

---

## **Handbuch Abfall 1**

Beratungsprogramm zur Reststoffvermeidung  
und –verwertung in Baden-Württemberg

### **Untersuchung von Anlagen der chemischen Industrie**

Anonymisierte Kurzfassung von Einzelgutachten

## IMPRESSUM

<b>Herausgeber</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
<b>ISSN</b>	0941-780 X (Zentraler Fachdienst Wasser, Boden, Abfall, Altlasten bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 0949-0493 (Handbuch Abfall 1)
<b>Bearbeitung</b>	TÜV Energie und Umwelt GmbH, Filderstadt ECOTEAM GmbH, Trier ERM Umwelt Consult RMN, Bensheim RWTÜV Anlagentechnik GmbH, Essen
<b>Projektträger</b>	Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg Referat Abfallvermeidung, -verwertung
<b>Projektkoordinator</b>	Lahmeyer International GmbH Postfach 71 06 51 60496 Frankfurt/Main
<b>Umschlaggestaltung</b>	Stephan May, Marxzell-Schielberg Christel Klenk, Sinsheim
<b>Druck</b>	Firma Druckerei Grässer, Karlsruhe
<b>Gedruckt auf</b>	Recyclingpapier aus 100 % Altpapier, 80 g/m <sup>2</sup> Umschlagkarton aus 100 % Altpapier weiß, 250 g/m <sup>2</sup>
<b>Bezug</b>	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Referat 15 - Bibliothek Postfach 21 07 52, 76157 Karlsruhe Telefax 0721/983-1456

Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Karlsruhe 1997

## Vorwort

Das Umweltministerium Baden-Württemberg – seit Juni 1996 Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg – hat im Herbst 1993 das anlagenbezogene "Beratungsprogramm zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen<sup>1</sup> aus Industrie und Gewerbe" begonnen.

Das Programm wird aus Mitteln der baden-württembergischen Landesabfallabgabe finanziert. Die Landesabfallabgabe ist seit 1991 von Erzeugern bestimmter, im Landesabfallabgabengesetz aufgeführter Sonderabfälle zu entrichten<sup>2</sup>. Die Mittel der Abgabe müssen vom Land zweckgebunden eingesetzt werden, z.B. zur Erforschung und Entwicklung von Verfahren zur Vermeidung und Verwertung von Sonderabfällen sowie für die betriebliche Beratung auf diesem Gebiet.

Während der Laufzeit des Programms sollen rund 150 sonderabfallrelevante Anlagen aus den für Baden-Württemberg wichtigsten Branchen durch Fachgutachter untersucht und beraten werden. Ziel ist die Ausschöpfung der Reduktionspotentiale, die vom "Forum zur Sonderabfallwirtschaft Baden-Württemberg" ermittelt wurden.

Zur Förderung der Abfallvermeidung und -verwertung in Industrie und Gewerbe haben einzelne Bundesländer – z.B. Hessen – Vollzugsprogramme zur Umsetzung des Reststoff- bzw. nunmehr Abfallvermeidungs- und -verwertungsgebots nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) verabschiedet und durchgeführt. Beim baden-württembergischen Beratungsprogramm stehen dagegen die abfallabgabepflichtigen Sonderabfälle im Vordergrund, soweit sie in relevanten Mengen anfallen und maßgebliche Vermeidungs- oder Verwertungspotentiale erwarten lassen. Derartige Sonderabfälle fallen nicht nur in immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen an, sondern zu einem erheblichen Anteil auch in solchen Anlagen, auf die § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG keine Anwendung findet.

Das baden-württembergische Beratungsprogramm umfaßt daher sowohl immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige als auch nicht genehmigungsbedürftige Betriebe und beruht – im Gegensatz zu Vollzugsprogrammen zur Umsetzung des § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG – auf der freiwilligen Teilnahme von Betrieben.

Für das Beratungsprogramm sind Fachgutachter aus den Bereichen Wissenschaft, Forschung und Technik verpflichtet worden, die spezifische Kenntnisse bezüglich der zu untersuchenden Branche haben. Diese Fachgutachter erarbeiteten im Regelfall zunächst ein Branchengutachten, in dem alle bedeutsamen technischen Möglichkeiten für eine wirksame Vermeidung und Verwertung der jeweils branchentypischen Abfälle zusammengestellt sind. Aufgrund der extrem heterogenen Struktur der

---

<sup>1</sup> Die Verwendung des Begriffs Reststoff ist historisch bedingt. Gemeint ist damit Abfall (zur Verwertung bzw. zur Beseitigung) im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG).

<sup>2</sup> Die Landesabfallabgabe wurde rückwirkend zum 1. Januar 1997 per Gesetz abgeschafft.

Produktionsverfahren im Bereich der chemischen Industrie wurde jedoch für die Branche Chemie auf die Erarbeitung eines solchen Branchengutachtens verzichtet.

Die Fachgutachter führten daher für jeden der teilnehmenden Betriebe unmittelbar eine detaillierte Einzeluntersuchung durch. Diese umfaßte auch die notwendigen Grundlageninformationen über die bedeutsamen technischen Möglichkeiten für die Vermeidung und Verwertung von Abfällen, soweit sie für das untersuchte Produktionsverfahren relevant waren.

Im Rahmen dieser Einzeluntersuchung wurden in enger Abstimmung mit Betrieben und zuständigen Fachbehörden die organisatorischen und technischen Möglichkeiten zur Vermeidung und Verwertung der anfallenden Abfälle geprüft. Um die Problematik des einzelnen Betriebes möglichst vollständig zu erfassen, betrifft dies nicht allein abfallabgabepflichtige Abfälle, sondern auch sonstige im Einzelfall relevante Abfälle und betriebliche Abwässer. Die festgestellten Möglichkeiten zur Abfallvermeidung und -verwertung wurden von den Fachgutachtern nun unter den konkreten Randbedingungen des Betriebs bezüglich der technischen Machbarkeit, der Wirtschaftlichkeit sowie anhand ökologischer Kriterien bewertet. Auf dieser Basis erarbeiteten die Gutachter Maßnahmenempfehlungen, die zusammen mit allen über den untersuchten Betrieb erhobenen Daten und Informationen in einem Einzelgutachten niedergelegt wurden. Dieses Einzelgutachten stand dann Betrieb und Behörde zur Verfügung.

Die Umsetzung der von den Fachgutachtern ermittelten Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten wird bei den am Beratungsprogramm teilnehmenden Betrieben, soweit immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen betroffen sind, durch subordinationsrechtliche öffentlich-rechtliche Verträge angestrebt; ggf. können die von den Fachgutachtern erarbeiteten Grundlagen aber auch für eine ordnungsrechtliche Umsetzung des Abfallvermeidungs- und -verwertungsgebots nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG in diesen Betrieben genutzt werden.

Bei den im Beratungsprogramm untersuchten immissionsschutzrechtlich **nicht** genehmigungsbedürftigen Anlagen wird eine Umsetzung der von den Fachgutachtern ermittelten Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten ebenfalls durch öffentlich-rechtliche, u.U. lediglich koordinationsrechtliche, Verträge angestrebt. Für eine ordnungsrechtliche Umsetzung von Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen standen im Bereich der immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen bislang nur sehr begrenzte Möglichkeiten auf der Grundlage des Wasserhaushaltsgesetzes zur Verfügung. In Bezug auf die Verwertung änderte sich dies jedoch mit Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) am 7. Oktober 1996. Unabhängig von der Art der Anlagenzulassung unterliegen die Erzeuger von Abfällen seit diesem Datum der Verwertungspflicht nach §§ 5 und 6 KrW-/AbfG. Die allgemeine Verwertungspflicht nach § 5 Abs. 2 Sätze 1 und 2 entspricht weitgehend den Anforderungen an die Abfallverwertung nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG.

In der Branche Chemie wurden für 9 Anlagen Einzelgutachten erstellt. Der vorliegende Band enthält die anonymisierten Kurzfassungen von 7 Einzelgutachten. In zwei Fällen stimmten die Unternehmen der Veröffentlichung einer Kurzfassung nicht zu, da in den betreffenden Einzelgutachten praktisch ausschließlich Maßnahmen untersucht wurden, die sehr tief in die Produktionsverfahren eingriffen, und

durch eine Veröffentlichung die Weitergabe sensibler Daten an einige wenige Konkurrenten befürchtet wurde.

Die im vorliegenden Band enthaltenen anonymisierten Kurzfassungen bieten dem Leser die folgenden Informationen:

- Kurzbeschreibung des untersuchten Betriebs
- Abfallcharakterisierung
- Darstellung und Beurteilung der verschiedenen technischen Möglichkeiten weitergehender Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung (VVV).

Die vorliegende Sammlung von Kurzfassungen dokumentiert damit kompakt und übersichtlich, welche Vermeidungs-, Verminderungs- und Verwertungsmöglichkeiten unter Beachtung ökologischer und wirtschaftlicher Kriterien in den untersuchten Betrieben der Branche Chemie im Rahmen des Beratungsprogramms zur Reststoffvermeidung und -verwertung ermittelt wurden.

Das Beratungsprogramm soll über die Umsetzung der Ergebnisse in den teilnehmenden Betrieben hinaus Wirkung entfalten, indem das erarbeitete Know-how auch in einer möglichst großen Zahl anderer Betriebe genutzt wird. Dazu dient die Veröffentlichung dieser Sammlung von Kurzfassungen, mit der das im Rahmen des Beratungsprogramms gesammelte Know-how einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Nutzer dieses Know-hows sollen insbesondere Betriebe und Behörden sein, denen die Umsetzung des Abfallvermeidungs- und -verwertungsgebots (BImSchG) bzw. der allgemeinen Verwertungspflicht (KrW-/AbfG) somit erleichtert wird.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	I
<b>Teil I      Untersuchung einer Anlage zur Herstellung eines organischen Kondensationsproduktes</b>	
1    Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs.....	1
2    Anfallende Abfälle / Abwässer.....	2
2.1    Verwertungsverfahren BaSO <sub>4</sub> /Aktivkohle-Schlamm .....	2
3    Empfohlene Maßnahmen.....	3
3.1    BaSO <sub>4</sub> /Aktivkohle-Schlamm .....	3
3.2    Andere Abfälle und Reststoffe.....	4
3.3    Zusammenfassung der empfohlenen Maßnahmen .....	4
<b>Teil II     Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Wirkstoffen aus tierischen Organen</b>	
1    Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs.....	9
2    Anfallende Abfälle / Abwässer.....	9
2.1    Verwertungsverfahren Lösemittelgemisch halogenfrei .....	9
3    Empfohlene Maßnahmen.....	10
3.1    Lösemittelgemisch halogenfrei.....	10
3.2    Proteinschlamm.....	13
3.3    Verbrauchtes Filtermaterial .....	14
<b>Teil III    Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln</b>	
1    Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs.....	17
1.1    Kurzbeschreibung der Anlage .....	17
1.2    Generelle Beschreibung der Verfahrensabläufe der Anlage.....	17
1.2.1    Pulverproduktion .....	17
1.2.2    Flüssigproduktion.....	18
1.3    Genehmigte, installierte und aktuell genutzte Kapazität.....	18
2    Anfallende Abfälle / Abwässer.....	18
3    Empfohlene Maßnahmen.....	21

**Teil IV Untersuchung einer Polyproduktions-Anlage**

1	Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs .....	25
2	Anfallende Abfälle.....	25
3	Darstellung und Beurteilung der verschiedenen technischen Möglichkeiten .....	26
3.1	Technische Beurteilung .....	26
3.2	Vergleichende wirtschaftliche und ökologische Beurteilung der verschiedenen technischen Möglichkeiten.....	28
3.2.1	Vergleichende wirtschaftliche Beurteilung.....	29
3.2.2	Vergleichende ökologische Beurteilung .....	29
3.3	Zusammenfassende Empfehlung.....	30

**Teil V Untersuchung einer Anlage zur Herstellung eines Vitamins**

1	Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs .....	33
2	Anfallende Abfälle / Abwasser.....	33
3	Empfohlene Maßnahmen .....	34
3.1	Destillationsrückstände, methanolhaltig .....	34
3.2	Andere Abfälle .....	36
3.3	Abwasser .....	36

**Teil VI Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Natriumpersulfat und Ammoniumpersulfat**

1	Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs .....	41
2	Anfallende Abfälle / Abwässer.....	42
3	Empfohlene Maßnahmen .....	43
3.1	APS- und NaPS-Filterrückstände.....	43
3.2	Bleisulfatschlamm und bleihaltige Abfälle .....	45
3.3	Kathoden aus neuer Elektrolyse.....	46



**Teil VII Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Druckfarben**

1	Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs.....	51
2	Anfallende Abfälle / Abwässer.....	52
3	Empfohlene Maßnahmen.....	53
3.1	Abfallauge und Abwasser aus der Behälterreinigungsanlage im Normalchargenbetrieb.....	53
3.2	Druckfarbenreste.....	55
3.3	Pigmentabfälle.....	56
3.4	Verunreinigte Einwegputzlappen.....	58



## **Teil I**

# **Untersuchung einer Anlage zur Herstellung eines organischen Kondensationsproduktes**

Bearbeitung: Dipl.-Chem. Günther Dittberner  
Dipl.-Ing. (FH) Hartmut Schruff  
TÜV Energie und Umwelt GmbH  
Raiffeisenstraße 30  
70794 Filderstadt

in Zusammenarbeit mit

Dr.-Ing. Chem. Franz Steiger  
Steiger UmweltTechnik – SUT AG  
Grammetstraße 14  
CH – 4410 Liestal

September 1996



## Teil I: Untersuchung einer Anlage zur Herstellung eines organischen Kondensationsproduktes

### 1 Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs

#### Allgemeines

Die untersuchte Firma betreibt eine chemische Produktion zur Herstellung von verschiedenen pharmazeutischen Wirkstoffen. Der chemische Betrieb ist als Mehrzweckanlage konzipiert. Hierbei werden die verschiedenen Aggregate je nach produktspezifischen Notwendigkeiten kombiniert. Auch die Herstellung des untersuchten Wirkstoffs wird in einer Mehrzweckanlage durchgeführt.

#### Genehmigte, installierte und aktuelle Kapazität

Anlagenkapazität	Kresol	Produkt (Stufe 2)
je Charge	1 800 kg	37854 kg
aktuelle Kapazität	36 – 45 t/a	75 – 95 t/a
installierte Kapazität	54 – 72 t/a	113 – 151 t/a
genehmigte Kapazität	nicht begrenzt	nicht begrenzt

#### Verfahrensbeschreibung

##### 1. Stufe: Sulfonierung von m-Kresol

m-Kresol wird mit konzentrierter Schwefelsäure umgesetzt und anschließend mit Wasser verdünnt. Die wäßrige Phase wird zur Reinigung mit einem Lösungsmittel extrahiert und anschließend zur Entfernung von Lösungsmittelresten andestilliert. Das Lösungsmittel wird durch Destillation regeneriert und wieder eingesetzt.

Nicht umgesetzte Sulfationen werden mit Bariumhydroxid als Bariumsulfat gefällt. Zur Abtrennung des Niederschlags wird Aktivkohle als Filterhilfsmittel zugesetzt und abfiltriert.

Die Mutterlauge, die bei der Reinigung des Filterkuchens anfällt, wird gesammelt und bei der nächsten Charge anstelle reinen Wassers eingesetzt. Bei der Bariumsulfatschlammaufbereitung wird aus dem Filterkuchen eine wäßrige Suspension hergestellt, aus der Kresolreste durch eine Kondensationsreaktion polymerisiert werden. Das Abwasser aus der Schlammaufbereitung wird durch Destillation aufkonzentriert, bevor es durch Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Oxidation behandelt wird.

##### 2. Stufe: Umsetzung des Filtrats aus der ersten Stufe

In der zweiten Stufe wird das Filtrat der ersten Stufe mit Formaldehyd in einer Kondensationsreaktion zum Produkt umgesetzt. Dieses wird nach Zusatz von Filterhilfsmitteln abfiltriert.

## 2 Anfallende Abfälle / Abwässer

Folgende Reststoffe entstehen im betrachteten Produktionsprozeß:

Entsorgt unter AS	Bezeichnung	Menge / Charge	Menge / Jahr	Verwertungs-/ Beseitigungsart
<b>Sulfonierung</b>				
n.a.	Lösungsmittel-Destillat	700 kg	14 – 18 t	interne Verwertung (Destillation)
59703	Lösungsmittel/Kresol-Destillationsrückstand	100 kg	2 – 2,5 t	externe Verwertung (energetisch)
<b>Fällung</b>				
n.a.	Mutterlauge aus Filterkuchenaufarbeitung	1500 kg	30 – 38 t	interne Verwertung (Rückführung in den Prozeß)
	BaSO <sub>4</sub> /Aktivkohle/H <sub>2</sub> O			siehe Schlammaufarbeitung
<b>Schlammaufarbeitung</b>				
31631	BaSO <sub>4</sub> /Aktivkohle/H <sub>2</sub> O	2 400 kg	48 – 60 t	externe Verwertung (stofflich und energetisch)
n.a.	Abwasserkonzentrat	1 500 kg	30 – 38 t	externe Behandlung/Beseitigung (Naßoxidation/Kanalisation)
n.a.	Destilliertes Wasser	1 200 kg	24 – 30 t	Kanalisation
<b>Kondensation</b>				
53502	Filterhilfsmittel/H <sub>2</sub> O/Reste des organischen Kondensationsproduktes/ Filterplatten	150 kg	3 – 3,8 t	externe Beseitigung (Sonderabfallverbrennung)

n.a. = nicht anwendbar

### 2.1 Verwertungsverfahren BaSO<sub>4</sub>/Aktivkohle-Schlamm

Der BaSO<sub>4</sub>/Aktivkohle-Schlamm wird zusammen mit Schwerspat und Kohle in einem kontinuierlich arbeitenden Drehrohrofen zu dem gut wasserlöslichen Bariumsulfid reduziert. Das Bariumsulfid wird als Zwischenprodukt für die Gewinnung von Blanc fix (chemisch gefälltes Bariumsulfat) und Lithopone (Verwendung in der Farbenindustrie) benötigt. Das der Reaktionslösung entzogene Sulfat geht bei der Verwertung somit nicht verloren, sondern wird durch das Verhüttungsverfahren veredelt. Weiter noch wird aus dem Bariumsulfid Ba(OH)<sub>2</sub> als Zwischenprodukt gewonnen, das wiederum von der untersuchten Firma als Einsatzstoff bezogen wird.

Das Filterhilfsmittel Aktivkohle dient bei dieser Verhüttung als Energieträger und Reduktionsmittel und substituiert die dafür erforderliche Kohle.

### 3 Empfohlene Maßnahmen

#### 3.1 BaSO<sub>4</sub>/Aktivkohle-Schlamm

##### Darstellung und Beurteilung der verschiedenen technischen Möglichkeiten

**Variante a:** Vermeidung bzw. Reduzierung der Aktivkohle als Filterhilfsmittel.

Es wurde vorgeschlagen, den Fällungsprozeß des BaSO<sub>4</sub> so zu steuern, daß durch ein langsames Kristallwachstum größere Kristalle gebildet werden. Dadurch ergäbe sich eine günstigere Filtration und es könnten geringere Mengen Aktivkohle als Filterhilfsmittel eingesetzt werden. Eine vollständige Vermeidung von Aktivkohle als Filterhilfsmittel ist hiermit jedoch nicht erreichbar, zumal auf die adsorptiven Eigenschaften der Aktivkohle nicht ganz verzichtet werden kann. Da bereits umfangreiche Untersuchungen zur optimalen Aktivkohlemenge und zu den Reaktionsbedingungen für die Kristallbildung durchgeführt wurden, können weitere Anstrengungen in dieser Hinsicht nur zu sehr geringfügigen Verbesserungen führen.

**Variante b:** Starke Verringerung von Bariumhydroxid als Fällungsmittel durch Abtrennung der Sulfationen mit einer selektiv durchlässigen Membran und damit auch Verringerung der Kosten für die Verwertung und die zeitaufwendige interne Behandlung des Fällungsproduktes.

Als Problem ergibt sich hierbei, eine Membran zu finden, die gegenüber konzentrierter Schwefelsäure und m-Kresol ausreichend beständig ist. Recherchen bei einer Firma für Membrantechnik ergaben grundsätzlich positive Ansätze. Außerdem ist darauf hinzuweisen, daß durch den Einsatz einer Membran eine Beeinflussung des Produkts stattfinden kann, so daß ein langwieriges und teures arzneimittelrechtliches Zulassungsverfahren mit ungewissem Ausgang notwendig wird.

##### Vergleichende wirtschaftliche Beurteilung

**Variante a:** Zur Kristallbildung liegen der untersuchten Firma bereits Erfahrungen vor. Eine weitere Überprüfung der einzelnen Parameter zur günstigeren Kristallbildung erfordert einen hohen internen Versuchsaufwand, wobei die erreichbare Verringerung des Abfalls geringfügig sein dürfte.

**Variante b:** Es ist mit einem hohen Entwicklungsaufwand zu rechnen, der zum derzeitigen Stand wie folgt abgeschätzt werden kann:

- Technologieentwicklungsaufwand: ca. 2 Mio. DM (Personal- und Materialkosten),
- Arzneimittelrechtliches Zulassungsverfahren: ca. 2 Mio. DM (Pilotanlage, Personal etc.).

Über die Gesamtkosten für eine danach eventuell umsetzbare produktionstechnische Realisierung und deren Wirtschaftlichkeit kann vor Abschluß der Entwicklungsarbeiten keine Aussage gemacht werden.

### Vergleichende ökologische Beurteilung

Die relative Schadlosigkeit der alternativ vorgeschlagenen Maßnahmen wird in folgender Tabelle im Vergleich zur derzeitigen Entsorgung bewertet.

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternativen	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Variante a (günstigere Kristallbildung)	0	+	+	0
Variante b (Membrantechnik)	0	+	++	++

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

Aus der Bewertung der Maßnahmen anhand der zusätzlichen ökologischen Kriterien (Anreicherung / Verdünnung von Schadstoffen, Abfallvermischung, Verwertungsebene, Transportminimierung) ergaben sich keine signifikanten Differenzierungen.

### Zeitraumen

Als grober Zeitrahmen für die vorgeschlagenen Untersuchungen sind etwa 2 Jahre für die chemische und technische Entwicklung sowie bis zu weitere 4 Jahre für die arzneimittelrechtliche Zulassung zu veranschlagen.

### 3.2 Andere Abfälle und Reststoffe

Für die anderen Abfälle und Reststoffe sind nach Einschätzung des Gutachters keine technischen Möglichkeiten zu weitergehenden VVV-Maßnahmen vorhanden.

### 3.3 Zusammenfassung der empfohlenen Maßnahmen

Die derzeitige Reststoffbehandlung mit den dargestellten Maßnahmen ist weitgehend optimal gestaltet. Das von der Firma umgesetzte Verfahren einer externen rohstofflichen Verwertung des Bariumsulfat/Aktivkohle-Schlammes stellt eine sehr gute Lösung auf einer hohen Verwertungsebene dar. Es wurden Verfahrensvarianten diskutiert, um das Verfahren zur Herstellung des untersuchten Pharmaproduktes, insbesondere im Hinblick auf die Reststoffverminderung des Bariumsulfat/Aktivkohle-Schlammes, weitergehend zu optimieren.



Als für eine weitere Reststoffverminderung wirksamste Maßnahme käme eine Membrantechnik in Frage. Voraussetzung ist eine im sauren Bereich und gegen Kresol hinreichend beständige Membran, die geeignet ist, Sulfationen aus der Reaktionslösung zu entfernen. Aufgrund des hohen Aufwands und des Entwicklungsrisikos kann die Entwicklung einer entsprechenden Membrantechnologie für den untersuchten Betrieb alleine nicht empfohlen werden.

Da es sich bei der Entfernung von Sulfationen aus wäßrigen Lösungen um eine branchenübergreifende Problemstellung handelt, wird auf den allgemeinen Forschungs- und Entwicklungsbedarf hingewiesen. Im Rahmen eines öffentlich initiierten und geförderten Forschungsvorhabens, beispielsweise bei der ABAG, könnten einschlägige Firmen der Membrantechnik sowie die untersuchte Firma mit eingebunden werden.



## **Teil II**

### **Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Wirkstoffen aus tierischen Organen**

Bearbeitung: Dipl.-Chem. Günther Dittberner  
Dipl.-Ing. (FH) Hartmut Schruff  
TÜV Energie und Umwelt GmbH  
Raiffeisenstraße 30  
70794 Filderstadt

in Zusammenarbeit mit

Dr.-Ing. Chem. Franz Steiger  
Steiger UmweltTechnik – SUT AG  
Grammetstraße 14  
CH – 4410 Liestal

September 1996



## Teil II Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Wirkstoffen aus tierischen Organen

### 1 Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs

Die untersuchte Firma betreibt eine pharmazeutische Produktion von Wirkstoffen aus Tierorganen. Als Lösungsmittel zur Extraktion der Wirkstoffe werden Ethanol, Phenol und Wasser verwendet.

### 2 Anfallende Abfälle / Abwässer

Folgende Reststoffe entstehen im betrachteten Produktionsprozeß:

AS	Bezeichnung	Menge/Jahr	Verwertungs-/ Beseitigungsart
55370	Lösemittelgemisch (halogenfrei): - Ethanol (70%ig) - Phenolhaltige wäßrige Lösungen	16 000 l 13 500 l	externe Verwertung (energetisch)
55315	Ethanol (95%ig)	8 000 l	interne Verwertung (Rückführung in Prozeß)
31435	Filterabfall	720 kg	externe Beseitigung (Sonderabfalldeponie)
55402	Proteinschlamm	800 kg	externe Beseitigung (Sonderabfallverbrennung)
91200	Aluminiumoxidabfall	320 kg	externe Beseitigung (Hausmülldeponie)

#### 2.1 Verwertungsverfahren Lösemittelgemisch halogenfrei

Derzeit werden die anfallenden Lösemittelgemische, welche die Hauptmenge der Reststoffe darstellen, gemischt und gemeinsam energetisch verwertet.<sup>1</sup>

Die ethanolische Lösung aus der Peptidfällung wird derzeit bereits intern durch Destillation zurückgewonnen und in der Produktion wieder eingesetzt.

<sup>1</sup> In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß "eine energetische Verwertung im Sinne des § 4 Abs. 4 KrW-/AbfG nur zulässig ist, wenn u.a. nach § 6 Abs. 2 Satz 1 "der Heizwert des einzelnen Abfalls, ohne Vermischung mit anderen Stoffen, mindestens 11 000 kJ/kg beträgt". Nach Inkrafttreten des KrW-/AbfG am 7. Oktober 1996 ist die bisherige energetische Verwertung des Reststoffgemisches deshalb aus abfallrechtlicher Sicht möglicherweise nicht mehr zulässig, da die phenolhaltigen wäßrigen Lösungen die Anforderung an den Heizwert nicht erfüllen. Folglich wäre die bisherige Behandlung als Abfallbeseitigung einzustufen.

### 3 Empfohlene Maßnahmen

#### 3.1 Lösemittelgemische halogenfrei

Die Einzelfractionen des verbleibenden Lösemittelgemisches aus den verschiedenen Verfahrensschritten können grundsätzlich in zwei Arten unterteilt werden: phenolhaltige wäßrige Lösungen und ethanolische Lösungen.

#### **Darstellung und Beurteilung der verschiedenen technischen Möglichkeiten**

##### **Ethanolische Lösungen:**

Die ethanolischen Lösungen könnten durch Rektifikation so weit gereinigt werden, daß sie als Einsatzstoffe wieder verwendet werden können. Diese Rektifikation sollte in einem externen, spezialisierten und möglichst ortsnahen Betrieb erfolgen.

##### **Phenolhaltige wäßrige Lösungen:**

###### **Variante a:**

Die Abtrennung von Phenol aus dem Abwasser kann durch die Zugabe von Natronlauge oder Kalkmilch und anschließender Destillation im alkalischen Bereich erfolgen. Bei der Destillation können allerdings Verkrustungen in der Anlage entstehen, die schwer zu reinigen sind. Der anfallende konzentrierte Rückstand wäre einer Sonderabfallverbrennung zuzuführen.

###### **Variante b:**

Das Phenol und ein Teil der Proteine kann adsorptiv mit Hilfe von Aktivkohle aus dem Abwasser entfernt werden. Hierzu könnten entweder Aktivkohlekartuschen verwendet werden, durch die das phenolhaltige Wasser geleitet wird, oder die Aktivkohle muß in das Abwasser eingebracht werden mit anschließender Filterung. Die Aktivkohle müßte anschließend als "Verbrauchte Filter- und Aufsaugmassen mit schädlichen Verunreinigungen" (AS 31435) entsorgt werden. Verwertungsmöglichkeiten für die verbrauchte Aktivkohle sind derzeit bei der anfallenden Menge nicht gegeben.

###### **Variante c:**

Die Abtrennung von Phenol aus der wäßrigen Phase könnte weiterhin durch Extraktion mit einem geeigneten Lösungsmittel erfolgen. Für die Extraktion wäre eine kontinuierlich arbeitende Extraktionskolonne erforderlich. Als Extraktionsmittel kann z.B. Methylisobutylketon (MIBK) oder Toluol verwendet werden. Das anfallende Lösemittelgemisch, bestehend aus dem Extraktionsmittel und Phenol, kann entweder energetisch oder stofflich über eine Redestillation verwertet werden.

###### **Variante d1:**

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das Phenol/Wassergemisch in einer speziellen biologischen Reinigungsstufe zu behandeln. Mikroorganismen, welche Phenol abbauen können, sind bekannt und untersucht. Da die Mikroorganismen eine konstante Nährstoffzufuhr benötigen, wäre allerdings eine

kontinuierliche Zusp eisung mit nahezu konstanter Zusammensetzung erforderlich, damit sich eine adaptierte Population von Mikroorganismen halten kann. Das anfallende Phenolwasser besitzt durch den Eiweiß- und Ethanolanteil zusätzlich ein Nährmedium für die Mikroorganismen. Gegebenenfalls könnte sogar ein Teil der Eiweißfraktion der Stufe 1 zugemischt werden.

#### Variante d2:

Da die Mikroorganismen des Klärwerks ebenfalls in der Lage sind, Phenol bei geringer Konzentration abzubauen, wäre mit der zuständigen Wasserrechtsbehörde zu klären, ob es möglich wäre, das phenolhaltige Abwasser dosiert über einen längeren Zeitraum indirekt abzuleiten, da es sich um geringe Mengen handelt.

#### Variante e:

Sofern die vorgeschlagenen Maßnahmen nicht umgesetzt werden können, ist eine Verbrennung als Sonderabfall möglich.

### Vergleichende wirtschaftliche Beurteilung

Die Kostensituation der vorgeschlagenen Varianten wird im Vergleich zur jetzigen Entsorgung, die mit 43 200 DM/Jahr berechnet wurde, in nachfolgender Tabelle dargestellt. Bei der Berechnung wurden neben den Entsorgungskosten die Sonderabfallabgabe, Kosten für Personal und Energie, Abschreibungszinsen sowie die Kostenreduktion durch verminderte Einsatzstoffmengen berücksichtigt.

<b>Kostenvergleich der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren</b>			
Varianten	DM/Jahr	DM/Jahr	Jahre
Destillation der ethanolischen Lösungen und Eindampfung der phenolhaltigen wäßrigen Lösungen (a)	- 5 900	- 15 400	2
Destillation der ethanolischen Lösungen und Adsorption von Phenol an Aktivkohle (b)	+ 7 600	- 2 100	> 20
Destillation der ethanolischen Lösungen und Extraktion der phenolhaltigen wäßrigen Lösungen (c)	+ 8 700	- 6 900	8
Destillation der ethanolischen Lösungen und biologische Behandlung der phenolhaltigen wäßrigen Lösungen (d1)	Keine Berechnung möglich, da Randbedingungen für biologische Vorbehandlung eingehender zu untersuchen sind.		
Destillation der ethanolischen Lösungen und dosierte Indirekteinleitung ohne Behandlung der phenolhaltigen wäßrigen Lösungen (d2)	- 22600	- 24 500	1
Destillation der ethanolischen Lösungen und Verbrennung der phenolhaltigen wäßrigen Lösungen als Sonderabfall (e)	entfällt	+ 260	entfällt
Minder-/Mehrkosten während der Abschreibung			
Minder-/Mehrkosten nach der Abschreibung			
Amortisationszeitraum			

### Vergleichende ökologische Beurteilung

Umweltauswirkungen der vorgeschlagenen Maßnahmen im Vergleich zur derzeitigen Entsorgung:

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Varianten	Luft	Wasser	Abfall	Energie
(a)	++	0	-	0
(b)	++	0	-	+
(c)	++	-	-	+
(d1)	++	-	0	+
(d2)	++	--	0	+
(e)	+	0	0	0

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

Aus der Bewertung der Maßnahmen anhand der zusätzlichen ökologischen Kriterien (Anreicherung/ Verdünnung von Schadstoffen, Abfallvermischung, Verwertungsebene, Transportminimierung) ergaben sich keine signifikanten Differenzierungen.

### Zusammenfassende Empfehlung

Die Destillation der ethanolischen Lösungen mit Rückführung in die Produktion ergibt aufgrund des derzeitigen Kenntnisstandes sowohl einen wirtschaftlichen als auch einen ökologischen Vorteil. Die genauen Rahmenbedingungen hinsichtlich der technischen Möglichkeiten und der Kosten sind näher zu untersuchen. Hierfür ist eine Probedestillation bei Destillateuren durchzuführen, wobei die erforderliche Reinheit für einen Wiedereinsatz den Anforderungen entsprechen muß. In diesem Fall kann diese Maßnahme innerhalb von einem Jahr umgesetzt werden.

Für die verbleibenden phenolhaltigen wäßrigen Lösungen ergibt sich als wirtschaftlichste Variante die dosierte Indirektableitung als Abwasser über einen längeren Zeitraum (Variante d2). Es ist daher mit der Wasserrechtsbehörde zu klären, ob diese Möglichkeit im vorliegenden Fall besteht. Für den Umsetzungszeitraum wäre ca. 1 Jahr anzusetzen.



Sofern dies nicht möglich ist, ergibt sich als wirtschaftlich günstigstes Verfahren zur Behandlung des phenolhaltigen Abwassers die Eindampfung nach Zugabe von NaOH (Variante a). Für den Umsetzungszeitraum ist mit ca. 1–2 Jahre zu rechnen. Eine eindeutige ökologische Abwägung zwischen den Varianten a und d2 ist nicht möglich

### 3.2 Proteinschlamm

#### Darstellung und Beurteilung der verschiedenen technischen Möglichkeiten

Aufgrund der besonderen Zusammensetzung und der geringen Menge, ist eine spezifische stoffliche Verwertung nicht möglich. Da der Abfall einen relativ hohen Heizwert aufweist, ist eine energetische Verwertung prinzipiell möglich und anhand einer Deklarationsanalyse zu überprüfen.

#### Vergleichende wirtschaftliche Beurteilung

Als Richtpreis für die energetische Verwertung als Faßware ist mit Kosten von ca. 1200 DM/t zu rechnen. Hinzu kommen einmalige Analysenkosten in Höhe von ca. 400 DM – 1100 DM. Gegenüber dem bisherigen Entsorgungspreis von ca. 2000 DM/t ergibt sich eine kostengünstigere Situation.

#### Vergleichende ökologische Beurteilung

Umweltauswirkungen der vorgeschlagenen Maßnahmen im Vergleich zur derzeitigen Entsorgung:

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternative	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Energetische Verwertung	0	0	0	++

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

Aus der Bewertung der Maßnahmen anhand der zusätzlichen ökologischen Kriterien ergaben sich keine weiteren entscheidungsrelevanten Aspekte

### Zusammenfassende Empfehlung

Eine energetische Verwertung, sofern die Ergebnisse der Deklarationsanalyse dies gestatten, ist wirtschaftlich günstiger und ökologisch vorteilhafter gegenüber der derzeitigen Beseitigung. Als Umsetzungszeitraum für die Verwerterauswahl und Durchführung einer Deklarationsanalyse kann ein halbes Jahr angesetzt werden.

### 3.3 Verbrauchtes Filtermaterial

#### Darstellung und Beurteilung der verschiedenen technischen Möglichkeiten

Die Filtermaterialien können aus produktionstechnischen Gründen nicht vermieden oder vermindert werden. Technische Möglichkeiten zur Reststoffvermeidung sind nicht vorhanden. Der geschätzte Heizwert läßt eine energetische Verwertung als möglich erscheinen. Die energetische Verwertung wäre ohne technischen Aufwand über ein Entsorgungsunternehmen zu realisieren.

#### Vergleichende wirtschaftliche Beurteilung

Die Kosten für die Verwertung betragen ca. 1200 DM/t, für die erforderliche Deklarationsanalyse einmalig ca. 400 DM – 1100 DM. Gegenüber dem bisherigen Entsorgungspreis von ca. 1650 DM/t (ohne Sonderabfallabgabe) ergibt sich eine wirtschaftlich günstigere Situation.

#### Vergleichende ökologische Beurteilung

Umweltauswirkungen der vorgeschlagenen Maßnahmen im Vergleich zur derzeitigen Entsorgung:

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternative	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Energetische Verwertung	–	0	0	++

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

Auch bei diesem Abfall ergaben sich aus der Bewertung der Maßnahmen anhand der zusätzlichen ökologischen Kriterien keine weiteren entscheidungsrelevanten Aspekte.

### Zusammenfassende Empfehlung

Es gilt die gleiche Aussage wie für den Proteinschlamm.

## **Teil III**

# **Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln**

Bearbeitung: ECOTEAM GmbH  
Olewiger Straße 62  
54295 Trier

Juli 1996



## **Teil III: Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln**

### **1 Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs**

#### **1.1 Kurzbeschreibung der Anlage**

Bei der untersuchten Anlage handelt es sich um eine Anlage zur Herstellung von Wasserenthärtern, Geschirrspülmitteln, Klarspülern und Wäscheweichspülern.

Die Anlage setzt sich im wesentlichen aus einer mehrgeschossigen Pulverproduktionsanlage (= Turm), einer Flüssigproduktionsanlage sowie mehreren Abfüll-Linien (10 Abfüll-Linien für Pulverprodukte sowie 4 Abfüll-Linien für Flüssigprodukte) sowie den zugehörigen Lagern zusammen.

Die Lagerung von festen Rohstoffen und Produkten erfolgt zu einem großen Teil in Silos. Die Silos sind per Rohrleitung mit der Pulverproduktionsanlage verbunden.

Die Versorgung des Unternehmens mit Wasser, Kühlwasser, Heizdampf und elektrischer Energie sowie die Entsorgung von Abwärme und Abwasser erfolgt durch ein benachbartes Unternehmen.

#### **1.2 Generelle Beschreibung der Verfahrensabläufe der Anlage**

##### **1.2.1 Pulverproduktion**

Die Pulverabmischung erfolgt kontinuierlich und wird über ein Prozeßleitsystem gesteuert. Die wesentlichen Schritte der Pulverproduktion sind:

- Bereitstellen der Rohstoffe in Silos und Zwischenlagerbehältern (z.B. Sackware)
- Dosieren und Zuführen der Rohstoffe größtenteils über Rohrleitung (Druckluftförderung), daneben werden Additive (Sackware) manuell zudosiert
- Vormischen
- Transport des Vorproduktes (über Elevatoren und Rollwagen) in Zwischenbunker
- Abmischen
- Einstellung einer bestimmten Korngröße (Granulieren durch Anfeuchten und Trocknen in einem Fließbettmischer)
- Klassieren (Abtrennung von Über- und Unterkorn)
- Abfüllen.

### **1.2.2 Flüssigproduktion**

Die Herstellung von Flüssigprodukten erfolgt diskontinuierlich. Das Grundprinzip der Herstellung von Flüssigprodukten ist:

- Lösen der Rohstoffe in Wasser (diskontinuierlich)
- Abfüllen in Gebinde in Abfülllinien (kontinuierlich).

### **1.3 Genehmigte, installierte und aktuell genutzte Kapazität**

Die hier betrachtete Anlage ist immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftig. Es liegt keine Begrenzung der Produktionsmenge vor. Die derzeitige Produktionsmenge des Unternehmens liegt knapp unter 100.000 t/a.

## **2 Anfallende Abfälle / Abwässer**

In den folgenden beiden Übersichtstabellen werden Art, Menge, Herkunfts-/Anfallbedingungen sowie der Entsorgungsweg der Abfälle geordnet nach besonders überwachungsbedürftigen und nicht überwachungsbedürftigen Abfällen und Abwässern aufgelistet.

Tab. 1: Art, Menge, Herkunft und derzeitige Entsorgung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle

Abfall-schlüssel	Bezeichnung	Menge [in 1994]	Herkunft/Anfallbedingungen
<b>Verwertung</b>			
<u>541 13</u>	Maschinen- und Turbinenöle	rd. 1 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wartung von Fahrzeugen und Maschinen</li> <li>• Druckerzeugung (Kompressorenkondensat = Öl-Wassergemische werden über einen Öl-Wasser-trenner konzentriert, die öltreichere Phase wird zur externen Aufarbeitung abgegeben.)</li> </ul>
<b>Beseitigung</b>			
<u>594 01</u>	Fabrikationsrückstände aus der Waschmittelherstellung (hier: Pulverrückstände)	rd. 80 t	<p><u>Logistikbereich:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschädigung von Gebinden bei der Entladung, Zwischenlagerung sowie beim Zutransport zu den Verbrauchsstellen</li> <li>• Feuchtigkeitseinschlag bei der Lagerung von Rohstoffen (Verklumpungen)</li> <li>• Staub, Kehrlicht beim Handling mit Kleingebinden</li> </ul> <p><u>Rohstoffsilos und Förderleitungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anbackungen an Silowänden</li> <li>• Anbackungen in Förderleitungen</li> </ul> <p><u>Mischerei:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anbackungen im Fließbettmischer bei der Befeuchtung der Pulvers zur Granulation</li> <li>• Abtrennung (Klassieren/Sichten) von Über- und Unterkorn aus dem Produkt</li> <li>• Reinigungsprozesse vor Rezeptwechseln</li> </ul> <p><u>Absaugungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abgesaugte Feinstäube aus Staubabscheidern, die nach Produktwechseln anfallen (ca. 95 % aller anfallenden Stäube werden zurückgeführt)</li> </ul> <p><u>Abpacklinien:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Störungen der Abpackmaschinen</li> <li>• Beschädigungen der Verpackungen (Kehrlicht)</li> <li>• Reinigung der Maschinen</li> </ul> <p><u>Palettierung und Verladung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Störungen der Palettiermaschinen</li> <li>• Beschädigungen der Verkaufsgebinde beim Zwischenlagern und Verladen</li> </ul> <p><u>Zwischenhandlung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verschüttungen</li> </ul>

Tab. 2: Art, Menge, Herkunft und derzeitige Entsorgung von nicht besonders überwachungsbedürftigen Abfällen und Abwässern

Abfall-schlüssel	Bezeichnung	Menge [in 1994]	Herkunft/Anfallbedingungen
<b>Verwertung</b>			
172 01*	Holzabfälle	rd. 103 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohstoffanlieferung in Kleingebinden auf Paletten</li> </ul>
912 01*	Verpackungsmaterial und Kartonagen	rd. 273 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohstoffanlieferung in Papiersäcken (REPA-Säcke) sowie in Papptrommeln</li> </ul>
582 07*	Leere Big-Bags	rd. 12 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohstoffanlieferung in Big-Bags</li> </ul>
572 28*	Kunststoffrückstände	rd. 63 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Störungen in der Abfüllanlage (beschädigte PE-Flaschen und PE-Beutel)</li> <li>• PE-Folien (Ummantelung) der zur Rohstoffanlieferung verwendeten Paletten</li> <li>• PE-Ummreifungsbänder (Sicherung der Ummantelung) der zur Rohstoffanlieferung verwendeten Paletten</li> </ul>
351 03*	Mischschrott	rd. 53 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohstoffanlieferung (defekte Metallgebinde)</li> <li>• Sonstige Metallteile</li> <li>• Elektronikschrott</li> </ul>
<b>Beseitigung</b>			
--	hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	rd. 43 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sozialbereich</li> <li>• Kabelabfälle (werden zwischenzeitlich verwertet)</li> </ul>
<b>Abwasser zur Entsorgung</b>			
--	Abwasser aus der Produktion	rd. 1.400 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserphase aus dem Kompressorenkondensat</li> <li>• Aggregat- und Betriebsflächenreinigung im Bereich der Lagersilos, Mischerei und Abpackanlagen</li> </ul>

\* Die mit \* gekennzeichneten Abfallschlüssel wurden vom Gutachter vergeben, da vom Abfallerzeuger keine entsprechenden Angaben vorlagen.



### 3 Empfohlene Maßnahmen

Das untersuchte Unternehmen hat in den letzten 2 bis 3 Jahren große Anstrengungen unternommen, betriebliche Rückstände zu reduzieren bzw. einer Verwertung zuzuführen.

Hier ist insbesondere auf folgende Maßnahmen hinzuweisen:

- die systematische und zunehmend verfeinerte Erfassung der Anfallstellen zur Aufdeckung von VVV-Ansätzen,
- das interne Recycling von Pulverrückständen,
- die Verwertung von nicht spezifikationsgerechten Flüssigprodukten,
- geschlossene Befüll- und Abfüllprozesse in allen möglichen Bereichen (Vermeidung von Staubemissionen und Kehricht),
- die Anschaffung auslaufgeschützter Transportbehälter (Vermeidung von Verschüttungen),
- die konsequente Getrennthaltung verwertbarer und nicht verwertbarer hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle,
- die Vermeidung bzw. Verwertung von Verpackungsmaterialien (Bezug von Rohstoffen nach Möglichkeit als Siloware und wenn dies nicht möglich ist, in Groß- und Mehrweg- bzw. verwertbaren Gebinden)
- die Öl-Wasserspaltung zur Reduzierung des Sonderabfallaufkommens aus Kompressorenkondensaten bei der Druckerzeugung,
- konsequente Mitarbeiterschulungen.

Die im Jahr 1994 noch verbliebenen Abfälle zur Beseitigung sind angesichts der Betriebsgröße bereits sehr gering (80 t Fabrikationsrückstände entsprechen <1% der Jahresproduktionsmenge; 43 t hausmüllähnliche Gewerbeabfälle entsprechen 160 kg Abfall pro Mitarbeiter und Jahr bzw. rd. 0,7 kg pro Mitarbeiter und Tag). Auf Grund der bereits vom Betreiber vor der Beratung realisierten Maßnahmen war bereits für die ersten beiden Quartale des Jahres 1995 eine weiterhin fallende Tendenz der Abfälle zur Beseitigung festzustellen.

Über die bereits vom Betreiber getroffenen Maßnahmen hinaus, wurden verschiedene weitere Möglichkeiten geprüft:

- Ca. 80% aller Pulverrückstände werden in den Produktionsprozeß zurückgeführt, bei dem Rest handelt es sich um technisch nicht zu vermeidende und auf Grund ihrer Aggregation und Zusammensetzung unter Qualitäts- und Sicherheitsaspekten nicht mehr rückführbare Pulverrückstände.
- Für verbliebene Pulverrückstände sucht der Betreiber bereits seit längerem ohne Erfolg nach einem Verwerter. Ein schadloser Verwertungsweg für Pulverrückstände konnte auch nach

intensiver Suche und Datenbankrecherche im Rahmen des Beratungsprogrammes nicht ermittelt werden.

- Bei einer Grobanalyse des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls konnte keine verwertbare Fraktion ermittelt werden.

Im Ergebnis der Prüfung wurde festgestellt, daß die VVV-Möglichkeiten in der untersuchten Anlage weitgehend ausgeschöpft sind. Im Hinblick auf die vom Betreiber bereits getroffenen Maßnahmen konnten vom Gutachter keine weitergehenden Maßnahmen zur Vermeidung oder Verwertung empfohlen werden.

## **Teil IV**

### **Untersuchung einer Polyproduktions-Anlage**

Bearbeitung: ERM Umwelt Consult RMN  
Darmstädter Straße 190  
64625 Bensheim

November 1996



## Teil IV: Untersuchung einer Polyproduktions-Anlage

### 1 Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs

Der untersuchte Betrieb erzeugt organische Feinchemikalien. Der Herstellungsprozeß besteht im wesentlichen aus Batch-Reaktionen unter Einsatz von Schwefelsäure und in einigen Fällen auch von Natriumdichromat als Oxidationsmittel. Die Rohprodukte fallen als Kristallbrei an, der von der Mutterlauge getrennt wird und dann mehrmals mit Frischwasser gewaschen werden muß. Das Waschwasser und zum Teil auch die Mutterlauge werden einer Abwasserbehandlung zugeführt. Diese besteht aus einer Reduktionsstufe, in der bei Bedarf Cr(VI) zu Cr(III) reduziert wird, und einer nachfolgenden Sulfatfällung mit  $\text{CaCl}_2$ . Bei der Sulfatfällung entsteht Gipsschlamm (einstufiger Fällungsreaktor), der je nach Produktionskampagne mehr oder weniger stark mit Chrom(III)-Salzen und organischen Verbindungen verunreinigt ist. Für diesen Gipsschlamm wurden im Rahmen der hier beschriebenen Studie Möglichkeiten der Vermeidung und Verwertung untersucht.

Die untersuchte Anlagen ist nach 4. BImSchV genehmigt und unterliegt keiner Beschränkung bezüglich der maximalen Jahresproduktion oder des maximalen Rohstoffeinsatzes.

### 2 Anfallende Abfälle

Der anfallende Schlamm wird zunächst entwässert. Im Jahre 1995 fielen ca. 250 t entwässerter Gipschlamm an, der unter dem Abfallschlüssel 31620 (Bezeichnung: Gipschlamm mit schädlichen Verunreinigungen) entsorgt wurde. Die Zusammensetzung ist der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Abfallkomponente	Prozentualer Anteil im Abfall (Gewichtsprozent)
$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	bis 60%
Wasser (ohne Kristallwasser)	ca. 40%
TOC	bis 0,5%
Chrom	bis 10% (durchschnittlich 2 bis 5%)
EOX	bis 10 mg/kg

Der Abfall wurde aufgrund seines Anteils an Chrom und des EOX-Gehaltes als besonders überwachungsbedürftig eingestuft und auf verschiedenen Sonderabfalldeponien (über Tage) abgelagert.

### 3 Darstellung und Beurteilung der verschiedenen technischen Möglichkeiten

#### 3.1 Technische Beurteilung

Im Verlaufe der Arbeiten wurden vom Gutachter 4 Arten von Maßnahmen zur Abfallminimierung betrachtet:

##### Maßnahme I – andere Prozeßführung

Als Maßnahme I wurde überprüft, ob das derzeit angewandte Natriumdichromat-Oxidationsverfahren durch andere, umweltfreundlichere, Oxidationsverfahren ersetzt werden kann (z.B. direkte elektrochemische Verfahren, indirekte elektrochemische Verfahren oder H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Verfahren). Derartige Verfahren sind jedoch derzeit technisch nicht möglich.

##### Maßnahme II – Ausschleusen von Chromsäure

Die Maßnahme II bezieht sich auf das Ausschleusen von Mutterlauge und deren separater Verwertung. Aufgrund des hohen Organik-Anteils der Mutterlauge konnte aber keine geeignete Verwertungsmöglichkeit gefunden werden.

##### Maßnahme III – Direkte Verwertung von Fällungsgips

Die Verwertung des Gipschlammes in der derzeit anfallenden Form wurde untersucht, dabei jedoch vor allem aufgrund des hohen Anteils an Chrom(III)- und organischen Verunreinigungen nur eine befriedigende Lösung gefunden (Verglasung in der Pilotanlage der Firma GfE Umwelttechnik, Nürnberg). Ein unter Umständen als Verwertung anerkannter Einsatz wäre zudem als Versatzmaterial in Bergwerken oder als Füllmaterial beim Deponiebau denkbar. Diese Möglichkeiten wurden jedoch nicht weiter betrachtet. Folgende Möglichkeiten zur direkten Verwertung des Gipsschlammes wurden überprüft:

Direkte Verwertung	Ergebnis
Metallverhüttung	Der Chromanteil im Gipsschlamm ist zu gering, die Aufarbeitung auf Chrom daher technisch nicht sinnvoll. Weiterhin müßte der verbleibende Gips entsorgt werden.
Rohstoff in Glasindustrie	Der Einsatz als Rohstoff in der Glasindustrie ist prinzipiell möglich, technisch jedoch nicht realisierbar, da die Menge des Gipsschlammes für die in der Glasindustrie benötigten Chargengrößen zu gering ist.

Direkte Verwertung	Ergebnis
Verglasung in der Pilotanlage der Firma GfE Umwelttechnik, Nürnberg	Bei dieser Anlage handelt es sich um eine Verglasungsanlage, in der, analog zu den Verfahren der Glasindustrie, ein Glas erschmolzen wird, das dann in der Glasindustrie als Rohstoff eingesetzt werden kann. Durch bestimmte Betriebsverfahren und logistische Systeme kann in dieser Anlage, im Unterschied zum direkten Einsatz in der Glasindustrie, Gipsschlamm in Kleinmengen eingesetzt und daraus ein Rohstoff mit reproduzierbaren Eigenschaften erschmolzen werden. Die Verwertung in diesem Verfahren erscheint technisch möglich.

#### Maßnahme IV – die indirekte Verwertung von Fällungsgips

Unter indirekter Verwertung wird im folgenden die Verwertung des Gipschlammes nach Auftrennung in verschiedene Fraktionen verstanden.

Entsprechend den Hauptkomponenten des Gipses ( $\text{CaSO}_4$ , Wasser, Chrom(III)-Hydroxyde und organische Verunreinigungen/EOX) sind verschiedene Fraktionierungen möglich, für die prinzipiell die in der folgenden Tabelle aufgeführten Verwertungsmöglichkeiten denkbar sind:

Fraktion	Gehalte an:			Prinzipielle Verwertungsmöglichkeiten
	$\text{CaSO}_4$	Chrom	Organika/EOX	
1	++	+/-	+/-	Verglasung
2	++	-	-	Baustoffindustrie
3	+/-	++	-/+	Verwertung des Chromanteils
4	+/-	+/-	++	Aufarbeitung auf Organika
++ = sehr hoch    + = hoch    - = gering				

Die Aufarbeitung auf Organika (Fraktion 4) ist wenig sinnvoll, da nur wenige isolierbare und verwertbare organische Einzelstoffe vorliegen. Im folgenden wurde daher nur die Verwertbarkeit der Fraktionen 2 und 3 untersucht, die durch fraktionierte Fällung oder durch Teilstrombehandlung erhalten werden können:

Bei der Teilstrombehandlung fiel durch Ausschleusen der Mutterlauge und der Waschwässer und deren separater Fällung in den bestehenden Anlagen ca. 160 000 kg Schlamm (Zusammensetzung: 130 000 kg Gips und 28 680 kg Chromschlamm) an, der einen Chromgehalt von ca. 6% hat (Fraktion 3). Dieser Schlamm wäre halogenfrei und könnte damit besser auf Chrom aufgearbeitet werden.

Die Abwässer aus den anderen Prozessen könnten separat gefällt werden und würden weitere 40 Tonnen Gipsschlamm (Fraktion 2) ergeben, die dann chromfrei wären.

Die Möglichkeit der fraktionierten Fällung basiert darauf, daß die Fällung von Chrom(III) als Hydroxyd-Niederschlag im alkalischen Bereich erfolgt. Die Fällung von Sulfat als Gips kann jedoch teilweise in saurem Milieu erfolgen. Es ist daher denkbar, einen Teil der oben erwähnten Mutterlaugen bereits im sauren Bereich zu fällen, den chromarmen Gipsschlamm dann abzutrennen (Fraktion 2) und die Restfällung unter alkalischen Bedingungen durchzuführen (dabei würde ein stark chromhaltiger Gipsschlamm anfallen [Fraktion 3]).

**Fraktion 2:** Verwertbarkeit eines Gipsschlammes mit geringem Chrom- und Organikanteil (Baustoff- und chemische Industrie)

Die chemische Industrie benötigt i.A. hochreinen Gips als Grundstoff. Die Arbeiten wurden daher auf eine Verwertung in der Baustoffindustrie beschränkt, die bereits in bedeutendem Umfang Recycling-Gips verwertet. Aufgrund des Überangebotes wird dieser Gips zu Preisen um 5 DM pro Tonne angekauft. Die zulässigen Konzentrationen an Chrom und organischen Verbindungen richten sich nach dem Einsatzgebiet. Die Verarbeitungstemperaturen liegen i.a. unter 700°C, so daß organische Verunreinigungen nicht wirksam entfernt werden können. Verfahrensbedingt liegt die minimale Chargengröße, ab der sich der Einsatz für die Baustoffindustrie lohnt, in der Größenordnung von einigen 1000 Tonnen pro Jahr.

Durch eine Umfrage bei möglichen Verwertern wurde festgestellt, daß für einen Gips mit der für Fraktion 2 erwarteten Zusammensetzung vor allem aufgrund des hohen Wassergehaltes und der geringen Chargengröße eine Verwertung derzeit im Bereich der Baustoffindustrie nicht möglich ist. Es erscheint jedoch denkbar, daß sich in den nächsten Jahren ein Sekundärmarkt entwickelt, auf dem Kleinmengen zusammengeführt werden und auf dem die beschriebene Fraktion 2 abgesetzt werden könnte. Erst wenn dieser Markt entsteht, ist eine Fraktionierung des Gipsschlammes wie oben beschrieben sinnvoll.

**Fraktion 3:** Verwertbarkeit eines Gipsschlammes mit hohem Chrom- und eventuell Organikanteil

Eine Gewinnung von Chrom aus dem Fällungsgips ist nur sinnvoll, wenn gleichzeitig durch andere Maßnahmen der EOX und Organikanteil soweit verringert wird, daß eine Verwertung des Restgipses (wie oben für Fraktion 2 untersucht wird) möglich ist.

### **3.2 Vergleichende wirtschaftliche und ökologische Beurteilung der verschiedenen technischen Möglichkeiten**

Nach der technischen Beurteilung der verschiedenen Möglichkeiten wurde nur die Verglasung als derzeit realisierbare Maßnahme identifiziert. Für diese Maßnahme wurde eine wirtschaftliche und eine ökologische Beurteilung durchgeführt.



### **3.2.1 Vergleichende wirtschaftliche Beurteilung**

Die Verglasung in der Pilotanlage der Firma GfE Umwelttechnik, Nürnberg, wird derzeit untersucht. Die Firma rechnet mit Verwertungskosten von ca. DM 700/t, damit wäre die Umsetzung dieser Maßnahme gegenüber der derzeit praktizierten Ablagerung auf einer Sonderabfalldeponie als kostenneutral anzusehen. Wie sich die Kosten in Zukunft entwickeln werden, kann derzeit nicht abgeschätzt werden.

### **3.2.2 Vergleichende ökologische Beurteilung**

Für die Maßnahme III wurden die Auswirkungen auf die Umweltmedien im Vergleich zu der derzeit durchgeführten Ablagerung auf einer oberirdischen Sonderabfalldeponie betrachtet:

#### **Umweltmedium Luft**

Bei der Verglasung erfolgt eine Aufarbeitung des Gipses, die mit vergleichbaren Emissionen wie bei der Neuherstellung von Glas verbunden ist. Die Bilanz der Belastung des Umweltmediums Luft ist damit vermutlich gleichbleibend.

#### **Umweltmedium Wasser**

Die Belastung des Umweltmediums Wasser beim Einsatz der Verglasung ist nicht relevant, da es sich beim Verglasen im wesentlichen (ausgenommen Kühlwasser) um einen "trockenen" Schmelzprozeß handelt. Wird der Abfall auf einer Sondermülldeponie abgelagert, entsteht zwangsläufig Deponie-sickerwasser. Insgesamt ist daher zu erwarten, daß sich die Verglasung gegenüber der Deponierung positiv auf das Umweltmedium Wasser auswirkt.

#### **Umweltmedium Abfall**

Bei der Verglasung erfolgt eine vollständige stoffliche Verwertung des Abfalls. Durch diesen Prozeß würde die Glasgewinnung aus Primärrohstoffen durch die Glasgewinnung aus einem Reststoff ersetzt. Eine Entlastung des Umweltmediums Abfall wäre damit erreicht.

#### **Energieverbrauch**

Das bei der Verglasung erschmolzene Glas könnte Glas ersetzen, das sonst aus Primärrohstoffen hergestellt werden muß. Damit würde insgesamt wahrscheinlich kein erhöhter Energieverbrauch erfolgen.

Die Umweltauswirkungen der einzelnen Vermeidungsmaßnahmen werden daher wie folgt abgeschätzt:

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternative	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Verwertungsmaßnahme I (Verglasung)	0	+	++	0

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch **eindeutig niedriger** als bei der derzeitigen Beseitigung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch **wahrscheinlich niedriger** als bei der derzeitigen Beseitigung
- 0 Keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch **wahrscheinlich höher** als bei der derzeitigen Beseitigung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch **eindeutig höher** als bei der derzeitigen Beseitigung

Zusammenfassend ist davon auszugehen, daß die Verglasung zu positiven Umweltauswirkungen gegenüber der derzeitigen Beseitigung (Deponierung) führt.

Die Beurteilung der vorgeschlagenen Verglasung nach den im Rahmen des Beratungsprogramms vorgegebenen zusätzlichen ökologischen Kriterien wurde wie folgt durchgeführt:

Bei der Verglasung findet weder eine Anreicherung noch eine Verdünnung statt. Die Vermischung (mit verschiedenen Fällungsschlämmen) dient einzig der Herstellung eines höherwertigen Werkstoffs. Es wird eine höhere Verwertungsebene erreicht, da aus einem Abfall ein neuer Werkstoff entsteht. Die Transporte zur Verglasungsanlage und danach zu Glashütten dürften etwas weiter sein als die direkte Anlieferung auf eine Sondermülldeponie.

### 3.3 Zusammenfassende Empfehlung

Es wurde der Firma empfohlen, die Verglasung in der Pilotanlage der Firma GfE Umwelttechnik, Nürnberg, durchzuführen. Weiterhin sollten die Verwertungsmöglichkeiten in der Baustoffindustrie beobachtet werden. Sobald Möglichkeiten der Verwertung gegeben sind, sollten entsprechende Untersuchungen zur Fraktionierung des Fällungsgipses untersucht werden.

## **Teil V**

### **Untersuchung einer Anlage zur Herstellung eines Vitamins**

Bearbeitung: RWTÜV Anlagentechnik GmbH  
Langemarckstraße 20  
45141 Essen

September 1996



## Teil V: Untersuchung einer Anlage zur Herstellung eines Vitamins

### 1 Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs

Die Betriebstätigkeiten der untersuchten Firma umfassen die Herstellung von Diagnostika, Vitaminen und Feinchemikalien sowie Pharmaka. Die untersuchte Vitamin Anlage stellt innerhalb des gesamten Betriebs einen in sich geschlossenen Bereich dar. Einsatzstoffe bzw. regenerierte Reststoffströme werden allerdings über die Systemgrenze hinaus aus anderen Anlagen des Werkes bezogen bzw. abgegeben. Die Abwasserreinigung erfolgt in einer zentralen Einrichtung, die von allen Betriebsbereichen genutzt wird.

#### Verfahrensbeschreibung

Die Herstellung des Vitamins erfolgt in mehreren Synthesestufen. Die Reaktionsmischungen der einzelnen Stufen werden jeweils geeigneten Destillationsverfahren unterworfen, um das gewünschte Zwischenprodukt zu erhalten. Überschüssige Einsatzstoffe werden weitestgehend zurückgeführt. Die verfahrensbedingten Nebenprodukte Ameisensäure und Ethanol werden betriebsintern so aufgearbeitet, daß sie als Sekundärrohstoffe vermarktet werden können. Ein Destillationsrückstand einer Verfahrensstufe wird geeigneten Aufarbeitungsschritten zugeführt, bei denen o-Phosphorsäurelösung entsteht, die wahlweise als Di-Natriumphosphat oder Di-Ammoniumphosphat einer Verwertung zugeführt wird.

### 2 Anfallende Abfälle / Abwasser

Abfallart (interne Bezeichnung)	Abfall- schlüssel LAGA	Verwertungs-/Beseitigungsart
Destillationsrückstände, methanolhaltig	<b>55370</b>	energetische Verwertung: Einsatz als Ersatzbrennstoff in der betriebseigenen Klärschlammverbrennungsanlage
Ameisensäure, regeneriert	–	externe Verwertung als Sekundärrohstoff
Destillationsrückstand	<b>59703</b>	Sonderabfallverbrennung
Ethanol, abs.	<b>55315</b>	externe Verwertung als Sekundärrohstoff
Di-Ammoniumphosphat (36%ig)	–	externe Verwertung als Sekundärrohstoff
Di-Natriumphosphat (28%ig)	–	Nährsubstanz für die Biologie der Abwasserreinigungsanlage
Essigsäure, regeneriert	–	werksinterne Verwertung als Sekundärrohstoff

Tabelle 1: Abfälle der Vitamin-Anlage

Die gerundeten Mengenangaben und Frachten der Abwasserteilströme beziehen sich auf die optimale

Kapazität der Anlage.

Abwasser-anfallstelle	Abwassermenge [m <sup>3</sup> /d]	Inhaltsstoffe	Frachten [kg/d]	Behandlung
Waschwasser	85	anorganische Stoffe organische Stoffe AOX (*)	18 429 0,7– 0,8	zentrale Abwasserkläranlage, ein AOX-haltiger Teilstrom wird einer alkalischen Vorbehandlung zugeführt
Prozeßabwasser	112	anorganische Stoffe organische Stoffe undef. Nebenprod. AOX (*)	3100 2410 400 3	zentrale Abwasserkläranlage, einzelne Teilströme werden einer alkalischen AOX- Vorbehandlung zugeführt
Prozeßabwasser -Teilstrom	10	organische Stoffe AOX	860 10	Naßoxidation
Prozeßabwasser -Teilstrom	1,4	organische Stoffe	515	Klärschlamm- verbrennungsöfen
Vakuumerzeugung, Abwasser verunreinigt	120	anorganische Stoffe organische Stoffe	48 217	zentrale Abwasserkläranlage
Vakuumerzeugung	552	nicht verunreinigt		zentrale Abwasserkläranlage

Tabelle 2: Abwasserteilströme bei der Vitamin-Herstellung  
(\*) = AOX-Wert vor der Vorbehandlung)

### 3 Empfohlene Maßnahmen

#### 3.1 Destillationsrückstände, methanolhaltig

Die Destillationsrückstände aus mehreren Verfahrensstufen enthalten diverse organische Substanzen in jeweils nur geringen Anteilen, mehr als 30% der Gesamtmenge sind undefinierbar. Interessant hinsichtlich einer stofflichen Verwertung ist lediglich die Rückgewinnung des Methanols aus den Rückständen einiger Verfahrensstufen über eine Destillation. Der Destillationsrückstand einer anderen Verfahrensstufe enthält kein Methanol, so daß er bei Beschreiten dieses Verwertungsweges getrennt gehalten werden müßte (zusätzlicher Lagertank). Derzeitig ist allerdings der Markt für regeneriertes Methanol relativ klein. Bei Abdestillieren des Methanols verbliebe zudem ein Anteil von etwa 50% als Destillationssumpf, der wiederum einer energetischen Verwertung zugeführt werden müßte. Die derzeit beschrittene Art der betriebsinternen Verwertung der methanolhaltigen Destillationsrückstände als Ersatzbrennstoff in der Klärschlammverbrennungsanlage ist demzufolge aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen (Transportminimierung) einer möglichen externen stofflichen Verwertung vorzuziehen.

**Maßnahme:** Energetische Verwertung als Ersatzbrennstoff in der TNA

Der Vitamin Anlage zugeordnet ist eine BImSchG-genehmigte thermische Nachbehandlungsanlage (TNA) zur Behandlung von belasteten, giftigen Lösungen und Abgas. Die einzuhaltenen Grenzwerte sind nach TA Luft festgelegt. Da die Anlage kontinuierlich in Betrieb sein muß, ist ein Stützfeuer erforderlich, das derzeit mit Erdgas gespeist wird. Im Jahr 1995 wurden 205.000 m<sup>3</sup> Erdgas zugeführt. In der TNA werden 89% der Wärme zur Dampferzeugung genutzt. Ein Einsatz der Destillationsrückstände aus mehreren Verfahrensstufen als Brennstoff für die TNA ist nach Angaben des Betreibers nach geringfügiger Umrüstung technisch machbar. Bei Einsatz der methanolhaltigen Destillationsrückstände, könnte die gesamte erforderliche Menge an Erdgas substituiert werden. Diese Art der energetischen Verwertung sollte als zusätzlicher interner Weg ermöglicht werden, um sicherzustellen, daß auch bei kurzzeitigem Stillstand der Klärschlammverbrennungsanlage (Reparatur /Wartungsarbeiten) eine vollständige energetische Verwertung der Rückstände gesichert ist. Das Bereithalten zweier, voneinander unabhängiger, Verwertungswege wird seitens des Betreibers und der Gutachter als sinnvolle Maßnahme zur Optimierung der innerbetrieblichen Logistik und Lagerung angesehen.

**Vergleichende wirtschaftliche und ökologische Beurteilung**

Die Umrüstung der TNA für einen möglichen Einsatz der methanolischen Rückstände als Substitut für Erdgas wurde seitens des Betreibers mit ca. 100.000 DM für die apparative Umrüstung und ca. 150.000 DM für die Abluftmeßeinrichtungen abgeschätzt. Aus Sicht des Betreibers ist dieser Aufwand in Hinblick auf die dadurch zu erzielende Optimierung der innerbetrieblichen Logistik gerechtfertigt.

Die Umweltauswirkungen bei betriebsinterner energetischer Verwertung in der TNA sind vergleichbar mit denen bei dem derzeitigen Einsatz in der Klärschlammverbrennung. Die Wärmenutzung ist bei Einsatz in der TNA besser, so daß beim Energieverbrauch Vorteile gegenüber dem derzeitigen Verwertungsweg zu erzielen sind. Die folgende Übersichtsmatrix faßt die Auswirkungen zusammen:

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternative	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Betriebsinterne energetische Verwertung in der TNA	k.A.	0	0	+

Beurteilungsstufen:

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

Hinsichtlich zusätzlicher ökologischer Kriterien, wie Anreicherung, Vermischung, Prinzip der höchsten Verwertungsebene und Prinzip der Transportminimierung sind beide genannten Arten der energetischen Verwertung gleich zu beurteilen.

### **Zeitraumen**

Die Nachrüstung der Anlage könnte nach Angaben des Betreibers in wenigen Tagen durchgeführt werden, die Bearbeitung des Genehmigungsantrags dauert erfahrungsgemäß mindestens 3 Monate.

## **3.2 Andere Abfälle**

Die derzeitige Art der anlagenintegrierten Aufbereitung der bei der Produktion anfallenden Reststoffe ist weitgehend optimal gestaltet. Die aufbereiteten Reststoffe können teils intern, teils extern in der chemischen Industrie wieder als Sekundärrohstoff eingesetzt werden. Es verbleibt lediglich ein Abfallstrom, der der Beseitigung zugeführt werden muß. Nach Einschätzung des Gutachters sind derzeit keine weitergehenden VVV-Maßnahmen zu empfehlen.

## **3.3 Abwasser**

Die wesentlichen Maßnahmen zur Behandlung einzelner problematischer Abwasserteilströme wurden bereits ergriffen. Hierzu gehört die Inbetriebnahme einer Ammoniakadsorptionsanlage zur Verringerung der Ammoniumfracht im Abwasser, die alkalische Vorbehandlung einzelner AOX-haltiger Abwasserteilströme, die Verbrennung eines organisch hoch belasteten Abwasserteilstroms zur Reduzierung der organischen Belastung des Abwassers sowie der Bau einer Naßoxidationsanlage zur Reduzierung der CSB-Fracht. Mit diesen Maßnahmen wurde bereits eine wesentliche Reduzierung der eingeleiteten Schadstofffrachten erreicht. Es verbleibt die hohe Salzfracht in einem Abwasserteilstrom. Maßnahmen zur Reduzierung der Salzfracht (Eindampfung, Fällung des Calciumsulfats) sind technisch machbar, allerdings unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu empfehlen.

Aus Sicht der Gutachter bestehen für die in der untersuchten Anlage zur Herstellung des Vitamins anfallenden Abwasserteilströme nur noch geringe VVV-Potentiale.

**Maßnahme:** Umstellung der Vakuumerzeugung auf abwasserlose bzw. abwasserreduzierte Anlagen

Am Beispiel eines Abwasserteilstroms aus der Vakuumerzeugung wurde gezeigt, daß durch ein alternatives Vakuumkonzept (Ersatz von Dampfstrahlern durch Flüssigkeitsringpumpe mit Sperrflüssigkeitskreislauf) dieser Teilstrom vermieden werden könnte. Diese Maßnahme ist spezifisch für den genannten Verfahrensschritt anzusehen. Eine direkte Übertragbarkeit auf die anderen Abwasserteilströme aus der Vakuumerzeugung ist nicht gegeben. Bei einzelnen Teilströmen wäre eine ähnliche Verfahrensweise denkbar. Die Abwasserteilströme der letzten Synthesestufe sind im



wesentlich unbelastet, so daß die Anforderungen des Anhangs 22 der Abwasserrahmenverwaltungsverordnung hier nicht zutreffen.

### Vergleichende wirtschaftliche und ökologische Beurteilung

Am Beispiel eines Abwasserteilstroms wurden die Kosten für ein alternatives Konzept geschätzt. Für den Ersatz der bestehenden Vakuumanlage durch eine Flüssigkeitsringpumpe aus korrosionsbeständigem Material (z.B. V4A oder Titan) ist mit Investitionskosten von ca. 200.000 DM zu rechnen. Die Betriebskosten reduzieren sich bei dieser alternativen Vakuumtechnik um 7.700 DM. Die Maßnahme ist nicht wirtschaftlich.

Bei Einsatz einer Flüssigkeitsringpumpe und Kreislaufführung der Sperrflüssigkeit könnte Abwasser vollständig vermieden werden, so daß hier eine eindeutige Verbesserung für das Medium Wasser erzielt würde. Als kritisch anzusehen bei dieser Verfahrensweise ist eine mögliche Anreicherung von Tiefsiedern. Dies müßte im Betrieb überprüft werden. Eine Ausschleusung der Tiefsieder ist möglich, wenn Wasser als Flüssigkeitsring verwendet wird. Insgesamt entsteht bei dieser Verfahrensweise ein von der Menge her wesentlich kleinerer Abwasserteilstrom mit einer hohen organischen Belastung. Unter der Annahme, daß dieser Strom dann der Klärschlammverbrennung oder der TNA zugeführt wird, wird seitens der Gutachter durch diese Maßnahme eine geringere Belastung des Umweltmediums Wasser gesehen. Die Beurteilung der Umweltauswirkungen ist in der folgenden Übersichtsmatrix im Vergleich zu der bisherigen Vakuumherzeugung zusammengefaßt.

### Übersichtsmatrix

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternativen	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Ersatz des Dampfstrahlverdichters durch Flüssigkeitsringpumpe, Kreislaufführung der Sperrflüssigkeit	0	++	0	0
Ersatz des Dampfstrahlverdichters durch Flüssigkeitsringpumpe – eingesetzte Flüssigkeit: Wasser	0	+	0	0

Beurteilungsstufen:

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

Das beschriebene Konzept ist als einzelfallspezifische Lösung anzusehen. Es ist technisch durchführbar und ökologisch sinnvoll, bei der bestehenden Anlage aber nicht wirtschaftlich.

Für die Umstellung der gesamten Vakuumerzeugung auf abwasserlose bzw. abwasserreduzierte Anlagen müßten alternative Systeme für alle eingesetzten Dampfstrahler erarbeitet werden. Da die Materialanforderungen in allen relevanten Bereichen sehr hoch sind, ist davon auszugehen, daß diese alternativen Konzepte ebenfalls mit sehr hohem finanziellen Aufwand verbunden sind und ein Ersatz somit unwirtschaftlich ist. Im Hinblick auf die allgemeinen Anforderungen des Anhangs 22 zur Abwasserrahmenverordnungsvorschrift ist ein Ersatz der Vakuumanlagen durch ein abwasserloses / abwasserreduziertes Konzept jedoch langfristig gesehen empfehlenswert.

### **Zeitraumen**

Bei zukünftig durchzuführenden Renovierungsarbeiten bzw. Neuinvestitionen sollte der Ersatz der Vakuumanlagen durch ein abwasserloses / abwasserreduziertes Konzept mit in die Planung einbezogen werden.

## **Teil VI**

### **Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Natriumpersulfat und Ammoniumpersulfat**

Bearbeitung: RWTÜV Anlagentechnik GmbH  
Langemarckstraße 20  
45141 Essen

Dezember 1996



## **Teil VI: Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Natriumpersulfat und Ammoniumpersulfat**

### **1 Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs**

Gegenstand der Untersuchung ist die Herstellung von Persulfat, die innerhalb des Werksverbundes eines chemischen Unternehmens einen in sich geschlossenen Bereich darstellt. Er ist in 5 Betriebseinheiten gegliedert, die alle gemäß BImSchG genehmigt sind. Hierzu zählen das Rohstofflager, die Anlage zur Herstellung von Ammoniumperoxodisulfat ( $\equiv$  Ammoniumpersulfat, APS), die Anlage zur Herstellung von Natriumperoxodisulfat ( $\equiv$  Natriumpersulfat, NaPS), eine Mehrzweckfilteranlage sowie das Produktlager. Die Produktionsanlagen laufen im kontinuierlichen Durchfahrbetrieb und werden im Personalverbund bedient.

Das Verfahren zur Herstellung von Ammoniumpersulfat besteht aus der elektrochemischen Umsetzung von Ammoniumsulfat sowie den nachfolgenden Aufbereitungsstufen zur Ausscheidung, Abtrennung, Trocknung und Abfüllung des bei der Reaktion gebildeten APS. Ein Produktteilstrom wird als Rohstoff für die Natriumpersulfatherstellung verwendet.

Die Herstellung des Natriumpersulfats erfolgt durch chemische Umwandlung des Ammoniumpersulfats unter Zugabe von Natronlauge. In nachfolgenden Verfahrensstufen wird dann das NaPS abgetrennt, getrocknet und abgefüllt.

Als Nebenprodukt bei der NaPS-Herstellung entsteht Natriumsulfat. Der bei der chemischen Reaktion gebildete Ammoniak wird für die APS-Herstellung zurückgewonnen.

In der Mehrzweckfilteranlage werden verschiedene Rückstände aus den beiden Anlagen gewaschen und die Feststoffe abgetrennt, entweder als Vorbehandlung für eine externe Entsorgung oder für die interne Rückführung. Die Filtrate werden je nach Herkunft in den Prozeß zurückgeführt.

## 2 Anfallende Abfälle / Abwasser

Die genannten Jahresmengen beziehen sich auf die genehmigten Kapazitäten der Persulfatanlagen und stellen damit die maximalen Mengen dar. Die tatsächlich anfallenden Mengen sind abhängig von der jährlichen Produktionsmenge.

Abfallart (interne Bezeichnung)	Abfall- schlüssel LAGA	Menge [kg/a]	Anfallstelle	Verwertungs-/ Beseitigungsart
APS-Filtrerrückstand	31639	24.000	Prozeßlösung	Hausmülldeponie
NaPS-Filtrerrückstand	31639	ca. 440	Prozeßlösung	Hausmülldeponie
Natriumsulfat Decahydrat	51517	produktions- abhängig	Nebenprodukt NaPS-Herstellung	Verwertung als Sekundärrohstoff

Abfallart (interne Bezeichnung)	Abfall- schlüssel LAGA	Menge [kg/a]	Anfallstelle	Verwertungs-/ Beseitigungsart
Bleisulfatschlamm, wäßrig	35503	1.500	Elektrolysezellen	Verwertung in Bleihütte
Bleikathoden	35302	2.250 (*)	Elektrolysezellen	Verschrottung
Kathoden aus neuer Elektrolyse	31432	3.000 (*)		bislang nicht entsorgt, thermische Verwertung ist geplant
Membranen und Diaphragmen	57126	76 kg / 15 Jahre (*)	Elektrolysezellen	bislang nicht angefallen
	31407	186 kg / 10 Jahre (*)		Hausmülldeponie

Tabelle 1: Abfälle des Persulfatbereichs

(\*) = Angaben basierend auf mittlerer, geschätzter Lebensdauer

Abwasseranfallstelle	Abwasser- menge [m <sup>3</sup> /a]	Ammonium- fracht [kg/a]	Entsorgung
NaPS-Anlage	200.670	ca. 2.920	Direkteinleitung in oberirdisches Gewässer
APS-Anlage	ca. 465.000	ca. 730	Direkteinleitung in oberirdisches Gewässer

Tabelle 2: Abwasserteilströme bei der Persulfat-Herstellung

### 3 Empfohlene Maßnahmen

#### 3.1 APS- und NaPS-Filterrückstände

Die derzeit durchgeführte Art der Abfallbeseitigung ist unter dem Aspekt, daß der Abfall im wesentlichen aus dem jeweils frisch zugesetzten Filterhilfsmittel besteht, als ökologisch wenig sinnvoll anzusehen. Die Regeneration des eingesetzten Filterhilfsmittels und sein Wiedereinsatz zum gleichen Anwendungszweck ist nach durchgeführten Versuchen der Firma nicht möglich.

##### **Maßnahme A:** Optimierung der Filtrationstechnik

Es sollte überprüft werden, ob Möglichkeiten bestehen, die derzeit eingesetzte Filtrationstechnik zu optimieren. Eine Verminderung des Rückstandes kann erzielt werden bei Anwendung eines Verfahrens, mit dem die Verunreinigungen ohne Zugabe von Filterhilfsmittel aus der Lösung abgetrennt werden können. Aussichtsreich erscheint den Gutachtern beispielsweise die Cross-flow Filtration oder die Abtrennung durch Zentrifugieren. Die technische Machbarkeit dieser Verfahren für diesen Anwendungszweck muß experimentell nachgewiesen werden. Umsetzbare technische Maßnahmen zur Optimierung können erst nach Abschluß einer entsprechenden Untersuchung konkretisiert werden, die im Rahmen des Gutachtens nicht vorgenommen werden kann.

##### **Maßnahme B:** Organisatorische Maßnahmen

Soweit es noch nicht eindeutig geregelt wurde, sollte durch Festlegung der Verantwortlichkeit und ggfs. Erstellung einer Arbeitsanweisung oder Prüfanweisung sichergestellt werden, daß die Zudosierung des Filterhilfsmittels auf die unbedingt erforderliche Mindestmenge beschränkt bleibt, um den anfallenden Filterrückstand auf ein Minimum zu beschränken.

##### **Maßnahme C:** Verwertung als Zuschlagstoff in der Zementindustrie oder als Versatzmaterial

Es wird empfohlen, innerhalb der nächsten Monate Kontakt zu geeigneten Verwertern aufzunehmen und auf Basis einer eingesandten Probe und der genauen Mengenangabe Preisangebote einzuholen. Bei Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ist diese Verwertung der derzeitigen Ablagerung auf der Hausmülldeponie vorzuziehen.

#### **Wirtschaftliche und ökologische Beurteilung**

Die Kosten durch die beschriebenen Verwertungsverfahren (Maßnahme C) können im Rahmen des Gutachtens nicht quantifiziert werden. Die Kosten für einen Einsatz des Filterrückstandes bei der Zementherstellung wie auch als Versatzmaterial in einer Erzgrube müssen nach Einsendung einer Probe und Angabe der Menge erfragt werden. Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit ist in Absprache mit den Verwertern ein hinsichtlich der Lagerkapazität beim untersuchten Betrieb und der Minimierung der Transportkosten optimierter Abholrhythmus festzulegen. Gegenüber dem bestehenden Entsorgungsweg erhöhen sich auf jeden Fall die Transportkosten. Es entfällt aber die Abfallabgabe, da die

beschriebenen Einsatzmöglichkeiten als Verwertungsverfahren gelten.

Die ökologisch kritischen Inhaltsstoffe des Filtrerrückstandes sind insbesondere Schwermetalle. Die Übersichtsmatrix zeigt die Umweltauswirkungen der alternativen Verwertungsverfahren im Vergleich zur Ablagerung auf der Hausmüldeponie.

### Übersichtsmatrix

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternativen	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Verwertung: Zuschlagstoff bei Zementherstellung	–	0	+	–
Verwertung: Versatzmaterial unter Tage	0	+	+	0

Beurteilungsstufen:

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

Als Ergebnis der differenzierten Betrachtung der Verwertungsverfahren anhand zusätzlicher ökologischer Kriterien ist hervorzuheben, daß das Kriterium der Verdünnung von Schadstoffen nur bei der Verwertung des Filtrerrückstandes als Zuschlagstoff bei der Zementherstellung relevant ist:

Die kritischen Inhaltstoffe des Filtrerrückstandes wie Chrom oder Nickel werden hier sowohl in das Produkt Zement als auch in die Abluft emittiert und verdünnt. Bei Einhaltung der Annahmekriterien des jeweiligen Zementwerks, sollten diese Auswirkungen jedoch vernachlässigbar gering sein.

Das Prinzip der technisch höchsten Verwertungsebene ist bei keiner der beschriebenen Verwertungsmöglichkeiten erfüllt. Die Verwertung im Rahmen der Zementherstellung ist als die höherwertigere anzusehen, da die stofflichen Eigenschaften genutzt werden und keine zusätzliche Behandlung zur Erreichung der für den Versatz erforderlichen Eigenschaften (Verfestigung) notwendig ist.

### Zeitraumen

Untersuchungen zur Optimierung der Filtrationstechnik (Maßnahme A) sollten innerhalb eines Jahres durchgeführt werden können. Die Erstellung von Arbeits- und Prüfanweisungen (Maßnahme B) sowie die darauf basierende Schulung der verantwortlichen Mitarbeiter beinhaltet keinen technischen Aufwand und ist aus diesem Grunde kurzfristig umsetzbar. Die Kontaktaufnahme zu geeigneten Verwertern (Maßnahme C) kann ebenfalls kurzfristig erfolgen.



### 3.2 Bleisulfatschlamm und bleihaltige Abfälle

Die Bleikathoden werden als metallisches Blei direkt einer Verschrottung zugeführt. Die Bleisulfatschlämme werden als Sekundäreinsatzstoff ebenfalls für die Herstellung von Blei und Bleilegierungen eingesetzt. Bestehende Verwertungspotentiale werden demzufolge ausgeschöpft.

**Maßnahme:** Ersatz der Elektrolyseure mit Bleikathoden

Bei Neuinvestitionen im Bereich der Elektrolyse werden heute in der Regel leistungsstärkere Elektrolyseure eingesetzt, die nicht mit Bleikathoden ausgerüstet sind. Eine Vermeidung der bleihaltigen Abfälle ist demzufolge über einen Ersatz von Elektrolyseuren zu erreichen.

#### Wirtschaftliche und ökologische Beurteilung

Der Ersatz der vorhandenen Anlagenkapazität durch Elektrolyseure der neuen Elektrolysetechnik erfordert Investitionskosten von einigen Millionen DM. Die Funktionsfähigkeit der alten Elektrolyseure ist zum jetzigen Zeitpunkt sowie auf absehbare Zeit hin gegeben, so daß eine Neuinvestition in diesem Bereich aus technischen bzw. wirtschaftlichen Gründen nicht erforderlich ist.

Grundsätzlich ist Blei aufgrund seiner toxischen Eigenschaften als kritisch zu betrachten. Über diverse Einsatzgebiete, wie z.B. Akkumulatoren und Kraftstoffe, gelangt Blei in die Medien Luft und Wasser. Die anfallende Abfallmenge (Kathoden) bei den neuen Elektrolyseuren ist bei vergleichbarer Leistung größer, so daß bei alleiniger Betrachtung der Mengen die Belastung des Mediums Abfall durch das beschriebene Vermeidungsverfahren höher als durch die bisherige Technik wäre. Unter Berücksichtigung des sehr viel höheren Gefährdungspotentials der bleihaltigen Abfälle gegenüber den Graphitabfällen wird die Belastung durch das Vermeidungsverfahren seitens der Gutachter als niedriger eingestuft. Die folgende Übersichtsmatrix faßt die Einstufung zusammen.

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternative	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Vermeidungsverfahren A: Ersatz der alten Elektrolyseure	+	+	+	+

Beurteilungsstufen:

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

## **Zeitraahmen**

Ein Ersatz der voll funktionsfähigen bestehenden Elektrolyseure alter Technik allein aus dem Grund, bleihaltige Abfälle zu vermeiden, ist nicht wirtschaftlich. Sollten Neuinvestitionen in dieser Richtung aus anderen Gründen erforderlich werden, ist es nahezu selbstverständlich, daß dann in neue, abfallarme Technik investiert wird.

### **3.3 Kathoden aus neuer Elektrolyse**

Diese Kathoden sind zum Zeitpunkt der Bestandsaufnahme im Rahmen des Gutachtens erstmalig als Abfall angefallen. Eine Entsorgung wurde bislang noch nicht durchgeführt. Die direkte Wiederverwendung der abgenutzten Kathoden bei der Herstellung von neuen Kathoden ist gemäß Angaben des Herstellers nicht durchführbar, da die Kathoden bei der Herstellung einer arteigenen Spezialveredelung unterzogen werden und durch den mehrjährigen Einsatz in den Elektrolyseuren zudem mit diversen Fremdstoffen aus der Elektrolytlösung benetzt sind.

**Maßnahme:** Einsatz als Ersatzbrennstoff

Da derzeit keine Möglichkeit der stofflichen Verwertung besteht, wird empfohlen, die Kathoden der neuen Elektrolyse einer energetischen Verwertung zuzuführen. Aus Gründen der Transportminimierung ist ein entsprechender Verwertungsweg in der Nähe des Anfallorts zu suchen.

#### **Wirtschaftliche und ökologische Beurteilung**

Vor dem Einsatz als Ersatzbrennstoff müssen die Kathoden aufbereitet werden (Zerkleinerung), so daß hier entsprechende Kosten anfallen, die von Verwerter zu Verwerter schwanken. Es sind mit Kosten von etwa 100 DM/t für die Verwertung zu rechnen.

Der Heizwert des Kathodenmaterials liegt bei ca. 32.000 kJ/kg. Unter der Voraussetzung, daß bei den Anlagen, in denen die aufbereiteten Kathodenabfälle als Ersatzbrennstoff eingesetzt werden, ein Feuerungswirkungsgrad von 75% erzielt wird, die entstehende Wärme selbst genutzt oder an Dritte abgegeben wird und die im Rahmen der Verwertung anfallenden weiteren Abfälle möglichst ohne weitere Behandlung abgelagert werden können, liegt eine energetische Verwertung im Sinne des KrW-/AbfG vor. Die Verwertung ist als schadlos zu betrachten, wenn sie in einer nach BImSchG genehmigten Anlage erfolgt. Eine Verdünnung von Schadstoffen findet nicht statt.

Das Prinzip der technisch höchsten Verwertungsstufe wird nicht eingehalten, da die Kathodenabfälle nicht wieder für die Produktion neuer Kathoden genutzt werden, sondern nur ihr Energiegehalt genutzt wird. Die ursprünglich bei der Herstellung des Grundmaterials benötigte Energie geht damit zum Teil verloren.

**Zeitraumen**

Die derzeit im Betrieb als Abfall gelagerten Kathoden können nach Auswahl eines Verwerters kurzfristig einer Verwertung zugeführt werden.



## **Teil VII**

### **Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Druckfarben**

Bearbeitung: RWTÜV Anlagentechnik GmbH  
Langemarckstraße 20  
45141 Essen

Oktober 1996



## **Teil VII: Untersuchung einer Anlage zur Herstellung von Druckfarben**

### **1 Kurzcharakteristik des untersuchten Betriebs**

Gegenstand der Untersuchung ist die Produktion von Offsetdruckfarben mit den dazu erforderlichen Bindemitteln als Zwischenprodukt. Die Standarddruckfarben blau, gelb, rot und schwarz werden in einer Großchargenanlage hergestellt, Schmuckfarben und Sonderfarbtöne in der sogenannten Normalchargenanlage.

Die Fertigung der Bindemittel erfolgt im diskontinuierlichen Betrieb nach Rezeptvorgabe. Es ist keine Behälterreinigung zwischen den Chargen erforderlich. Bei besonders hartnäckigen Verschmutzungen durch Bindemittel werden Kleinteile wie z.B. Handwerkszeug in einer Wanne mit Testbenzin gereinigt sowie Maschinen und Apparate ggfs. mit in Testbenzin getränkten Putzlappen abgewischt.

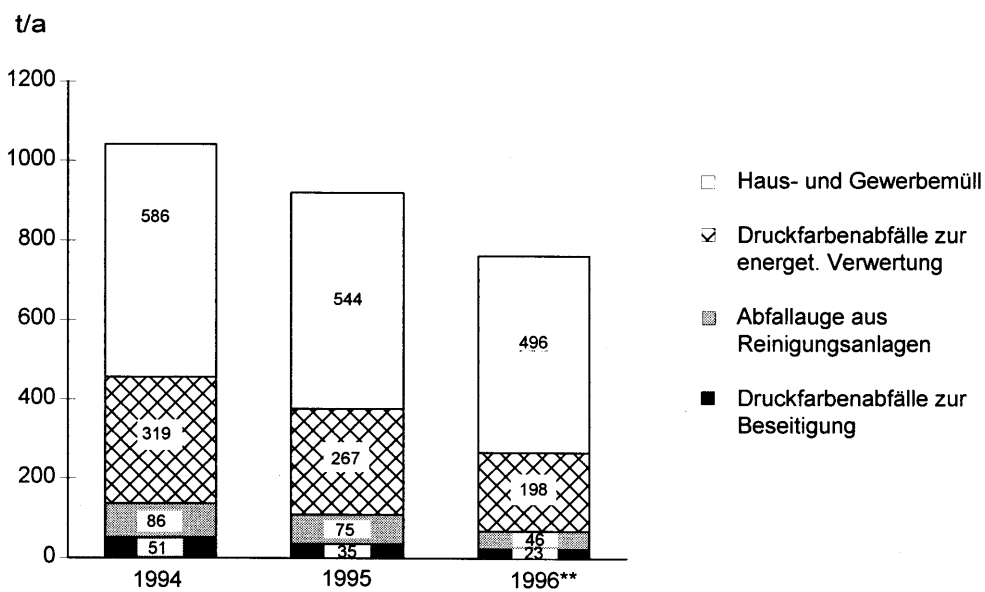
Die Produktion der Offsetdruckfarben erfolgt in 5 separaten Produktionslinien, in denen die Grundfarbtöne hergestellt werden. Sie umfaßt die Verfahrensschritte "Einwiegen", "Dispergieren", "Vermahlen" und "Konfektionieren". Die Abfüllung erfolgt sowohl in Dosen, in Container (Mehrwegsystem) oder direkt in Tankzüge. Bei der Dosenabfüllung werden Hautverhinderungsmittel zugesetzt. Die Verdrängungsluft der einzelnen Feststoffbunker, Wiegebehälter, Silos und Rührbehälter wird mittels Ventilatoren über integrierte Gewebefilter und verschiedene Auslaßöffnungen ins Freie geführt. Die in den Gewebefiltern abgeschiedenen Rückstände werden abgerüttelt und soweit möglich wieder dem Prozeß zugeführt. Alle zu kühlenden Aggregate sind an ein geschlossenes Kühlwasserkreislaufsystem angeschlossen. Im Großchargenbetrieb werden farbberührte Kleinteile aus Rotguß oder Aluminium per Hand unter Einsatz von Lösemitteln wie Testbenzin und Petroleum gereinigt. Sonstige Kleinteile werden in einem Spritzbecken mit einer wäßrigen, alkalischen Lösung gereinigt. Die verbrauchte Lauge wird als Abfallauge gesammelt und einer externen chemisch-physikalischen Behandlung zugeführt. Druckfarbenreste fallen bei der Maschinenreinigung an. Zur Reinigung der Walzen der Dreiwalzwerke werden diese mit Testbenzin besprüht und mit Putzlappen von Hand gereinigt.

In der Normalchargenproduktion werden die Komponenten gemäß Rezeptvorgabe manuell in bewegliche Rundbehälter eingewogen und den fest stehenden Maschinen zugeführt. Die Farbmittelstäube fallen vermischt über alle hergestellten Farben an, so daß eine interne Rückführung nicht möglich ist. Der Anteil der verbrauchten Reinigungslösungen ist größer als bei der Großcharge, da hier die Rundbehälter nach jeder Charge gereinigt werden müssen. Die Reinigung erfolgt in einer nach BImSchG genehmigten Behälterreinigungsanlage mit 2 Reinigungs- und einer Spülstufe. Waschmedium ist ein alkalische Lösung, die Spülung erfolgt in einer Stufe mit Stadtwasser. Wird bei der Reinigung der gewünschte Reinigungseffekt nicht mehr erzielt, wird die Lauge aus dem Vorratsbehälter in der Regel gegen einen frischen Ansatz ausgetauscht. Die verbrauchte Waschlösung wird als Abfallauge entsorgt, das gebrauchte Spülwasser wird nach Neutralisation über einen Öl- und Benzinabscheider in die städtische Kanalisation eingeleitet.

## 2 Anfallende Abfälle / Abwässer

Es fallen ca. 3.600 m<sup>3</sup>/a Abwasser aus Reinigungsanlagen (Spritzbecken und Behälterreinigungsanlage) an. Die einzelnen Abwasserteilströme werden über Öl- und Benzinabscheider der städtischen Abwasserreinigungsanlage zugeführt.

Bild 1 veranschaulicht die Entwicklung der Abfallmengen in den Jahren 1994 bis 1996 am untersuchten Standort.



\*\* Prognose auf Basis von Januar bis Juni 1996



### 3 Empfohlene Maßnahmen

#### 3.1 Abfallauge und Abwasser aus der Behälterreinigungsanlage im Normalchargenbetrieb

Die Optimierung der bestehenden Behälterreinigungsanlage führt sowohl zu einer Reduzierung der Abfallauge als auch zu einer Reduzierung des Abwasserstroms.

**Maßnahme A:** Standzeitverlängerung durch Kaskadenführung der Reinigungslösungen

Über organisatorische Maßnahmen (z.B. Betriebsanweisung) sollte sichergestellt werden, daß die Vorreinigungslösung immer durch die Nachreinigungslösung ersetzt wird und nur diese gegen einen frischen Ansatz ausgetauscht wird. Mit dieser Maßnahme ist eine Standzeitverlängerung und damit verbunden eine Verringerung der Abfallmenge von ca. 10% zu erreichen.

**Maßnahme B:** Verwendung des gebrauchten Spülwassers zum Auffüllen der Verdampfungsverluste und Neuansatz der Nachreinigungslösung

Die Verdampfungsverluste der Reinigungslösungen sollten mit gebrauchtem Spülwasser ausgeglichen werden, die Nachreinigungslösung mit gebrauchtem Spülwasser angesetzt werden. Hierfür müßte die bestehende Behälterreinigungsanlage mit einer zusätzlichen Rohrleitungsverbindung und den erforderlichen Ventilen nebst Pumpe nachgerüstet werden. Die erforderlichen Reinigungskemikalien müssen entsprechend dem Verlust nachgefüllt werden. Durch diese Maßnahme reduzieren sich die erforderlichen Frischwasser- und Abwassermengen sowie der Bedarf an Reinigungskemikalien und an Neutralisationsmittel.

**Maßnahme C:** Membranfiltration der Vorreinigungslösung in Kombination mit den Maßnahmen A und B

Die Standzeit der Reinigungslösung der bestehenden Behälterreinigungsanlage kann durch Ergänzung eines Grobfilters und einer Membranfiltration um bis zu 70% verlängert werden. Eine exakte Planung muß die genauen örtlichen Gegebenheiten und die geometrischen Abmessungen der einzelnen Apparate berücksichtigen <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Nach Abschluß der Untersuchungen führte der Betrieb Versuche mit einer Membranfiltration der pastösen Druckfarben durch. Der Versuch verlief nicht erfolgreich; die Beständigkeit der Membran gegen Lauge und gleichzeitig gegen ausgelöstes Leinöl war auf ökonomisch vertretbare Weise nicht zu erreichen.

## Wirtschaftliche und ökologische Beurteilung

### **Maßnahme A und B:** Standzeitverlängerung durch Kaskadenführung der Reinigungslösungen und des Spülwassers

Die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahme A ist mit keinen Investitionskosten verbunden. Zur Umsetzung der Maßnahme B muß die bestehende Behälterreinigungsanlage mit einer zusätzlichen Rohrleitungsverbindung und den erforderlichen Ventilen nebst Pumpe nachgerüstet werden. Die Investitionskosten wurden mit ca. 10.000 DM abgeschätzt. Die Einsparung der Betriebskosten durch verringerten Frischwasserverbrauch und geringere Mengen an Abwasser wurde mit etwa 2000 DM/a geschätzt, so daß sich die Investition nach 5 Jahren amortisiert hätte.

Die Kaskadenführung der Reinigungslösungen und des Spülwassers sind Vermeidungsmaßnahmen, die zu einer Verringerung der Abfallmenge und des Abwassers führen und damit zur Entlastung dieser Umweltmedien.

### **Maßnahme C:** Membranfiltration der Vorreinigungslösung in Kombination mit den Maßnahmen A und B

Der Einsatz von Mikro- oder Ultrafiltrationseinheiten ist im Bereich der Oberflächenbehandlung in der Metallindustrie ein gängiges Verfahren. Im Wasserhaushaltsgesetz und in dessen Verwaltungsvorschriften (Anhang 40) wird beispielsweise eine Standzeitverlängerung von Entfettungsbädern, z.B. mit Hilfe der Membrantechnik, verbindlich vorgeschrieben. Die Umrüstung der bestehenden Behälteranlage wurde auf Basis eines konkreten Angebots mit Investitionskosten in der Größenordnung von 50.000 DM abgeschätzt, die Einsparung der Betriebskosten mit jährlich ca. 11.000 DM, so daß sich die Investition nach 5 Jahren amortisiert hätte. Für eine exakte Planung muß die erzielbare Standzeitverlängerung experimentell konkretisiert werden.

Bei Einsatz einer Membranfiltration fällt im Grobfilter ein zusätzlicher fester Abfall an, der mengenmäßig allerdings gering ist. Er könnte gemeinsam mit den Druckfarbenresten entsorgt werden. Die extern zu entsorgende Abfallmenge verringert sich um etwa 70%, so daß insgesamt gesehen eine Verbesserung hinsichtlich des Abfallanfalls erzielt wird. Da sich zudem der Abholrhythmus verringert, sind die Belastungen des Umweltmediums Luft durch Transportvorgänge etwas reduziert. Durch die teilweise Kreislaufführung des Spülwassers wird der Abwasserstrom deutlich verringert. Der Energieverbrauch durch die Membranfiltration ist in gleicher Größenordnung anzusetzen, wie die bei einer externen Behandlung des Abfalls, so daß hier keine wesentlichen Veränderungen zu erwarten sind. Die folgende Matrix faßt diese Beurteilung zusammen:

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternativen	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Kaskadenführung (Maßnahmen A und B)	0	+	+	0
Betriebsinterne Aufbereitung	+	++	+	0

Beurteilungsstufen:

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

Als Ergebnis der Beurteilung anhand zusätzlicher ökologischer Kriterien ist insbesondere hervorzuheben, daß das Prinzip der technisch höchsten Verwertungsstufe mit dieser Maßnahme erfüllt ist, da die aufbereitete Lösung im gleichen Reinigungsprozeß wieder eingesetzt wird. Das Prinzip der Transportminimierung ist erfüllt, da die Aufbereitung betriebsintern erfolgt. Verdünnung und Vermischung finden nicht statt, so daß auch diese Prinzipien erfüllt sind.

### Zeitraumen

Die erforderlichen Vorversuche für die Planung können innerhalb von 6 Monaten, die Umsetzung innerhalb von einem Jahr durchgeführt werden.

### 3.2 Druckfarbenreste

Die pumpfähigen Druckfarbenreste werden derzeit einer energetischen Verwertung zugeführt. Eine Aufbereitung durch Destillation wäre aus ökologischen Gründen im wesentlichen dann zu empfehlen, wenn der Anteil an zurückgewinnbarem Lösemittel groß ist. Da der Anteil an zurückgewinnbarem Lösemittel im untersuchten Fall relativ gering ist, ist aus Sicht der Gutachter der ökologische Nutzen der Maßnahme nicht in der Größenordnung, daß er die erhöhten finanziellen Aufwendungen rechtfertigen würde.

**Maßnahme:** Verminderung der Rückware durch qualitätssichernde Maßnahmen

Das vorhandene Qualitätsmanagementsystem sollte im Hinblick auf zu ergänzende bzw. zu konkretisierende Anweisungen zur Handhabung der Rückware überarbeitet werden. Insbesondere sollten die Ergebnisse von Untersuchungen der Rückware konsequent hinsichtlich der Ableitung von Vorbeugemaßnahmen ausgewertet werden. Zur Gewährleistung der Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen sollten diese in regelmäßigen Abständen mit dem verantwortlichen Betriebsleiter diskutiert werden und ggfs. ein Maßnahmenplan erarbeitet werden. Durch die konsequente Anwendung des QS-

Systems sollten die Kundenreklamationen durch prozeßbegleitende Prüfungen wie auch beispielsweise durch die Beratung der Druckindustrie hinsichtlich der optimalen Lagerbedingungen auf ein Minimum beschränkt werden.

### Wirtschaftliche und ökologische Beurteilung

Das Vermeidungsverfahren ist insbesondere mit organisatorischen Maßnahmen und Laboraufwendungen verbunden, die in der wirtschaftlichen Planung des bestehenden Qualitätsmanagementsystems bereits enthalten sind. Das heißt, es entstehen keine zusätzlichen Kosten, ggfs. erhöhen sich die Kosten um einen geringen Faktor (Kostenfaktor  $\approx 1,1$ ). Es werden keine Umweltbelastungen durch sie erzeugt. Die Verminderung der Rückware ist gleichzeitig verbunden mit einer Verringerung der Produktionsmenge bei gleichem Nutzen, das heißt, es werden alle Emissionspfade entlastet. Insbesondere die Belastung der Luft wird geringer, da die sonst erforderliche energetische Verwertung der nicht mehr verwendbaren Druckfarbenreste sowie der Transport zur Entsorgungsanlage entfallen.

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternative	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Vermeidungsverfahren	++	+	+	+

Beurteilungsstufen:

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

### Zeitraumen

Da das Qualitätsmanagementsystem seitens des Betreibers kontinuierlich den steigenden Ansprüchen angepaßt wird, kann diese Maßnahme unmittelbar begonnen werden.

## 3.3 Pigmentabfälle

Gemäß der Musterverwaltungsvorschrift des LAI zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen bei Anlagen nach Nr. 4.10 des Anhangs zur 4. BImSchV, Stand 9/92, sind als technisch mögliche Maßnahme zur Vermeidung von Pigmentabfällen "getrennte Absaug- und Abgasreinigungseinrichtungen für einzelne Produktionslinien und Rückführung der Filterstäube" genannt. Im Bereich der Großchargenproduktion wurde dies bereits verwirklicht, im Bereich der Normalcharge ist die Maßnahme nicht durchführbar, da keine getrennten Produktionseinrichtungen für die unterschiedlichen Farben vorhanden sind.

**Maßnahme:** Rückführung der Pigmente bei der Schwarzproduktion in der Großcharge

Die Pigmente im Bereich der Schwarzproduktion fallen gesondert von den anderen Farbpigmenten an, eine Rückführung wird bislang jedoch nicht durchgeführt. Grund hierfür ist, daß die Pigmente vermisch mit anderen Feststoffen aus der Produktionslinie, wie zum Beispiel Wachse, anfallen. Hinzu kommt, daß bei der Schwarzproduktion unterschiedliche Pigmente (auch Blaupigmente) eingesetzt werden, um einen bestimmten Schwarzton zu erzielen, so daß auch die Pigmente vermisch anfallen.

Um eine betriebsinterne Rückführung der Pigmente durchführen zu können, müßte zunächst ein zusätzliches Absaugsystem installiert werden, so daß sonstige Feststoffe getrennt von den Pigmenten abgesaugt werden. Die Pigmente, die in dem dann gesonderten Absaugsystem anfallen, könnten dann in den gleichen Produktionsansatz anteilig zurückgeführt werden. Die Rückführung ist allerdings nur dann möglich, wenn über längere Zeit nur mit einer Rußart gearbeitet wird, die dann getrennt gesammelt werden kann.

**Wirtschaftliche und ökologische Beurteilung**

Die interne Rückführung der Pigmente in der Schwarzproduktion erfordert die Installation eines zusätzlichen Absaugsystems. Die Investitionskosten betragen ca. 50.000 DM. Unter Berücksichtigung der Kosten für die Neuware sowie der Entsorgungskosten könnten bei einer Rückführung von ca. 80% der Pigmente jährlich insgesamt ca. 10.000 DM eingespart werden. Die Investition in ein gesondertes Absaugsystem würde sich unter diesen Annahmen nach etwa 5 Jahren amortisieren.

Die Vermeidung von Pigmentabfällen durch die interne Rückführung der Schwarzpigmente ist mit keinen Umweltbelastungen verbunden. Sie führt aber zu einer Verringerung der in einer Sonderabfallverbrennungsanlage zu entsorgenden Abfälle und damit verbunden zu einer Verringerung der Luftbelastung. Der Energieverbrauch wird sich reduzieren, da weniger Neuware hergestellt werden muß. Die Übersichtsmatrix stellt die Auswirkungen der beschriebenen Vermeidungsmaßnahme im Vergleich zur Sonderabfallverbrennung dar.

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternative	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Vermeidungsverfahren	+	0	++	+

Beurteilungsstufen:

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

## Zeitraahmen

Es sollten innerhalb der nächsten 6 Monate Versuche in der Anwendungstechnik durchgeführt werden, um den möglichen Umfang der Rückführung der Pigmente ohne Qualitätseinbußen zu ermitteln. Auf Basis des so ermittelten Anteils ist die Kostenschätzung zu überprüfen und zu entscheiden, ob die Investition in ein zusätzliches Absaugsystem sinnvoll ist.

Inzwischen konnte durch den Einsatz einfacher, nach jeder Charge manuell abrüttelbarer Vorfilter ein entsprechender Vermeidungseffekt ohne ein zusätzliches Absaugsystem und die damit verbundenen hohen Investitionen erzielt werden.

### 3.4 Verunreinigte Einwegputzlappen

**Maßnahme:** Umstellung auf Mehrwegputztücher

Die Menge der zu entsorgenden Einwegputztücher kann verringert werden durch die Umstellung auf ein Mietsystem. Entsprechende Anbieter sind in der Nähe des Anfallortes ansässig.

#### Wirtschaftliche und ökologische Beurteilung

Bei der derzeitigen Verwendung der Einwegputztücher belaufen sich die Gesamtkosten auf 5.600 DM pro Monat, die sich zusammensetzen aus den Kosten für den Einkauf der Putzlappen sowie für deren Entsorgung. Für die Miete einer vergleichbaren Menge an Putztüchern über ein Mehrwegsystem würden sich die Kosten bei einem Anbieter auf ca. 4.800 DM reduzieren. Die Ersparnis pro Monat beläuft sich somit auf etwa 800 DM.

Als Auswirkung des Reinigungsprozesses sind sowohl die Emissionen der Reinigungsanlage als auch die Abwasserverschmutzung durch diese Anlage zu betrachten. Das Abwasser der Reinigungsanlage entspricht, nach Angaben des Miettuchunternehmens, der Belastung von Abwasser aus privaten Haushalten. Bei Nutzung des Mehrwegsystems entfällt die Belastung des Wassers bei der Herstellung von Einwegputzlappen, so daß insgesamt betrachtet keine wesentliche Veränderung der Auswirkungen auf das Wasser auftritt. Die bei der Abwasserbehandlung abgetrennten Öle, Fette und Restdetergentien werden, nach entsprechender Vorbehandlung, im eigenen Kesselhaus des Miettuchunternehmens unter Ausnutzung der enthaltenen Energie verbrannt. Die Belastung der Luft wird aus diesem Grunde mit der Belastung der Luft bei dem bisher genutzten Entsorgungsweg der Einwegputzlappen gleichgesetzt. Die Reinigung ist ohne den Einsatz zusätzlicher Primärenergie möglich. Demgegenüber erfordert die Herstellung der Einwegputztücher Energie, so daß der Energieverbrauch durch diese Maßnahme gesenkt wird. Als weiterer Vorteil ist die sachgemäße Handhabung der mit leicht entzündlichen Stoffen verunreinigten Putztücher durch die Bereitstellung entsprechend zugelassener Sammelbehälter sowie die Vermeidung der zu entsorgenden Putztücher mit schädlichen Verunreinigungen zu nennen. Die Matrix zeigt die Beurteilung im Vergleich zur derzeitigen Verbrennung in der Übersicht.

Umweltauswirkungen der Vermeidungs- und Verwertungsverfahren				
Alternative	Luft	Wasser	Abfall	Energie
Vermeidungsverfahren	0	0	++	+

Beurteilungsstufen:

- ++ Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- + Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich niedriger als bei der derzeitigen Entsorgung
- 0 keine Unterscheidung möglich
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch wahrscheinlich höher als bei der derzeitigen Entsorgung
- Belastung des Umweltmediums / Energieverbrauch eindeutig höher als bei der derzeitigen Entsorgung

### Zeitraumen

Die Umsetzung der Maßnahme erfordert keine betriebsinternen Umstellungen, so daß innerhalb von drei Monaten durchgeführt werden kann.

Nach Umsetzung der Maßnahme im Bereich der Produktion hat sich deren Wirtschaftlichkeit jedoch nicht bestätigt. Als kostspielig erwies sich der Ersatz verlorengegangener bzw. unbrauchbar gewordener Mehrwegputzlappen; als günstiger erwies sich der Gebrauch von Einwegputzlappen aus Altkleidern.