

Bundesanstalt für  
Materialforschung und  
-prüfung (BAM)

Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS)

 dandelon.com  
© 2008 AGI Information Management Consultants  
This report is intended for use only by the  
recipient of this report and is not to be  
distributed outside the dandelon.com network.  
TÜV Industrie Service GmbH  
TÜV Energie- und System-  
technik GmbH  
TÜV SÜD Gruppe

Günter Burgbacher, TÜV SÜD  
Dr. Peter Kafka, GRS  
Gerhard Klein, TÜV SÜD  
Dr. Rainer Konersmann, BAM  
Dr. Jörg Loock, TÜV SÜD  
Dr. Michael Rupp, TÜV SÜD  
Achim Scholz, TÜV SÜD  
Hans Seel, GRS  
Cornelia Spitzer, TÜV SÜD

## **Abschlussbericht des F+E-Vorhabens**

### **Risikoabschätzung Chlorklagerung/ Chlortransport unter Einbeziehung der Seveso II-Richtlinie und der Störfallverordnung (2000)**

erarbeitet durch

**BAM, GRS und TÜV Süd**

### **Teil 1: Textband**

Forschungsbericht 269

Berlin 2005

ULB Darmstadt



16286036

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1-1</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung und Durchführung</b> .....	<b>2-1</b>
<b>3</b>	<b>Anlagentechnik und Systembeschreibung</b> .....	<b>3-1</b>
<b>3.1</b>	<b>Verfahren</b> .....	<b>3-1</b>
<b>3.2</b>	<b>Anlagenteile</b> .....	<b>3-4</b>
3.2.1	Lagertanks .....	3-4
3.2.2	Rohrleitungen und Armaturen .....	3-4
3.2.3	Pumpen .....	3-4
3.2.4	Kompressor .....	3-5
3.2.5	Fernbedienbare Anlagenteile .....	3-5
3.2.6	Druckabsicherung.....	3-5
<b>3.3</b>	<b>Anlagenbetrieb</b> .....	<b>3-6</b>
3.3.1	Betriebszustände.....	3-6
3.3.2	Chlorübernahme.....	3-6
3.3.3	Prüfung/Wartung/Instandhaltung.....	3-7
3.3.4	Funktionstest der Chlornotpumpe .....	3-7
<b>3.4</b>	<b>Eingrenzung der Untersuchung / Systemgrenzen für die Analyse</b> .....	<b>3-7</b>
3.4.1	Rohrleitungslängen.....	3-8
<b>3.5</b>	<b>Grundstellungen von Armaturen</b> .....	<b>3-13</b>
	<b>Stoffbeschreibung - Der Umgang mit Chlor -</b> .....	<b>4-1</b>
<b>4.1</b>	<b>Physikalische und chemische Eigenschaften</b> .....	<b>4-1</b>
<b>4.2</b>	<b>Toxikologische Eigenschaften</b> .....	<b>4-2</b>
<b>4.3</b>	<b>Störfälle mit Chlor</b> .....	<b>4-3</b>
	<b>PAAG-Verfahren/HAZOP und ZHA</b> .....	<b>5-1</b>
<b>5.1</b>	<b>Methodische Aspekte</b> .....	<b>5-1</b>
5.1.1	PAAG/HAZOP-Verfahren .....	5-1
5.1.2	ZHA (Zurich Hazard Analysis) - Methode .....	5-2
<b>5.2</b>	<b>Gefahrenidentifikation</b> .....	<b>5-2</b>
5.2.1	PAAG/HAZOP-Verfahren .....	5-2
5.2.2	ZHA-Methode .....	5-3
<b>5.3</b>	<b>Gefahren- und Risikobewertung</b> .....	<b>5-3</b>
5.3.1	PAAG/HAZOP-Verfahren .....	5-3
5.3.2	ZHA-Methode .....	5-3
<b>5.4</b>	<b>Durchführung der Analyse und Ergebnisse</b> .....	<b>5-3</b>
5.4.1	PAAG/HAZOP-Verfahren .....	5-3

5.4.1.1	Durchführung der Analyse .....	5-3
5.4.1.2	Randbedingungen, Begrenzungen der Analyse .....	5-4
5.4.1.3	Abweichungen vom Regelwerk.....	5-4
5.4.1.4	Ergebnisse .....	5-6
5.4.2	ZHA-Methode .....	5-8
5.4.2.1	Durchführung der Analyse .....	5-8
5.4.2.2	Randbedingungen, Begrenzungen der Analyse .....	5-9
5.4.2.3	Ergebnisse .....	5-9
<b>6</b>	<b>Quantitative Risikoanalyse (QRA) .....</b>	<b>6-1</b>
<b>6.1</b>	<b>Methodische Aspekte .....</b>	<b>6-2</b>
<b>6.2</b>	<b>Identifikation auslösender Ereignisse .....</b>	<b>6-3</b>
6.2.1	Master Logic .....	6-3
6.2.2	Untersuchte auslösende Ereignisse.....	6-5
6.2.3	Vernachlässigungen bei der Analyse.....	6-6
6.2.4	Leckgrößen und Ausströmraten .....	6-8
<b>6.3</b>	<b>Ereignisablauf- und Fehlerbaumanalyse .....</b>	<b>6-9</b>
6.3.1	Sicherheitsfunktionen/Ereignisablauf .....	6-9
6.3.2	Ereignisablaufdiagramme.....	6-15
6.3.3	Fehlerbäume .....	6-16
<b>6.4</b>	<b>Personalhandlungen .....</b>	<b>6-17</b>
6.4.1	Methoden und Techniken .....	6-18
6.4.2	Analyse der Arbeitsumgebung .....	6-24
6.4.2.1	Betriebsbegehungen .....	6-24
6.4.2.2	Betriebs- und Systemziele, -funktionen .....	6-28
6.4.2.3	Arbeitsanweisungen und Prozeduren .....	6-29
6.4.2.4	Einflussfaktoren.....	6-31
6.4.2.5	Aufgabenanalyse .....	6-31
6.4.3	Arbeitsergebnisse.....	6-36
6.4.4	Retrospektive Analyse.....	6-36
6.4.5	Bewertung von fehlerhaften Personalhandlungen .....	6-37
6.4.6	Zusammenfassung.....	6-37
<b>6.5</b>	<b>Zuverlässigkeitsdaten .....</b>	<b>6-44</b>
6.5.1	Allgemeines zur Vorgehensweise .....	6-44
6.5.1.1	Verteilungen .....	6-44
6.5.1.2	Komponenten, Ausfallarten und -ursachen.....	6-44
6.5.1.3	Anmerkung zu Lecks in Armaturen und passiven Komponenten (mit Ausnahme von Rohrleitungen).....	6-46
6.5.1.4	Bezeichnungen .....	6-47
<b>6.6</b>	<b>Ereignisablaufquantifizierung .....</b>	<b>6-55</b>
6.6.1	Häufigkeiten von LOC .....	6-55
6.6.2	Nichtverfügbarkeit von Sicherheitsfunktionen .....	6-67
6.6.3	Häufigkeit von Freisetzungen/Freisetzungsmatrix .....	6-67
<b>6.7</b>	<b>Unsicherheits-, Importanz- und Sensitivitätsanalysen.....</b>	<b>6-70</b>

<b>6.8</b>	<b>Zusammenfassung und Bewertung</b> .....	<b>6-70</b>
	<b>Risikoabschätzung Schienentransport von Chlor</b> .....	<b>7-1</b>
<b>7.1</b>	<b>Methodische Aspekte und Datenprobleme</b> .....	<b>7-1</b>
<b>7.2</b>	<b>Gefahrenidentifikation</b> .....	<b>7-7</b>
7.2.1	Notfallmanagement .....	7-9
<b>7.3</b>	<b>Gefahrenbewertung</b> .....	<b>7-10</b>
7.3.1	Auswertung von Literaturangaben .....	7-11
7.3.2	Auswertung der Gefahrgutunfall - Datenbank GUNDI .....	7-13
7.3.2.1	Gefahrenbewertung Zugbetrieb .....	7-19
7.3.2.2	Gefahrenbewertung Rangierbetrieb .....	7-20
<b>7.4</b>	<b>Risikobewertung Schienentransport</b> .....	<b>7-22</b>
<b>7.5</b>	<b>Untersuchung des Rangierbetriebs auf einem Werksgelände</b> .....	<b>7-26</b>
	<b>Sicherheitsmanagementsystem (SMS)</b> .....	<b>8-1</b>
<b>8.1</b>	<b>Integriertes Managementsystem</b> .....	<b>8-1</b>
	<b>Methodenvergleich</b> .....	<b>9-1</b>
<b>9.1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>9-1</b>
<b>9.2</b>	<b>Einzelheiten zum Methodenvergleich</b> .....	<b>9-1</b>
9.2.1	Identifikation der Gefahren / Risiken .....	9-1
9.2.1.1	Systematisch / ganzheitlich (Analyselogik, interne/externe Ereignisse) .....	9-1
9.2.1.2	Nachvollziehbarkeit (Randbedingungen, Vernachlässigungen) .....	9-1
9.2.1.3	Nutzung der Betriebserfahrung (implizit, explizit) .....	9-2
9.2.1.4	Nutzung der Teamerfahrung (Fachrichtungen, Erfahrung) .....	9-2
9.2.2	Bewertung der Gefahren / Risiko .....	9-2
9.2.2.1	Systemanalyse (Funktions- und Ausfallverhalten) .....	9-2
9.2.2.2	Zuverlässigkeitsanalyse (Wirksamkeit und Verfügbarkeit) .....	9-3
9.2.2.3	Bewertung des „Faktors Mensch“ (Human Factor, HF) (Verhinderung und Beherrschung von Störfällen) .....	9-3
9.2.2.4	Instandhaltung (Prüfung, Wartung und Reparatur) .....	9-3
9.2.2.5	Gegenmaßnahmen (Schutz- und Sicherheitssysteme) .....	9-4
9.2.2.6	Notfallmaßnahmen (Planung, Alarmierung, Einsatz) .....	9-4
9.2.3	Quantifizierung der Gefahren / Risiken .....	9-5
9.2.3.1	Art der Auswirkung (Sachschaden, Verletzung, Tod) .....	9-5
9.2.3.2	Schwere der Auswirkung (Höhe des Sachschadens, Anzahl der Betroffenen) .....	9-5
9.2.3.3	Eintrittshäufigkeit einer Auswirkung ( $H_{Ai-n, Si-m}$ ) .....	9-6
9.2.3.4	Datenbasis (Zuverlässigkeitskenngrößen, Anweisungen, Manuals) .....	9-6
9.2.3.5	Importanzen (relative Wichtigkeit einzelner Elemente) .....	9-6
9.2.3.6	Vollständigkeit (Wissenstand, Vernachlässigungen) .....	9-6
9.2.3.7	Unsicherheiten (Parameter- und Modellunsicherheiten) .....	9-6
9.2.4	Darstellung der Gefahren / Risiken .....	9-6
9.2.4.1	Detaillierungsgrad (Art und Komponenten der Risiken) .....	9-7
9.2.4.2	Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit .....	9-7
9.2.4.3	Nachvollziehbarkeit (Randbedingungen, Vernachlässigungen) .....	9-7
9.2.5	Aufwand / Nutzen / Anwendung .....	9-7

9.2.5.1	Aufwand (Einarbeitung, Bearbeitung, Dokumentation).....	9-7
9.2.5.2	Update / lebendes Dokument (Listen, Formblätter, PC Stützung) .....	9-8
9.2.5.3	Anwendbarkeit (Auslegung, Betriebsführung, Begutachtung).....	9-8
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>10-1</b>
<b>11</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>11-1</b>