wichtiges petrochemisches Zwischenprodukt. Sein Derivat 1,2-Propandiol wird zu zirka 60 Prozent als Alkoholkomponente für Polyurethane, die als Kunststoffe eine weite Anwendung finden, und zur Herstellung von Alkyd- und Polyesterharzen eingesetzt. Propandiol ist auch Bestandteil von Hydraulik-Bremsschmierstoffen und

Frostschutzmitteln und dient als Lösemittel für Farbstoffe und Aromen in der Nahrungsmittelindustrie sowie als Feuchthaltemittel in der Tabakindustrie. Die Polyaddition liefert Polypropenglykole, die zum Beispiel bei den nichtionogenen Wasch- und Reinigungsmitteln Verwendung finden.

Die Herstellung von Epoxipropan hat steigende Tendenz (Tabelle 3).

Tabelle 3: Epoxipropan-Produktion (in 1000 t):

	1981	1983	1985	1990
USA	806	825	831	1225
WE	777	905	966	1250
BRD	415	492	510	590
Japan	186	218	234	304

Die Kapazitäten weltweit betragen 1989/90 zirka 3.300.000 Tonnen.

Die bislang entwickelten Verfahren zur Herstellung von Epoxipropan lassen sich in drei Gruppen einteilen.

1. Direkte Oxidationsprozesse (nicht-katalytisch, katalytisch)
2. Chlorhydrinprozeß
3. Indirekte Oxidationsprozesse (Cooxidationsverfahren, Oxidation mit Wasserstoffperoxid, Persäure).

Die Direktoxidationsverfahren von Propen analog dem Verfahren zur Herstellung von Oxiran (Epoxidethan) ließen sich bislang technisch nicht realisieren, da bevorzugt die allylständige Methylgruppe angegriffen wird. Bei geringen Selektivitäten und Umsätzen bildet sich eine Vielzahl von Nebenprodukten auf Basis C₁-, C₂- und C₃-Einheiten. Geprüft wurden Ver-

fahren in der Flüssig- und Gasphase sowie in Nitratsalzschnmelzen.

Großtechnisch werden der Chlorhydrinprozeß und die indirekten Oxidationsverfahren durchgeführt; sie sind weltweit zu je 50 Prozent an der Produktion beteiligt.

Indirekte Oxidationsprozesse

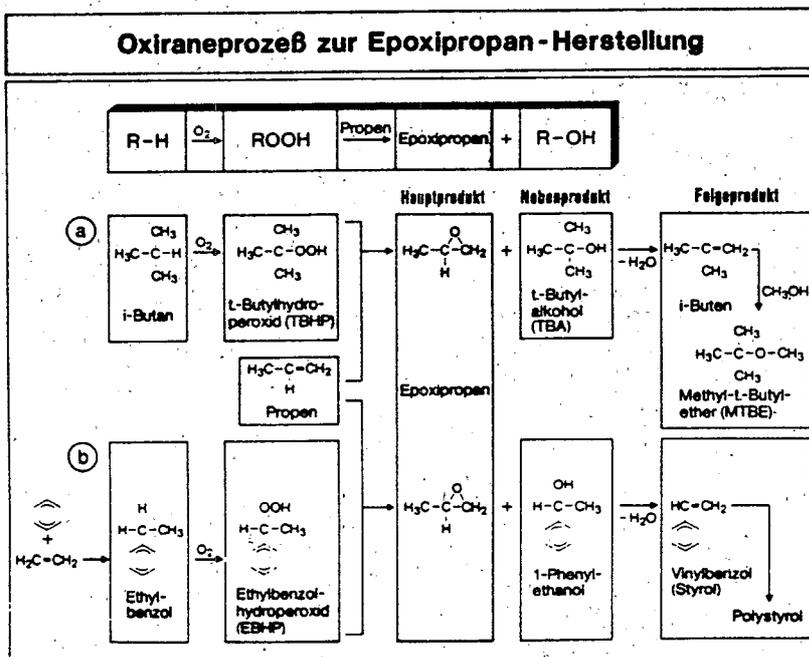
Wichtigster indirekter Oxidationsprozeß ist das Oxirane-Verfahren. Dabei dient als Sauerstoffüberträger an das Propen ein Hydroperoxid, das aus einem Kohlenwasserstoff und reinem Sauerstoff beziehungsweise Luft erzeugt wird:



Bevorzugt werden i-Butan und Ethylbenzol eingesetzt.

Die Herstellung von Epoxipropan über i-Butan läuft nach dem folgenden Schema ab (Folie 21, a, R = [CH₃]₃C-).

Die 1. Stufe läuft unkatalsiert bei 120 °C und 40 bar in der Flüssigphase mit einem Umsatz von 25 Prozent und 55-57 Prozent Selektivität bezogen auf das Hydroperoxid ab. Neben tert.-Butylalkohol (TBA) werden als Nebenprodukte Aceton (bezogen auf Epoxipropan im Massenverhältnis 0,2:1) und Propanal gebildet. Bei der Gewinnung des Epoxipropan im 2. Schritt wird ein Katalysator auf Basis Molybdän verwendet. Beide Schritte können kombiniert werden. Bei dem Prozeß fallen pro Tonne Epoxi-



Folie 21

propan 2,8 Tonnen tert.-Butylalkohol (TBA) als Koppelprodukt an. Dieses Produkt oder seine Derivate müssen vom Markt aufgenommen werden. Dies ist ein entscheidendes Kriterium. Ist dies nicht erfüllt, wird aus einem Wertstoff Abfall, der durch Verbrennung entsorgt werden muß. Als Derivat wird bevorzugt Methyl-t.-butylether (MTBE) gewonnen, das als Treibstoffzusatz eine Erhöhung der Oktanzahl bewirkt.

Bei dem Verfahren mit Ethylbenzol (Folie 21; b, R = C₆H₅-CH₂-CH₂-) als Ausgangskomponente entsteht als Koppelprodukt (neben geringen Mengen Acetophenon) 1-Phenylethanol, das im Massenverhältnis 2,5:1 zum Epoxipropan anfällt. Dieses wird zu Styrol weiterverarbeitet. Das Styrol wird weitgehend zu Polystyrol polymerisiert, das im Verpackungssektor Verwendung findet. Die technischen Probleme der Cooxidationsverfahren liegen in der sicheren Beherrschung der großen Volumina an Flüssiggas und Hydroperoxid und der Sauerstoffdosierung.

Chlorhydrinverfahren (siehe Folie 22)

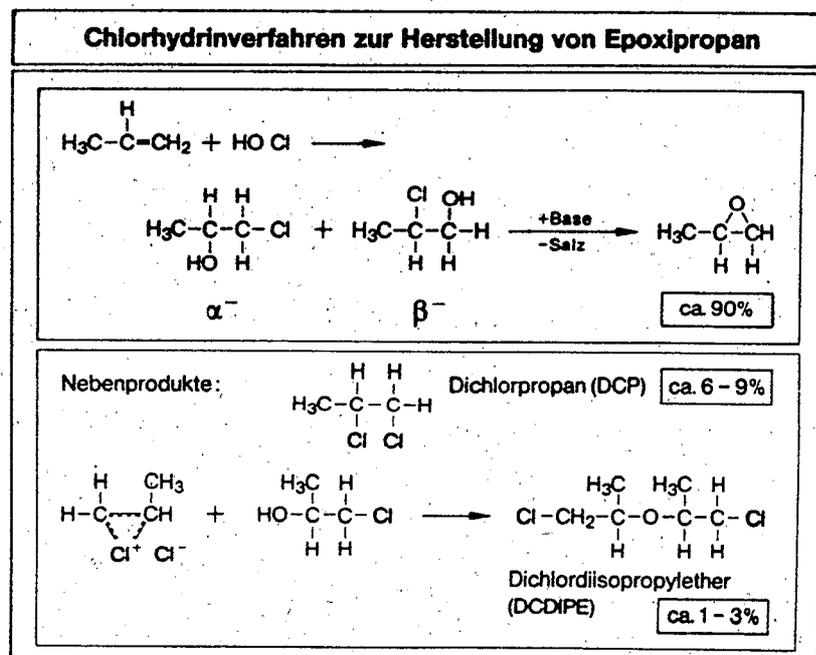
In Reaktionstürmen wird Propen bei zirka 50 °C und unter geringem Druck mit einer wäßrigen Lösung von Chlor umgesetzt, in der Chlorwasserstoff und Hypochlorit im Gleichgewicht stehen. Dabei bildet sich in 90prozentiger Ausbeute ein Gemisch von α- und β-Chlorhydrin (im Verhältnis 9:1). Diese werden mit einem Überschuß an Alkali, zum Beispiel Kalkmilch oder Natronlauge, bei höherer Temperatur zu Propenoxid dehydrochloriert. Die Base hat dabei die Funktion des Dehydrochlorierungs- und Neutralisationsmittels für den Chlorwasserstoff.

Das Epoxipropan muß durch Dampf aus dem Reaktionsmedium schnell ausgetrieben werden, um eine Hydrolyse zu vermeiden. Anschließend wird das rohe Epoxipropan destillativ gereinigt.

Bei der Reaktion werden pro Tonne Epoxipropan 1,4 Tonnen Chlorid gebildet, das bei Verwendung von Kalkmilch als Base als zirka 5prozentige wäßrige CaCl₂-Lösung nach Passieren der Kläranlage in die Vorfluter eingeleitet wird. Das hierbei anfallende Chlorid aus deutschen Anlagen macht im Jahr 1990 zirka 1,6 Prozent der Gesamtbelastung des Chlorids im Rhein aus.

Die Selektivität der Reaktion erreicht 90 Prozent. Als Nebenprodukte werden hauptsächlich 6–9 Prozent 1,2-Dichlorpropan und 1–3 Prozent Dichlordiisopropylether gebildet sowie 1-Chlor-2,3-Epoxipropan (siehe Kapitel 2.3).

Der Dichlordiisopropylether wird weitgehend unter Energiegewinnung verbrannt. Dichlorpropan wird heute überwiegend als Lösemittel zum Beispiel für Bitumen und Nitrolacke verwendet. Daneben wird es unter Bildung von Perchlorethen und Tetrachlorkohlenstoff chloriert (Chlorolyse). Beide Anwendungen sind rückläufig. Der Trend geht in Richtung einer Verbrennung unter Energienutzung und Isolierung des gebildeten Chlorwasserstoffs. Weiterhin werden Verfahren zur Hydrierung des Dichlorpropan geprüft. Dabei werden Propan und Chlorwasserstoff erzeugt. Der Chlorwasserstoff wird dann verwertet. Das Propan kann entweder einem Cracker zugeführt werden, wobei Olefine und andere Crackprodukte gebildet werden, oder es wird unter Energiegewinnung verbrannt. Dabei ersetzt Propan Erdgas.

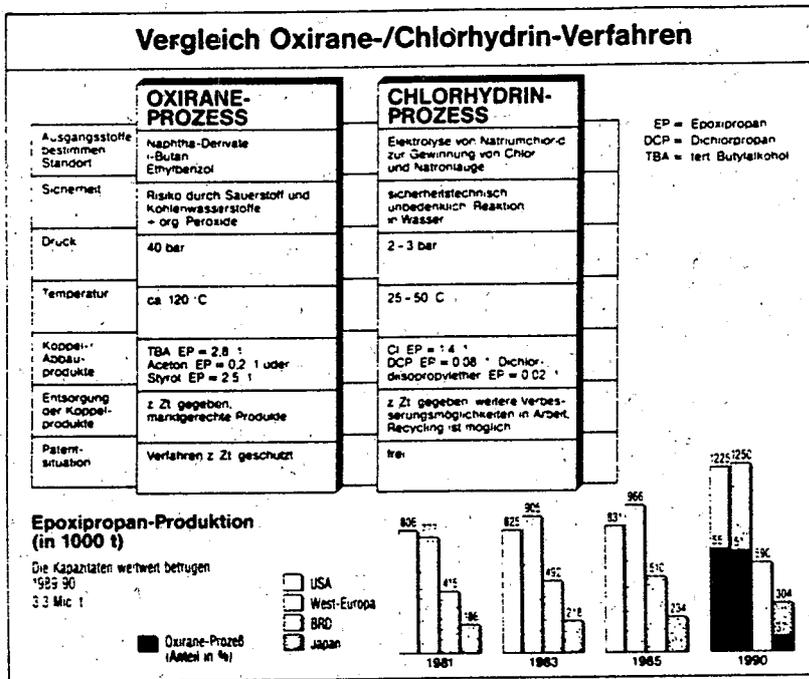


Folie 22

Vergleich der Verfahren

2.2.3

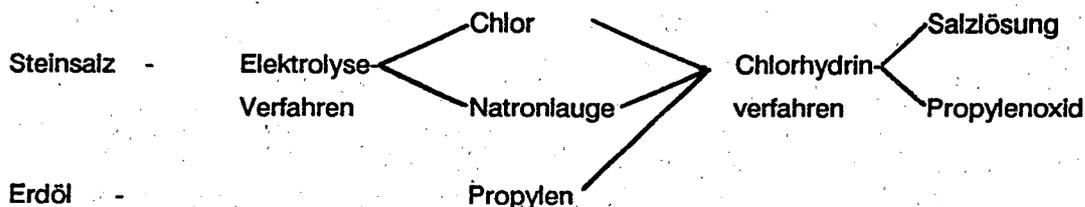
Die wichtigsten Charakteristika der beiden Verfahrenswege sind in der folgenden Übersicht (Kopier-vorlage 7) zum Vergleich gegenübergestellt:



Kopiervorlage 7

7.2 Aufnahme des Ist-Zustandes

Propylenoxid ist eine farblose, leicht siedende, brennbare Flüssigkeit. Für die Herstellung von Propylenoxid werden in Deutschland 16,5 % der gesamten Chloreinsatzmenge verwendet. Nach PVC/VC/EDC ist dies der zweitgrößte einzelne Verwendungsbereich. Er gehört zur Chlorchemie, weil bei der Herstellung von Propylenoxid Chlor als Reaktionsmittel eingesetzt wird. Das erzeugte Produkt selbst enthält kein Chlor; das eingesetzte Chlor wird in Form von Salz wieder abgeführt. Stark vereinfacht, läßt sich der Prozeß so darstellen:



In Deutschland sind vier Hersteller von Propylenoxid aktiv:

Hersteller	Standort	Kapazität (t/a)
DOW	Stade	420000
EC Erdölchemie (Bayer)	Dormagen	155000
BASF	Ludwigshafen	70000
Bunawerke	Schkopau	50000

Quelle: [9]

Bis zum Jahr 1986 war auch die Firma Hüls in Marl mit einer Kapazität von 35000 t/a als Hersteller tätig. Alle Hersteller verwenden Chlor bei der Herstellung von Propylenoxid (Chlorhydrinverfahren).

Die Produktion von Propylenoxid in Westdeutschland hat sich in den 11 Jahren von 1980 bis 1991 um rd. 60 % erhöht, das sind im Durchschnitt 4,3 % pro Jahr. Im Jahr 1992 wird die Produktion voraussichtlich niedriger sein als in den Vorjahren (Tabelle 7.1).

Tabelle 7.1: Produktion von Propylenoxid in der Bundesrepublik Deutschland (West)

Jahr	Menge (1000 t)		Wert (Mill DM)		Durchschn.-wert (DM/t)
	Gesamtproduktion	Absatzproduktion	Gesamtproduktion ¹⁾	Absatzproduktion	
1980	386	273	524	372	1360
1981	443	321	668	485	1507
1982	433	314	711	515	1640
1983	492	342	827	575	1681
1984	505	338	940	630	1862
1985	536	360	1044	701	1949
1986	534	347	1018	662	1908
1987	537	360	852	572	1586
1988	549	353	890	572	1619
1989	591	380	1016	654	1720
1990	590	378	934	598	1583
1991	617	404	999	654	1620
1992*	570	357	834	523	1464

1) geschätzt mit den Durchschnittswerten der Absatzproduktion
 * 1992 geschätzt auf der Grundlage der ersten drei Quartale.

Quelle: [10] und eigene Berechnungen

Etwa 30 % der Produktion werden im eigenen Unternehmen weiterverarbeitet, die anderen 70 % werden an andere Unternehmen abgesetzt,

Der Gesamtwert der Produktion von Propylenoxid in Deutschland beträgt rd. 1 Mrd. DM. Der Preis pro Tonne schwankt recht stark; in der betrachteten Zeitspanne liegen die Jahresmittelwerte zwischen 1360 DM/t im Minimum und 1908 DM/t im Maximum. Wichtigster preisbestimmender Faktor dürfte der Preis des Einsatzstoffes Propylen sein, das ein Produkt der Erdöl-Chemie ist und dessen Preis wesentlich vom Rohölpreis abhängt.

Der Wert von Propylenoxid ist etwa doppelt bis dreimal so hoch wie der Wert des Einsatzstoffes Propylen. Die Relation der Preise von Propylen und Propylenoxid bewegt sich in dem betrachteten Zeitraum zwischen 1,9 und 3,3. Aus ihrem Verlauf kann man schließen, daß sinkende Rohölpreise (wie z.B. 1986) erst mit einiger Verzögerung in den Preisen von Propylenoxid weitergegeben werden und tendenziell verbesserte Gewinnmöglichkeiten für die Hersteller von Propylenoxid eröffnen, wohingegen bei steigenden Rohölpreisen (wie z.B. 1981) die höheren

Kosten von den Propylenherstellern nicht vollständig weitergewälzt werden können (Tabelle 7.2).

Tabelle 7.2: Preisverhältnis Rohöl/Propylen/Propylenoxid DM/t

Jahr	Rohöl Grenz- übergangswerte	Propylenoxid	Verhältnis PO/PR	Propylen
1980	456	1360	2.22	611
1981	619	1507	1.90	791
1982	616	1640	1.95	839
1983	579	1681	2.35	714
1984	622	1862	2.28	817
1985	622	1949	2.28	857
1986	255	1908	3.26	584
1987	251	1586	2.85	557
1988	206	1619	2.95	549
1989	257	1720	2.35	731
1990	279	1583	2.74	578
1991	254	1620	2.92	555
1992*		1464	3.10472	472

* 1992 geschätzt auf der Grundlage der ersten drei Quartale.

Quelle: [10] und eigene Berechnungen.

Ein nennenswerter Teil des in Westdeutschland hergestellten Propylenoxid wird ausgeführt (Tabelle 7.3). 1990 betrug die Ausfuhr 250 000 t, das sind rd. 40 % der inländischen Absatzproduktion und rd. 25 % der inländischen Gesamtproduktion. Hauptsächliches Ausfuhrland sind die Niederlande mit 140.000 t 1990. In den Niederlanden ist ein Werk von DOW ansässig (in Terneuzen), in dem früher ebenfalls mit einer Kapazität von 75 000 t/a PO hergestellt worden war [11], so daß die Vermutung nahelegt, daß es sich bei einem erheblichen Teil der Ausfuhren um unternehmensinterne Lieferungen an einen anderen Standort zur Weiterverarbeitung handelt.

Die Einfuhr spielt mengenmäßig keine bedeutende Rolle. Wichtigstes Einfuhrland sind die Niederlande.

Tabelle 7.3: Außenhandel mit Propylenoxid (1000 t)

	1984	1986	1988	1990
Einfuhr (aus)				
Insgesamt	27	20	25	47
Niederlande	26	19	25	45
Ausfuhr (nach)				
Insgesamt	218	219	215	253
Niederlande	113	118	126	140
Benelux	52	54	34	64
England	26	14	15	23
Spanien	5	19	21	1
Frankreich	1	3	8	11

Quelle: [12]

Propylenoxid ist ein bedeutendes chemisches Zwischenerzeugnis. Die Hauptverwendung besteht als Einsatzstoff bei der Herstellung von weichen oder festen Schaumstoffen aus Polyurethan (PUR), die z.B. bei der Herstellung von Polstermöbeln, Kfz-Sitzen und Teppichböden (weiche Schaumstoffe) oder als Wärmedämmmaterial (feste Schaumstoffe) verwendet werden. In diesen Bereich fließen ca. 56 - 70 % der PO-Produktion. Weitere Polymerisate (Polyetherpolyole) aus PO finden als oberflächenaktive Stoffe Verwendung bei der Herstellung von Waschmitteln, Textilien, Haarspray, Bremsflüssigkeit für Kfz und Schmiermitteln [9].

Weiterverarbeitet zu Polypropylenglykol wird PO verwendet bei der Gummi- und Metallverarbeitung, als Kältehilfsmittel in Kraftstoffen für Kfz und als Hydraulikflüssigkeit.

Der zweitgrößte Anwendungsbereich von PO sind mit rd. 20 % die Propylenglykole, aus denen im wesentlichen Kunstharze für die Textilherstellung und den Bau hergestellt werden. Sie werden außerdem als Lösungs- und Feuchthaltemittel in Nahrungsmitteln (Zigaretten), Kosmetika und Pharmazeutika verwendet sowie als Weichmacher, Kälteflüssigkeit, Hydraulikflüssigkeit, Frostschutzmittel und Flugzeugenteisungsmittel.

In der Form von Propylenglykolether (ca. 4 %) findet PO Anwendung als Lösemittel für Farben, Lacke, Tinten, Harze und Reinigungsmittel und als Zusatzstoff, der in Flugzeugkraftstoffen die Eisbildung verhindert.

Im Rahmen der Chlorchemie wird PO nach dem Chlorhydrinverfahren hergestellt. Dies gilt für alle Hersteller in der Bundesrepublik Deutschland.

Das Chlorhydrinverfahren besteht im wesentlichen aus zwei Verfahrensschritten [9, 11, 13, 14, 15]:

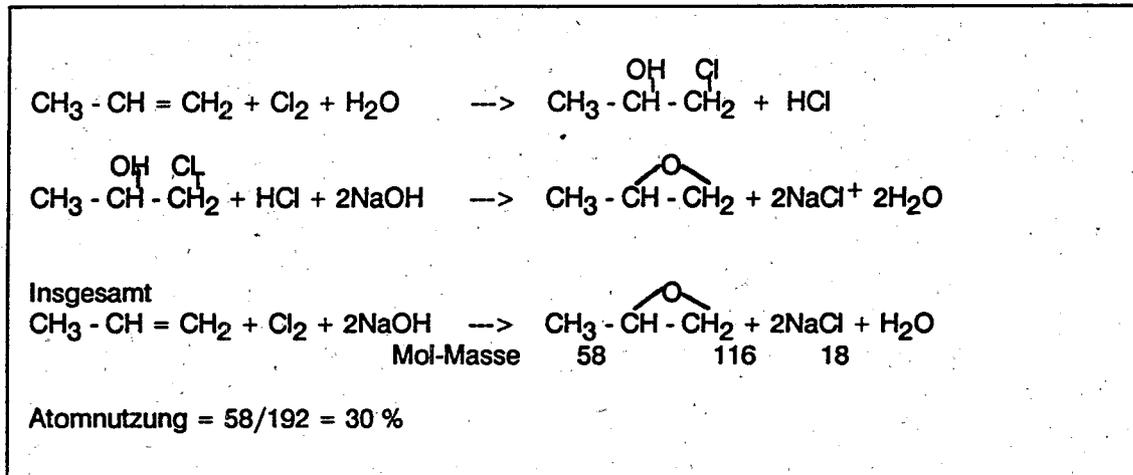
- der Synthese von Propylenchlorhydrin (PCH) als Zwischenstoff und Salzsäure als Begleitstoff aus Propylen und Chlor unter Einbeziehung von Wasser;
- der anschließenden Dehydrochlorierung des gebildeten PCH zu Propylenoxid mittels Lauge (Natronlauge oder Kalilauge) unter Bildung von Salz und Wasser.

Die Produktionsanlagen sind davon geprägt, daß Wasser die Hauptmasse des Stoffflusses bildet. Etwa 92-93 % des bewegten Stoffes ist Wasser, beide Verfahrensschritte finden in wässriger Lösung statt, und Wasser ist an beiden Hauptreaktionen beteiligt. Die Reaktionstemperatur beträgt im ersten Verfahrensschritt 45 - 90° C und im zweiten Verfahrensschritt 100 - 105° C. Der Druck in der gesamten Anlage liegt etwas über dem Atmosphärendruck (1,1 - 1,9 bar). Wegen der aggressiven Eigenschaften des eingesetzten Chlor und der entstehenden Salzsäure ist die Anlage korrosionsfest ausgelegt. Weitere wichtige Anlagenteile sind Einrichtungen zur Reinigung des Roh-Propylenoxids, der Abgase, des Abwassers sowie zur Behandlung von deren Rückständen.

Von dem eingesetzten Propylen werden etwa 90 % in das Zielprodukt Propylenoxid umgesetzt. Die übrigen 10 % bilden verschiedene Nebenprodukte, die entsorgt, anderweitig verwertet oder auf sonstige Weise an die Umwelt abgegeben werden.

Die Chlorhydrinroute ist in Bezug auf das Verhältnis zwischen der erzeugten Menge des Zielproduktes und der erzeugten Menge (unerwünschter) Nebenprodukte wenig effizient. Sie hat einen Atom-Nutzungsgrad [16] von 30 % und kann eher als ein Prozeß zur Herstellung von Kochsalz angesehen werden.

Tabelle 7.4: Atom-Nutzung bei der Synthese von Propylenoxid nach dem Chlorhydrinverfahren:



Herstellung der nach dem Chlorhydrinverfahren eingesetzten Rohstoffe:

Propylen: Propylen gehört mengenmäßig neben Ethylen zu den wichtigsten Grundstoffen der organischen Chemie. Es wird überwiegend aus der thermischen Spaltung gesättigter Kohlenwasserstoffe gewonnen. Die wichtigste Quelle dafür ist in Europa das Naphta, ein Destillationsprodukt des Erdöls [17]. Ein Fünftel bis ein Viertel des in Deutschland erzeugten Propylen wird für die Herstellung von Propylenoxid eingesetzt.

Chlor: Aus der Chlor-Elektrolyse.

Natronlauge: Aus der Chlor-Elektrolyse. Alternativ kann statt Natronlauge auch Kalziumhydroxid $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ eingesetzt werden. Bei dessen Einsatz entsteht als Abfall-Salz anstelle des NaCl das CaCl_2 .

Beurteilung der erzielten Vollständigkeit, Genauigkeit und Übertragbarkeit zu Abschnitt 7.2

1) Datenquellen

Die Angaben stammen überwiegend aus frei zugänglichen Veröffentlichungen der amtlichen Statistik und aus Handbuchartikeln über das Produkt. Die letzteren sind von Autoren verfaßt worden, die in den herstellenden Unternehmen beschäftigt sind. Man kann wohl

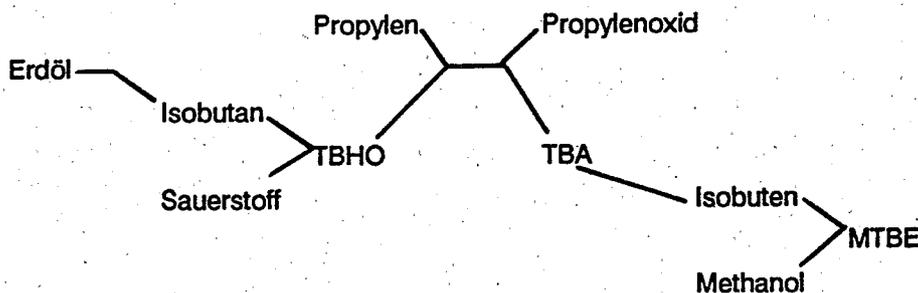
davon ausgehen, daß den Autoren die wesentlichen Verhältnisse bekannt sind und sie diese auch zutreffend wiedergeben. Allerdings sind die Handbuchbeiträge an vielen Stellen doch recht allgemein gehalten. Das in den Herstellerfirmen vorhandene Wissen geht mit Sicherheit weit darüber hinaus.

- 2) **Lücken in den Daten und Möglichkeiten, sie zu schließen**
Im einzelnen weisen die Handbuchartikel eine Reihe von Lücken auf (siehe unten zu den einzelnen fachlichen Aussagen). Die allgemeine Beschreibung des Prozesses weist keine weiteren erkennbaren Lücken auf.
- 3) **Genauigkeit der Aussagen**
Ausreichend
- 4) **Übertragbarkeit der Aussagen auf andere Bereiche**
Über PVC existiert eine umfangreiche Literatur. Als wesentlich ist hier z.B. das Kunststoff-Handbuch von Becker/Braun zu nennen, das dem PVC zwei Bände widmet. PVC ist auch in mehreren anderen Handbüchern mit ausführlichen Beiträgen vertreten. Zu den Stichworten Allylverbindungen, Epoxide und Epoxidharze (Bereich 3) gibt es eigene Beiträge in Ullmanns Enzyklopädie der Industriellen Chemie, ebenso zu Phosgen (Bereich 4).
- 5) **Hinweise auf Themen zur weiteren Vertiefung**
Propylenoxid steht in einigen Anwendungsbereichen in Konkurrenz mit Ethylenoxid, das toxischer ist, aber chlorfrei hergestellt wird (Direktoxidation).

7.3 Technische Optionen

Weltweit erfolgt etwa die Hälfte der Propylenoxid-Produktion mittels chlorfreier Verfahren. Rund 80 % der gegenwärtigen Weltproduktion entfallen auf zwei Unternehmen, von denen das eine (DOW) das Chlorhydrinverfahren und das andere (ARCO) chlorfreie Verfahren anwendet. Das chlorfreie Verfahren existiert in zwei Varianten, je nachdem welcher Stoff als Sauerstoffüberträger verwendet wird. Es sind dies das Hydroperoxid einerseits des Isobutan (tert-Butylhydroperoxid) und andererseits des Ethylbenzol (Ethylbenzolhydroperoxid). Die beiden Varianten weisen anlagentechnisch Unterschiede auf und können nicht auf einer Anlage ausgetauscht werden. ARCO betreibt Anlagen nach beiden Varianten.

Ähnlich wie beim Chlorhydrinverfahren das Chlor, wird bei den chlorfreien Verfahren neben dem Propylen ein anderer Stoff als Reaktionsmittel eingesetzt, und es entsteht außer Propylenoxid anstelle von Salz ein anderes Kuppelprodukt. Isobutan als Einsatzstoff ergibt tert-Butanol (TBA) als Kuppelprodukt, aus dem in zwei weiteren Verarbeitungsschritten tert-Isobuten und dann Methyl-tert-Butyl-Ether (MTBE) hergestellt werden kann, das ein Kraftstoffzusatz mit hoher Oktanzahl ist. Ethylbenzol als Einsatzstoff ergibt α -Methylbenzylalkohol als Zwischenprodukt, aus dem in einem weiteren Verarbeitungsschritt Styrol hergestellt werden kann, das Basisprodukt für den Kunststoff Polystyrol. In beiden Varianten wird (wie beim Chlorhydrinverfahren das Salz) das Kuppelprodukt in erheblich größerer Menge produziert als das Zielprodukt. Je Tonne Propylenoxid entstehen entweder 2,5 - 5 Tonnen TBA oder 2,2 - 2,5 Tonnen Styrol, wobei hier beide Kuppelprodukte wertvolle Anwendung finden, wohingegen das Salz Abfall ist. Da die Verfahrensvariante mit Isobutan als Einsatzstoff und TBA/MTBE als Kuppelprodukt dominiert, wird sie im folgenden genauer betrachtet. Stark vereinfacht, läßt sich der Prozeß so darstellen:



In den USA werden Anfang 1994 die folgenden Propylenoxid-Kapazitäten bestehen:

Hersteller	Kapazität (t/a)	Verfahren
Arco	600 000 500 000	TBA/MTBA Styrol
DOW	500 000 220 000	Chlorhydrin Chlorhydrin
Texaco	200 000	TBA/MTBA

Quelle: [18]

In dieser Aufstellung sind die im Bau befindliche Anlage von Texaco und die begonnene Verdoppelung der Kapazität bei Arco (Styrol) mit einbezogen.

In Westeuropa außer Deutschland bestehen die folgenden Kapazitäten:

Hersteller	Land	Kapazität (t/a)	Verfahren
Arco	Frankreich	200000	TBA/MTBA
Arco	Niederlande	250000	TBA/MTBA
Arco/Repsol	Spanien	50000	Styrol
Shell	Niederlande	140000	Styrol
Enichem	Italien	60000	Chlorhydrin

Quelle: [9]

Das Verfahren zur Herstellung von Propylenoxid unter Einsatz von Isobutan besteht im wesentlichen aus zwei Schritten [9, 11, 13, 14, 15, 18, 19]:

- Der Oxidation von Isobutan mit O₂ zu tert-Butylhydroperoxid und tert-Butanol. Die Reaktion findet bei 25 - 35 bar und 120 - 140° C statt;
- Der Epoxidation von Propylen, wobei aus Propylen Propylenoxid und aus tert-Butylhydroperoxid wiederum tert-Butanol wird. Diese Reaktion ist katalytisch geregelt. Der Katalysator ist in Toluol gelöst. Das Verfahren findet bei ca. 40 bar und 160° C statt.

Von dem eingesetzten Isobutan wird bei einem Durchgang 48 % oxidiert, wobei zu 50 % tert-Butylhydroperoxid, zu 48 % tert-Butanol und zu 2 % andere Verbindungen entstehen. Nicht oxidiertes Isobutan wird destillativ abgetrennt und in den Prozeß zurückgeführt. Das entstandene Hydroperoxid wird praktisch zu 100 % umgesetzt.

Herstellung des bei dieser Variante des indirekten Oxidationsverfahrens eingesetzten Isobutan

Bei dem Herstellungsverfahren von Propylenoxid mit Isobutan als Einsatzstoff sind pro t Propylenoxid ca. 1,7 t Isobutan einzusetzen. Bei der produzierten Menge Propylenoxid des Jahres 1992 in Höhe von ca. 570 000 t entspricht das bei vollständiger Umstellung des Verfahrens einer Einsatzmenge von rd. 970 000 t Isobutan. Inwieweit der deutsche und europäische Markt in der Lage sind, diese Menge zur Verfügung zu stellen, welche Konsequenzen dies an anderer Stelle hätte oder welche Voraussetzungen dafür eventuell noch erfüllt sein müßten, kann nicht definitiv

angegeben werden. Die deutsche Produktionsstatistik weist die Produktion von Isobutan nicht gesondert nach. Chemisch gesehen gehört es einerseits zu den Raffineriegasen, von denen in Westdeutschland im Jahr 1990 rd. 4 Mill t produziert wurden, und andererseits zum Flüssiggas, bei dem die entsprechende Produktionsmenge 2,3 Mill t betrug. Isobutan wird im wesentlichen in Raffinerien aus Erdöl gewonnen und fällt besonders bei der Anwendung des Fluid-katalytischen Crackverfahrens in großen Mengen an (typischer Anteil von Isobutan an dem C₄-Schnitt einer FCC-Anlage 36 % nach [20]). Normalerweise werden die Raffinerie- und Flüssiggase in großen Mengen für Alkylierungs- und Polymerisationsprozesse, in denen hochoktanige Kraftstoff-Komponenten hergestellt werden, eingesetzt. Ein typisches Beispiel ist die Reaktion von Isobutan mit 1-Buten zu Isooktan [21]. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß der Einsatz von Isobutan bei der Herstellung von Propylenoxid entsprechend der Option über das TBA als Kuppelprodukt des Prozesses zu MTBE führen würde, das ebenfalls eine sehr hochoktanige Kraftstoffkomponente ist.

Herstellung des bei den indirekten Oxidationsverfahren als Kuppelprodukt entstehenden TBA/MTBE

Bei dem Herstellungsverfahren von Propylenoxid mit Isobutan als Einsatzstoff entstehen pro t Propylenoxid 2,16 t tert-Butanol als Kuppelprodukt. Bei der produzierten Menge Propylenoxid des Jahres 1992 in Höhe von 570 000 t entspricht dies bei vollständiger Umstellung des Verfahrens einer Kuppelproduktmenge von rd. 1,2 Mill t tert-Butanol (TBA). TBA wird typischerweise katalytisch dehydriert und bildet Isobuten und Wasser. Isobuten wird mit Methanol zu Reaktion gebracht und bildet MTBE. Die Dehydrierung von TBA zur Gewinnung von Isobuten als Einsatzstoff für die Bildung von MTBE stellt nur eine der möglichen Quellen dar, ist aber weltweit gegenwärtig die bedeutendste [20]. In der im Bau befindlichen Anlage von Texaco soll die Herstellung von MTBE aus TBA in einem Schritt erfolgen können. Die in Westdeutschland produzierte Menge von MTBE zeigt Tabelle 7.5.

Tabelle 7.5: Produktion von MTBE in der Bundesrepublik Deutschland (West)

Jahr	Menge (1000 t)	Wert (Mill DM)	Durchschnittswert (DM/t)
1990	166	118	713
1991	155	97	623
1992	146	77	533

Quelle: [10], GP 425211

Aus der Tatsache, daß die amtliche Statistik Produktionsangaben veröffentlicht, ist zu schließen, daß es drei oder mehr produzierende Unternehmen gibt. Eines davon ist die Hüls AG, die auch als Lizenzgeber eines eigenen Herstellungsverfahrens auftritt, ein anderes die DEA in der Raffinerie Heide [22].

Inwieweit MTBE eingeführt oder ausgeführt wird, ist nicht bekannt, da in der Außenhandelsstatistik für MTBE keine eigene Meldenummer besteht. Nach Angaben eines Großhändlers dürfte die Einfuhr sich in der Größenordnung von 500.000 t bewegen. Insgesamt werden die Aussichten von MTBE als hochoktanige Kraftstoffkomponente in der Literatur sehr gut beurteilt [20, 23]. In Deutschland findet es z.Zt. mit einem Anteil von 10 % am Super-Plus-Kraftstoff Anwendung. Nach den Vorgaben einer EG-Richtlinie vom Dezember 1985 darf dieser Anteil bis zu 15 % betragen [24]. In den USA ist im Rahmen des Auto/Oil Air Quality Improvement Program u.a. die Wirkung eines 15 % Anteils von MTBE auf die Abgase untersucht worden. Danach reduzieren sich bei dieser Maßnahme die Kohlenwasserstoff-Emissionen um ca. 7 % und die CO-Emissionen um ca. 12 %, während die Formaldehyd-Emissionen um ca. 25 % zunehmen [25]. Der Einfluß auf die CO₂-Emissionen wurde nicht gemessen. Für Europa ist in Zusammenarbeit zwischen den Vereinigungen der Kfz-Motorenhersteller, der Mineralölindustrie und der EG-Kommission ein vergleichbares Programm im Entstehen, das auf europäische Verhältnisse zugeschnitten sein soll (Dieselfahrzeuge, CO₂-Reduktion, Anteil Katalysatorfahrzeuge).

Beurteilung der erzielten Vollständigkeit, Genauigkeit und Übertragbarkeit zu Abschnitt 7.3

1. **Datenquellen**
Das Verfahren ist in seinem prinzipiellen Ablauf durch Herstellerangaben dokumentiert. Der technische Ablauf im einzelnen ist nur in Umrissen bekannt und beruht zum Teil auf Plausibilitätsüberlegungen der Autoren.
2. **Lücken in den Daten und Möglichkeiten, sie zu schließen:**
Für eine erste Orientierung und Aufnahme des Ist-Zustandes reichen die vorhandenen Informationen aus.
3. **Genauigkeit der Aussagen: ausreichend.**
4. **Übertragbarkeit der Aussagen auf andere Bereiche:**
Bei der Option handelt es sich nicht um eine in ihrer Anwendung noch unsichere technische Möglichkeit. Vielmehr behandelt die Option ein Herstellungsverfahren, das binnen 20 Jahren die Hälfte des Weltmarktanteils erzielt hat. Insofern nimmt die Option möglicherweise eine Ausnahmestellung ein.
5. **Hinweise auf weitere Themen zur Vertiefung: Keine.**

7.4 Vergleich der Option und des Ist-Zustandes unter Umweltaspekten

Über die Umweltwirkungen der Option, also des indirekten Oxidationsverfahrens von Propylenoxid mittels Isobutan, liegen nur rudimentäre Angaben vor. In einer Mitteilung des herstellenden Unternehmens heißt es, daß dieses Produktionsverfahren klare Umweltvorteile biete. Die flüssigen Abfälle seien leicht biologisch abbaubar ("readily biodegradable"), und der einzige Abfall von Bedeutung seien feste Stoffe, die einfach zu behandeln seien.

Als weiterer Informationssplitter können Angaben über die Emissionen von Propylenoxid bei der Herstellung und Lagerung gemacht werden. Aus den Niederlanden, wo von Arco und Shell zwei chlorfreie Anlagen zur Herstellung von Propylenoxid betrieben werden, ist bekannt, daß bei der Produktion von Propylenoxid gasförmige Emissionen von PO mit einem Emissionsfaktor von 0,2 - 0,3 kg je t Produkt entstehen [26].

Den Niederländischen Angaben über gasförmige Emissionen von PO bei der Produktion von PO, die sich auf chlorfreie Verfahren beziehen, können ähnliche Angaben für Deutschland gegenübergestellt werden. Diese belaufen sich auf 0,3 - 0,4 kg je t produziertes Propylenoxid, sind also in der Größenordnung vergleichbar [27].

Als drittes Partikel von verfügbaren Informationen können die Angaben über den Anfall von Reststoffen und die Abwasseremissionen beim Chlorhydrinverfahren nach [9] angeführt werden, die im wesentlichen die Verhältnisse bei DOW in Stade wiedergeben.

Als Nebenprodukte/Reststoffe entstehen in der Chlorhydrierungsstufe

— 1,2-Dichlorpropan (DCP)	3,0 - 10 %
— Dichlorhydrin (DCH)	0,3 - 1,2 %
— 2,2-dichlordisisopropylether (DCIPE)	0,2 - 0,8 %
— andere	<u>0,0 - 1,0 %</u>
	3,5 - 13 %

und in der Dehydrochlorierungs-Stufe

- 1,2-propanediol
- Epichlorhydrin (EPI) und Folgeprodukte daraus (Glyzerin-Monochlorhydrin, Glyzerin, Propionaldehyd, Aceton und Acetol).

Mit dem Abwasser gehen ca. 8 % NaCl = 2,4 - 4,8 t/t PO oder ca. 3 - 5 % Kalziumchlorid = 0,9 - 3,0 t/t PO in den "Vorfluter". Daraus errechnet sich anhand der Produktion des Jahres 1990 überschlägig ein Salzeintrag in den Rhein (Erdölchemie, BASF) von jährlich 0,2 - 0,6 Mill t Kalziumchlorid und in die Elbe (DOW) von 0,9 - 1,8 Mill t Kochsalz.

Aus dem Produktionsprozeß gehen in die Abwasserbehandlung 100 - 400 ppm TOC (total organic carbon) und 30 - 60 ppm AOX (adsorbable organic halogenes). Von den letzteren wird gesagt, daß sie in der Abwasserreinigung zu mehr als 85 % abgebaut werden. Über den Abbau der TOC wird keine Aussage getroffen. Überschlägig gerechnet ergibt sich aus den verbliebenen 4 - 9 ppm nicht abgebauten AOX bei einer gesamten Abwassermenge der PO-Produktion in Deutschland von zwischen 17 und 34 Mill t eine Gesamtfracht pro Jahr an AOX von 70 - 300 t.

Soweit die Nebenprodukte/Reststoffe des Chlorhydrinverfahrens nicht mit dem Abwasser der Abwasserbehandlung zugeführt werden, fallen sie auf andere Weise an und sind entsprechend zu entsorgen. Der Hauptbestandteil der Reststoffe, das DCP, das in einer Größenordnung von 20000 - 50000 t/a anfällt, wird etwa je zur Hälfte in der Chloralyse weiterverarbeitet und unter Gewinnung von HCl verbrannt.

Beurteilung der erzielten Genauigkeit, Vollständigkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse

1. **Datenquellen**
Die vorhandene Literatur ist mit einiger Sicherheit ausgeschöpft worden. Weitere Angaben über Umweltwirkungen sind höchstwahrscheinlich öffentlich nicht verfügbar.
2. **Lücken in den Daten und Möglichkeiten, sie zu schließen:**
Möglicherweise handelt es sich bei den vorzufindenden Informationen, so lückenhaft sie sich auch ausnehmen, um die relevanten.
3. **Genauigkeit der Aussagen:**
Die Genauigkeit der Aussagen ist schwer einzuschätzen. Die großen in der Literatur angegebenen Bandbreiten der Werte deuten möglicherweise darauf hin, daß die Angaben von den Autoren selbst für unsicher gehalten werden. Es kann allerdings auch sein, daß die großen Bandbreiten die tatsächlichen Verhältnisse widerspiegeln.
4. **Übertragbarkeit der Aussagen auf andere Bereiche:** Keine Aussage möglich.

7.5 Kosten der Umstellung

a) Kosten im Sinne von investivem Aufwand

Für die Abschätzung der Kosten im Sinne von investivem Aufwand sind drei verschiedene Arten von Informationen notwendig. Aus einer Schätzung des Wertes der bestehenden Anlagen kann man einerseits ableiten, wie attraktiv die mögliche Umrüstung einer bestehenden Anlage (Konversion im engeren Sinne) wäre oder wie hoch die "Gutschrift" aus der möglichen Weiterbenutzung der Anlage für andere Zwecke ausfallen wird. Andererseits ergibt sich aus dieser Schätzgröße der Wert des Anlagevermögens, der verloren geht und abgeschrieben werden muß, wenn eine solche Umrüstung oder Weiterverwendung technisch oder aus anderen Gründen nicht möglich ist.

Als zweiter Bestandteil der Information ist ein Urteil darüber erforderlich, welcher der möglichen Fälle hier tatsächlich vorliegt. Anhaltspunkte dafür ergeben sich aus einem Vergleich der technischen Verfahren und der wichtigsten Verfahrensparameter.

Dritter Informationsbestandteil ist schließlich, wie hoch in etwa die Beträge sein werden, die investiert werden müssen, wenn eine Umrüstung der bestehenden Anlage nicht möglich ist, sondern eine Anlage neu errichtet werden muß.

Schätzung des Wertes der bestehenden Anlagen.

Es sind die folgenden Größen zu unterscheiden:

- der Betrag, der heute für eine Anlage gleicher Art und Kapazität investiert werden müßte (heutiger Neuwert),
- der Betrag, der früher tatsächlich für die Anschaffung/Herstellung ausgegeben wurde (Anschaffungs-/Herstellungswert),
- der Betrag, der von den Umsätzen aus dem Verkauf der auf der Anlage hergestellten Erzeugnisse noch abgezweigt werden muß, damit die verausgabten Kosten wieder vollständig zurückgeflossen (verdient) sind (kalkulatorischer Zeitwert = Anschaffungs-/Herstellungskosten minus Abschreibungen),
- der Verkaufserlös, der sich durch Veräußerung der Anlage oder einzelner Anlagenteile erzielen läßt (Zerlegungs-Zeitwert).

Die folgende Zusammenstellung informiert über den Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlagen:

Hersteller	Kapazität	Inbetriebnahme
DOW	250000	1973
	170000	1981
Erdölchemie	155000	ca. 1971
BASF	70000	vor 1976
Bunawerke	50000	1974 (seit 1938 Ethylenoxid)

Quellen: [11, 18, 28]

Angaben über die Daten der Inbetriebnahme oder Erneuerung einzelner Anlagenkomponenten liegen nicht vor. Eine übliche Lebensdauer der Anlagen kann nicht angegeben werden. Allgemein kann in diesem Zusammenhang nur darauf hingewiesen werden, daß die Aggressivität des Chlors, der Salzsäure und der Natronlauge spezielle Vorkehrungen erforderlich machen, wie z.B. ausgemauerte, gummierte, emaillierte oder aus rostfreiem Stahl bestehende Anlagen und Rohrleitungen. Mehr als 30 Jahre Betriebszeit sind von solchen Anlagen wohl nicht zu verkraften. Dies bedeutet, daß nach den Investitionen in der ersten Hälfte der 70er Jahre in den nächsten 10 - 12 Jahren ein neuer Investitionszyklus ansteht, und zwar für alle Chlorhydrinanlagen gleichermaßen mit Ausnahme des dritten Zuges bei DOW, der erst 1981 in Betrieb genommen wurde.

Die für die installierten Anlagen investierten Beträge (Anschaffungs-/Herstellungskosten) sind nicht bekannt und lassen sich allenfalls grob abschätzen. Anhand der verwendeten Schätzmethoden ist eine Schätzgenauigkeit möglich, die im Bereich von +/- 30 - 50 % liegt. Schätzunsicherheiten in solchen Größenordnungen sind allerdings bei der Planung von Chemieanlagen jedenfalls in der ersten Planungsphase durchaus üblich und werden als ausreichende Grundlage für erste Entscheidungen angesehen.

Nach US-amerikanischen Angaben sind für eine Propylenoxid-Anlage nach dem Chlorhydrinverfahren etwa 280,- DM je 1.000 DM Umsatz zu investieren [29]. Bei einem möglichen Gesamtwert der Produktion von Propylenoxid bei voller Auslastung der Kapazitäten in Westdeutschland im Jahr 1991 von rd. 1050 Mill DM leitet sich aus dieser Angabe eine grobe Schätzung des heutigen Nennwertes der installierten Anlagen in Höhe von 295 - 300 Mill DM ab. Die-

ser Wert kann noch um schätzungsweise 20 - 30 % erhöht werden, um die in den letzten Jahren erforderlich gewordenen hohen Anforderungen für Umweltschutzmaßnahmen mit einzubeziehen. Daraus ergeben sich 360 - 390 Mill DM heutiger Nennwert.

Von dem heutigen Nennwert unterscheiden sich die tatsächlichen Ausgaben zum Zeitpunkt der Anschaffung/Herstellung bei gleicher Technik im wesentlichen um die inzwischen eingetretene Preisentwicklung. Der Deflator der Investitionen der Chemie aus den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen [30], der hier hilfsweise als Preisindex verwendet werden soll, weist im Jahr 1991 einen Indexstand auf, der knapp doppelt so hoch ist wie im Jahr 1973. Das Jahr 1973 soll für die Zwecke dieser Rechnung aus Gründen der Vereinfachung als gemeinsames Jahr der Anschaffung/Herstellung aller Chlorhydrinanlagen mit Ausnahme des dritten Zuges bei DOW gelten. Daraus ergibt sich als Anhaltspunkt für die Größenordnung der Anschaffungs-/Herstellungskosten des Jahres 1973 ein Wert von etwa 150 Mill DM und des Jahres 1981 von etwa 80 Mill DM.

Der heutige Zeitwert der Anlagen ergibt sich, indem man von den Anschaffungs- oder Herstellungskosten die Abschreibungen absetzt. Nach den Richtlinien der Finanzbehörden ist für chemische Anlagen in der Regel eine Lebensdauer und ein entsprechender Abschreibungszeitraum von (mindestens) 10 Jahren anzusetzen. Danach ist davon auszugehen, daß alle Anlagen (auch der dritte Zug bei DOW) im Jahr 1993 voll abgeschrieben sind und der heutige Zeitwert nur noch die Größe eines Erinnerungspostens hat. Selbst bei einer auf 20 Jahre verteilten Abschreibung weist nur noch der neuere Teil der Anlage bei DOW einen nennenswerten heutigen Zeitwert in Höhe von etwa 40 Mill DM auf.

Über mögliche Verkaufserlöse aus der Veräußerung kompletter Anlagen oder einzelner Anlagenkomponenten ist nichts bekannt.

- b) Einschätzung der Möglichkeit der Konversion oder der anderweitigen Weiterbenutzung der bestehenden Anlage.

Eine abschließende Einschätzung der Möglichkeit, bestehende Anlagen nach dem Chlorhydrinverfahren auf das Verfahren mit Isobutan als indirektem Sauerstoffüberträger umzurüsten, kann hier nicht geleistet werden. Der vorläufige Eindruck ist jedoch, daß eine Umrüstung nicht möglich sein wird und eine Weiterbenutzung der bestehenden Anlage für andere Zwecke nur beschränkt und in Teilen sinnvoll ist. Dieser Eindruck stützt sich auf die folgenden Indizien:

- die Verfahren unterscheiden sich grundlegend in den Stoffen, die bewegt werden. Das Chlorhydrinverfahren findet in wässriger Lösung statt, während in dem Verfahren mit Isobutan als Oxidationsmittel im wesentlichen zwei flüssige Kohlenwasserstoffgase bewegt werden;
- die Verfahren unterscheiden sich grundlegend in dem Druck, unter dem die Reaktionen ablaufen. Das Chlorhydrinverfahren findet bei leichtem Überdruck statt, während das optionale Verfahren bei 40 - 50 bar abläuft, was eine völlig andere Auslegung aller technischen Elemente impliziert;
- aus Gründen der Stofflogistik liegt es nahe, Anlagen der von der Option vorgesehenen Art im Zusammenhang mit Raffinerien zu errichten [9]. Dies könnte gegen Anlagen an den bisherigen Standorten der Chlorhydrinanlagen sprechen, auch wenn eine Umrüstung technisch gesehen möglich wäre.

Inwieweit die Möglichkeit besteht, die vorhandenen Chlorhydrin-Anlagen auf andere (chlorfreie) Verfahren umzustellen, kann nicht abschließend beantwortet werden. Eventuell ist eine sinnvolle Verwendung für den destillativen Teil zu finden, d.h. den Teil, in den das PO destillativ gereinigt wird.

c) Abschätzung des für die volle Realisierung der Optionen zu investierenden Betrages.

Ein recht guter Anhaltspunkt für die Abschätzung der insgesamt aufzuwendenden investiven Mittel bei voller Realisierung der Option ergibt sich aus dem Umstand, daß Angaben über die Größenordnung einer Investition in eine neue Anlage dieser Art vorliegen, die Texaco gegenwärtig in den USA errichten läßt. Demnach sind für eine Anlage mit einer Kapazität von 200 000 t/a Propylenoxid über 400 Mill US \$ aufzuwenden [31]. Daraus ergeben sich überschlägig für die insgesamt in Westdeutschland vorhandene Propylenoxid-Kapazität von 650 000 t investive Aufwendungen in Höhe von 1,3 Mill US \$, was bei einem Wechselkurs von 1,60 DM/US \$ einen schätzungsweisen Gesamtbetrag von 2 Mrd DM ergibt.

Kosten im Sinne von Preissteigerungen des Produktes.

Die Frage ist, ob Propylenoxid mit dem Verfahren, das Gegenstand der Option ist, zu dem gleichen Preis hergestellt werden kann, zu dem gegenwärtig Propylenoxid aus dem Chlorhydrinverfahren vermarktet wird, oder ob es aufgrund verfahrensbedingter Umstände teurer als bisher

werden müßte. In der Literatur wird als entscheidend angesehen, welche Möglichkeiten bestehen, das Kuppelprodukt vermarkten zu können. Versuche einer Kalkulation der beiden Verfahren aus den 70er Jahren zeigen für die USA etwa gleich hohe Kosten der Produktion von Propylenoxid ohne Gutschrift/Lastschrift aus der Vermarktung/Beseitigung von Kuppelprodukten [14]. In der Gegenwart können die folgenden Indizien für die Auffassung angeführt werden, daß die Produktion von Propylenoxid mit dem in der Option vorgeschlagenen Verfahren eher kostengünstiger ist als mit dem Chlorhydrinverfahren:

- mit dem Verfahren konnte binnen 20 Jahren die Hälfte des Weltmarktes erzielt werden;
- in den USA werden große Investitionen in Anlagen nach diesem Verfahren vorgenommen [14];
- eine Reihe von Anlagen nach dem Chlorhydrinverfahren wurde geschlossen. Dazu zählt in jüngster Zeit auch eine Anlage von DOW in Kanada [32].

Kosten im Sinne von entgangenen Umsätzen.

Propylenoxid stellt kein Endprodukt dar, sondern ist ein Zwischenglied in einer Veredelungs- und Weiterverarbeitungskette. Berichte über den Markt von Propylenoxid lassen erkennen, daß die Hersteller von Propylenoxid bemüht sind, sich auch die weiteren Veredelungs- und Wertschöpfungsschritte zu erschließen. Dies hat umgekehrt die Konsequenz, daß möglicherweise die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens bei einem Weiterverarbeitungsprodukt (z.B. PUR-Schaum) von seiner Möglichkeit abhängt, selbst Propylenoxid herzustellen. Dies könnte bedeuten, daß eine bestimmte Konstellation bei der möglichen Realisierung der Option wirtschaftliche Konsequenzen haben kann, die weit über die Herstellung von Propylenoxid alleine hinausreichen. Es könnte sein, daß die Option in der Weise Realität wird, daß die bisher in Deutschland in der Produktion von Propylenoxid (und seinen Weiterverarbeitungsprodukten) engagierten Unternehmen von anderen Unternehmen abgelöst werden, die das chlorfreie Verfahren nutzen, und damit auf mittlere Sicht auch ihre Märkte in den Weiterverarbeitungsprodukten verlieren.

Beurteilung der Vollständigkeit, Genauigkeit und Übertragbarkeit der Daten zu Abschnitt 7.5.

1. **Datenquellen**
Im einzelnen stammen die Angaben zum Jahr der Inbetriebnahme bei DOW aus der Firmenchronik und einer telefonischen Rückfrage, bei Erdölchemie aus der Literatur, bei BASF aus der Literatur (eine telefonische Rückfrage hat nicht zum Ergebnis geführt) und bei den Bunawerken aus einer telefonischen Auskunft.
2. **Lücken in den Daten und Möglichkeiten, sie zu schließen**
Angaben zur Installation/Erneuerung von einzelnen Anlageteilen liegen nicht vor. Hierzu kommen als Quellen praktisch nur die PO herstellenden Unternehmen in Betracht.

Angaben zum Wert der Anlagen und zu den investierten Beträgen liegen nur schätzungsweise vor.
3. **Genauigkeit der Aussagen:**
Ausreichend.
4. **Übertragbarkeit auf andere Bereiche**
Die hier erarbeitete Systematik der verschiedenen Kostenbetrachtungen und Methodik der Berechnung und Quantifizierung ist auf andere Bereiche der Chlorchemie übertragbar.
5. **Hinweise auf Themen zur weiteren Vertiefung:**
Keine.

7.6 Fristen der Umstellung

Zu den möglichen Fristen der Umstellung ist bei der Ermittlung der Kosten im Sinne investiver Aufwendungen das Nötige und gegenwärtig Mögliche gesagt worden.

7.7 Zusammenfassung: Neue Ergebnisse über Propylenoxid

- der Marktwert des in Westdeutschland hergestellten Propylenoxid beträgt rd. 1 Mrd DM;
- mit dem indirekten Oxidationsverfahren mittels Isobutan scheinen keine gravierenden Nachteile unter Umweltaspekten verbunden zu sein;
- die meisten Anlagen in Deutschland wurden Anfang der 70er Jahre errichtet;
- die Möglichkeit einer Konversion im engeren Sinne erscheint unwahrscheinlich;
- in den USA wird gegenwärtig in große Anlagen nach den indirekten Oxidationsverfahren investiert;
- ein Patentschutz auf das indirekte Oxidationsverfahren besteht nicht mehr;
- aus der Sicht des einzelnen Herstellers kann es bei der Option um viel mehr gehen als um den Markt für Propylenoxid.

8. GESPRÄCHSLEITFADEN ALS ARBEITSINSTRUMENT

Im Zuge der Überlegungen zur exemplarischen Durchführung der Untersuchungsstruktur ist versuchsweise ein Gesprächsleitfaden als mögliches Arbeitsinstrument entwickelt worden (Anhang C). Er war als Hilfsmittel für Interviews mit Experten aus den Herstellerfirmen, Engineeringfirmen, Hochschulen etc. gedacht. Aus verschiedenen Gründen ist er nicht angewendet worden. Einmal hat sich sehr schnell herausgestellt, daß es nur wenige potentielle Auskunftspersonen gibt, die für das Gesamtthema "Propylenoxid" Expertenwissen haben. Zum anderen sollte während der Laufzeit des Projektes TA Chlorchemie, in das die Herstellerfirmen besonders in der Schlußphase sehr intensiv einbezogen waren, eine zusätzliche Ansprache der Herstellerunternehmen vermieden werden, wodurch sich die Zahl der Ansprechpartner weiter verringerte.

Der Gesprächsleitfaden wird hier dennoch aufgenommen, weil er exemplarisch zeigt, wie ein Arbeitsinstrument zur systematischen Sammlung von Informationen aufgebaut sein kann. In den weniger übersichtlichen Segmenten der Chlorchemie kann eine solche Struktur wertvolle Dienste leisten.

9. PERSPEKTIVEN FÜR DIE HAUPTSTUDIE

In der Hauptstudie ist im wesentlichen das in Abschnitt 6 entwickelte Untersuchungsschema auf die prioritären Bereiche nach Abschnitt 4 anzuwenden und bereichsweise abzuarbeiten. Je Bereich wird als Ergebnis herausgearbeitet werden,

- in welchem Zusammenhang Chlor verwendet wird,
- welche chlorfreien Alternativen bestehen,
- ob die Alternativen bei einer gesamthaften Betrachtung unter Umweltaspekten gravierende Nachteile aufweisen,
- welche technischen Umrüstungsmöglichkeiten bestehender Anlagen vorhanden sind,
- welche Kosten bei einer Konversion entstehen und bei wem sie anfallen,
- wann im Hinblick auf die Altersstruktur der eingesetzten Maschinen und Anlagen eine Konversion am günstigsten wäre.

Innerhalb dieses allgemeinen Untersuchungsrahmens sind je nach dem vorliegenden Wissensstand je Bereich unterschiedliche Untersuchungsschwerpunkte zu setzen. In Bereich 1 (Propylenoxid) sind neben dem Umweltvergleich der im Prinzip bekannten Verfahren die Bedingungen herauszuarbeiten, unter denen eine Konversion wahrscheinlich allein aufgrund der Marktkräfte - d.h. ohne politische Intervention - stattfinden wird.

Im Bereich 2 (EDC/VC/PVC) sind besonders die technischen Erfordernisse einer Lösung des Verfahrenverbundes zwischen Direkt- und Oxidchlorierung herauszuarbeiten sowie die Anwendungsgebiete von PVC genauer zu identifizieren, in denen eine Produktsubstitution relativ problemlos möglich ist. Von großer Bedeutung sind in diesem Bereich ferner der "Hysteresis-Effekt", d.h. die Frage nach dem zweckmäßigsten Umgang mit dem "Überhang" der noch in Benutzung befindlichen PVC-Produkte und die Möglichkeiten und die Kosten der Umstellung bei den Herstellern von Kunststoffherzeugnissen.

In Bereich 3 (Allylchlorid/Epichlorhydrin/Epoxidharze sind mögliche chlorfreie Verfahren erst noch genauer zu umreißen, bevor auf einen Verfahrensvergleich unter Umweltaspekten und die Kosten der Umstellung näher eingegangen werden kann. Dies gilt in verstärktem Maße auch für die Bereiche 4 (Phosgen/Isocyanate) und 5 (Polycarbonate). Die chemisch-verfahrenstechnischen Alternativen zu einer Verwendung von Phosgen sind noch klarer herauszuarbeiten.

In der Übersicht auf den folgenden Seiten sind die Bereiche der Chlorchemie aus der Prioritätsklasse I mit den Anwendungsbereichen der Produkte und den Subventionsmöglichkeiten in einem Überblick tabellenartig dargestellt.

	Produkt/ Vorprodukt 1	Anwendungsbereich 2	Produktions- menge BR-Deutschland (in 1000 t/a) 3	Art 4	Substitutionsmöglichkeiten Beschreibung 5	Potenzialein- schätzung für Substitution 6
Bereich 1	Propylenoxid (Z) - chlorfrei -	<ul style="list-style-type: none"> * Herstellung von Polyurethanen (z.B. für Matratzen, Kfz-Sitze, Wärmedämmmaterial) * Herstellung von Polyetherpolyolen (z.B. für Bremsflüssigkeit, Schmiermittel) * Herstellung von Polypropylen glykolen (z.B. für Kunstharze, Hydraulikflüssigkeit, Frostschutzmittel) * Herstellung von Propylenglykolether (z.B. für Löse- und Reinigungsmittel) 	<p>ca. 350 - 430</p> <p>ca. 60</p> <p>ca. 120</p> <p>ca. 25</p>	Verfahrens- substitution	Das bisher in der BR-Deutschland ausschließlich angewendete Chlorhydrinverfahren zur Propylenoxidherstellung kann durch chlorfreie Verfahren (z.B. Peroxidverfahren, Direktoxidation, Wasserstoffperoxid-Verfahren) ersetzt werden; hierdurch Reduktion des Chlorbedarfs von bis zu 100 %.	hoch
Bereich 2	Ethylendichlorid (P) (1,2-Dichlorethan) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Herstellung von Vinylchlorid * Herstellung von Vinylidenchlorid * Herstellung von weiteren Chemieprodukten: <ul style="list-style-type: none"> - Ethylendiamin - Thioplasten - Ethylenglykoldiacetat * Verwendung als Lösemittel 	<p>ca. 1.200</p> <p>ca. 120</p>	Verfahrens- substitution	Umstellung des Produktionsverfahrens auf die Oxichlorierung (Lösung vom Verfahrensverbund zwischen Direkt- und Oxichlorierung); hierdurch Reduktion des Chlorbedarfs (Primärchlor) um ca. 70 - 100 %.	hoch
	Vinylchlorid (Z) (Chlorethan) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Zwischenprodukt zur Herstellung von Polyvinylchlorid (PVC) 	ca. 1.200	Verfahrens- substitution	Umstellung des Produktionsverfahrens auf die Oxichlorierung (Lösung vom Verfahrensverbund zwischen Direkt- und Oxichlorierung); hierdurch Reduktion des Chlorbedarfs (Primärchlor) ca. 70 - 100 %.	hoch
	Vinylidenchlorid (Z) (1,1-Dichlorethan) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Zwischenprodukt zur Herstellung von Kunststoffen, Farben und Pflanzenschutzmittel 	mit < 1 % in der Menge für Vinylchlorid enthalten			
	Polyvinylchlorid (P) - chlorhaltig -	<p>vielfältig verwendeter Standardkunststoff</p> <ul style="list-style-type: none"> * PVC (Hart) <ul style="list-style-type: none"> - Rohre/Fittings 211 - Profile 336 - (davon Fensterrahmen) (181) - Folien/Platten 185 - Spritzgußformteile 22 - Hohlkörper 7 - Schallplatten 5 - Sonstiges 14 * PVC (weich) 405 (Gesamt) <ul style="list-style-type: none"> - Schläuche/Profile 63 - Kabel-/Drahtummantelungen 92 - Folien/Platten 94 - Spritzgußformteile 12 - Fußbodenbeläge 47 - Kunstleder/Planenstoffe und Tapeten 55 - Sonstiges 42 	<p>ca. 1.200</p> <p>780 (gesamt)</p> <p>211</p> <p>336</p> <p>(181)</p> <p>185</p> <p>22</p> <p>7</p> <p>5</p> <p>14</p> <p>405 (Gesamt)</p> <p>63</p> <p>92</p> <p>94</p> <p>12</p> <p>47</p> <p>55</p> <p>42</p>	Produkt- substitution	<p>leicht substituierbar sind: kurzlebige PVC-Produkte, wie Folien für Verpackungen, Spritzgußformteile, sonstige;</p> <p>substituierbar sind viele PVC-Produkte im Baubereich, wie Fensterrahmen, Fußbodenbeläge, Tapeten, Folien und Platten, Profile und Rohre (zum Teil) sowie im Kfz-Anwendungsbereich, wie Spritzgußformteile, Hohlkörper</p> <p> </p> <p>schwer bis garnicht substituierbar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kabel-/Drahtummantelungen; einige Spezialanwendungen, z.B. im medizinischen Bereich 	mittel

	Produkt/ Vorprodukt 1	Anwendungsbereich 2	Produktions- menge BR-Deutschland (in 1000 t/a) 3	Art 4	Substitutionsmöglichkeiten Beschreibung 5	Potenzialein- schätzung für Substitution 6
Bereich 3	Allylchlorid (P) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Herstellung von Epichlorhydrin * Herstellung von Flockungshilfsmitteln * Herstellung von Allylalkohol 	K.A.	-		gering
	Epichlorhydrin (Z) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Herstellung von Epoxidharzen * Herstellung von Reaktivverdünnern * Herstellung von Papierhilfsstoffen * Herstellung von oberflächenaktiven Substanzen * Herstellung von Polyetherpolyolen 	ca. 85 ca. 20	Verfahrens- substitution	Substitution des bisherigen Herstellungsverfahrens von Epichlorhydrin, statt dessen Umsetzung von Allylchlorid mit Wasserstoff und Propionsäure; hierdurch Reduktion des Chlorbedarfs um 60 - 70 %.	mittel
	Epoxidharze (E) - chlorfrei -	<ul style="list-style-type: none"> * Anwendung als vielfältig gebrauchter Standardkunststoff in den Bereichen <ul style="list-style-type: none"> - Bauwesen (z.B. für Lacke, Bodenbeschichtungen, Hausverkleidungen) - Flugzeugbau (z.B. für Tragwerks- und Leitwerksteile, Rumpfbauerteile) - Elektronikindustrie (z.B. Leiterplatten, Bauteile und Gehäuse, Lackkomponenten für Elektronikbauteile) - Sport und Freizeit (z.B. Ski, Surfbretter, Sportboote, Tennisschläger) 	ca. 85	1)		gering
Bereich 4	Phosgen (P) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Herstellung von Isocyanaten (TDI, MDI, sonstige) * Herstellung von Polycarbonaten * Sonstige Anwendungen <ul style="list-style-type: none"> - Herstellung spezieller Chemieprodukte (z.B. Vorprodukte für Pflanzenschutzmittel) 	ca. 275 ca. 125 K.A.	Verfahrens- substitution	Verwendung von HCl anstelle von Chlor zur Phosgenherstellung	gering
	Isocyanate (Z) (TDI/MDI) - chlorfrei -	<ul style="list-style-type: none"> * Herstellung von Polyurethanen 	ca. 275	Produkt- substitution	Anwendung alternativer phosgenfreier Verfahren zur Isocyanat- und Polycarbonatherstellung	mittel
	Polyurethane (E) - chlorfrei -	<ul style="list-style-type: none"> * Anwendung als vielfältig gebrauchter Standardkunststoff in den Bereichen <ul style="list-style-type: none"> - Kraftfahrzeugssektor (z.B. für Autositze, Formteile für Kfz, Fensterrahmen) - Möbelindustrie (z.B. hochelastische Schaumstoffe für Matratzen und Polster) - Kühlgeräteherstellung (Isoliermaterial) - Bausektor (z.B. Klebstoffe, Lacke, Bauplatten) - Sport und Freizeit (z.B. Ski- und Schuhsohlen, Textilbeschichtungen) 	439	Verfahrens- substitution	Chlorfreie Herstellungsverfahren	mittel
				1)		gering

1) nicht relevant, da chlorfreie Endprodukte

	Produkt/ Vorprodukt 1	Anwendungsbereich 2	Produktions- menge BR-Deutschland (In 1000 t/a) 3	Art 4	Substitutionsmöglichkeiten Beschreibung 5	Potentialein- schätzung für Substitution 6
Bereich 4	Polycarbonate (E) - chlorfrei -	* Anwendung als vielfältig gebrauchter Standard- und Spezialkunststoff in den Bereichen - Elektronik - Bauwesen - Fahrzeugbau - Büromaschinen - Unterhaltungsindustrie (z.B. CD-Platten) - Verpackungsbereich - Sonstige	ca. 125 (gesamt) 44 24 8 6 5 2 10	Verfahrens- substitution	Substitution des bisherigen Herstellungsverfahrens unter Verwendung von Phosgen, statt dessen Umsetzung von Diphenylcarbonat mit Bisphenol A in einem Schmelzverfahren zu Polycarbonaten; hierdurch Reduktion des Chlorbedarfs um 100 %.	mittel

LEGENDE

Spalte 1: Produkt/Vorprodukt

(P): Primärprodukt; kennzeichnet die Stufe, in welcher Chlor bei der Produktion direkt zum Einsatz kommt.

(Z): Zwischenprodukt; wird in direkter Folge durch Umwandlung aus Primärprodukten hergestellt und dient als Einsatzprodukt für Folgeprozesse.

(E): Endprodukte werden als solche in weiteren Anwendungen (innerhalb und außerhalb der Chemischen Industrie) nicht mehr chemisch verändert.

Spalte 3: Produktionsmenge

Die Produktionsmenge (in 1000 t/a) stellt die geschätzte jeweils produzierte Menge für 1991 für die Bundesrepublik Deutschland dar.

Spalte 6: Potentialeinschätzung für Substitution

gering: Kein oder sehr geringes Substitutionspotential; keine Alternativverfahren bekannt oder erst im Labormaßstab untersucht.

mittel: Alternativverfahren bekannt, werden derzeit jedoch in der Bundesrepublik Deutschland noch nicht großtechnisch eingesetzt.

hoch: Allgemein anerkannte Verfahren, welche in der Chemie im In- und Ausland bereits großtechnisch eingesetzt werden.



ANHANG A



SENSITIVITÄTSANALYSE DER SEGMENTRANGFOLGE

Zur weiteren Abstützung der Ergebnisse der Prioritätenfindung wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Nachdem dem vorgängigen Auswahlverfahren eine abnehmende Gewichtung von Mengen-, Umweltrelevanz und Substitutionsmöglichkeiten zugrunde gelegt wurde, werden über eine Variation der Gewichtungen der Grobkriterien weitere Rangfolgen der Segmente entwickelt.

Die Variation der Gewichtungen erfolgt nach nachstehendem Schema.

	Var. A	Var. B	Var. C	Var. D	Var. E
Mengenrelevanz	4	5	1	3	2
Umweltrelevanz	3	4	1	4	3
Substitutionsmöglichkeit	2	3	1	5	4
siehe Tabelle	4.3	1	2	3	4

Die Gewichtung nach Variante A wurde der Prioritätsfindung (Kap. 4) zugrundegelegt. Im Rahmen der weiteren Varianten wird untersucht, inwieweit sich eine Verminderung der Gewichtung der Mengenrelevanz auf die Rangfolge der Segmente auswirkt.

Das Ergebnis ist in Tabelle 5 dargestellt. Die Einzelsegmente resp. Bereiche sind nach Prioritätsklassen absteigend gereiht. Im einzelnen ergeben sich nur geringe Verschiebungen zwischen Priorität I und II, jedoch keine grundsätzliche Veränderung gegenüber der in Kapitel 4, Tabelle 4.4 getroffenen Auswahl prioritärer Bereiche.

Tabelle 1: Rangfolge der Einzelsegmente mit Prioritätsklassen
(Gewichtung: Menge 5-fach, Umwelt 4-fach, Substitution 3-fach)

Segm.	Bezeichnung	5;4;3;	Summe	K.O.-Krit.	Priorität
6	Propylenoxid	4.67	4.67		I
1	EDC	4.50	9.17		I
2	VC	4.50	13.67		I
7	TETRA	3.75	17.42	ja	
3	PVC	3.50	20.92		I
19	Epichlorhydrin	3.33	24.25		I
21	Chlorbleiche	3.17	27.42	ja	
5	1,1,1-Trichlorethan	3.08	30.50	ja	
10	Phosgen	3.08	33.58		II
37	PCB/Pestizide	3.00	36.58		II
15	PER	2.92	39.50		II
38	Chlorwasserstoff	2.92	42.42		II
8	R 11	2.83	45.25	ja	
9	R 12	2.83	48.08	ja	
18	Allylchlorid	2.83	50.91		II
17	Dichlormethan	2.67	53.58		II
31	Trichlorethylen	2.67	56.25		II
36	Monochlorethan	2.50	58.75		II
11	TDI	2.42	61.17		II
16	R 113/R 114/R 115	2.42	63.59	ja	
29	Tetramethylblei	2.25	65.84	ja	
35	Chlortoluole	2.25	68.09		III
4	Ethylendiamin	2.17	70.26		III
14	Sonst. Anw. Phosgen	2.17	72.43		III
25	Methylchlorid	2.17	74.60		III
30	Chloroform	2.17	76.77	ja	
12	MDI	2.08	78.85		III
40	Metallchloride	2.08	80.93		III
34	Cyanurchlorid	2.00	82.93		III
23	Chlornitrobenzole	1.92	84.85		III
22	Chlorbenzole	1.83	86.68		III
32	Monochloressigsäure	1.75	88.43		III
26	Chlorsilane/Silikon	1.58	90.01		III
33	Phosphortrichlorid	1.58	91.59		III
39	Sulfuryl-/Thionylchl.	1.50	93.09		III
13	Polycarbonate	1.25	94.34		III
24	Sonst. Verw. Chlorbenz.	1.25	95.59		III
20	Epoxidharze	1.00	96.59		III
27	HEMC/HPMC	1.00	97.59		III
28	Methylcellulose	1.00	98.59		III
	Gesamtsumme	98.59			
	Prioritätsklassen	I	< 32.86		
		II	< 65.73		
		III	< 98.59		

Tabelle 2: Rangfolge der Einzelsegmente mit Prioritätsklassen
(Gewichtung: Menge 1-fach, Umwelt 1-fach, Substitution 1-fach)

Segm.	Bezeichnung	1;1;1;	Summe	K.O.-Krit.	Priorität
6	Propylenoxid	4.67	4.67		I
2	VC	4.42	9.09		I
1	EDC	4.33	13.42		I
7	TETRA	3.92	17.34	ja	
3	PVC	3.33	20.67		I
5	1,1,1-Trichlorethan	3.33	24.00	ja	
37	PCB/Pestizide	3.33	27.33		I
19	Epichlorhydrin	3.25	30.58		I
21	Chlorbleiche	3.25	33.83	ja	
38	Chlorwasserstoff	3.17	37.00		II
8	R 11	3.08	40.08	ja	
9	R 12	3.08	43.16	ja	
31	Trichlorethylen	3.00	46.16		II
10	Phosgen	2.92	49.08		II
15	PER	2.83	51.91		II
16	R 113/R 114/R 115	2.75	54.66	ja	
17	Dichlormethan	2.75	57.41		II
18	Allylchlorid	2.67	60.08		II
36	Monochlorethan	2.67	62.75		II
29	Tetramethylblei	2.58	65.33	ja	
4	Ethylendiamin	2.50	67.83		III
11	TDI	2.33	70.16		III
30	Chloroform	2.33	72.49	ja	
35	Chlortoluole	2.33	74.82		III
40	Metallchloride	2.33	77.15		III
14	Sonst. Anw. Phosgen	2.25	79.40		III
12	MDI	2.08	81.48		III
25	Methylchlorid	2.08	83.56		III
34	Cyanurchlorid	2.00	85.56		III
23	Chlornitrobenzole	1.92	87.48		III
22	Chlorbenzole	1.75	89.23		III
32	Monochloressigsäure	1.67	90.90		III
33	Phosphortrichlorid	1.58	92.48		III
26	Chlorsilane/Silikon	1.50	93.98		III
39	Sulfuryl-/Thionylchl.	1.50	95.48		III
13	Polycarbonate	1.33	96.81		III
24	Sonst. Verw. Chlorbenz.	1.25	98.06		III
20	Epoxidharze	1.00	99.06		III
27	HEMC/HPMC	1.00	100.06		III
28	Methylcellulose	1.00	101.06		III
	Gesamtsumme	101.06			
	Prioritätsklassen	I	< 33.69		
		II	< 67.37		
		III	< 101.06		

Tabelle 3: Rangfolge der Einzelsegmente mit Prioritätsklassen
(Gewichtung: Menge 3-fach, Umwelt 4-fach, Substitution 5-fach)

Segm.	Bezeichnung	3;4;5;	Summe	K.O.-Krit.	Priorität
6	Propylenoxid	4.67	4.67		I
2	VC	4.33	9.00		I
1	EDC	4.17	13.17		I
7	TETRA	4.08	17.25	ja	
37	PCB/Pestizide	3.67	20.92		I
5	1,1,1-Trichlorethan	3.58	24.50	ja	
38	Chlorwasserstoff	3.42	27.92		I
8	R 11	3.33	31.25	ja	
9	R 12	3.33	34.58	ja	
21	Chlorbleiche	3.33	37.91	ja	
31	Trichlorethylen	3.33	41.24		II
3	PVC	3.17	44.41		II
19	Epichlorhydrin	3.17	47.58		II
16	R 113/R 114/R 115	3.08	50.66	ja	
29	Tetramethylblei	2.92	53.58	ja	
4	Ethylendiamin	2.83	56.41		II
17	Dichlormethan	2.83	59.24		II
36	Monochlorethan	2.83	62.07		II
10	Phosgen	2.75	64.82		II
15	PER	2.75	67.57		II
40	Metallchloride	2.58	70.15		III
18	Allylchlorid	2.50	72.65		III
30	Chloroform	2.50	75.15	ja	
35	Chlortoluole	2.42	77.57		III
14	Sonst. Anw. Phosgen	2.33	79.90		III
11	TDI	2.25	82.15		III
12	MDI	2.08	84.23		III
25	Methylchlorid	2.00	86.23		III
34	Cyanurchlorid	2.00	88.23		III
23	Chlornitrobenzole	1.92	90.15		III
22	Chlorbenzole	1.67	91.82		III
32	Monochloressigsäure	1.58	93.40		III
33	Phosphortrichlorid	1.58	94.98		III
39	Sulfuryl-/Thionylchl.	1.50	96.48		III
13	Polycarbonate	1.42	97.90		III
26	Chlorsilane/Silikon	1.42	99.32		III
24	Sonst. Verw. Chlorbenz.	1.25	100.57		III
20	Epoxidharze	1.00	101.57		III
27	HEMC/HPMC	1.00	102.57		III
28	Methylcellulose	1.00	103.57		III
	Gesamtsumme	103.57			
	Prioritätsklassen	I	< 34.52		
		II	< 69.05		
		III	< 103.57		

Tabelle 4: Rangfolge der Einzelsegmente mit Prioritätsklassen
(Gewichtung: Menge 2-fach, Umwelt 3-fach, Substitution 4-fach)

Segm.	Bezeichnung	2;3;4;	Summe	K.O.-Krit.	Priorität
6	Propylenoxid	4.67	4.67		I
2	VC	4.31	8.98		I
7	TETRA	4.14	13.12	ja	
1	EDC	4.11	17.23		I
37	PCB/Pestizide	3.78	21.01		I
5	1,1,1-Trichlorethan	3.67	24.68	ja	
38	Chlorwasserstoff	3.50	28.18		I
31	Trichlorethylen	3.44	31.62		I
8	R 11	3.42	35.04	ja	
9	R 12	3.42	38.46	ja	
21	Chlorbleiche	3.36	41.82	ja	
16	R 113/R 114/R 115	3.19	45.01	ja	
19	Epichlorhydrin	3.14	48.15		II
3	PVC	3.11	51.26		II
29	Tetramethylblei	3.03	54.29	ja	
4	Ethylendiamin	2.94	57.23		II
36	Monochlorethan	2.89	60.12		II
17	Dichlormethan	2.86	62.98		II
15	PER	2.72	65.70		II
10	Phosgen	2.69	68.39		II
40	Metallchloride	2.67	71.06		III
30	Chloroform	2.56	73.62	ja	
18	Allylchlorid	2.44	76.06		III
35	Chlortoluole	2.44	78.50		III
14	Sonst. Anw. Phosgen	2.36	80.86		III
11	TDI	2.22	83.08		III
12	MDI	2.08	85.16		III
23	Chlornitrobenzole	2.06	87.22		III
34	Cyanurchlorid	2.00	89.22		III
25	Methylchlorid	1.97	91.19		III
22	Chlorbenzole	1.64	92.83		III
33	Phosphortrichlorid	1.58	94.41		III
32	Monochloressigsäure	1.56	95.97		III
39	Sulfuryl-/Thionylchl.	1.50	97.47		III
13	Polycarbonate	1.44	98.91		III
26	Chlorsilane/Silikon	1.39	100.30		III
24	Sonst. Verw. Chlorbenz.	1.25	101.55		III
20	Epoxidharze	1.00	102.55		III
27	HEMC/HPMC	1.00	103.55		III
28	Methylcellulose	1.00	104.55		III
	Gesamtsumme	104.55			
	Prioritätsklassen	I	< 34.85		
		II	< 69.70		
		III	< 104.55		

Tabelle 5: Sensitivitätsanalyse der Prioritätenreihung

Segm.	Bereich	Bezeichnung	Prioritätsklassen				
			4;3;2;	5;4;3;	1;1;1;	3;4;5;	2;3;4;
6	1	Propylenoxid	I	I	I	I	I
1	2	EDC	I	I	I	I	I
2		VC	I	I	I	I	I
3		PVC	I	I	I	II	II
18	3	Allylchlorid	II	II	II	III	III
19		Epichlorhydrin	I	I	I	II	II
20		Epoxidharze	III	III	III	III	III
10	4	Phosgen	I	II	II	II	II
11		TDI	II	II	III	III	III
12		MDI	III	III	III	III	III
13		Polycarbonate	III	III	III	III	III
14		Sonst. Anw. Phosgen	III	III	III	III	III
37	5	PCB/Pestizide	II	II	I	I	I
15	6	PER	II	II	II	II	II
17	7	Dichlormethan	II	II	II	II	II
38	8	Chlorwasserstoff	II	II	II	I	I
31	9	Trichlorethylen	II	II	II	II	I
36	10	Monochlorethan	II	II	II	II	II
4	11	Ethylendiamin	III	III	III	II	II
35	12	Chlortoluole	III	III	III	III	III
22		Chlorbenzole	III	III	III	III	III
23		Chlornitrobenzole	III	III	III	III	III
24		Sonst. Verw. Chlorbenz.	III	III	III	III	III
25	13	Methylchlorid	III	III	III	III	III
26		Chlorsilane/Silikon	III	III	III	III	III
40	14	Metallchloride	III	III	III	III	III
34	15	Cyanurchlorid	III	III	III	III	III
32	16	Monochloressigsäure	III	III	III	III	III
33	17	Phosphortrichlorid	III	III	III	III	III
39	18	Sulfuryl-/Thionylchl.	III	III	III	III	III
27	19	HEMC/HPMC	III	III	III	III	III
28	20	Methylcellulose	III	III	III	III	III

ANHANG B



Steckbrief zum Bereich 1:

– Propylenoxid

Propylenoxid (Epoxypropan) ist ein wichtiges petrochemisches Zwischenprodukt in der Chemischen Industrie. Propylenoxid wird zu ca. 60 % als Alkoholkomponente zur Herstellung für Polyurethane (PUR), die als Kunststoffe eine weite Anwendung finden, und zur Herstellung von Alkyd- und Polyesterharzen eingesetzt. Propylenoxid ist auch Bestandteil von Hydraulik- und Bremsflüssigkeiten sowie Frostschutzmitteln und dient als Lösemittel für Farbstoffe und Aromen in der Nahrungsmittelindustrie sowie als Feuchthaltemittel in der Tabakindustrie. Die Polyaddition von Propylenoxid liefert Polypropylenglykole, die zum Beispiel bei nichtionogenen Wasch- und Reinigungsmitteln Verwendung finden. In Tabelle 1 sind die Anwendungsbereiche von Propylenoxid sowie die Mengenanteile und Produktionsmengen für diese Anwendungsbereiche für Propylenoxid zusammengefaßt.



Produkt/ Vorprodukt	Anwendungsbereich	Mengenanteile (%)	Menge BR- Deutschland (Kt/a)
Propylenoxid (Z) - chlorfrei -	* Herstellung von Polyurethanen (PUR) für - Polstermöbel (Matratzen) - Kfz-Sitze - Teppichböden - Wärmedämmmaterial	55 - 70	ca. 350 - 430
	* Herstellung von Polyetherpolyolen für - oberflächenaktive Substanzen zur Herstellung von Waschmitteln, Textilien, Haarspray - Bremsflüssigkeit - Schmiermittel	10	ca. 60
	* Herstellung von Polypropylen-glykolen für - Kunstharze für die Textilherstellung - Lösemittel und Feuchthaltemittel in der Nahrungsmittelindustrie - Kosmetika, Pharmazeutika - Weichmacher - Kälteflüssigkeit - Hydraulikflüssigkeit - Frostschutzmittel	20	ca. 120
	* Herstellung von Propylen-glykolether - Lösemittel für Farben, Lacke, Harze und Reinigungsmittel	4 - 5	ca. 25

617*

* Propylenoxid-Produktionsmenge für 1991

Legende: (P): Primärprodukt
(Z): Zwischenprodukt
(E): Endprodukt

Steckbrief zum Bereich 2:

– Ethylendichlorid (EDC), Vinylchlorid (VC), Polyvinylchlorid (PVC)

Ethylendichlorid (EDC) wird zum überwiegenden Maße als Zwischenprodukt zur Herstellung von Vinylchlorid (PVC-Vorprodukt) produziert. Man gewinnt Ethylendichlorid durch die direkte Chlorierung oder Oxichlorierung von Ethen. Bei der Oxichlorierung wird das notwendige Chlor erst durch Oxidation von Chlorwasserstoff mittels Sauerstoff gewonnen. Daneben wird es auch als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Vinylidenchlorid, Ethylendiamin, Thioplasten sowie Ethylenglykoldiacetat benötigt. Zudem wird es auch als Lösemittel in der Chemischen Industrie eingesetzt.

Vinylchlorid dient fast ausschließlich zur Herstellung von Polyvinylchlorid. Daneben wird es mit einem Anteil von weniger als 5 % zu Mischpolymerisaten weiterverarbeitet. Die Herstellung von Vinylchlorid erfolgt durch Spaltung von Ethylendichlorid in Vinylchlorid und HCl.

Polyvinylchlorid ist das dominierende Produkt des Bereiches 1 und gleichzeitig ein sehr vielfältig verwendeter Standardkunststoff. Durch die Eigenschaften der Erzeugnisse aus PVC:

- hohe Steifheit bei geringer Wandstärke
- schwer entflammbar
- gut elektrisch isolierend
- physiologisch unbedenklich
- chemikalienfest
- korrosionsfest
- verschweißbar
- verklebbar
- gasdicht
- bedruckbar usw.

hat dieser Kunststoff ein breites Anwendungsgebiet gefunden. Insgesamt etwa 1/3 aller PVC-Produkte sind aus Weich-PVC. Zahlreiche Artikel wie Schläuche oder Profile, Kabelummantelungen, Fußbodenbeläge, Tapeten u.a. werden aus Weich-PVC unter Verwendung von Weichmachern hergestellt. Aus Hart-PVC werden etwa 2/3 aller PVC-Produkte gefertigt. Hierzu zählen Rohre, Profile (Fensterrahmen u.a.), Folien, Platten etc. Die bedeutendsten Branchen zum Einsatz von PVC-Produkten sind:

- Bauindustrie	58 %
- Verpackungsindustrie	15 %
- Möbelindustrie	4 %
- Automatenindustrie	4 %
- Elektroindustrie	4 %
- Sonstige	15 %.

Die Einsatzgebiete von PVC nach Funktionsanwendungen sind in Tabelle 2 enthalten.

Als einziger der bekannten Kunststoffe aus der Hauptgruppe der Thermoplaste besteht PVC, als Vertreter der sog. halogenierten Polymere, nicht nur aus Erdölderivaten

- Neben lediglich 43 % Erdölprodukten (Ethylen) umfaßt der Aufbau des PVC mehrheitlich, d.h. zu 57 % Chlor.

Für die inländische Herstellung von PVC, das in der Öffentlichkeit als prominentester Vertreter der Chlorchemie gilt, wird fast 30 % der gesamten deutschen Chlorproduktion aufgewandt. Chlor wird (meist noch) aus Steinsalz - im Gegensatz zu dem teureren, jedoch von Bariumbestandteilen freien und damit in dieser Hinsicht weit weniger umweltrelevanten Siedesalz - mittels (ebenfalls meist noch) Chloralkalielektrolyse nach dem Amalgam-Verfahren hergestellt. Nur wenige neuere Chlorerzeugungsanlagen laufen im Bundesgebiet nach dem sehr viel weniger umweltbelastenden Membranverfahren (Quecksilberfreie Produktion).

Insofern ist bereits auf der wichtigsten Vorstufe der Erzeugungskette bis zum Fertigprodukt PVC, d.h. bis zur Erzeugung des Vorproduktes, des carcinogenen Monomers Vinylchlorid (VC), die Umweltrelevanz an gasförmigen, flüssigen und feststoffhaltigen Emissionen und Reststoffen beträchtlich. Bei der Polymerisierung als Halbfertigware (A-Ware) durch Suspensions- und Emulsionsverfahren fallen - neben gasförmigen VC-Emissionen - allerdings nur relativ wenige nicht verkaufsfähige, d.h. abzulagernde Reststoffe an, da die meisten Abfälle aufbereitet werden (können) und als Sekundärqualität (sogenannte B- und C-Ware) für Nischenprodukte absatzfähig sind.

Tabelle 2: Anwendungsgebiete von Ethylendichlorid (EDC), Vinylchlorid (VC) und Polyvinylchlorid (PVC)

Produkt/ Vorprodukt	Anwendungsbereich	Mengenanteile (%)	Menge BR- Deutschland (Kt/a)
Ethylendichlorid (P) (1,2 Dichlorethan) - chlorhaltig -	* Herstellung von Vinylchlorid	90	
	* Herstellung von Vinylidenchlorid		
	* Herstellung von Ethylendiamin		
	* Herstellung von Thioplasten	10	
	* Herstellung von Ethylenglykoldiacetat		
	* Verwendung als Lösemittel		
Summe:		100	1.321¹⁾
Vinylchlorid (Z) (Chlorethen) - chlorhaltig -	* Herstellung von Polyvinylchlorid (PVC)	100	1.280 ²⁾
Vinylidenchlorid (Z) (1,1-Dichlorethan) - chlorhaltig -	* Zwischenprodukt zur Herstellung von - Kunststoffen - Farben - Pflanzenschutzmittel		
Polyvinylchlorid (P) - chlorhaltig -	* PVC (Hart)		
	- Rohre/Fittings	17,9	211
	- Profile	28,5	336
	(davon Fensterprofile)	(15,3)	(181)
	- Folien/Platten	15,7	185
	- Spritzgußformteile	1,9	22
	- Hohlkörper	0,6	7
	- Schallplatten	0,4	5
- Sonstiges	0,9	11	
	Gesamt PVC (Hart)	65,8	777

1) nach Produktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes Wiesbaden für 1991 (GP 422822 (EDC), GP 422837 (VC/VDC), GP 441452 (Roh-PVC)).

2) enthält auch die Produktionsmenge von Vinylidenchlorid, die < 1 % der Gesamtmenge ist.

Produkt/ Vorprodukt	Anwendungsbereich	Mengenanteile (%)	Menge BR- Deutschland (Kt/a)
	* PVC (Weich)		
	- Schläuche/Profile	5,3	63
	- Kabel-/Drahtum- mantelungen	7,8	92
	- Folien/Platten	8,0	94
	- Spritzgußformteile	1,0	12
	- Fußbodenbeläge	4,0	47
	- Kunstleder/Planen- stoffe und Tapeten	4,7	55
	- Sonstiges	3,5	41
	Gesamt	34,2	404
Summe:		100	1.181³⁾

Legende: (P): Primärprodukt
(Z): Zwischenprodukt
(E): Endprodukt

3) nach Produktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes Wiesbaden für 1991 (GP 422822 (EDC), GP 422837 (VC/VDC), GP 441452 (Roh-PVC)).

Steckbrief zum Bereich 3:

– Epichlorhydrin, Epoxidharze

Eigenschaften und Anwendungsbereiche:

Epoxidharze sind die bedeutendsten Endprodukte des Bereiches 3. Epoxidharze gehören zu den Kunststoffen mit vielfältigen Einsatzgebieten, die in Tabelle 3 zusammengefaßt sind. Hervorstechende Merkmale der Epoxidharze sind beispielsweise

- hohe Formbeständigkeit
- mechanische Belastbarkeit
- Härte
- Chemische Beständigkeit
- elektrische Isolareigenschaften
- hohe Adhasivität.

Obwohl Epoxidharze selbst kein Chlor enthalten, spielt Chlor bei der Herstellung eine wesentliche Rolle; sie bestehen nämlich aus vernetzten Kettenmolekülen, bei deren Aufbau die Vor- bzw. Zwischenprodukte

- 3-Chlorpropen (Allylchlorid)
- 1-Chlor-2,3-Epoxypropan (Epichlorhydrin)

einen entscheidenden Anteil haben.

Herstellung von Epichlorhydrin und Epoxidharzen

Das Vorprodukt für Epoxidharze das Epichlorhydrin wird technisch über einen zweistufigen Prozeß hergestellt, wobei von 3-Chlorpropen (Allylchlorid) ausgegangen wird. Aus der Umsetzung von 3-Chlorpropen mit Chlor und Wasser erhält man 2 Propandichlorhydrin-Isomerenmische, die nach Behandlung mit Natronlauge oder Calciumhydroxid in 1-Chlor-2,3-Epoxypropan (Epichlorhydrin) überführt werden. Die besondere Bedeutung des Epichlorhydrin für den Aufbau von Polymeren (Epoxidharzen) leitet sich aus der Bifunktionalität des Moleküls ab. Am häufigsten wird Epichlorhydrin mit Bisphenol A zu den entsprechenden Epoxidharzen umgesetzt (polymerisiert); jedoch ist auch die Reaktion mit aromatischen Aminen zu entsprechenden Epoxidharzen weit verbreitet.

Herstellungs- und Anwendungsmengen

Die weltweite Produktionskapazität von Epichlorhydrin beträgt ca. 700.000 t/a. Davon entfallen ca. 15 %, entsprechend 105.000 t/a auf die Bundesrepublik Deutschland. Ungefähr 80 % der Produktion an Epichlorhydrin werden zur Herstellung von Epoxidharzen verwendet (siehe Tabelle 3). Der restliche Teil wird für eine Vielzahl chemischer Synthesen, wie zum Beispiel zur Herstellung von Reaktiv-Verdünnern, Papierhilfsstoffen, Oberflächensubstanzen (z.B. in Haarpflegemitteln) oder Polyether-Polyolen für schwer entflammbare Polyurethane benötigt. Die Verseifung von Epichlorhydrin zu Glycerin besitzt keine große wirtschaftliche Bedeutung mehr, da der Glycerinbedarf durch die Verseifung natürlicher Fette weitgehend gedeckt wird.

Tabelle 3: Anwendungsbereiche von Epichlorhydrin und Epoxidharzen

Produkt/ Vorprodukt	Anwendungsbereich	Mengenanteile (%)	Menge BR- Deutschland (t/a)
Allylchlorid (P) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Herstellung von Epichlorhydrin * Herstellung von Flockungshilfsmitteln * Herstellung von Allylalkohol 		
Epichlorhydrin (Z) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Epoxidharze * Reaktiv-Verdünner * Papier-Hilfsstoff 	80 %	ca. 85.000
	<ul style="list-style-type: none"> * Oberflächenaktive Substanzen * Polyether-Polyole 	20 %	ca. 20.000
Epoxidharze (E) - chlorfrei -	<ul style="list-style-type: none"> * Bauwesen/Industrie <ul style="list-style-type: none"> - Lacke für Metallbeschichtungen - Korrosionsfeste Abwasserrohre, Behälter und Auskleidungen - Bodenbeschichtungen - Hausverkleidungen * Flugzeugbau <ul style="list-style-type: none"> - Tragflächen- und Leitwerksbauteile - Rumpfbauerteile - Segel- und Sportflugzeugbau - Wassertanks * Elektronikindustrie <ul style="list-style-type: none"> - Basismaterial für gedruckte Schaltungen (Leiterplatten) - Verkapselung elektronischer Bauteile - Bauteile und Gehäuse für Komponenten - Lackkomponenten für Spülen, Kühlischränke, Waschmaschinen, Spülmaschinen, Mikrowellengeräte 		

Produkt/ Vorprodukt	Anwendungsbereich	Mengenanteile (%)	Menge BR- Deutschland (t/a)
------------------------	-------------------	----------------------	-----------------------------------

- * Sport und Freizeit
 - Ski und Skistöcke
 - Surfbretter
 - Sportboote
 - Tennisschläger
 - Verkleidungen für Rennwagen
 - Lackung für Sportgeräte (Fahr-
räder, etc.)
 - Sprungbretter

Gesamt

ca. 85.000

Legende: (P): Primärprodukt
 (Z): Zwischenprodukt
 (E): Endprodukt

Steckbrief zum Bereich 4:

- Phosgen, TDI, MDI, Polycarbonate, sonstige Anwendung von Phosgen

Eigenschaften und Anwendungsbereiche:

Im Bereich 4 sind verschiedene Segmente (10, 11, 12, 13, 14) zusammengefaßt, in denen zum einen die Herstellung von Phosgen (Segment 10) und zum anderen die Anwendung von Phosgen (Segment 11- 14) behandelt wird.

Im Segment 10 wird die Herstellung von Phosgen behandelt. Das bedeutenste Verfahren basiert auf der Reaktion von Kohlenmonoxid mit Chlor. Neben der beschriebenen Realisierung dieses Prozesses besteht noch die Möglichkeit eines Einsatzes von HCl zur Phosgenproduktion, die jedoch noch nicht großtechnisch angewendet wird. Phosgen dient zur Herstellung von Isocyanaten wie TDI und MDI, die Vorprodukte zur Polyurethanherstellung darstellen, zur Herstellung von Polycarbonaten und wird darüber hinaus in einer Reihe weiterer Anwendungsgebiete eingesetzt (siehe Tabelle 4).

Die bedeutensten Anwendungsgebiete sind im Bereich 4 die Herstellung der Diisocyanate TDI (Toluylendiisocyanat) und MDI (Diphenylmethandiisocyanat) und deren weitere Umsetzung mit di- oder polyfunktionellen Alkoholen (Gewinnung aus Propylenoxid) zu Polyurethanen sowie die Herstellung von Polycarbonaten. Dabei wird Chlor über die Zwischenstufe Phosgen zur Einführung der Carbonylgruppe in die Ausgangsverbindungen eingesetzt.

Polyurethane werden in sehr unterschiedlichen Spezifikationen mit jeweils sehr speziellen Eigenschaften hergestellt:

- Polyurethan-Weichschaumstoffe
 - Einsatzgebiete in der Verpackungsindustrie, Kraftfahrzeugindustrie, Möbelindustrie, Textilindustrie und technische Bereiche
- Polyurethan-Hartschaumstoffe
 - Einsatzgebiete in der Bauindustrie (Schall- und Wärmeisoliermaterialien), im Sportsektor, Fahrzeugindustrie, Wärme- und Kältetechnik sowie Montageschäume

- Harte Polyurethan-Integralschaumstoffe
 - Einsatzgebiete für Gehäuse der Computer- und Elektronikbranche, Maschinenverkleidungen, Sportgeräte, Möbel, technische Artikel und Innenverkleidungen im Fahrzeugbau
- Halbharte Polyurethan-Füllschaumstoffe
 - Einsatzgebiete in der Kraftfahrzeugindustrie
- Elastische Polyurethan-Integralschaumstoffe
 - Einsatzgebiete im Automobilsektor, Verpackungsbereich, Haushaltsgeräte u.a.

Die Haupteinsatzgebiete für Polyurethan (PUR) bilden der Bereich der Möbelindustrie (Matratzen), der Baubereich, die Kraftfahrzeugindustrie sowie der Verpackungssektor.

Polycarbonate werden vornehmlich in der Elektrobranche sowie im Bauwesen eingesetzt. Produkte aus Polycarbonaten sind Bauteile der Elektrotechnik und Elektronik, Sicherheitsverkleidungen und transparenten Sicherheitsscheiben, Elemente der Optik und Lichttechnik (optische Gläser), Gehäuse und Bauteile für Haushalts- und Büroartikel, Medizinische Geräte, Artikel für Sport und Freizeit, für das Verkehrs- und Sicherheitswesen sowie für Lagerung und Verpackung.

Tabelle 4: Anwendungsbereiche für Phosgen, MDI, TDI und Polycarbonate

Produkt/ Vorprodukt	Anwendungsbereich	Mengenanteile (%)	Menge BR- Deutschland ⁴⁾ (kt/a)
Phosgen (P) - chlorhaltig -	* Herstellung von Toluylendiisocyanat (TDI)	36,3 ⁵⁾	104.000
	* Herstellung von Diphenyl- methandiisocyanat (MDI)	30,3 ²⁾	170.000
	* Herstellung von Polycar- bonaten	12,4 ²⁾	126.000
	* Sonstige Anwendungen - Herstellung sonstiger Diisocyanate (z.B. zur Lackherstellung) - Herstellung von Mono- isocyanaten (Vorprodukte für Pflanzenschutzmittel) - Herstellung von Chloro- ameisensäureester - Herstellung von Kohlen- säureester - Herstellung von Benzophenon - Herstellung von Säurechloriden	21,0 ²⁾	K.A.
TDI/MDI (Z) - chlorfrei -	* Herstellung von Polyurethanen	100	274.000
Polyurethane (E) - chlorfrei -	* Kraftfahrzeugsektor - Schaumstoffe für Autositze - harte und flexible Formteile für Kfz - Fensterrahmen		439.000
	* Möbelindustrie - hochelastische Schaum- stoffe für Matratzen und Polster		
	* Kühlschrankherstellung - harte Schaumstoffe als Isoliermaterialien		
	* Bausektor - Klebstoffe, Lacke - Bauplatten		

4) Produktionsmengen für 1991 (geschätzt im Rahmen des BmFT-Forschungsvorhabens "Techniken zur Vermeidung, Verwertung und alternativen Entsorgung von Rückständen am Beispiel der Chlorchemie)

5) Chlormengenanteile für 1987 der Phosgenanwendungen nach Nolte/Joas 1992

Produkt/ Vorprodukt	Anwendungsbereich	Mengenanteile (%)	Menge BR- Deutschland (kt/a)
	* Sport und Freizeitbereich - Ski und Schuhsohlen - Textilbeschichtungen * Verpackungsindustrie		
Polycarbonate (E) - chlorfrei -	* Elektrotechnik (einschließlich Haushalts- geräte, Gebrauchsartikel)	44	
	* Bauwesen	24	
	* Fahrzeugbau	8	
	* Büromaschinen	6	
	* Unterhaltungsindustrie (CD-Platten)	5	
	* Verpackungsbereich	2	
	* Sonstige	11	
	Gesamt	126.000	

Legende: (P): Primärprodukt
(Z): Zwischenprodukt
(E): Endprodukt

Steckbrief 5 zu den Bereichen 5, 6, 7, 8, 9, 10

– Bereiche der Priorität II

Zu den in diesem Steckbrief zusammengefaßten Bereichen der Priorität II zählen:

Bereich	Bezeichnung	Chloreinsatzmenge
5	PCB/Pestizide	< 1,0 %
6	PER (Perchloroethylen)	5,5 %
7	Dichlormethan	4,3 %
8	Chlorwasserstoff	1,1 %
9	Trichlorethylen	0,9 %
10	Monochlorethan	0,3 %

Die Anwendungsgebiete dieser End- und Zwischenprodukte sind in Tabelle 5 dargestellt. Den mengenmäßig bedeutendsten Anteil besitzen die CKW-Lösemittel (Bereiche 6, 7 und 9) mit zusammen ca. 11 % Chloreinsatzmenge (Basis: 1987). Die CKW-Lösemittel finden eine breite Anwendung in der Metallbe- und -verarbeitenden Industrie. Der jährliche Verbrauch dieser drei CKW-Lösemittel in der Bundesrepublik Deutschland ist jedoch seit Mitte der achtziger Jahre stark rückläufig. So betragen 1991 die Verbrauchsmengen der drei CKW-Lösemittel in der Bundesrepublik Deutschland nur noch 59.000 t gegenüber noch 135.000 t im Jahr 1986. Die Produkte der anderen Bereiche haben wie die Tabelle 5 zeigt, eher sehr spezielle Anwendungsgebiete.

Tabelle 5: Anwendungsbereiche der End- und Zwischenprodukte der Bereiche mit der Priorität II

Bereich	Produkt/ Vorprodukt	Anwendungsbereich	Mengenanteile (%)	Menge BR- Deutschland (kt/a)
5	PCB (E) - chlorhaltig -	* Elektroindustrie - Dielektrikum für Transformatoren, Kondensatoren u.a. * Sonstiges Gesamt:		K.A.
	Pestizide (E) (Beispiele) - chlorhaltig -	* Bifenox - Blatt- und Wurzel- herbizid (Getreide) * 2,4-Dichlorphenoxy- propionsäure (2,4-DP) - Herbizid (Sommer- und Wintergetreide) * 2,4-Dichlorphenoxy- essigsäure (2,4 - D) - Herbizid (Getreide, Grünland, Rasenflächen) * Nitrofen - Herbizid (Sommer-, Wintergetreide) * Dichlofop-methyl - Herbizid (Zucker- rüben, Getreide, Ackerbohnen)		> 1.000 t ⁶⁾ > 1.000 t ¹⁾ > 1.000 t ¹⁾ ca. 5.000 t ¹⁾
6	Perchlorethylen (Z, E) - chlorhaltig -	* Lösemittel für die Metallbe- und -entfettung * Lösemittel für Chemisch- Reinigungen * Zwischenprodukt für die Herstellung von H-FCKW/ HFKW Gesamt:		97.000 ⁷⁾

6) Angaben des UBA: Handbuch Chlorchemie II - Ausgewählte Produktionslinien
7) Angaben aus der Produktionsstatistik für 1991 (GP 422834 (Perchlorethylen))

Bereich	Produkt/ Vorprodukt	Anwendungsbereich	Mengenanteile (%)	Menge BR- Deutschland (Kt/a)
7	Dichlormethan (E) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Kaltreiniger/ Entlackungsmittel * Extraktionsmittel in der Lebensmittelindustrie * Lösemittel für die Metall- be- und -entfettung * Flußmittelentfernung/Foto- resistentwicklung (Leiter- plattenherstellung) 		91.000 ⁸⁾
8	Chlorwasserstoff (E) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Desinfektionsmittel (Trink- und Badewasser- desinfektion) * Sonstiges 		ca. 40.000 ⁹⁾
9	Trichlorethylen (Z, E) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Lösemittel für die Metallentfettung * Zwischenprodukt für die Kunststoffherstellung * Zwischenprodukt für die Herstellung von Farben * Zwischenprodukt für die Herstellung von H-FCKW/H-FKW 		6.000 ³⁾
10	Monochlorethan (Z, E) - chlorhaltig -	<ul style="list-style-type: none"> * Zwischenprodukt für die Chemische Industrie (Alkylierungsreaktionen, Kunststoffe) * Synthese von Bleitetraalkyl als Kraftstoffzusatz * Anwendung als Löse- und Extraktionsmittel 		ca. 30.000 ¹⁰⁾

Legende: (P): Primärprodukt
(Z): Zwischenprodukt
(E): Endprodukt

8) Angaben aus der Produktionsstatistik für 1991 (GP 422833 (Trichlorethylen), GP 422412 (Dichlormethan))
9) Angaben des VCI für 1989
10) Angaben nach Nolte/Joas 1992 für 1987

ANHANG C



Die Bedeutung des Produktionsfaktors Kapital und der Kapitalkosten in der Chemie

Ein bekanntes und aussagefähiges Maß für die relative Bedeutung des Kapitaleinsatzes in der Produktionstechnik, die in einer Branche vorherrscht, ist der sogenannte Kapitalkoeffizient. In ihm wird der Einsatz des Kapitals im Sinne der physisch vorhandenen Produktionsanlagen in Beziehung gesetzt zu der erzielten Wertschöpfung. Der Betrag des Kapitalkoeffizienten drückt aus, wieviel Kapital in einer Branche eingesetzt wird, um die Wertschöpfung zu erzielen. In der Chemie betrug der Kapitalkoeffizient im Jahr 1989 2,4 (DM je DM Wertschöpfung). Innerhalb der gesamten Wirtschaft (Sektor Unternehmen ohne Wohnungsvermietung im Sinne der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen) nimmt die Chemie damit eine mittlere Stellung ein. Unter den 53 Wirtschaftszweigen, für die der Kapitalstock einzeln berechnet wird, weisen 27 Branchen einen höheren und 25 Branchen einen niedrigeren relativen Kapitaleinsatz auf als die Chemie. Im Durchschnitt über die gesamte Wirtschaft beträgt der Kapitalkoeffizient 2,7. Den höchsten Kapitalkoeffizienten weist mit 16,4 die Wasserversorgung auf, und der niedrigste Kapitalkoeffizient liegt mit 0,4 in Ausbaugewerbe vor.

Tabelle 1: Kapitalstock, Bruttowertschöpfung und Kapitalkoeffizient 1989

Wirtschaftsbereich	Kapitalstock Preise von '85 Mrd. DM	Bruttowertschöpfung Preise von '85 Mrd. DM	Kapitalkoeffizient
Chemie	158,4	64,8	2,4
Verarbeitendes Gewerbe	1215,7	616,1	2,0
Unternehmen (ohne Wohnungsvermietung)	4160,1	1563,4	2,7

Quelle: [30] und eigene Berechnungen

Auch innerhalb der Industrie im engeren Sinne (des Verarbeitenden Gewerbes) gehört die Chemie gemessen an ihrem Kapitalkoeffizienten nicht zu den besonders kapitalintensiv produzierenden Branchen. Unter den 32 Wirtschaftszweigen des Verarbeitenden Gewerbes weisen 12 einen höheren und 19 einen niedrigeren Kapitalkoeffizienten auf als die Chemie.

Berechnet wird der Kapitalkoeffizient als Relation zwischen dem jahresdurchschnittlichen Bruttoanlagevermögen (Ausrüstungen und Bauten) in Preisen von 1985 im Verhältnis zu der Bruttowertschöpfung in Preisen von 1985. Von dem Bruttoanlagevermögen sind keine Abschreibungen abgesetzt.

Der Kehrwert des Kapitalkoeffizienten ist die sog. Kapitalproduktivität. Sie sagt aus, welche Wertschöpfung rechnerisch dem Einsatz einer Einheit des Kapitalstocks zuzuordnen ist. In der Chemie betrug die Kapitalproduktivität im Jahr 1989 0,41 DM je DM Wertschöpfung.

Ein anderes Maß für die Bedeutung des Kapitaleinsatzes besteht in der Relation von Kapitalstock zu Produktionswert. Der Produktionswert entspricht im wesentlichen dem Umsatz, und aus der Relation ist ablesbar, wieviel Kapital eingesetzt werden muß, um 1 DM Umsatz zu erzielen. Diese Relation betrug im Jahr 1989 für die Chemie 0,84 DM je DM Produktionswert. Im Zusammenhang mit der Vorkalkulation der Kosten von Chemieanlagen wird diese Relation auch als Anlagekapitalverhältnis [29] bezeichnet.

Tabelle 2: Kapitalstock, Produktionswert und Kapital/Umsatzrelation 1989

Wirtschaftsbereich	Kapitalstock zu Wiederbeschaffungspreisen Mrd. DM	Produktionswert in jeweiligen Preisen Mrd. DM	Relation
Chemie	170,7	202,2	0,84
Verarbeitendes Gewerbe	1304,1	1872,6	0,69
Unternehmen (ohne Wohnungsvermietung)	4447,2	4763,8	0,93

Quelle: [30] und eigene Berechnungen

Auch nach dieser Kennzahl ist die Bedeutung des Kapitaleinsatzes in der Chemie nicht größer als im Durchschnitt aller Branchen.

Während der Kapitalstock ein Maß für das gesamte physisch eingesetzte Kapital ist, sind die Abschreibungen eine kalkulatorische Größe, die die Wertminderung des Anlagenvermögens durch Verschleiß und wirtschaftliches Veralten zwischen zwei Zeitpunkten mißt. Ihre Höhe ist nicht an innerbetrieblichen oder Marktvorgängen ablesbar, sondern hängt von der Bewertungsmethode, der Länge der Nutzungsdauer, dem Abschreibungsverfahren und vom Umfang

der abschreibbaren Wirtschaftsgüter ab. Die Abschreibungen sind eine Kostengröße, und das Verhältnis zwischen den Abschreibungen und dem Umsatz gibt Aufschluß über die Bedeutung der Kapitalkosten.

Legt man wiederum die Ergebnisse der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen zugrunde, dann ergibt sich ein ähnliches Bild wie beim Kapitalkoeffizienten. Der Anteil der Abschreibungen am Produktionswert beträgt in der Chemie im Jahr 1989 4,4 %. Unter den 53 Wirtschaftszweigen, für die solche Berechnungen durchgeführt wurden, weisen 25 einen höheren Anteil und 27 einen geringeren Anteil der Kapitalkosten auf. Im Durchschnitt über die gesamte unternehmerische Wirtschaft (ohne Wohnungsvermietung) beträgt der Anteil der Abschreibungen am Produktionswert 4,2 %.

Tabelle 3: Produktionswert und Abschreibungen 1989

Wirtschaftsbereich	Produktionswert Mrd. DM	Abschreibungen Mrd. DM	Anteil %
Chemie	202,2	8,9	4,4
Verarbeitendes Gewerbe	1872,6	70,7	3,8
Unternehmen (ohne Wohnungsvermietung)	4763,8	200,7	4,2

Quelle: [30] und eigene Berechnungen

Das Verhältnis zwischen den Abschreibungen und dem Produktionswert ist mit 32,8 % bei den Eisenbahnen am höchsten und mit 0,3 % im Ledergewerbe am niedrigsten.

Auch innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes gehört die Chemie nicht zu den Branchen mit einem besonders hohen Anteil von Kapitalkosten. Unter den 32 Wirtschaftszweigen des Verarbeitenden Gewerbes nimmt sie den 13. Rang ein.

Die wesentlichen Kostenkomponenten sind entsprechend der Kostenstrukturstatistik [33] demgegenüber die Kosten für den Materialverbrauch mit einem Anteil von 34,5 % und die Personalkosten mit einem Anteil von 24,5 % am Produktionswert.

Ein zusammenfassendes Maß für den Altersaufbau des Vermögensbestandes ist der sog. Modernitätsgrad. Vermindert man das (Brutto-)Anlagevermögen um die Abschreibungen, dann ergibt sich der Wert des Anlagevermögens, der zum Berichtszeitpunkt noch nicht abgeschrie-

ben ist. Er wird Nettoanlagevermögen genannt. Die Relation zwischen dem Netto- und dem Bruttoanlagevermögen wird als Modernitätsgrad bezeichnet. Er zeigt den Anteil am Nennwert des Anlagevermögens, der noch nicht abgeschrieben ist. Ein hoher Modernitätsgrad bedeutet, daß die Anlagen noch relativ neu sind und bezogen auf ihre gesamte zu erwartende Nutzungsdauer noch lang verwendet werden können.

Tabelle 4: Modernitätsgrad 1990 in %

Wirtschaftsbereich	Ausrüstungen	Bauten	Anlagen
Chemie	52,9	48,0	51,3
Verarbeitendes Gewerbe	53,0	50,2	52,0
Unternehmen (ohne Wohnungsvermietung)	53,6	63,7	59,3

Quelle: [30]

Der Modernitätsgrad der Ausrüstungen in der Chemie beträgt 52,9 %, d.h. daß etwas mehr als die Hälfte des Bruttoanlagevermögens noch nicht abgeschrieben ist. Dieser Wert liegt sehr nahe am Durchschnitt für das Verarbeitende Gewerbe und für die gesamte unternehmerische Wirtschaft. Bei den Bauten sieht das Bild etwas anders aus. Die Bauten der Chemie sind im Verhältnis etwas stärker abgeschrieben als im gesamten Verarbeitenden Gewerbe und deutlich älter als im gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt. Insbesondere Dienstleistungsunternehmen, Handel und Verkehr sowie Gaswirtschaft weisen bedeutend höhere Modernitätsgrade bei den Bauten auf als die Chemie.

ANHANG D



Gesprächsleitfaden Propylenoxid

Wir beschäftigen uns mit der Herstellung von Propylenoxid.

Welche Möglichkeiten bestehen für eine Umstellung vom Chlorhydrin-Verfahren auf das Oxirane-Verfahren?

1. Hersteller

- a) Nach unserer Kenntnis bestehen in Westdeutschland gegenwärtig die folgenden Produktionsanlagen: Alle arbeiten nach dem Chlorhydrin-Verfahren

<u>Hersteller</u>	<u>Standort</u>	<u>Kapazität</u>
Dow Chemical	Stade	420.000 t/a
EC Erdölchemie	Dormagen	155.000 t/a
BASF	Ludwigshafen	70.000 t/a

Treffen diese Angaben noch zu?

- b) Wann sind die einzelnen Anlagen in Betrieb genommen worden (evtl. differenziert nach Ausbaustufen und/oder Anlagenteilen)?

Stade	_____	(Jahr)
Dormagen	_____	(Jahr)
Ludwigshafen	_____	(Jahr)

- c) über wieviele Jahre könnten die Anlagen - bei sonst gleichbleibenden äußeren Umständen - weiterbetrieben werden, bis größere Reparatur - oder Ersatzinvestitionen fällig werden?

Stade	_____	(Jahre)
Dormagen	_____	(Jahre)
Ludwigshafen	_____	(Jahre)

2. Marktentwicklung PO

- a) Die Produktion und der Preis von PO haben sich in den vergangenen Jahren in Deutschland wie folgt entwickelt:

Jahr	Produktion 1000 t	Preis DM/t
1980	386	1360
1982	433	1640
1984	505	1860
1986	534	1910
1988	549	1620
1990	590	1580
1992	570	1460

Wie hoch wird die Produktion Ihrer Einschätzung nach in fünf Jahren sein?

- wie 1992 ()
 höher um %
 niedriger um %

Wie hoch wird der Preis Ihrer Einschätzung nach in fünf Jahren sein?

- wie 1992 ()
 höher um %
 niedriger um %

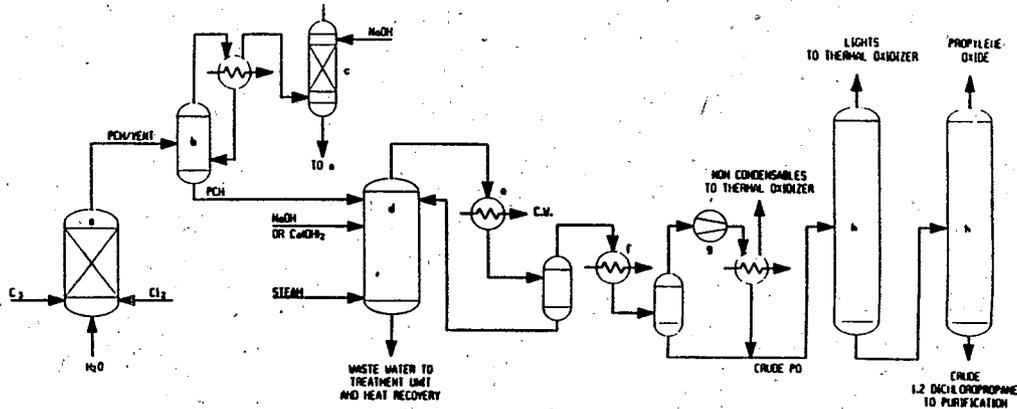
- b) PO wird als Zwischenprodukt zur Herstellung folgender Produkte/Produktgruppen eingesetzt:

- Polyurethane
- Frostschutzmittel (als Glykol)
- Bremsflüssigkeit
- Alkyl-, Polyesterharze
- für kosmetische, pharmazeutische Zwecke
- Lösemittel (nach Alkoholyse)
- Detergentien
- Pflanzenschutzmittel
- Pharmazeutika
- Farbstoffe

Sind neue, andere Produkte, die unter Verwendung von PO hergestellt werden, absehbar?

3. Anlagen

Der prinzipielle technische Verfahrensablauf beim Chlorhydrin-Verfahren wird folgendermaßen dargestellt (Bild):

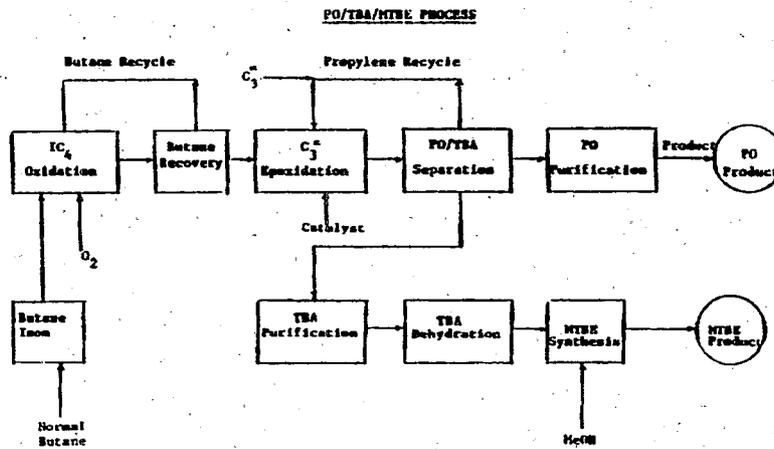


CHLOROHYDRINATION SAPONIFICATION PURIFICATION

FIGURE 4 TYPICAL ARRANGEMENT FOR A PROPYLENE OXIDE CHLOROHYDRIN PROCESS

- a) PROPYLENE CHLOROHYDRIN REACTOR
- b) SEPARATOR
- c) VENT GAS SCRUBBER
- d) SAPONIFIER
- e) PARTIAL CONDENSER
- f) CROSS EXCHANGER
- g) COMPRESSOR
- h) PROPYLENE OXIDE PURIFICATION TRAIN

Der prinzipielle technische Verfahrensablauf beim Oxirane-Verfahren wird folgendermaßen dargestellt (Bild):



- a) Welche Anlagenteile der bestehenden Anlagen nach dem Chlorhydrin-Verfahren können unter rein verfahrenstechnischen Aspekten ganz oder teilweise auf das Oxirane-Verfahren umgestellt werden? Was wäre im Einzelnen zu beachten? Wie hoch sind voraussichtlich die Kosten? Mit welchem Zeitbedarf ist zu rechnen?
- b) Können die bestehenden Anlagen nach dem Chlorhydrin-Verfahren eventuell ganz oder teilweise für die Herstellung anderer Produkte benutzt werden, so wie z.B. früher vorhandene Ethylenchlorhydrinanlagen schnell auf die Produktion von Propylenoxid umgestellt werden konnten? Was wäre im Einzelnen zu tun? Wie hoch sind voraussichtlich die Kosten? Mit welchem Zeitbedarf ist zu rechnen?

4. Rohstoffe

a) Ethylbenzol

wird bei der Herstellung von Propylenoxid nach einer Variante des Oxirane-Verfahrens eingesetzt.

Die Produktion und die Preise von Ethylenbenzol haben sich in den vergangenen Jahren in Deutschland wie folgt entwickelt:

Jahr	Produktion 1000 t	Preis DM/t
1990	1253	?
1992	1250	?

Welche Voraussetzungen müßten für eine ausreichende Versorgung mit Ethylbenzol gegeben sein, wenn die Propylenoxid-Herstellung auf dieses Verfahren umgestellt würde? Welche Kosten würden dabei entstehen? Welcher Zeitbedarf für die Umstellung wäre gegeben?

b) Isobutan

wird bei der Herstellung von Propylenoxid nach einer Variante des Oxirane-Verfahrens eingesetzt.

Welche Voraussetzungen müßten für eine ausreichende Versorgung mit Butan gegeben sein, wenn die Propylenoxid-Herstellung auf dieses Verfahren umgestellt würde? Welche Kosten würden dabei entstehen? Welcher Zeitbedarf für die Umstellung wäre gegeben?

5. Kuppelprodukte und ihr Absatz / Anfall als Reststoffe

- a) Bei der Herstellung von Propylenoxid nach dem Chlorhydrinverfahren fällt vor allem 1,2-Dichlorpropan als Kuppelprodukt/Reststoff an (0,03 - 0,1 t/t PO). Es wird gegenwärtig etwa zur Hälfte als Lösemittel einer Verwendung innerhalb der Chemie zugeführt. Die andere Hälfte wird unter Gewinnung von Salzsäure und Wärme thermisch verwertet.
- b) Bei der Herstellung von Propylenoxid nach dem Oxirane-Verfahren unter Beteiligung von Ethylbenzol entsteht im wesentlichen Styrol als Nebenprodukt (2,5 t/t PO).

Die Produktion und die Preise von Styrol haben sich in den letzten Jahren in Westdeutschland wie folgt entwickelt (1000 t und DM/t):

Jahr	Produktion 1000 t	Preis DM/t
1990	1290	334
1992	1188	289

Wie hoch wird die Produktion von Styrol Ihrer Einschätzung nach in fünf Jahren sein?

- wie 1992 ()
- höher um %
- niedriger um %

Wie hoch wird der Preis von Styrol Ihrer Einschätzung nach in fünf Jahren sein?

- wie 1992 ()
- höher um %
- niedriger um %

Welche weiteren Kuppelprodukte/Reststoffe fallen bei diesem Verfahren in welchen Mengen an? Wie werden sie entsorgt/vermarktet?

- c) Bei der Herstellung von Propylenoxid nach dem Oxiraneverfahren unter Beteiligung von Isobutan entsteht im wesentlichen 1-Phenylenethanol als Kuppelprodukt (3 t/t PO), das zu TBA und anschließend kzu MTBE weiterverarbeitet werden kann.

Die Produktion und die Preise von MTBE haben sich inden letzten Jahren in Westdeutschland wie folgt entwickelt (1000 t und DM/t):

Jahr	Produktion 1000 t	Preis DM/t
1990	166	713
1992	146	533

Wie hoch wird die Produktion von MTBE Ihrer Einschätzung nach in fünf Jahren sein?

wie 1992 ()
 höher um %
 niedriger um %

Wie hoch wird der Preis von MTBE Ihrer Meinung nach in fünf Jahren sein?

wie 1992 ()
 höher um %
 niedriger um %

Welche weiteren Kuppelprodukte/Reststoffe fallen bei diesem Verfahren an und in welchen Mengen? Wie werden sie entsorgt/vermarktet?

6. Wo sehen Sie (weitere) Hindernisse, die in Deutschland einer Umstellung entgegenstehen? Einige theoretisch mögliche oder in der Literatur genannte haben wir unten aufgeführt.

a) Das Oxirane-Verfahren bzw. wichtige Teile davon sind durch Patente und andere Schutzrechte belegt.

Art/Inhaber/Laufzeit der Patente _____

b) Zwischen den Herstellern und den Verwendern von PO bestehen langfristige Lieferverbindungen. Das erschwert neuen Herstellern, die mit anderen Verfahren arbeiten, den Eintritt in den Markt.

c) Gibt es weitere Umstellungsvoraussetzungen innerhalb oder außerhalb der Chemischen Industrie, die erfüllt sein müßten?

d) Gibt es Unterschiede im erzielbaren Reinheitsgrad des PO bei den unterschiedlichen Verfahren?

7. Abschließend bitten wir Sie um Ihre Bewertung einer solchen Umstellung.

a) Wirtschaftliche Bewertung

Halten Sie das Oxirane-Verfahren unter Verwendung von Ethylbenzol insgesamt gesehen wirtschaftlich dem Chlorhydrineverfahren gegenüber für

- unterlegen
 ebenbürtig
 überlegen.

Halten Sie das Oxirane-Verfahren unter Verwendung von Isobutan insgesamt gesehen wirtschaftlich dem Chlorhydrineverfahren gegenüber für

- unterlegen
 ebenbürtig
 überlegen.

b) Bewertung unter Umweltgesichtspunkten

Halten Sie das Oxirane-Verfahren unter Verwendung von Ethylbenzol insgesamt gesehen unter Umweltaspekten dem Chlorhydrineverfahren gegenüber für

- unterlegen
 ebenbürtig
 überlegen.

Halten Sie das Oxirane-Verfahren unter Verwendung von Isobutan insgesamt gesehen unter Umweltaspekten dem Chlorhydrinverfahren gegenüber für

- unterlegen
 ebenbürtig
 überlegen.

c) Denken Sie, dass in absehbarer Zeit eines der beiden Oxirane-Verfahren in Deutschland realisiert werden wird? Welchen Marktanteil bei der Herstellung von PO rechnen Sie diesen Verfahren zu?

in fünf Jahren: %

in zehn Jahren: %

d) Welche flankierende politische Maßnahme wäre für ein Unternehmen, das eine Umstellung in Erwägung zieht, am hilfreichsten?

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite

2-1 Chlor-Gesamtstofffluss (aus Handbuch Chlorchemie I, S. 31)

4

TABELLENVERZEICHNIS

2.1	Segmente der Chlorchemie nach Handbuch Chlorchemie I	5
2.2	Neuordnung der Segmente nach Prognos	9
3.1	Kennzahlen der Einzelkriterien	15
4.1	Einzelkriterien, Klasseneinteilung und Bewertungsskalierung	21
4.2	Bewertung der Einzelkriterien und Mittelwerte der Auswahlkriterien	22
4.3	Rangfolge der Einzelsegmente mit Prioritätsklassen (Gewichtung: Menge 4-fach, Umwelt 3-fach, Substitution 2-fach)	24
4.4	Prioritäre Bereiche der Chlorchemie	26
7.1	Produktion von Propylenoxid in der Bundesrepublik Deutschland (West)	41
7.2	Preisverhältnis Rohöl/Propylen/Propylenoxid	42
7.3	Außenhandel mit Propylenoxid	43
7.4	Atom-Nutzung bei der Synthese von Propylenoxid nach den Chlorhydrinverfahren	45
7.5	Produktion von MTBE in der Bundesrepublik Deutschland	49

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] NOLTE, R., JOAS, R.: Handbuch Chlorchemie I - Gesamtstofffluss und Bilanz, Forschungsbericht 104 o4 348 UBA-FB91-155 (UBA-Texte 55/91), Berlin 1992.
- [2] VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE: Stellungnahme des VCI zum Handbuch Chlorchemie I, unveröffentlicht.
- [3] VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE: Chlorstammbaum der deutschen Chemischen Industrie, Frankfurt 1992.
- [4] DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT: MAK- und BAT-Werte-Liste 1992, Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und biologische Arbeitsstoffeleranzwerte, Weinheim 1992.
- [5] FCKW-Halon-Verbots-Verordnung, BGBl. I Nr. 30 v. 16. Mai 1991.
- [6] UMWELTBUNDESAMT: Handbuch Chlorchemie II - Ausgewählte Produktlinien (UBA-Texte 42/92), Berlin 1992.
- [7] SCHULZE, J., WEISER, M.: Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten von Rückständen bei der Herstellung chlororganischer Produkte (= UBA-Texte 5/85), Berlin 1985.
- [8] FONDS DER CHEMISCHEN INDUSTRIE: Die Chemie des Chlors und seinen Verbindungen, Folienserie des Fonds der Chemischen Industrie Nr. 24, Frankfurt 1992.
- [9] WIECHERN U., LINDNER, J., KAHLICH D.: Propylene Oxide. Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry 5th Ed. (1993) vol A 20 (forthcoming)
- [10] STATISTISCHES BUNDESAMT, Fachserie 4 Produzierendes Gewerbe, Reihe 3.1 Produktion im Produzierenden Gewerbe, versch. Jahrgänge
- [11] SIMMROCK, K. H.: Die Herstellungsverfahren für Propylenoxid und ihre elektronische Alternative. Chemie Ingenieur Technik 48. Jg. Nr. 12 Dez. 1976, S. 1085 - 1096
- [12] STATISTISCHES BUNDESAMT, Fachserie 7 Aussenhandel, Reihe 2 Aussenhandel nach Waren und Ländern (Spezialhandel), versch. Jahrgänge

- [13] ELM, R., BUNGE, W.: Propylenoxid. Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, 4. Auflage 1980, Band 19, S. 471 - 481
- [14] STOBAUGH, R. B., CARLARCO, V. A., MORRIS, R.A. AND STODD, L. W.: Propylene Oxide: How, where, who, future. Hydrocarbon Processing vol 52 no. 1 Jan 1973, S. 99 - 108
- [15] KIRK, R.O., DEMPSEY, J.: Propylene Oxide. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Ed., Vol 19 (1982), S. 246 - 274
- [16] SHELDON, R. A.: Organic Synthesis - Past, Present and Future. Chemistry & Industry, 7 Dec. 1992, S. 903 - 906
- [17] WEISSERMEL K., ARPE H.-J.: Industrielle organische Chemie. 3. Auflage Weinheim (VCH) 1988 (1990)
- [18] AINSWORTH, S. J.: Propylene Oxide Producers look for Ways to Counter Sluggish Market. Chemical and Engineering News, March 2, 1992, S. 9 - 12
- [18] LANDON, R., SULLIVAN, G.A. and BROWN, D.: Propylene Oxide by the Co-product process. Chemtec Vol 9 Oct. 1979, S. 602 - 607
- [19] POLACZEK, J. and BOBINSKI, I.: Latest Methods for Industrial Production of Propylene Oxide. International Chemical Engineering, Vol. 11, No 1 Jan 1971, S. 83 - 89
- [20] SCHOLZ B., BUNZERT H., NEUMEISTER, J., NIERLICH, F.: Methyl-Tert-Butyl-Ether. Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th ed., 1990, vo. A 16, S. 543-550.
- [21] IRON, W. W., NEUWIRTH O. S.: Oil, Oil Refining. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th ed. (1992), vol A 18
- [22] JAHRBUCH Bergbau, Öl und Gas, Elektrizität, Chemie, Glückauf-Verlag, Essen, 1992
- [23] ROHE, D.: Super für Super, Chemische Industrie, Heft 4/1990
- [24] RICHTLINIE des Rates vom 5. Dezember 1985 zur Einsparung von Rohöl durch die Verwendung von Ersatz-Kraftstoffkomponenten im Benzin (85/536/EWG), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 334 vom 12.12.1985

- [25] COLUCCI J.M., WISE, J.J.: Auto/Oil Air Quality Improvement Research Programm - What is it and what has it learned. Society of Automotive Engineers (SAE), Technical Papers Series No. 925 009, June 1992
- [26] SLOFF, W. (Hrsg.), Integrated Criteria Document Propylene Oxide. National Institute for Public Health and Environmental Protection, Bilthoven (The Netherlands), 1988
- [27] BRUGGER H., Emissionsfaktoren für 12 ausgewählte Substanzen mit mutmaßlichen krebserzeugendem Potential. Band 6: Propylenoxid. Kinetics Technology International GmbH, Hamburg, im Auftrag des Umweltbundesamtes, 1983.
- [28] DOW Stade GmbH: 20 Jahre DOW Stade GmbH. Firmenchronik 1969 - 1989, Stade 1989 (Eigenverlag)
- [29] SCHEMBRA, M. und SCHULZE J.: Schätzung der Investitionskosten bei der Prozessentwicklung; in: Chem.-Ing. Tech. 65 (1993) Nr. 1 S. 41-47
- [30] STATISTISCHES BUNDESAMT, Fachserie 18 Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe S. 17 Vermögensrechnung 1950 - 1991
- [31] TEXACO has big plans for MTBE/PO facility, Chemical Marketing Reporter, Oct. 12, 1992
- [32] PO/PG-Makers see some improvements, Chemical Marketing Reporter, Jul. 20, 1992
- [33] STATISTISCHES BUNDESAMT, Fachserie 4, Produzierende Gewere, Reihe 4.3.1: Kostenstruktur der Unternehmen im Bergbau, Grundstoff- und Produktionsgütergewerbe (zuletzt 1992 mit Ergebnissen für das Jahr 1990)



Hess. Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten
Postfach 3109 · D-6200 Wiesbaden

Aktenzeichen *Bitte bei Antwort angeben*

II A 6/Chlorchemie

Bearbeiter/in Dr. Darimont
Durchwahl 815-1242

Ihr Zeichen
Ihre Nachricht vom

Datum Oktober 1993

**Konversion Chlorchemie
- Projektdarstellung -**

- I) Zielvorstellung
- II) Erste Ergebnisse
- III) Methodik für weitere Untersuchungen

Bitte Besuche und Anrufe von Mon-Don zwischen 8.30-12.00 und 13.30-15.30 Uhr. Fr. von 8.30-13.00 Uhr oder nach Vereinbarung.
Das Ministerium ist vom Hauptbahnhof Wiesbaden (S-Bahn-Anschluß im Rhein-Main-Gebiet) zu Fuß in ca. 5 Minuten zu erreichen.
Besuchern wird daher empfohlen, zur Anreise öffentliche Verkehrsmittel zu benutzen.