

BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht
zum Vorhaben:

Mobiles Notfallsystem für den Einsatz bei Havarien mit Chlor -
Mobile Chlorine Emergency Response System“
(MoCER)
Aktenzeichen: 30 441-5 / 63

Fördernehmer/-in:

Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH

Umweltbereich

Laufzeit des Vorhabens

24.07.2009 – 31.12.2010

Autor

Stephan Richter
Leiter Technische Dienste
Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH
Hauptstraße 47
49479 Ibbenbüren
E-Mail: stephan.richter@akzonobel.com
Tel: +49 54 59 50 220

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit**

November 2011

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: 30 441-5 / 63	Vorhaben-Nr.: 20146
Titel des Vorhabens: „Mobiles Notfallsystem für den Einsatz bei Havarien mit Chlor – Mobile Chlorine Emergency Response System“ (MoCER)	
Autor(en); Name(n), Vorname(n) Hülsing, Bernhard Richter, Stephan Wiesel, Rüdiger	Vorhabensbeginn: 24.07.2009 Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.12.2010
Fördernehmer/ -in (Name, Anschrift) Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH Hauptstr. 47 49479 Ibbenbüren	Veröffentlichungsdatum: Seitenzahl: 56
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung/Summary <p>Trotz vorbeugender Maßnahmen ist ein Unfall mit Chlor, insbesondere bei Transporten, nicht völlig auszuschließen. Der Einsatz eines mobilen Chlornotaggregates bei einem Chlorunfall im Bahntransport 2005 in Schweden zeigte Schwächen des bisherigen Standes der Technik auf. Daher hat Akzo Nobel Industrial Chemicals ein innovatives Notfallaggregat zur Chlorabsorption realisiert, das für den mehrfachen mobilen Einsatz ausgelegt ist. Das System besteht aus drei Komponenten: einer mobilen Chlorabsorptionsanlage, einem Notfall-Kit, das dessen Einsatz in unterschiedlichen Unfallszenarien ermöglicht und einem Teststand. Ein mehrstufiges Absorptionsverfahren in einem geschlossenen System erlaubt eine sicherere und schnellere Entleerung havariierter Kesselwagen mit Transfer des Flüssigchlors und (fast) vollständiger Absorption der verbleibenden Restmengen. Auch für andere Chlortransport-Havarien, Störungen stationärer Chlorabsorptionsanlagen und Leckagen mit Entstehung von Chlor-Luft-Gemischen kann die Anlage eingesetzt werden. Kühlung und Steuerung der exothermen Reaktion erhöht die Sicherheit und vermeidet die Entstehung gefährlicher Abfälle. Die Absorptionskapazität ist mit 1500 kg Chlor pro Stunde bzw. 1.500 kg Chlor plus 1.500 m³ Luft pro Stunde etwa zehnmals so hoch wie bei der bisherigen Technik, so dass Gefahrensituationen insbesondere bei größeren Transportunfällen schneller beseitigt werden können. Die Chloremissionen im Abgas der Anlage sind wesentlich niedriger. Das mobile Notfallsystem kann über das „Transport-Unfall-Informations- und Hilfeleistungssystem“ (TUIS) angefordert werden.</p>	

Despite preventive measures, chlorine accidents, especially during transportation, cannot be ruled out completely. The employment of a mobile chlorine emergency unit in a chlorine rail accident in Sweden in 2005 revealed shortcomings of the state of technology at the time. Therefore Akzo Nobel Industrial Chemicals have now materialized an innovative emergency unit for chlorine absorption, designed for multi-purpose mobile operations. The system consists of three components: a mobile chlorine absorption unit, an emergency kit permitting its use in various accident scenarios and a test stand. A multi-stage absorption procedure within a closed system allows safe and fast drainage of tank waggons damaged in accidents and ensures transfer of the liquid chlorine with (almost) complete absorption of any remaining quantities. The unit can also be used in other chlorine transport accidents, malfunctions of stationary chlorine absorption plants and leakages with formation of chlorine-air mixtures. Cooling and controlling of the exothermal reaction process increases safety and avoids the formation of hazardous waste. In potential emergency situations an emergency shut-down is activated. The absorption capacity with a flow rate of 1,500 kg of chlorine per hour or 1,500 kg of chlorine plus 1,500 m³ of air per hour is ten times higher than in conventional technology up to now, so that danger situations, especially in major transport accidents, can be eliminated much faster. Chlorine emission in the waste gas of the unit is also substantially lower. The mobile emergency system can be requested via "TUIS", the transport accident information and assistance system.

Schlagwörter / Keywords

Chlor; Chlor-Absorption; MHU; Mobile Rettungseinheit; Chlorkesselwagen; Unfälle
Chlorine; chlorine absorption; MHU; mobile emergency system; tank wagon; accidents

Anzahl der gelieferten Berichte
Papierform:
Elektronischer Datenträger:

Sonstige Medien:
Veröffentlichung im Internet geplant auf
der Homepage:
www.cleaner-production.de

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung/Summary	5
2	Einleitung	11
2.1	Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	11
2.2	Beauftragtes Unternehmen	11
2.3	Ausgangssituation	11
3	Vorhabensumsetzung	20
3.1	Ziel des Vorhabens	20
3.2	Darstellung der technischen Lösung.....	21
3.3	Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	32
3.4	Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	36
4	Ergebnisse	37
4.1	Bewertung der Vorhabensdurchführung	37
4.2	Stoff- und Energiebilanz	37
4.3	Umweltbilanz.....	38
4.4	Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms	41
4.5	Wirtschaftlichkeitsanalyse	46
4.6	Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren	46
5	Empfehlungen	48
5.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung	48
5.2	Modellcharakter.....	48
5.3	Zusammenfassung.....	49
6	Literatur.....	51
7	Anhang.....	52
7.1	Anhang I: Abkürzungsverzeichnis.....	52
7.2	Anhang II: Ergebnisse der Leistungsfahrt der MHU.....	53
7.3	Anhang III: Übersicht über die Komponenten des TUIS-Anhängers	54
7.4	Anhang IV: Aufbau MHU	56

1 Kurzfassung/Summary

Das hier vorgestellte, vom Bundesumweltministerium geförderte Projekt „Mobiles Notfallsystem für den Einsatz bei Havarien mit Chlor – „Mobile Chlorine Emergency Response System“ wurde durch das Unternehmen Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH in Ibbenbüren in eigener Verantwortung durchgeführt. Ziel war es, ein innovatives Notfallaggregat zur Chlorabsorption bei Chlorunfällen bereitzustellen und seine Tauglichkeit auch für den mehrfachen mobilen Einsatz zu demonstrieren. Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit dem Anlagenbauer GEA Jet Pumps umgesetzt, der auch an der Entwicklung und dem Bau des bisher bestehenden Systems maßgeblich beteiligt war.

Ausgangspunkt des Projektes ist das Risiko von Unfällen bei einem Transport von Chlor. Die in diesem Projekt realisierte Technik [im Weiteren als MHU (Mobile Hypo Unit) bezeichnet] ermöglicht, dass Flüssigchlor aus verunglückten Kesselwagen innerhalb kurzer Zeit in intakte Kesselwagen überführt und verbleibende Restmengen an verflüssigtem Chlor absorbiert werden. Sie kann für eine große Bandbreite an unterschiedlichen Chlortransport-Havarien als mobile Rettungseinheit eingesetzt werden. Aber auch in anderen Fällen wie bei Störungen von Absorptionsanlagen stationärer Chlorproduktionsanlagen oder Leckagen mit Entstehung von Chlor-Luft-Gemischen kann sie genutzt werden. Ein Chlorumsatz von bis zu 1.500 kg pro Stunde ermöglicht eine zügige Unfallbeseitigung und damit einhergehend eine schnelle Beseitigung der Gefahr für Mensch und Umwelt.

Deutschlandweit werden rund 6 % der Chlorproduktion per Bahn transportiert; dies sind jährlich rund 250.000 Tonnen. Über 40.000 t davon werden jährlich in Ibbenbüren in spezielle Kesselwagen zum Chlortransport verladen, um vom Chlorproduzenten zum Kunden transportiert zu werden. Hinzu kommen etwa 200.000 Tonnen Chlor, das in Kleingebinden hauptsächlich per LKW an Endverbraucher geliefert wird. Die restlichen produzierten Chlormengen werden in unmittelbarer Nähe zu den Produktionsstätten weiterverarbeitet oder per Pipeline an die Kunden geliefert. In Deutschland und Europa wird Chlor unter hohen Sicherheitsstandards druckverflüssigt in speziellen Eisenbahn-Kesselwagen (KW) mit einer Standardkapazität von 60 t pro KW transportiert, die in der Regel auch bei einer Havarie intakt bleiben. Dennoch verbleibt ein Risiko des Chloraustritts. Je nach Unfallszenario und Lage des havarierten KW kann nur ein Teil des Flüssigchlors in leere Ersatzwaggons umgefüllt werden, so dass Restmengen zwischen 1.400 kg Chlor und 60.000 kg Chlor im havarierten KW verbleiben. Rettungs- und Bergungsarbeiten sind deshalb nur unter erschwerten und äußerst zeitintensiven Bedingungen möglich. Bei Havarien steht vor allem die zügige Beseitigung des Gefährdungspotenzials hinsichtlich austretendem Chlor und Chlorgas im Mittelpunkt.

In seiner Konzeption und Umsetzung berücksichtigt das Projekt die Erfahrungen aus dem Einsatz eines mobilen Notfallaggregats bei einem Chlorunfall im Bahntransport, der sich 2005 in Schweden ereignete. Dabei wurden Schwächen des bisherigen Standes der Technik erkannt. Das Projekt führte daher drei unmittelbar miteinander verbundene Komponenten zusammen: Zum einen die innovative mobile Chlorabsorptionsanlage (MHU), zum anderen ein entsprechend angepasstes und ausgestattetes Notfall-Kit, das den Einsatz der MHU in unterschiedlichen Unfallszenarien erst ermöglicht, sowie einen Teststand am Standort Ibbenbüren, mit dem die jederzeitige Einsatzfähigkeit des Aggregates sichergestellt werden kann.

Die mobile Rettungseinheit setzt auf eine Reihe von Innovationen, die von der Verwendung anderer Werkstoffe bis hin zu gekoppelten Mehrfachreaktionskreisläufen in einem geschlossenen System reichen. So ist bspw. ein mehrstufiges Absorptionsverfahren realisiert, das es durch die Hintereinanderschaltung ermöglicht, das abzusaugende Chlor vollständig und rückstandsfrei umzuwandeln. Ein weiterer entscheidender Punkt zur Steigerung von Effizienz und Sicherheit der Absorption ist die Kühlung der exothermen Reaktion unter einen für das Reaktionsprodukt Chlorbleichlauge kritischen Wert. Durch Kühlung und Steuerung der Konzentrationen im Absorptionsprozess entsteht beim Notfalleinsatz eine verwertbare Bleichlauge, im Gegensatz zum bisherigen Stand der Technik, bei dem die Bleichlauge verfahrensbedingt einen zu hohen Restlaugegehalt aufweisen kann und somit nicht marktfähig ist. Die Bleichlauge muss z.B. in einer stationären Chlorgasabsorptionsanlage recycelt werden. Bei einer vollständigen Überchlorierung und/oder zu starker Erwärmung entsteht Sonderabfall (gefährlicher Abfall).

Zudem wurde eine speicherprogrammierbare Steuerung und Überwachung der MHU integriert. Sie garantiert, dass in potenziellen Notfällen, wie etwa bei einer Überschreitung der sicheren Prozesstemperatur, eine Notabschaltung erfolgt. Der kontinuierliche Betrieb der MHU erhöht die Sicherheit im Vergleich zum bestehenden diskontinuierlich betriebenden bisherigen Stand der Technik. Die Kombination der Ansätze führt nicht nur zu einer vollständigen und risikoärmeren Umwandlung des Chlors. Das wesentliche Ziel, eine Erhöhung des Durchsatzes um den Faktor 10 im Vergleich mit herkömmlichen Verfahren, um die Gefahrensituation schneller zu beseitigen, wurde erreicht. Die MHU hat hinsichtlich kontinuierlicher Absorption annähernd die Leistung von stationären Großanlagen. Für die MHU legen Messungen nahe, dass die Chlor-Emissionsgrenzwerte im Abgas nach TA Luft eingehalten werden. Dies ist für ein mobiles Notfallsystem nicht vorgeschrieben und ist bei dem vor diesem Projekt bestehenden Chlornotaggregat laut Angaben des Herstellers nicht der Fall.

Die Einheit soll schnellstmöglich an den Einsatzort verbracht werden können, um Schäden an Mensch und Umwelt durch Zeitverzögerung nach Möglichkeit zu vermeiden. Durch den Einbau der Absorptionsanlage und des Notfall-Kits mit weiteren am Unfallort benötigten Materialien in zwei 20ft(Fuß)-Norm-Containerrahmen kann die MHU über alle wesentlichen Transportwege (Straße, Schiene, Wasser) zum jeweiligen Unglücksort transportiert werden. Das Notfallsystem befindet sich auf dem Gelände von Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH in Ibbenbüren und ist jederzeit einsatzbereit.

Die MHU eröffnet Nutzungsmöglichkeiten nicht nur für Unternehmen, die Chlor handhaben, sondern vor allem für nationale und internationale Einrichtungen des Notfall- und Katastrophenschutzes wie dem „Transport-Unfall-Informations- und Hilfeleistungssystem“ (TUIS).

Nach Abschluss des Vorhabens „Mobiles Notfallsystem für den Einsatz bei Havarien mit Chlor“ können im Hinblick auf Projektergebnis und Verbreitung des demonstrierten Notfallsystems folgende Punkte hervorgehoben werden:

- Eine hohe Absorptionskapazität von bis zu 1.500 kg Chlor/h bzw. 1.500 kg Chlor/h plus 1.500 m³ Luft/h wird erreicht.
- Messungen legen nahe, dass mit dieser kompakten Notfalleinrichtung die TA-Luft-Grenzwerte hinsichtlich der Chlor-Emission eingehalten werden.

- Ergänzend zu vorbeugenden Maßnahmen steht eine weitere Schutzebene für Chlortransporte und Handhabung von Chlor hinsichtlich der Schadensbegrenzung bei Unfällen zur Verfügung.
- Mit der MHU wurden technische Lösungen für den Betrieb von Großanlagen erfolgreich auf einen kleineren Maßstab (Containergröße) übertragen.
- Die Projekterfahrungen können auf weitere gefährliche Stoffe übertragen werden.
- Es steht eine mehrfach einsatzfähige Chlorgasabsorptionseinheit mit hohem Durchsatz für den Notfalleinsatz zur Verfügung und kann über das TUIS angefordert werden.

Mit dem Handbuch zur MHU steht eine umfangreiche Dokumentation und ein Handlungsleitfaden zur Verfügung.

Summary

The project presented here, a mobile emergency system for use in chlorine transport accidents called "Mobile Chlorine Emergency Response System", is funded by the German Federal Environment Ministry and was carried out by Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH in Ibbenbüren under their own responsibility. The aim was to provide an innovative emergency unit for chlorine absorption in chlorine accidents and to demonstrate its serviceability in multi-purpose mobile operations. The project was materialized in cooperation with plant manufacturers GEA Jet Pumps, who also played a crucial role in the development and construction of the system in use up till now.

Starting point of the project is the risk of accidents when transporting chlorine. The technique materialized in this project [and in the following called MHU (Mobile Hypo Unit)] permits the fast transfer of liquid chlorine from tank waggons damaged in an accident to undamaged tank waggons and enables the quick absorption of remaining quantities of liquid chlorine. It can be used as a mobile rescue unit for a wide range of various chlorine transport accidents. But it can also be employed in other situations, like malfunctions of absorption units in stationary chlorine production plants or leakages with formation of chlorine-air mixtures. A chlorine mass flow rate of up to 1,500 kg per hour enables short-term accident remedy and quick elimination of risks for humans and for the environment.

In Germany, around 6 % of the chlorine production is transported by rail, which accounts for 250,000 tonnes each year. Of these, over 40,000 tonnes are loaded into special tank waggons in Ibbenbüren to convey the chlorine from the producer to the customer. In addition, a further 200,000 tonnes of chlorine are delivered to the end user in small containers, chiefly by truck. The remaining quantities of chlorine produced are processed in the immediate vicinity to the production sites or conveyed to customers by pipeline. In Germany and Europe, chlorine is liquefied under high pressure, while complying with high safety standards, and conveyed in special railway tank waggons which have a standard capacity of 60 tonnes per waggon and, as a rule, stay intact in accidents. However, there continues to be the risk of chlorine escape. Depending on the accident scenario and the position of the damaged tank waggon, only some of the liquid chlorine might be drained into empty replacement waggons, thus leaving remaining quantities between 1,400 and 60,000 kg of chlorine inside the damaged tank waggon. Rescue and recovery operations may therefore be subject to very time-consuming and unfavourable conditions. In case of an accident, the main focus is on speedy elimination of the danger potential with regard to escaping chlorine and chlorine gas.

In its concept and implementation the project takes into account the experiences gathered while using a mobile emergency unit in a railway transport chlorine accident, which occurred in Sweden in 2005. This incident revealed shortcomings of the state of technology at the time. Therefore this project combines three components directly linked to one another: on the one hand the innovative mobile chlorine absorption unit (MHU), on the other hand a correspondingly adapted and fitted emergency kit, prerequisite to the operation of the MHU in various accident scenarios, and finally a test stand on location at Ibbenbüren guaranteeing the immediate availability of the unit at any time.

The mobile rescuing unit is based on a range of innovations, comprising the use of other materials and the implementation of coupled multiple reaction cycles within a closed system. A multistage absorption procedure with an integrated cascade

connection allows a complete and residue-free conversion of the chlorine to be drained. Another crucial point for the increase of efficiency and safety during the absorption process is the cooling of the exothermal reaction below a value critical for the by-product of chlorine bleaching lye. By cooling and controlling the concentrations during the absorption process, now a reusable bleaching lye is formed during the emergency operation, whereas before, with the previous state of technology, the bleaching lye showed lye concentrations which, due to the procedure then used, were too high and therefore not marketable. The bleaching lye has to be recycled in a stationary chlorine gas absorption plant. Excess chlorination and/or excessive heating-up will result in the forming of hazardous waste.

Moreover, a stored-program control and monitoring system was implemented in the MHU. It guarantees that in potential emergency situations, e.g. when exceeding the safe process temperature, an emergency shut-down is activated. The continuous operation of the MHU increases safety in comparison with the discontinuous operation during the previous state of technology. However, the combination of approaches does not only result in a complete conversion of the chlorine at lower risk. The substantial objective to achieve a flow rate capacity increase by the factor 10, compared to conventional methods, in order to eliminate risks faster, was also reached. In terms of continuous absorption the MHU now almost equals the performance of major stationary plants. Measurements for the MHU suggest that they comply with the chlorine emission standards as laid down by the technical guidelines for air pollution control (TA Luft). This is not prescribed for a mobile emergency system and, according to the manufacturer, this was not the case with the chlorine emergency unit in use before this project was launched.

The unit should be transported to the job site as quickly as possible to avoid any damage to humans and the environment through time delay. By fitting the absorption unit and the emergency kit as well as any other materials needed at the scene of the accident into two 20ft standard container frames, the MHU can be taken to the respective scene of the accident via all substantial transport routes (road, rail, water). The emergency system is located at Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH in Ibbenbüren and ready to use at any time.

The MHU opens up new operational perspectives, not only for enterprises handling chlorine, but above all for national and international emergency and disaster control facilities, like the transport accident information and assistance system ("Transport-Unfall-Informationen- und Hilfeleistungssystem") "TUIS".

After the conclusion of the plan "Mobile Chlorine Emergency Response System" the following issues may be emphasized with regard to the result of the project and the distribution of the presented emergency system:

- High absorption capacities of up to 1,500 kg chlorine/h or 1,500 kg chlorine/h plus 1,500 m³ air/h are achieved.
- Measurements suggest that this compact emergency unit complies with the chlorine emission standards of TA-Luft (technical guidelines for air pollution control).
- Additional to preventive measures a further protection level for chlorine transports and handling is now available regarding limitation of the effects of accidents.

- With the MHU, technical solutions for the operation of major plants were successfully transferred to a much smaller scale (container size).
- The experiences gathered in this project can be used for further hazardous substances.
- A chlorine gas absorption unit for multiple operation purposes and with a high flow rate factor is now available for emergency operations and can be requested via TUIS.

The MHU operation manual offers extensive documentation and a user's guideline.

2 Einleitung

2.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH betreibt an den Standorten Ibbenbüren und Bitterfeld und seit Ende 2009 auch in Frankfurt/Main Chloralkali-Elektrolysen. Am Standort Ibbenbüren selbst steht der Geschäftsbereich Chlor-Alkali im Zentrum der Aktivitäten. Mit rund 150 Mitarbeitern werden über eine Chloralkali-Elektrolyse aus einer Kochsalzlösung mit Hilfe von Gleichstrom Chlor, Natronlauge und Wasserstoff produziert. Während ein Teil zu Folgeprodukten wie Salzsäure, Bleichlauge (Natriumhypochloritlösung) und Eisensalzlösungen weiterverarbeitet wird, wird ein Großteil der Chlorproduktion an Kunden ausgeliefert. Soweit möglich, geschieht dies über Rohrleitungen; dennoch müssen ca. 30% der Chlorproduktion der Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH vorwiegend über die Schiene transportiert werden, um die Abnehmer in Deutschland, Belgien und der Schweiz zu erreichen. Damit gehört das Unternehmen zu den größten Chlortransporteuren in Deutschland.

Das Unternehmen Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH in Ibbenbüren gehört über die Akzo Nobel GmbH zum Konzern Akzo Nobel N.V. mit Hauptsitz in den Niederlanden.

2.2 Beauftragtes Unternehmen

Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen GEA Jet Pumps GmbH in Ettlingen durchgeführt. Das Unternehmen gehört zu den weltweit wenigen Unternehmen, die Vakuumsysteme für die Industrie entwickeln und herstellen. Zu seinen Produkten zählen u. a. Dampfstrahl-Vakuumpumpen, Vakuum-Entgasungsanlagen, entsprechende Kühlanlagen sowie Gaswäscher und stationäre Absorptionsanlagen, die zur Sicherheit der Chlorproduktion eingesetzt werden. Entsprechend dieser Produktbandbreite und der bestehenden Kernkompetenzen im Bereich Fluidodynamik war GEA bereits maßgeblich an der Entwicklung und dem Bau der bislang als Stand der Technik geltenden mobilen Absorptionseinheit beteiligt. Die GEA Jet Pumps GmbH ist Teil der Unternehmensgruppe GEA Aktiengesellschaft, Bochum, zu der mehr als 250 Unternehmen in 50 Ländern zählen.

2.3 Ausgangssituation

Chlortransport in Deutschland

Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH in Ibbenbüren steht aufgrund seiner Kundenstruktur vor der Notwendigkeit, knapp ein Drittel seiner jährlichen Chlorproduktion per Bahn zu seinen Kunden zu transportieren. Über 43.000 t Chlor werden so jährlich in Ibbenbüren in spezielle Kesselwagen zum Chlortransport verladen.

Insgesamt werden in Deutschland pro Jahr rund 4,2 Millionen Tonnen Chlor überwiegend am Standort des Verbrauchers produziert und über Pipelines zur Verfügung gestellt. Dennoch kann bisher nicht bei allen größeren Verbrauchern eine ortsnahe Produktion etabliert werden und es gibt zahlreiche Anwender mit sehr geringen Abnahmemengen, wie bspw. Schwimmbäder. Zudem werden sowohl bei Produktionsausfällen von Chlor als auch bei kurzfristigen Nachfragespitzen Chlortransporte notwendig. Rund 6 % der Chlorproduktion werden per Bahn transportiert; dies sind jährlich rund 250.000 Tonnen. Hinzu kommen die Transporte von Kleingebinden (Stahlfässer mit einem Fassungsvermögen bis 1.000 kg und

Stahlflaschen bis 100 kg), die hauptsächlich per LKW an Endverbraucher wie Schwimmbäder oder Wasserwerke ausgeliefert werden. Diese Transporte umfassen weitere ca. 5% der jährlichen Chlorproduktion. Die restlichen produzierten Chlormengen werden in unmittelbarer Nähe zu den Produktionsstätten weiterverarbeitet oder per Pipeline an die Kunden geliefert.

Transportiert wird das Chlor in verflüssigter Form unter hohem Druck, wofür spezielle Chlor-Kesselwagen eingesetzt werden, die besonderen Sicherheitsanforderungen genügen müssen. Hierfür hat Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH gemeinsam mit dem auf Chlortransporte spezialisierten Logistik-Unternehmen VTG bereits die zweite Generation dieser Kesselwagen des Typs „Crash Protected Rail Tank Car (CPR-II) entwickelt. Diese Kesselwagen besitzen u. a. Spezialpuffer mit Verformungselementen, Überpufferungsschutz, überrollsichere Domdeckel und ein verstärktes Untergestell, so dass in der Regel auch bei einer Havarie kein Chlor austreten kann. Zudem befinden sich alle Öffnungen oberhalb des maximalen Flüssigkeitsspiegels. Diese hohen Sicherheitsstandards vermindern zwar das Risiko des Chloraustritts, stellen die Rettungsmannschaften bei einem Unfallereignis jedoch zugleich vor ein erhebliches Problem: Der Chlorkesselwagen kann nicht vollständig entleert werden.

Das letzte größere Eisenbahnunglück mit Chlorkesselwagen ereignete sich im Jahr 2005 in der Nähe von Göteborg, Schweden. Dort überfuhr ein Güterzug ein Haltesignal und prallte gegen einen Prellbock am Gleisende. Der Triebwagen sowie vier Chlor-Kesselwagen entgleisten und kippten auf die Seite und gruben sich teilweise tief in den Boden ein. Die Umgebung wurde evakuiert und Verkehrswege gesperrt. Rund drei Wochen brauchte es in Schweden, um die verunglückten Kesselwagen zu bergen und die Bahnstrecke freizugeben. Die dort eingesetzte mobile Absorptionseinheit ermöglichte es, die vier Chlor-Kesselwagen innerhalb von 17 Tagen in leere Kesselwagen umzufüllen. Aufgrund ihrer einfachen Konzeption wäre die eingesetzte Absorptionsanlage nur nach substanziellen Reparaturmaßnahmen erneut einsatzfähig zu machen. Mit dem Einsatz war zudem ein höheres Risiko einer Chlorfreisetzung verbunden. In den USA ereignete sich wenige Monate zuvor in der Nähe von Graniteville, South Carolina, ebenfalls ein schwerer Transportunfall, bei dem rund 90 t Chlor aus einem leckgeschlagenen Kesselwagen entwichen. 5.400 Anwohner wurden in einem Umkreis von 1,6 km evakuiert, 240 Menschen verletzt, von denen 7 an den Folgen der giftigen Chlordämpfe starben (Quelle: Euro Chlor).

Bislang gab es in Deutschland keine Bahnunfälle mit Chlor, bei denen Menschen oder Umwelt zu Schaden gekommen sind. Trotz höchster Sicherheitsstandards ist das Risiko einer Havarie nie vollständig auszuschließen. Chlortransporte gibt es auf allen Bahnstrecken, auch durch dichtbesiedelte Gebiete wie Großstädte. Immer wieder sind Beinaheunfälle wie Entgleisungen von Güterzügen zu verzeichnen, wie z.B. am 10. April 2008 zwei Kesselwagen mit Propangas in Hamburg-Harburg (Quelle: Euro Chlor). Käme es zu einem Unfall wie bspw. in Schweden wären die potenziellen Schäden für Mensch und Umwelt bereits allein wegen der höheren Siedlungsdichte ungleich höher. Mit dem bis zur Umsetzung des vorgestellten Vorhabens verfügbaren Stand der Technik hätte ein vergleichbarer Unfall in Deutschland zu einer Streckenblockade über mehrere Wochen geführt und zusätzlich erhebliche wirtschaftliche Schäden verursacht. Neben den Eisenbahntransporten ist auch ein Unfallszenario beim Straßentransport möglich. Auch wenn es hier im Unglücksfall um kleinere Mengen an Chlor geht, ist das statistische Risiko um ein Vielfaches höher als im Eisenbahntransport.

Vorheriger Stand der Technik (im Folgenden mobiles Chlor-Notaggregat genannt, neue Technik MHU)

Der zuvor geltende Stand der Technik, wie er in Schweden zum Einsatz kam, offenbarte im Einsatz eine Reihe von grundlegenden Problemen. So kam es beim Einsatz bspw. zum Austritt von Bleichlauge-/ Laugetröpfchen. Zudem ist die Anlage nach ihrem ersten und einzigen Notfalleinsatz derart in Mitleidenschaft gezogen, dass sie für einen weiteren Einsatz nur nach einer grundlegenden Überholung bereit stünde.

Das vor diesem Vorhaben bislang einzige mobile Chlornotaggregat in Deutschland, das dem Transport-Unfall-Informations- und Hilfeleistungssystem (TUIS) zur Verfügung steht, entspricht dem vorherigen Stand der Technik.

Bei dem mobilen Chlor-Notaggregat handelt es sich um eine diskontinuierliche Einheit zur Absorption von Chlor mit Natriumhydroxidlösung. Es ist ein offenes System, in dem kein Druck herrscht, für die Ansaugung von Chlorgas-Luftgemischen mit hohem Luftanteil. Dies entspricht dem Lastfall 1 der neuen Technik (siehe Kap. 3.2). Das freie Ende eines mit dem Aggregat verbundenen Schlauchs wird an die Leckstelle oder über eine Öffnung an einem Kesselwagen herangeführt, die z.B. mit einer Folie umhüllt wurde. Das Luft-Chlor-Gemisch wird aus dem Innern der Folienumhausung abgesaugt. Dabei sind Chloremissionen nicht völlig zu vermeiden.

Ein Anschließen des Aggregates über eine Rohrverbindung an einen havarierten Kesselwagen, so dass ein Umfüllen von Flüssigchlor in einem geschlossenen System unter Druck weiter als bis zum sich einstellenden Druck-Gleichgewicht zwischen havariertem und leerem Kesselwagen möglich ist, gibt es bei der alten Technik nicht. Die MHU wird im Lastfall 2 (siehe Kap. 3.2) im Gegensatz zum mobilen Chlor-Notaggregat als geschlossenes System betrieben. Die MHU wird direkt über eine Rohrleitungsverbindung mit dem bereitgestellten leeren Kesselwagen verbunden. Damit wird eine (fast) vollständige Entleerung des Flüssigchlors aus dem havarierten Chlorkesselwagen ermöglicht.

Der Laugevorrat (20%ige NaOH) des Laugevorlagebehälters im Chlor-Notaggregat selbst hat eine Absorptionskapazität von durchschnittlich 150 kg Chlor pro Laugefüllung. Das Aggregat ist bis zum Aufbrauchen dieser Absorptionskapazität einsatzfähig, je nach abgesaugter Chlormenge ca. zwei Stunden, gegebenenfalls kürzer. Ein Teil der verbrauchten Lauge muss dann durch Frischlauge ersetzt werden. Die Kapazität reicht dann für eine weitere Stunde aus. Die Frischlaugezufuhr erfolgt aus einem 1-m³-Container, der oberhalb der Anlage positioniert ist. Nach der Entleerung muss dieser durch einen vollen Containers ersetzt werden. Dazu ist ein Hebezeug, z.B. Autokran erforderlich. Durch den diskontinuierlichen Betrieb des mobilen Chlor-Notaggregats ist der Zeitbedarf für die Absorption im Vergleich zu einer kontinuierlich arbeitenden Chlorabsorptionsanlage viel größer. Angesichts verbleibender Restmengen - je nach Unfallszenario zwischen 1.400 kg Chlor bis 60.000 kg Chlor (das entspricht ca. 10 bis 400 Laugefüllungen der Pumpenvorlage) - in einem einzigen havarierten Kesselwagen ist die Absorptionskapazität zu gering, um eine zügige Beseitigung der Umweltgefährdung und Begrenzung ökonomischer Folgen zu gewährleisten.

Gleichzeitig besteht die Gefahr der Überchlorierung durch zu geringe Konzentration der Lauge als Reagenz. Diese Gefahr tritt insbesondere kurz vor und während des notwendigen Behälterwechsels auf. Resultate sind ein hoher Chlorgehalt im Abgas und die Bildung unerwünschter Nebenprodukte. Es gibt kein integriertes Kühlsystem, die anfallende Reaktionswärme wird mit dem Abgas abgeführt (durch Aufsättigung der Luft mit Wasserdampf) (Quelle: Hersteller).

Das mobile Chlor-Notaggregat ist als offenes System für die Ansaugung von Chlorgas-Luftgemischen mit hohem Luftanteil ausgelegt. Die anfallende Reaktionswärme wird mit der Abluft abgeführt.

Die Begrenzung der Kapazität auf 150 kg Chlor ist der fehlenden Kühlung dieses Aggregats geschuldet: Bei der Reaktion von Natronlauge mit Chlor entsteht Chlorbleichlauge (Natriumhypochloritlösung). Die hoch exotherme Reaktion führt zu einer starken Erwärmung, gegen die alle Hypochlorite empfindlich sind. Bei zu heißer Lösung entsteht unerwünschtes Chlorat (ClO_3^-). Deshalb ist die bei der Absorption frei werdende Wärme aus der Lösung abzuführen. Der optimale Temperaturbereich der Reaktion liegt zwischen 30 °C und 35 °C. Schließlich ist diese Einheit als Notfallaggregat ausgelegt. Dies bedeutet, dass das an die Umgebung abgegebene Abgas laut Hersteller noch immer eine hohe Konzentration von bis zu 10 ppm (30 mg/m³) Chlorgas enthalten kann.

Die im Prozess entstehende Bleichlauge hat zu hohe Restlaugegehalte und ist somit nicht marktfähig. Die Bleichlauge muss z.B. in einer stationären Chlorgasabsorptionsanlage recycelt werden. Bei einer vollständigen Überchlorierung und/ oder zu starker Erwärmung entsteht Sonderabfall (gefährliche Abfälle).

Unfallszenarien

Trotz höchster Sicherheitsstandards beim Chlortransport, insbesondere auf dem Schienenweg, ist das Risiko einer Havarie nie vollständig auszuschließen. Im Hinblick auf dieses Risiko und vor dem Hintergrund der einschneidenden Erfahrungen bei Einsatz einer mobilen Notfalleinheit in Schweden hat das Unternehmen Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH das vom Bundesumweltministerium geförderte Projekt „Mobiles Notfallsystem für den Einsatz bei Havarien mit Chlor“ initiiert und durchgeführt: Als Teil seiner Selbstverpflichtung zum verantwortlichen Handeln hat Akzo Nobel Industrial Chemicals die mobile Chlorabsorptionseinheit (Mobile Hypo Unit - MHU) konstruieren und bauen lassen, um vorbeugend für mehr Sicherheit zu sorgen.

Einsatzszenarien allgemein

Die MHU ist für folgende Lastfälle konzipiert:

- Lastfall 1: Absaugen von Luft-Chlorgas-Gemischen mit Absorption des Chloranteils
- Lastfall 2: Absaugen und Absorption von Chlorgas

Für die MHU gibt es außer für das im Endbericht ausführlicher dargestellte Ausgangsszenario (Havarie von Chlorkesselwagen – Lastfall 2) weitere Einsatzmöglichkeiten:

- Störungen/ Leckagen z.B. Leckagen an defekten Chlorventilen, Flanschverbindungen mit entstehen Chlor-Luft-Gemischen (Lastfall 1)
- Undichtigkeiten an beschädigten Transportkesseln (z.B. Stahlflaschen, Stahlfässer)
- Einsatz zwecks Abgasen von z.B. Chlor-Lagertanks, Chlor-Pipelines usw. (Lastfall1 und/ oder Lastfall 2)
- Einsatz bei Defekten an stationären Chlorgasabsorptionsanlagen (Lastfall 1)

Ob die MHU bei großen Chlor-Leckagen sinnvoll eingesetzt werden kann, hängt von der Art der Leckage und der Dauer, bis die MHU am Unfallort einsatzbereit ist, ab. Bei großen Leckagen, z.B. aus defekten Kesseln von Bahnkesselwagen, wird der Einsatz nur begrenzt möglich sein, wohl jedoch um weitere evtl. beschädigte, unter Druck stehende Chlorkesselwagen zu entleeren und die Gefahr weiterer Freisetzungen zu minimieren. Auch wenn eine größere Leckage sich während der Leerung der Kesselwagen ergibt (z.B. am Ventil), kann die MHU das austretende Chlor absorbieren.

Ausgangsszenario einer Havarie

Ein durchschnittlicher Chlortransport per Bahn besteht aus 6 - 12 Kesselwagen mit einem Fassungsvermögen von jeweils 60 t. Auch nach einer Havarie weisen erfahrungsgemäß die Kesselwagen in der Regel aufgrund ihrer besonderen konstruktiven Merkmale nur Deformationen auf. Der Kessel selbst bleibt dicht, steht weiterhin unter Druck und muss entleert werden.

Bei einem Gesamtgewicht von ca. 100 Tonnen scheidet eine Bergung mit Hilfe von Autokränen aus, wenn es zur Entgleisung und Schädigung des Kesselwagens gekommen ist.

Die Umfüllgeschwindigkeit des Flüssigchlors aus einem havarierten Chlorkesselwagen in einen leeren, überdrucklosen Chlorkesselwagen ist abhängig von der Außentemperatur und dem Druckgefälle im Inneren der Kesselwagen. Je geringer die Temperatur, desto geringer ist der Druck und damit auch die Umfüllgeschwindigkeit. Auch wird der Flüssigchlor-Massenstrom durch die Abnahme des Druckgefälles im

Laufe des Umfüllens sinken. Das Grundprinzip wird anhand der folgenden Abbildung 1 aufgezeigt.

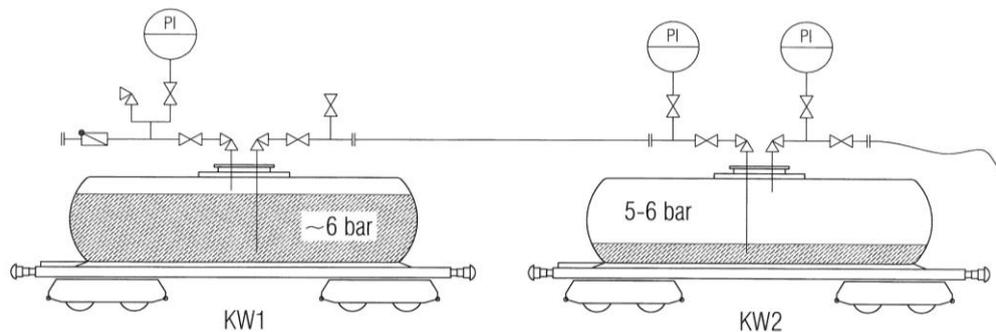


Abbildung 1: Umfüllung von Flüssigchlor zwischen zwei Kesselwagen.

Der Flüssigchlordruck im Kesselwagen wird sich abhängig von der Außentemperatur einstellen - bei bspw. 15°C bei rund 6 bar(a) -, während der Ersatzkesselwagen mit atmosphärischem Innendruck bereitgestellt wird. Der Siedepunkt von Flüssigchlor bei ~ 1 bar Druck liegt bei -34 C, so dass es von Beginn des Transfers an zu einer Verdampfung von Chlor kommt. Dadurch baut sich im Ersatzwagen so lange Druck auf, bis ein Druckausgleich im System erfolgt ist und in beiden Kesselwagen ein identischer Druck herrscht. Da der Flüssigtransfer jedoch nur über die bestehende Druckdifferenz erfolgen kann, kommt der Transfer zum Stillstand. Eine Befüllung des Ersatzwagens ist somit nie vollständig möglich, so dass die Chlormengen eines havarierten Waggons theoretisch auf mehrere Ersatz-Kesselwagen aufgeteilt werden müsste. Praktisch ist diese Prozedur ohne eine Absorptionseinheit jedoch nicht durchführbar, da die Verbindungsleitung zwischen den Kesselwagen nicht chlorfrei gemacht werden kann und damit ein sukzessives Ankoppeln mehrerer Ersatzwaggons nicht realisierbar ist. Auch ist ein Einsatz von Pumpen aus Sicherheitsgründen nicht zu empfehlen, da ein Trockenlauf durch Gasbildung in der aufsteigenden Saugleitung (isenthalpische Zustandsänderung) nicht ausgeschlossen werden kann und dadurch die Gefahr eines Chlor-Eisenbrandes entsteht. Die zu veranschlagende Transferzeit ohne einen Einsatz der MHU läge daher pro havariertem Kesselwagen bei gut einem Monat. Wie die Absorptionszeiten im Rahmen des MHU-Einsatzes ausfallen, ist auch abhängig von der konkreten Unfallsituation. Eine entsprechende Übersicht findet sich in der Abbildung 3.

Nach dem Chlortransfer (Umfüllvorgang von dem verunglückten Kesselwagen zu einem Ersatz-Chlorkesselwagen) können je nach physischer Lage des verunglückten Kesselwagens noch immer zum Teil erhebliche Restmengen an Chlor im Kessel zurück bleiben, die aus technischen Gründen nicht transferiert werden können: Sobald der Flüssigkeitsspiegel im verunglückten Kesselwagen unter den Anschlüssen liegt, kommt der Transfer zum Stillstand. Die Menge des verbleibenden Chlors ist abhängig vom Neigungsgrad des havarierten Waggons (siehe dazu auch die Grafiken in Abbildung 3).

Diese Restmengen an Chlor müssen über eine chemische Reaktion absorbiert und in eine handelsübliche Chlorbleichlauge umgewandelt werden. Hier kommt die mobile Chlorgasabsorptionseinheit (Mobile Hypo Unit - MHU) als mobiles Notfallsystem zum Einsatz. Diese erfüllt die beiden sich aus vorangegangener Beschreibung ableitenden Aufgaben: Zum einen ist das beim Umfüllen havariertem Kesselwagen entstehende Chlorgas zu absorbieren, zum anderen ist auch das im Kesselwagen verbleibende

Restchlor, das abgegast wird, zu absorbieren, d.h. wiederverwertbare Bleichlauge zu erzeugen.

Hierbei gilt es, die chemischen Reaktionsprozesse der Chlorgasabsorption und ihre Rückwirkungen auf die einzusetzende Technologie zu berücksichtigen. Zur Absorption von Chlorgas wird verdünnte Natronlauge verwendet, die ebenso wie Chlor ein Reaktionsprodukt der Chlor-Alkali-Elektrolyse ist. Durch die Absorption von Chlorgas mittels Natronlauge entsteht Chlorbleichlauge. Die folgende Abbildung 2 zeigt die entsprechende chemische Reaktion auf:

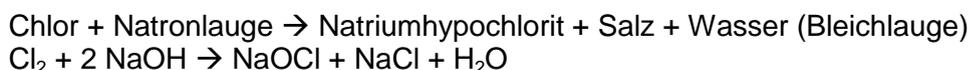


Abbildung 2: Chemische Reaktion der Chlorabsorption

Zur Absorption des Chlorgases ist es notwendig, kontinuierlich Natronlauge als Reaktionssubstanz zuzuführen. Die exotherme Reaktion führt zu einer starken Erwärmung, gegen die alle Hypochlorite empfindlich sind. Bei zu warmer Lösung entsteht unerwünschtes Chlorat (ClO_3^-). Deshalb ist die bei der Absorption frei werdende Wärme aus der Lösung abzuführen. Der optimale Temperaturbereich der Reaktion liegt zwischen 10 °C und 35 °C. Die Reaktionslösung muss zudem in jeder Phase alkalisch gefahren werden. Bei einem zu niedrigen pH-Wert würde sich sonst sehr giftiges, brandförderndes Chlordioxid (ClO_2) bilden. Die Dosierung von NaOH ist dementsprechend in Abhängigkeit von der Chlormenge zu regeln, so dass die Konzentration an freier NaOH mindestens 5 g/l beträgt. Die Absorption und die Chlorkonzentration im Abgas kann durch Erhöhung der freien NaOH-Konzentration auf 10 – 20 g/l positiv beeinflusst werden. Eine Über-Chlorierung führt zur Bildung von Chlordioxid (ClO_2), das über die Redox-Messung nicht erkannt werden kann.

Es wurden im Rahmen des Projektes verschiedene Unfallszenarien betrachtet, die von einer einfachen Entgleisung von Kesselwagen ohne weitere Folgen über in Umstürzen in unterschiedlichen Neigungswinkeln bis hin zu Leckagen der Kesselwagen und damit ausströmendem Chlor reichen. Dieses sind die wahrscheinlichsten Szenarien für den Einsatz der MHU. Andere Szenarien von Leckagen wurden jedoch auch berücksichtigt. Weitere Szenarien betreffen den Unglücksort – etwa offene Strecke, in der Nähe von Siedlungen oder bei Bahnhofsdurchfahrten. Die entscheidenden Unterschiede dieser Szenarioerweiterungen liegen vor allem in der Zugänglichkeit der Unfallstelle, dem Ausmaß der drohenden Umweltgefährdung und der Dringlichkeit des Einsatzes. Technisch entscheidende Unterschiede in diesen Szenarien ergeben sich allein aus den unterschiedlichen Neigungswinkeln, in dem die havarierten Kesselwagen zum Halt kommen.

Vor diesem Hintergrund konzentriert sich die Darstellung im Weiteren auf Havarien von Kesselwagen ohne Leckage, an deren Beispiel die grundlegenden technischen und einsatztechnischen Aspekte darstellen lassen. Die sich aus diesen Szenarien ergebenden Faktoren sind in den folgenden Tabellen (Abbildung 3) zusammengeführt. Hier sind zum einen die Lage des Kesselwagens, die umzufüllende Menge an Flüssigchlor, die entstehende Menge an Chlorgas, die Absorptionszeit, der Bedarf an Natronlauge und das Aufkommen an Bleichlauge und zum anderen die Lage des Kesselwagens, die verbleibende Restmenge an Flüssigchlor, die Absorptionszeit, der Bedarf an Natronlauge und das Aufkommen an Bleichlauge berücksichtigt:

Beim Umfüllvorgang von z.B. 60 t Flüssigchlor aus dem havarierten KW in den bereitgestellten leeren überdrucklosen Kesselwagen gelangen ca. 50 t Flüssigchlor in

den bereitgestellten KW und ca.10 t werden als Chlorgas zur MHU zwecks Haltung des Druckgefälles abgegast.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass nach der Entleerung, wenn nicht anschließend zum Beispiel mit Stickstoff gespült wurde, im Kesselwagen unter Normbedingungen (Druck: 1,013 bar; Temperatur: 0 °C) noch ca. 200 kg Chlorgas verbleiben.

Abbildung 3

Tabelle für die Berechnung des Zeitaufwands und des Mengenbedarfs für die Absorption von Chlorgas beim Umfüllen von Flüssigchlor in Abhängigkeit von der Lage des Chlorkesselwagens

Lage Chlorkesselwagen	Umzufüllende Menge Flüssigchlor	Entstehende Menge Chlorgas	Zeit für Absorption	Bedarf Natronlauge (Straßentankfahrzeuge)	Aufkommen Bleichlauge (Straßentankfahrzeuge)
	60 t	10 t	10 h	70 t (4)	77 t (4)
	58,6 t	10 t	10 h	70 t (4)	77 t (4)
	49,5 t	8,2 t	9 h	54 t (3)	60 t (3)
	28,8 t 24,0 t 23,5 t	4,8 t 4,0 t 3,9 t	5 h 4 h 4 h	32 t (2) 27 t (2) 26 t (2)	35 t (2) 29 t (2) 29 t (2)
	39,6 t	6,6 t	7 h	44 t (3)	48 t (3)
	48,8 t	8,1 t	9 h	54 t (3)	59 t (3)
	51,5 t	8,6 t	9 h	57 t (3)	62 t (4)

Die Piktogramme zeigen den Kesselwagen nach dem Umfüllvorgang.

Tabelle für die Berechnung des Zeitaufwands und des Mengenbedarfs für das Abgasen der Flüssigchlor-Restmenge in Abhängigkeit von der Lage des Chlorkesselwagens

Lage Chlorkesselwagen	Flüssigchlor-Restmenge	Zeit für Absorption	Bedarf Natronlauge (Straßentankfahrzeuge)	Aufkommen Bleichlauge (Straßentankfahrzeuge)
	60 t	50 h	400 t (20)	435 t (22)
	1,4 t	2 h	10 t (1)	10 t (1)
	10,5 t	11 h	70 t (4)	76 t (4)
	32,2 t 34,0 t 36,5 t	33 h 35 h 37 h	212 t (11) 225 t (12) 240 t (12)	234 t (12) 247 t (13) 265 t (14)
	20,4 t	21 h	135 t (7)	148 t (8)
	11,2 t	12 h	74 t (4)	81 t (4)
	8,5 t	9 h	56 t (3)	62 t (3)

Die Piktogramme zeigen die Flüssigchlor-Restmenge, die mittels der MHU abgegasen werden muss.

3 Vorhabensumsetzung

3.1 Ziel des Vorhabens

Mit dem Projekt „Mobiles Notfallsystem für den Einsatz bei Havarien mit Chlor - Mobile Chlorine Emergency Response System“ (MoCER) wurde ein innovatives Notfallaggregat zur Chlorabsorption bei Chlorunfällen auch für den mehrfachen mobilen Einsatz bereitgestellt. Die MHU ist eine innovative Weiterentwicklung einer mobilen Rettungseinheit, insbesondere zum Einsatz bei Bahnunfällen mit Chlor-Kesselwagen. Sie bietet ein hohes Maß an Sicherheit bei der Absorption von Chlorgas und erreicht hinsichtlich kontinuierlicher Absorption annähernd die Leistung von stationären Großanlagen. Hierzu wurden technische Lösungen für den Betrieb von Großanlagen auf einen kleineren Maßstab übertragen. Ein Weg, der in der Chemie eher ungewöhnlich ist, da es meist darum geht, Versuchsanordnungen aus dem Labor auf Großanlagen zu übertragen.

Grundlegende Ziele waren, im Vergleich zu bestehenden Systemen eine höhere Absorptionsleistung und damit schnellere Beseitigung der Gefahr für Mensch und Umwelt zu erreichen und zudem trotz Betrieb im Notfalleinsatz, für den es nicht vorgeschrieben ist, die Emissionsgrenzwerte gemäß TA Luft einzuhalten, wie sie für stationäre Anlagen gelten. MoCER soll sowohl in der Lage sein, ein effizientes und sicheres Umfüllen von Flüssigchlor aus Kesselwagen zu ermöglichen, als auch für eine große Bandbreite an unterschiedlichen Chlor-Havarien als mobile Rettungseinheit eingesetzt zu werden. Dabei ist Ziel, auf der einen Seite die Sicherheits- und Umweltstandards industrieller Chlor-Produktionsanlagen einzuhalten und auf der anderen Seite die Mobilität und Flexibilität der Einheit zu gewährleisten.

Zu den zentralen Zielsetzungen und zugleich Erfolgskriterien, mit denen das Projekt gestartet ist, gehören:

1. der zügige Transfer von Flüssigchlor,
2. die vollständige Absorption der beim Transfer verdrängten und durch Entspannungsverdampfung gebildeten Chlorgase,
3. die effiziente Absaugung und Absorption von Chlorgas aus Leckstellen (undichte Ventile, Flanschverbindungen),
4. eine Absorptionskapazität von 1.500 kg Chlor pro Stunde,
5. permanente Kühlung des Reaktionsprozesses und damit
6. die Begrenzung der Emissionen während der Chlorabsorption auf ein Minimum mit dem Ziel, die TA-Luft-Grenzwerte einzuhalten,
7. Umwandlung von Chlorgas in Bleichlauge,
8. Vermeidung von Sonderabfall,
9. die Eignung zum schnellen Transport,
10. eine zügige Herstellung der Einsatzbereitschaft vor Ort,
11. eine höchst mögliche Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit sowie
12. die Fähigkeit zum mehrfachen Einsatz.

Die mobile Rettungseinheit wird insbesondere dem 1982 gegründeten „Transport-Unfall-Informationssystem- und Hilfeleistungssystem“ (TUIS) zur Verfügung gestellt. Dieses freiwillige Hilfsangebot der Chemischen Industrie steht bundesweit rund um die Uhr Behörden, Feuerwehren, Polizei und anderen Einsatzkräften bei Transportunfällen mit gefährlichen Gütern und allen Arten von Unfällen mit Chemikalien zur Verfügung. Die Hilfe wird in Form von Analysen und Informationen, aber auch mit personeller und materieller Unterstützung vor Ort geleistet. TUIS, bei dem das Unternehmen Akzo

Nobel Industrial Chemicals GmbH seit 1986 Mitglied ist, arbeitet zudem mit der internationalen Schwesterorganisation „International Chemical Environment“ zusammen.

3.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Um eine mehrfach einsetzbare mobile Rettungseinheit zur Verfügung stellen zu können, waren innerhalb des Projektes drei Komponenten anzufertigen:

1. eine innovative mobile Chlorabsorptionsanlage (MHU),
2. ein angepasstes Notfall-Kit, das den Einsatz der MHU in unterschiedlichen Unfallszenarien erst ermöglicht,
3. ein Teststand am Standort Ibbenbüren, mit dem die Einsatzfähigkeit des Aggregates sichergestellt werden soll.

Im Folgenden wird zunächst die technische Umsetzung dieser drei Komponenten beschrieben, bevor der typische Aufbau im Rettungseinsatz aufgezeigt wird. Da die Rettungseinheit gerade auch dem TUIS zur Verfügung stehen soll, wird im Anschluss daran das Anforderungsprozedere skizziert.

1. Die Mobile Chlorabsorptionseinheit (MHU)

Die MHU besteht aus zwei 20ft-Containern, die ihre Transportfähigkeit auf gängigen LKW-Trailern und Eisenbahnwaggons gewährleistet. Beide Container sind auf allen vier Seiten mit einer verschiebbaren Plane versehen, so dass die Komponenten von außen erreicht werden können. Die Planen sind zudem zollkonform verschließbar, so dass ein internationaler Einsatz der Rettungseinheit möglich ist. Während der Container 2 die für den Betrieb notwendige Ausrüstung umfasst und unter dem Punkt „Notfall-Kit“ im Detail beschrieben wird, enthält Container 1 die eigentliche Absorptionseinheit.

Container 1 mit der Absorptionsanlage wiegt ca.10 t und enthält jeweils zwei Anschlüsse für Natronlauge und Bleichlauge. Die Natronlauge wird als Reaktionsmittel zugeführt, die Bleichlauge als Reaktionsprodukt wird aus der Absorptionseinheit in Tankwagen abgeführt. Die Abgase der MHU nach den Absorptionsstufen und Tropfenabscheider werden über einen Kamin abgeleitet. Für die Montage des Kamins ist eine Hälfte des Containerdachs begehbar. Auf der Stirnseite im Bühnenbereich befinden sich die Chlorgasanschlüsse. Die Anschlüsse für die Kühlwasserzu- und -abführung, die mittels Feuerwehr-B-Schlauch erfolgt, befinden sich an der Seite des Containers.



Fotos des Containers 1 mit Anschlüssen

Die MHU verfügt über ein dreistufiges Absorptionsverfahren, das es ermöglicht, das abzusaugende Chlorgas in Bleichlauge umzuwandeln. Durch ein in die 1. Absorptionsstufe integriertes Kühlsystem wird die Bleichlaugetemperatur im Bereich zwischen 10°C und 35°C gehalten. Dies erhöht nicht nur die Sicherheit des Absorptionsprozesses, sondern sorgt zudem dafür, dass das entstehende Produkt Bleichlauge verwertbar ist. Die Einheit ist so ausgelegt, dass sie für zwei grundsätzliche Arten von Einsatzfällen eingesetzt werden kann. Lastfall 2 entspricht dabei dem in Abbildung 1 dargestellten Einsatz-Szenario:

- Lastfall 1: Absaugen und Absorption der bei einer Störung/Leckage austretenden Chlor-Luft-Gemische sowie der entsprechenden Gemische, z.B.
 - Störungen/Leckagen, z.B. Leckagen an defekten Chlorventilen, Flanschverbindungen mit entstehenden Chlor-Luft-Gemischen
 - Einsatz bei Defekten an stationären Chlorgasabsorptionsanlagen
- Lastfall 2: Absorption der Chlorgase beim Transfer/Umfüllen von Flüssigchlor.

Die MHU wird mit geeigneten Verbindungselementen, die mit dem Container 2 zur Verfügung gestellt werden, an den verunglückten Kesselwagen angeschlossen. Diese Verbindungselemente sind nachfolgend für beide Lastfälle aufgeführt und in ihrer Verwendung dargestellt.

Lastfall 1: Die nachfolgend genannten Elemente werden auf dem Container 2 mitgeführt: ein PE-Rohrbogen (DN 250) wird an eine Klappe geflanscht, ein Kunststoffspiralschlauch wird auf einen PE-Rohrbogen mittels Flexadux-KSV-Schelle geklemmt. Die freie Seite des Spiralschlauchs wird an die Leckstelle herangeführt, die bspw. mit PE-Folie umhüllt wurde. Das Luft-Chlor-Gemisch wird aus dem Innern der Folienumhausung abgesaugt. Ab Zeitpunkt des Einsatzes der MHU werden Chloremissionen in die Umwelt zum größten Teil vermieden, da durch das Absaugen des Chlors ein Unterdruck entsteht.

Lastfall 2: Die nachfolgend genannten Elemente werden auf dem Container 2 mitgeführt: das Armaturenkombinationsstück (DN 50/40) wird auf der einen Seite über ein Rohrstück an ein Kesselwagenventil angeschlossen. An die andere Seite wird eine Armatur angeflanscht. Über ein System aus Rohren und

Metallwellschläuchen wird der Kesselwagen mit einem Regelventil, das eingangsseitig in der MHU montiert ist, verbunden.

Das Chlorgas wird mit Hilfe von Natronlauge in der MHU absorbiert und in Chlorbleichlauge umgewandelt. Pro Stunde können im ersten Lastfall 1.500 kg Chlor plus 1.500 m³ Luft und im zweiten Lastfall 1.500 kg Chlor abgesaugt werden. Die Kapazität der neuen MHU ist damit gut 10-mal höher als bei bisher vorhandenen Anlagen. Die nachfolgende Abbildung zeigt den verwirklichten Aufbau der Absorptionseinheit auf.

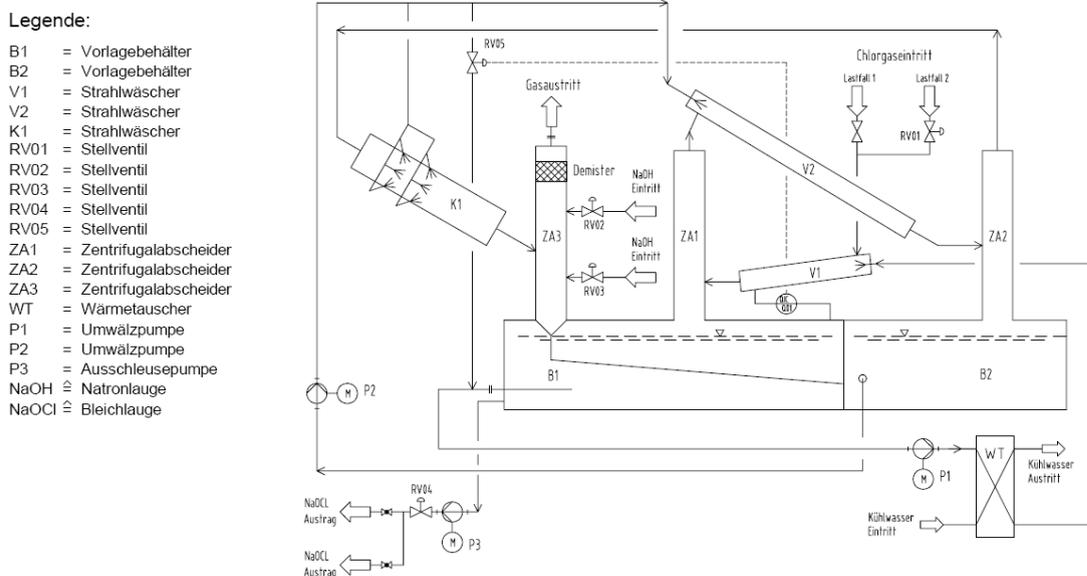


Abbildung 5: Fließbild der MHU

Chlorgas-Pfad

Das Chlorgas wird über mehrere Strahlwäscher in drei hintereinander geschalteten Absorptionsstufen mit Natronlauge bedüst. Die Strahlwäscher (V1, V2 und K1) sind geneigt angeordnet, um dem begrenztem Raumangebot innerhalb des genormten Euro-Containers Rechnung zu tragen. Im Gegensatz zu Füllkörper-Kolonnen arbeiten Strahlwäscher nach dem Injektorprinzip und erzeugen im Gasstrom einen Druckgewinn. Somit ist für den Gastransport kein zusätzlicher Ventilator erforderlich.

In der ersten Stufe V1 werden über 98 % des Chlors absorbiert. Hier entsteht, da es sich um eine exotherme Reaktion handelt, auch über 98 % der Reaktionswärme. Als Absorptionsmittel wird eine ca. 19%ige Natronlauge (NaOH) eingesetzt, die kontinuierlich zugeführt wird. Bei Einsatz einer 19%igen Natronlauge besteht bei ≈0°C nicht die Gefahr, dass NaOH, NaCl, NaOCl auskristallisieren.

Bei der Reaktion von Chlor mit Natronlauge entsteht Chlorbleichlauge, d.h. eine wässrige Lösung aus Natriumhypochlorit (NaOCl), Natriumchlorid (NaCl) und Wasser (H₂O). Die Bleichlauge wird abtransportiert und wiederverwendet. Die aufgezeigte Reaktion ist exotherm (Reaktionsenthalpie: -1.465 kJ/kg Cl₂).

Die Trennung der Flüssigkeitströpfchen von der Gasphase erfolgt in senkrecht stehenden Gasaufstiegräumen, den Zyklonabscheidern (ZA 1 – ZA 3) zwischen

den einzelnen Strahlwäschern. Das verbleibende Chlorgas wird mit jeder Wäscherstufe weiter absorbiert. Da für die Anlage keine Einhaltung der Werte der TA Luft vorgeschrieben ist, wurde ein einfacheres Messverfahren bei den Messungen an einem Teststand (siehe Kap. 3.4) gewählt und die Messungen vom Betreiber selbst durchgeführt. Die Messergebnisse legen trotzdem nahe, dass der Massenstromschwellenwert von 15 g/h eingehalten wird. Die Konzentration von 3 Milligramm pro Kubikmeter Luft (TA Luft) wurde in 4 von 7 Messungen erreicht bzw. unterschritten. Die letzte Stufe (ZA 3) ist ausgangsseitig vor dem Kamin mit einem Demister, einem Tröpfchenabscheider, ausgerüstet, - der verhindert, dass Tröpfchen mit dem Abgas mitgerissen werden. Das Restgas wird über den Kamin an die Luft abgegeben.

Lauge-Kreislauf

Vor Inbetriebnahme der Absorptionsanlage werden die Vorlagen B1 und B2 mit 19%iger Natronlauge befüllt. Im nachfolgenden Normalbetrieb werden die Absorptionskreisläufe durch Starten der Pumpen P1 und P2 in Betrieb genommen. Die Ausschleusepumpe P3 wird ebenfalls gestartet. In der ersten Stufe gelangt die Prozessflüssigkeit aus dem Vorlagebehälter B1 mittels der Umwälzpumpe P1 über den Wärmetauscher WT zum Kopf des Strahlwäschers V1.

Abhängig von der umzuwandelnden Chlorgaskonzentration und -menge erschöpft sich die Absorptionskapazität der Natronlauge aus dem Vorlagebehälter B1. Über die Redox-Potentialmessung im Ausgang von V1 wird über das Regelventil RV05, das in der Druckleitung der Pumpe P2 installiert ist, ein Teilstrom Natronlauge aus dem Behälter B2 in die Saugseite der Pumpe P1 dosiert. Das Niveau im Behälter B1 steigt und wird über Pumpe P3 und Stellventil RV 04 durch Abfüllen der Bleichlauge in ein Tankfahrzeug kompensiert.

Das durch Einspeisung in den Kreislauf 1 fallende Niveau im Behälter B2 wird durch die niveaugeregelte Zugabe von Natronlauge aus Tankfahrzeugen über die Regelventile RV 02/ RV 03 ausgeglichen. Die restlichen zwei Teilströme der Pumpe P2 werden für den Betrieb der Strahlwäscher V2 und K1 genutzt.

Bei der exothermen Reaktion von Chlor und Natronlauge kommt es zu einer Erwärmung der Medien, gegen die alle Hypochlorite empfindlich sind. Bei einer zu warmen Lösung oberhalb von ca. 45 °C würde unerwünschtes Natriumchlorat (NaClO₃) sowie weitere Zeretzungsprodukte entstehen. Um dies zu vermeiden, wird die Prozessflüssigkeit über die Umwälzpumpe P1 über einen Plattenwärmetauscher (WT) aus Titan geführt und auf die erforderliche Temperatur von 30 – 35 °C gekühlt. Als Kühlmedium für den Wärmetauscher dient Wasser, das am Einsatzort über je einen Feuerwehr-B-Schlauch sowohl zu- als auch abgeführt wird. In Abhängigkeit vom Unfallort kann das notwendige Kühlwasser bspw. entweder durch ortsnahe Hydranten oder über die lokalen Feuerwehren bereitgestellt werden. Eine Kühlung ist im zweiten Reaktionskreislauf nicht erforderlich, da hier nur geringe Restmengen reagieren und die freiwerdende Wärme von der Absorptionslösung aufgenommen und darüber abgeführt werden kann.

Sowohl die Anschlüsse für die Einspeisung der Frischlauge (RV02 und RV03) als auch die Anschlüsse für den Austrag der Bleichlauge sind zweifach vorgesehen. Dies gewährleistet einen kontinuierlichen Absorptionsprozess, da bereits ein zweites Tankfahrzeug angeschlossen werden kann, während das erste noch befüllt bzw. entleert wird. Für den An- wie Abtransport der Lauge- bzw. Bleichlauge können je

nach Umgebungsbedingungen gereinigte, gummierte Straßentankwagen oder Kesselwagen genutzt werden.

2. Notfall-Kit und TUIS-Anhänger

Die mobile Rettungseinheit soll schnellstmöglich international bei Chlorhavarien zur Verfügung stehen. Hierzu ist es nicht zuletzt erforderlich, eine umfangreiche Ausrüstung unterschiedlichster Anschlüsse sowie Analyse- und Testvorrichtungen bereitzustellen, um eine weitgehende Autonomie im Betrieb zu erreichen. Dies wird über das Notfall-Kit (Emergency-Kit) geleistet, das auf einem zweiten 20ft-Container mitgeführt wird. Das Kit ist grundauserüstet mit den lagerfähigen Ausrüstungsteilen. Die Aufrüstung mit den nicht lagerfähigen Teilen erfolgt nach Einsatzaufforderung. Nicht lagerfähige Teile sind z.B. diverse Chlorventile, die Redoxpotential-Elektrode, Labor-Equipment, wie z.B. Eichlösungen usw. Diese Teile lagern an ausgewählten Stellen im Unternehmen. Die Vollständigkeit der Container 1 und 2 wird vor Abfahrt anhand einer Checkliste hergestellt.

Der Container 2 wiegt rund 8 Tonnen und stellt mit einem Dieselaggregat mit einer Leistung von 100 kW eine eigenständige Stromversorgung der Absorptionseinheit bereit. Das Dieselaggregat benötigt für den Betrieb ca. 10 Liter Dieselkraftstoff pro Stunde. Mitgeführt wird zudem ein Kompressor, der für das Entladen der Kesselwagen oder von LKW ohne eigenen Entladekompressor genutzt werden kann. Somit ist eine weitestgehende Einsatzbandbreite an Straßentankwagen für die Anlieferung der notwendigen Frischlauge gewährleistet. Von zwei Stickstoffflaschen mit einem Druck von je 200 bar, die über eine 2 x 1-Flaschenumschaltstation gekoppelt sind, dient jeweils eine der Ansteuerung der Regelventile in der Absorptionseinheit.

Zudem beinhaltet der Container Verbindungsschläuche und -stücke, Dichtungen und Chlor-Ventile in verschiedenen Größen, um in diversen Unfallszenarien europaweit die Einsatzbereitschaft der MHU herstellen zu können. Ein Steuerschrank mit Drehfeldüberwachung enthält die speicherprogrammierbare Steuereinheit (SPS), die unter anderem die Redox-abhängige Zuführung der Natronlauge in den Reaktionskreislauf 1 regelt. Zusätzlich wird eine umfangreiche Laborausstattung mitgeführt, um die einsatznotwendigen Proben nehmen und analysieren zu können. Dazu gehören neben den notwendigen Chemikalien (Art und Umfang entsprechenden den internen Analysevorschriften) und dem entsprechenden Equipment auch zusätzliche Behälter, in die Proben und Restchemikalien entsorgt werden können. Der Container 2 ist grundauserüstet, da die Schnittmenge zwischen dem nachfolgend beschriebenen TUIS-Notfallanhänger und der ursprünglich geplanten Soll-Ausrüstung des Notfall-Kits, Empfehlung GEST90-162 (Emergency Transfer of Liquid Chlorine 4th Edition) relativ groß und andererseits der zur Verfügung stehende Stauraum begrenzt ist. Die Ausrüstungslisten für den Container 2 und dem TUIS-Anhänger entsprechen in der Summe der GEST 90-162-Empfehlung. Zudem sind weitere Komponenten gemäß Anhang III (Übersicht über die Komponenten des Containers 2) auf dem Container 2 platziert.

Beide Container, die MHU und das Notfall-Kit, werden in einer eigens errichteten Halle eingelagert.



Fotos des Containers 2

Bei einem Einsatz der MHU gehört auch ein sogenannter TUIS-Anhänger zur Ausrüstung. Er steht ebenfalls in Ibbenbüren dauerhaft bereit und ist in einer Garage nördlich des Elektrolysegebäudes stationiert. Er enthält alle notwendigen Werkzeuge und die entsprechende Sicherheitsausrüstung, die das Einsatzteam im Fall einer Chlor-Havarie für den sicheren Betrieb der MHU benötigt. Eine Übersicht über das Zubehör findet sich im Anhang III dieses Berichtes. Für den Einsatz der MHU wurde ein Handbuch erstellt, das über die Eigenschaften und Funktionsfähigkeit der MHU ebenso informiert wie über seine Betriebsparameter und die Anforderung über das Transport-Unfall-Informations- und Hilfeleistungssystem (TUIS). Hier finden sich auch entsprechende Checklisten über das Zubehör von TUIS-Anhänger, MHU-Container 1 sowie Container 2 mit dem Notfall-Kit, um eine vollständige Ausrüstung vor dem Einsatz zu gewährleisten. Auch hier erfolgt unter Berücksichtigung der Ausstattung des Kits eine Einsatzprüfung und fallweise Ergänzung mit Zusatzausrüstung.



Fotos des TUIS-Anhängers

3. Teststand und Prüfung der Funktionsfähigkeit

Die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der MHU sollte nach ihrem Bau ebenso getestet werden wie das Erreichen des gesteckten Ziels im Hinblick auf die Emission. Da die MHU für den wiederholten Einsatz für Notfälle konzipiert wurde, ist ihre Einsatzbereitschaft laufend sicherzustellen und insbesondere im Nachgang eines Einsatzes zu überprüfen. Für die genannten Tests während der Inbetriebnahme und

zur Funktionsprüfung in regelmäßigen Abständen unter realitätsnahen Bedingungen ist der Einsatz bzw. die Verwendung von Chlor, Natronlauge und Bleichlauge erforderlich.

Hierzu ist es notwendig, einen entsprechenden Teststand zur Verfügung zu stellen, mit dem die Chlorabsorptionsfähigkeit (Leistungsfahrt) der MHU geprüft werden kann. Dies geschieht durch die fallweise Einbindung (Tie-In) der MHU in die HCl-Synthese 1 zu Testzwecken am Standort Ibbenbüren. Zudem werden mit Hilfe des Teststands regelmäßig Schulungen für das Einsatzteam durchgeführt.



Fotos des Teststands

Hierfür waren entsprechende Baumaßnahmen erforderlich, um sowohl die Plattform für die Chlorabsorptionseinheit selbst als auch die notwendigen Anschlüsse zur Einbindung in die laufenden Produktionsanlagen bereitzustellen. Dabei wurden die neuen Rohrleitungen fest installiert und von den jeweiligen Systemkomponenten der Industrieanlage bis zum Teststandort verlegt und an eine lokale Anschlussbatterie angeschlossen. Die MHU wird ihrerseits für die Dauer der Test- bzw. regelmäßigen Prüfphasen mit dieser lokalen Anschlussbatterie verbunden. Zusätzlich sind Anschlüsse für Stickstoff und Luft sowie über eine Steckverbindung eine Anbindung an das Prozessleitsystem (PLS) des Werks verwirklicht. Die Luft dient verfahrensbedingt als Verdünnung, um im Abgas der MHU nach der Absorption des Chlorgases kein explosionsfähiges Gasgemisch zu erhalten (weitere Erläuterungen zu diesem Punkt siehe Punkt 3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms).

Der Nachweis erfolgte durch einen Dräger-Schnelltest. Dieses Messsystem wird heutzutage in vielen Bereichen der Industrie und im Rettungswesen als Messverfahren angewandt.

Über diese Verbindung mit dem PLS kann vom Leitstand des Werks die Chlorzufuhr zur MHU, falls erforderlich, gestoppt werden, indem die Chlor-Armaturen der MHU geschlossen (NotAus-Funktion) werden. Die Einbindung in das Prozessleitsystem hat überwiegend Sicherheitscharakter und steht einer zielgerichteten Überprüfung der Einsatzfähigkeit der MHU im Stand-alone-Betrieb nicht entgegen. Insbesondere erfolgt die Steuerung der Testfahrt allein über die MHU selbst.

Die nachstehende Abbildung zeigt das Schema für die eingebundene MHU auf:

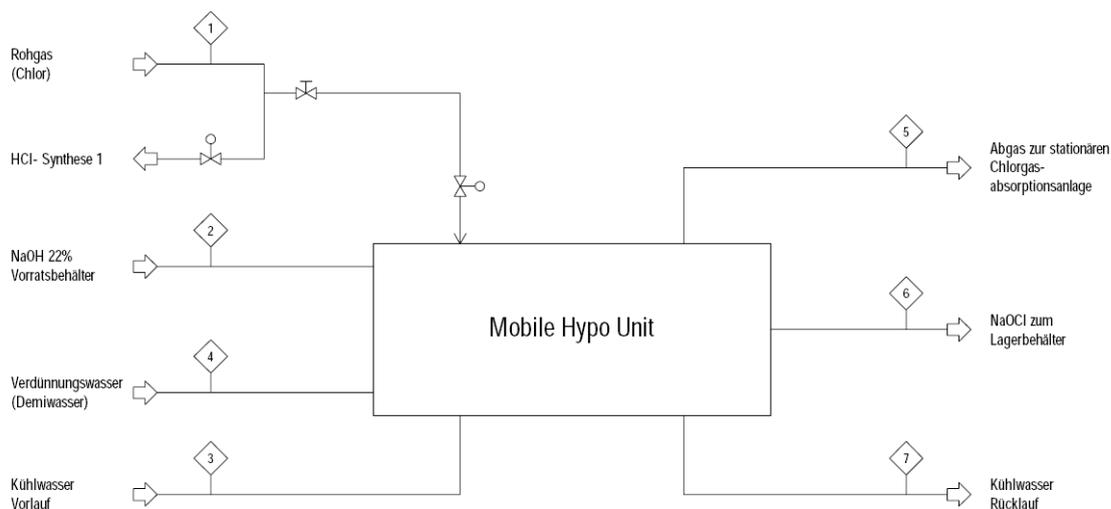


Abbildung 9: Schematische Abbildung der Tie-Ins (Einbindungspunkte)

Das im Test zu absorbierende Chlorgas wird aus der Chlorzuführungsleitung der HCl-Synthese 1 entnommen und in die MHU eingespeist (1). Der Kühlwasserkreislauf des Werks speist das notwendige Kühlwasser ein (3) und nimmt es nach Durchlaufen der MHU wiederum auf (7). Über die Einbindung in die werkseigene Chlorabsorptionsanlage wird die Natronlauge für den Absorptionsprozess zur Verfügung gestellt (2) und das anfallende Reingas der MHU kann hier abgesaugt und der werkseigenen stationären Chlorabsorptionsanlage zugeführt werden (5). Zusätzliche Chloremissionen für das Werk sind weder im Testlauf aufgetreten noch sind diese folglich bei den vorgesehenen Funktionstests zu erwarten. Das Reaktionsprodukt Bleichlauge wird vorsichtshalber dem Offspec-Behälter (Lager für Bleichlauge) zugeführt (6). Nach Prüfung der Qualität kann die Bleichlauge vermarktet werden. Die Elektroenergie für den Betrieb der MHU wird von dem sich im Container 2 befindenden Diesel-Stromaggregat geliefert. Stickstoff, der als Steuermedium für die Ansteuerung der Armaturen notwendig ist, wird ebenfalls in zwei Flaschen auf dem Container 2 mitgeführt. Die Stickstoffflaschen sind mit einer Flaschenumschaltstation mit Minderdrucküberwachung, die optisch Minderdruck signalisiert, verbunden, so dass die „leere“ Flasche ohne Unterbrechung der Absorption ausgetauscht werden kann. Die MHU wird mit dem eigenen Tablet-PC bedient. Der PC, als Visualisierungs- und Bedieneinheit, kommuniziert über WLAN mit der SPS der MHU, die sich im Schaltschrank des Containers 1 befindet. Die anlagenseitigen Anschlüsse und Verrohrungen sind in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt und greifen die Nummerierung der Abbildung auf. Bei der stationären Anlage wird die 22%ige Natronlauge durch feuchtes Chlor auf ca. 19 % verdünnt, während es bei der MHU mit Demiwasser verdünnt werden muss.

Nr.	Stoffstrom	Anschluss MHU	Einbindung/Änderung
1	Rohgas (Chlor)	Eingang Rohgas-Kollektor zum Strahlwäscher V1	HCl-Synthese 1: neuer Anschluss vor der Chlorgas-Durchflussmessung und neue Rohrleitung zur MHU
2	Natronlauge 22%ig ein	Über Verladeschlauch DN 80 an NaOH-Eingangsstutzen DN 80	Chlorabsorptionsanlage: Neuer Anschluss und Rohrleitung für Lauge aus dem Verteiler des Laugebehälters der stationären Chlorabsorptionsanlage zur MHU
3	Kühlwasser Vorlauf	Kupplung für B-Schlauch	HCl-Synthese 1: neuer Schlauchanschluss für Kühlwasser-Vorlauf
4	Verdünnungswasser (Demiwasser)	Stutzen DN 25; Schlauchverbindung	HCl-Synthese: Anschluss Demiwasser (vorhanden)
5	Abgas	Ausgang DN 250 der Kolonne ZA3	Rohrleitung vom Versand zur stationären Chlorgasabsorptionsanlage / PVC-Leitung vom Kamin zum Einbindestutzen
6	NaOCl (Chlorbleichlauge)	Über Verladeschlauch DN 80 an NaOCl-Ausgangsstutzen DN 80	Lager Bleichlauge: neue Rohrleitung (UP-GF/PVC) für Bleichlauge vom MHU-Teststand zum Lagerbehälter
7	Kühlwasser Rücklauf	Kupplung für B-Schlauch	HCl-Synthese1: neuer Schlauchanschluss für Kühlwasser-Rücklauf

Tabelle: Schnittstellen der MHU mit der Werksanlage

4. Einsatzlogistik und Rettungsaufbau

Die mobile Rettungseinheit muss im Falle eines Unfalls schnellstmöglich an den Einsatzort verbracht werden, um Schäden an Mensch und Umwelt durch Zeitverzögerung nach Möglichkeit zu vermeiden. Diese Anforderung war eines der Schlüsselkriterien beim Design der MHU, die für den Transport per LKW, Bahn oder Hubschrauber geeignet sein sollte. Im Projektverlauf wurde schnell deutlich, dass das notwendig mitzuführende Equipment und die Absorptionseinheit selbst die Gewichtsgrenze für einen Hubschraubertransport übersteigt. Die Container mit der Chlorabsorptionseinheit und dem Notfall-Kit sind auf Standard-Containerrahmen mit ausklappbaren Stützbeinen montiert. Ein LKW kann die Container unterfahren und kann sie wie eine Wechselbrücke übernehmen. Der Containerrahmen wird an den vier Eckpunkten jeweils mit Verriegelungsbolzen, den Twistlocks, gesichert.

Alternativ können die Container auch per Bahn mit dem Unfall-Bereitschaftsdienst der Railion Deutschland AG zum Unfallort transportiert werden. Dies bietet sich insbesondere dann an, wenn am Unfallort ein unbeschädigtes Parallelgleis vorhanden ist. Im Falle, dass nur ein Gleis zu Verfügung steht, kann man versuchen, möglichst nahe an die Unfallstelle heranzukommen. Andernfalls muss der Transport über die Straße erfolgen. Die leeren, überdrucklosen Chlorkesselwagen müssen ebenfalls über die Bahn transportiert werden und möglichst nah zur Unfallstelle herangebracht werden. Der Transport von Natronlauge und der Abtransport der Bleichlauge kann per Bahn oder auch per LKW erfolgen. Notfall-Transporte sind laut Railion schnell zu organisieren und durchzuführen. Ein entsprechender Gleisanschluss ist im Werk Ibbenbüren vorhanden. Wird die mobile Rettungseinheit über das Transport-Unfall-Informationssystem (TUIS) angefordert, ist der Transport der MHU zum Unfallort von der TUIS-Einsatzleitung in Absprache mit der Einsatzleitung der Bahn zu organisieren. Während des Zeitraum zwischen Anforderung und Abholung erfolgt die Prüfung, fallweise Zusatzausstattung und Aktivierung der MHU und ihrer Ausrüstung.

Am Unfallort meldet sich der Leiter des MHU-Einsatzteams bei dem vor Ort verantwortlichen TUIS-Einsatzleiter, der die MHU angefordert hat, um die notwendigen Maßnahmen zu koordinieren, die bis zum Eintreffen der mobilen Rettungseinheit getroffen werden müssen. Diese variieren je nach Einsatzszenario wie Art und Ort des Unfalls.

Kann die Rettungseinheit per Bahn vor Ort verbracht werden, ist eine ausreichende Nähe zu den havarierten Chlorkesselwagen sicherzustellen. Dabei ist für die Einsatzaufstellung immer die geringstmöglich zu erreichende Entfernung zum havarierten Waggon herzustellen. Steht bspw. ein Parallelgleis an der Unglücksstelle zur Verfügung, sollte die Absorptionseinheit unmittelbar zwischen havariertem Waggon und parallel aufgestelltem Ersatz-Kesselwagen auf dem Nebengleis stehen. Ziel ist es, die notwendige Länge der (Schlauch-)Verbindungen zwischen Absorptionseinheit und havariertem Kesselwagen so gering wie möglich zu halten.

Insbesondere auf welligem oder weichem Gelände muss durch geeignete Maßnahmen - bspw. Unterlegplatten - ein Einsinken verhindert werden. Die Anlage ist waagrecht auszurichten, um eine optimale Funktionsfähigkeit der Anlage gewährleisten zu können. Das Ausrichten der MHU wird über vier an jeder Rahmenseite festinstallierte Wasserwaagen erleichtert. Die Feinjustage erfolgt mit Hilfe einer Stockwinde und dem Unterlegen von Stahlplatten unter die Stützbeine der MHU. Alle notwendigen Platten werden auf dem Container 2 mitgeführt. Die Chlorgasabsorptionseinheit ist so im Container 1 aufgebaut, dass dessen Boden als Auffangwanne fungieren kann, aus der ggf. austretende Leckmengen abgepumpt werden können.

Die Anlage muss so aufgestellt werden, dass an- und abfahrende LKW für die kontinuierliche Anlieferung von Natronlauge bzw. Abtransport der entstehenden Bleichlauge ausreichend Raum zum Rangieren haben und die Anschlüsse der MHU leicht zugänglich sind.

Schritte, die für den Aufbau und den ordnungsgemäßen Betrieb der MHU notwendig sind, sind in Anhang IV dargestellt.

Die nachstehende Abbildung zeigt das Aufbauschema der MHU in bezug auf den Chlorkesselwagen.

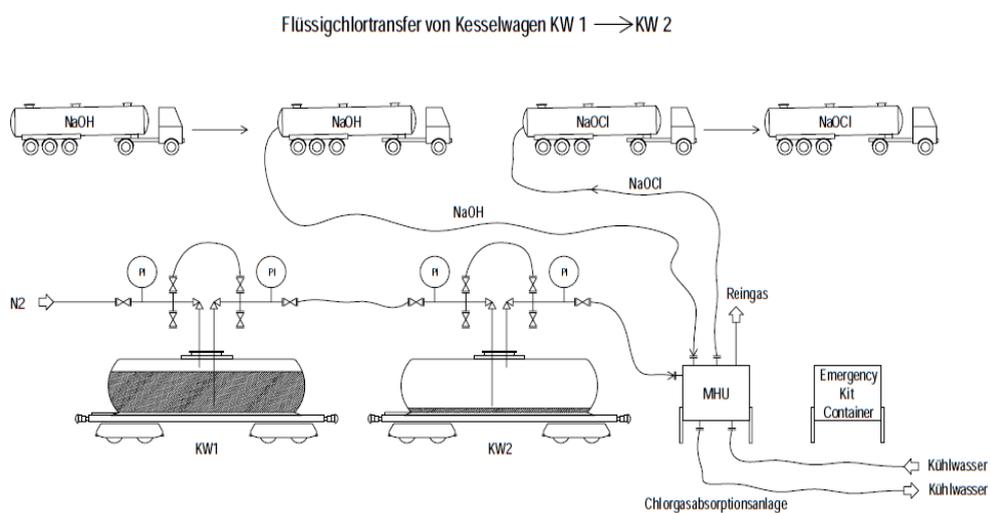


Abbildung 10: Aufstellungsschema der MHU im Rettungseinsatz für das Szenario eines havarierten Chlorkesselwagens

5. Anforderung über TUIS

Die mobile Rettungseinheit MHU kann ausschließlich vom Transport-Unfall-Informations- und Hilfeleistungssystem (TUIS) der chemischen Industrie angefordert werden. Das Notfallsystem steht komplett ausgerüstet und einsatzbereit auf dem Gelände von Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH in Ibbenbüren ebenso bereit wie ein werkseigenes Einsatzteam. Die beiden Container mit dem Absorptionsaggregat bzw. dem Notfall-Kit können per Bahn oder LKW an den Unfallort transportiert werden. Ein ebenfalls benötigter TUIS-Anhänger mit zusätzlicher Ausrüstung gelangt über die Straße mit einem entsprechenden Transporter der Akzo Nobel Industrial Chemicals an den Einsatzort. Das Einsatzteam wird zwischenzeitlich den Unglücksort erreichen.

Im Fall eines Unfalls mit Chlor informieren die Einsatzkräfte vor Ort das TUIS. Dessen Einsatzleitung wird dann situationsabhängig entscheiden, ob ein Einsatz der MHU notwendig ist. Ist dies der Fall, wird der Standort Ibbenbüren über den DAKS-Server informiert. Als erste Reaktion bei der Entgegennahme der Anforderung werden grundlegende Informationen über das Unfallgeschehen erbeten. Dazu steht ein Einsatzhandbuch zur Verfügung, das auch der Telefonzentrale bzw. dem Bereitschaftsdienstleister vorliegt.

Zudem werden Werksleitung, Produktionsleitung und der QHSE-Manager der Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH benachrichtigt. Die ermittelten Daten werden ebenfalls unverzüglich an den QHSE-Manager weitergeleitet, der sie seinerseits an die MHU-Einsatzleitung weitergibt und das Einsatzteam in Bereitschaft versetzt. Der Einsatzleiter der MHU macht sich unverzüglich auf den Weg zum Unfallort.

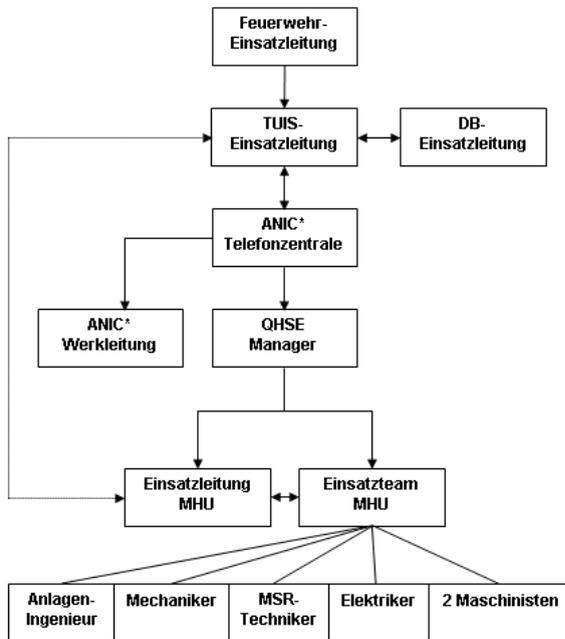
Das Einsatzteam besteht aus 6 Personen, die für den Aufbau und Betrieb der MHU am Unfallort notwendig sind. Es besteht aus

- 1 Anlagen-Ingenieur,
- 1 Mechaniker,
- 1 Elektriker,
- 1 MSR -Techniker
- 2 Maschinisten

Für den laufenden Betrieb der MUH sind dann vor Ort nur noch vier Teammitglieder erforderlich. Das Einsatzteam wird die Ausrüstung der MHU sowie des TUIS-Anhängers überprüfen und für den Einsatz vorbereiten. Während der Umsetzung des Vorhabens wurde die Erkenntnis gewonnen, dass die Vorbereitungen für die Einsatzbereitschaft rund vier Stunden in Anspruch nehmen. Dann steht die MHU für den Transport bereit. Das Einsatzteam macht sich im Anschluss daran mit dem werkseigenen Transporter und dem TUIS-Anhänger auf den Weg zum Unfallort. Die Mitglieder des ausrückenden Einsatzteams führen dabei ihre persönliche Schutzausrüstung (PSA) und Gasschutzausrüstung mit.

Je nach Lage des Unfallortes werden die für einen Einsatz der MHU geschulten Einsatzleiter der AkzoNobel-Standorte Frankfurt/Main oder Bitterfeld informiert und gebeten, sich für eine schnellstmögliche Beurteilung der Lage an den Unfallort zu begeben. Von dort aus geben sie ihre Einschätzung der Situation an den Einsatzleiter der MHU weiter. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Meldekette für einen Einsatz der MHU im Überblick.

Meldekette für den Einsatz der MHU



²AkzoNobel Industrial Chemicals GmbH, Werk Ibbenbüren

Abbildung 10: Meldekette für den Einsatz der MHU im Falle eines Bahnunfalls, Beispiel AkzoNobel Industrial Chemicals GmbH Werk Ibbenbüren

3.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens (Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte von der Engineeringphase bis zur Inbetriebnahme sowie von Hemmnissen)

Die ursprüngliche Zeitplanung sah eine Projektlaufzeit von 16 Personenmonaten bis Ende August 2010 vor. Durch Verzögerungen insbesondere in der Engineeringphase verlängerte sich die Projektlaufzeit um 4 Monate, so dass das Projekt erst im Dezember 2010 beendet werden konnte. Dies wurde dem Projektträger im Verlauf des Projektes frühzeitig mitgeteilt.

Engineering von MHU und Notfall-Kit

Der Projektstart erfolgte planmäßig im Juli 2009. In diesem Monat wurden auch die Auftragsverhandlungen mit dem Zulieferer GEA Wiegand GmbH erfolgreich zum Abschluss gebracht.

Im Zentrum dieses Teilprojektes stand das Engineering der mobilen Chlorabsorptionseinheit. Als Kernstück des mobilen Rettungssystems war die MHU für zwei grundsätzliche Arten von Einsatzfällen zu konstruieren: zur Absorption austretender Chlor-Luft-Gemische und zur Absorption von Chlorgas beim Umfüllen von Chlorkesselwagen. Diese technischen Anforderungen stellten im Rahmen des Engineering immer wieder neue Herausforderungen, die durch den vorgegebenen Platzbedarf in einem Standard-Container zusätzlich verschärft wurden und im Folgenden aufgezeigt sind.

Darüber hinaus zeigte sich im Laufe der Engineeringarbeiten, dass zu Beginn des Projektes die Aspekte Instandhaltung und Frostschutz nicht ausreichend berücksichtigt

worden waren. Auch Aspekte wie Bedienbarkeit und Arbeitsschutz führten immer wieder zu neuen Anpassungserfordernissen. Insbesondere folgende Konsequenzen wurden im Vergleich zur Ausgangsplanung gezogen:

Frostschutz: Container 1 und 2 stehen jetzt in einer beheizten Halle, alle Flüssigkeiten aus Behältern, Rohren und Pumpen werden planmäßig entfernt. Zusätzlich wurden die Pumpen nachträglich mit Entleerungsstopfen ausgerüstet.

Instandhaltung: Wartungspläne sind im SAP-System hinterlegt; gleichzeitig werden Wartungsaufträge vom System in regelmäßigen Intervallen kreiert.

Bedienbarkeit: Die Anordnung der Bedienbühne musste geändert werden, um die Verbindung zwischen der MHU, der Chlorleitung und der Schlauchleitung für das Steuermedium Stickstoff ergonomisch günstiger herstellen zu können. Ebenfalls wurden die Anforderungen an die Arbeitssicherheit berücksichtigt. So wurden z.B. die Ver- und Entsorgungssysteme für NaOH und Bleichlauge als Doppelarmaturen mit Zwischenentleerung ausgeführt. Somit ist das Zwischenstück frei von NaOH und Bleichlauge. Damit ist ein gefahrloser Wechsel der LKW-Tankfahrzeuge möglich. Bei den Schulungen der Einsatzteams wurde erkannt, dass Gerüste in Höhe der Bedienelemente der MHU zur besseren Bedienbarkeit und Kontrolle erforderlich sind. Dadurch sind alle Anschlüsse unterhalb Kopfhöhe.

Der begehbare Dachbereich des Containers 1 wurde mit einem Steckgeländer abgesichert und ermöglicht so die Montage/Demontage des Abgaskamins und der Abgasmessung ohne Absturzgefährdung.

Des Weiteren waren interne Richtlinien von AkzoNobel einzuhalten. Diese Richtlinien (bspw. Chlorine Safety Report, GEST) beschreiben u.a. die in Chlorsystemen einzusetzenden Materialien sowie verfahrenstechnische und konstruktive Ausführungen von chlorführenden Systemen. Zudem wurden die vom Unternehmen GEA eingeplanten Materialien bei jedem Entwicklungsschritt von der eigenen Fachabteilung AkzoNobel Technology & Engineering, Fachabteilung Material geprüft. Im Ergebnis konnten einige Materialien nicht akzeptiert werden, so dass hier einige Differenzen mit dem beauftragten Unternehmen auszuräumen waren. Weitere Schwierigkeiten traten durch unterschiedliche Auffassungen bei der sicheren Trennung der beiden Lastfälle durch eine entsprechend ausgelegte Armatur auf. In der Folge musste das Unternehmen das Layout des Containers 1 für die MHU und der Absorptionsanlage deutlich ändern, um der räumlichen Begrenzung einerseits und den gestellten Materialanforderungen andererseits gerecht zu werden. In diesem Prozess konnten beide Seiten erhebliche Lerneffekte verbuchen.

Dem Notfall-Kit kommt im Gesamtkonzept des Rettungssystems eine zentrale Rolle für die Einsatzfähigkeit der mobilen Rettungseinheit zu: Mit ihm ist sicherzustellen, dass die MHU jederzeit mit dem havarierten Objekt verbunden und betrieben werden kann, um ihrer Aufgabe sicher und effektiv gerecht werden zu können. Dementsprechend waren unterschiedliche Einsatzszenarien zu definieren und die notwendigen mitzuführenden Materialien und Werkzeuge zu inventarisieren. Zudem mussten die Hilfs- und Betriebsstoffe erfasst werden, welche zum Teil mitgeführt bzw. selbst erzeugt werden müssen. Als maßgebende Dokumentationen stand dazu „GEST 90/162 Emergency Transfer of Liquid Chlorine“ von EURO CHLOR zur Verfügung.

Durch ein im Laufe des Engineering verändertes Absorptionskonzept der MHU (Container 1) wurde es notwendig, die Leistung des eingeplanten und mitzuführenden Notstromaggregats zu erhöhen. Dieses Aggregat versorgt alle elektrischen Verbraucher des Notfallsystems MoCER und ist wesentlicher Bestandteil des Containers 2. Die zwei leistungsstärksten Pumpen sind mit Frequenzumrichtern ausgerüstet, damit der Anlaufstrom reduziert wird und gleichzeitig die Pumpe in einem

optimalen Betriebspunkt gefahren werden kann. Ohne die Frequenzumrichter hätte das Notstromaggregat noch größer sein müssen, was wegen des begrenzten Platzes im Container problematisch wäre.

Die vergrößerte elektrische Nutzleistung führte zu einem erhöhten Platzbedarf, der sich negativ auf das noch zur Verfügung stehende Stauvolumen auswirkte. Daher waren im Verlauf des Engineering immer wieder neue Durchgänge bei der Ableitung einer optimierten Belegung der Regal- und Freiflächen notwendig.

Eine weitere Verzögerung im Projekt ergab sich durch den Wechsel des zuständigen Projektleiters auf der Seite von Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH.

Konstruktion von MHU und Bereitstellung des Notfall-Kits

Die erheblichen Veränderungen während des Engineering führten zu einer zeitlichen Verzögerung des gesamten Projektes. Während der Konstruktionsphase und auch zuvor im Engineering fand ein enger Austausch zwischen den Projektverantwortlichen und Fachleuten von Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH auf der einen Seite und den Mitarbeitern von GEA auf der anderen Seite statt. Nach Abschluss aller notwendigen Änderungen und Freigabe des Designs konnte die MHU ohne weitere Verzögerungen montiert werden. Beide Elemente - Container 1 mit der MHU und Container 2 mit dem Notfall-Kit - konnten im September 2010 ausgeliefert werden.

Vorbereitung und Bau des Teststands

Wesentlich in diesem Projektabschnitt war die Planung für den Standort und das Design des Teststandes sowie die Durchführung der notwendigen Bauarbeiten. Hier standen insbesondere der Bau des Fundaments sowie die Rohrleitungssysteme und Anschlüsse an die bestehenden Anlagenkomponenten im Werk Ibbenbüren im Mittelpunkt.

Aufgrund der Wetterverhältnisse konnten auch die vorbereitenden Baumaßnahmen erst mit Zeitverzögerung im März 2010 begonnen werden. Da sich durch die ausgeweitete Engineering-Phase das Vorhaben verschob, hatte diese Verzögerung jedoch keine Auswirkungen auf das Gesamtprojekt. Zum Zeitpunkt der Anlieferung der MHU im September 2010 waren auch die Arbeiten am Teststand abgeschlossen.

Konstruktive Einbindung und Nullstart

Die konstruktive Einbindung der angelieferten MHU konnte in der anvisierten Frist durchgeführt werden und stellte sich als problemlos heraus. Aus logistischer Sicht wurde der am besten erreichbare Ort für die Installation des Teststandes ausgewählt. Daher ist die Verbringung der MHU an den Anschlussort und ihr Aufstellen leicht möglich. Die Einbindung der MHU in die werksseitigen Anlagen wurde pflichtgemäß nach § 15 Abs. 2 BImSchG angezeigt und von der zuständigen Behörde gestattet.

Demonstrationsphase

In dieser Phase wurden ausführliche Tests der MHU durchgeführt, die die Absorption von Chlor unter verschiedenen Witterungs- und Temperaturbedingungen zum Gegenstand hatten. Dabei wurden auch unterschiedliche Auslastungen gefahren, um die maximale Absorptionskapazität der MHU und die mögliche Schadstoffabgabe über den Kamin zu ermitteln. Diese Versuchsläufe wurden bis zu einer Überlast von 5% erfolgreich durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass alle Zielsetzungen hinsichtlich Absorptionskapazität erreicht werden konnten. Die durchgeführten Messungen legen nahe, dass auch die Grenzwerte der TA-Luft eingehalten werden.

Am 28.09.2010 fand eine öffentliche Demonstrationsfahrt der Anlage statt, zu der auch Vertreter des UBA zugegen waren. Weitere Teilnehmer kamen vom TUIS, der VTG, dem VCI, den lokalen Behörden, der Bezirksregierung Münster und der zuständigen lokalen Feuerwehr sowie der örtlichen Presse.

Darüber hinaus war noch für 2010 vorgesehen, im Rahmen des Arbeitskreises TUIS die Rettungseinheit vorzustellen. Veranstaltungsort sollte die Firma Currenta in Dormagen sein. Aus organisatorischen Gründen kam die Veranstaltung nicht mehr zustande. Mit dem Organisator der Treffen dieses Arbeitskreises ist abgesprochen, diese Vorstellung im Jahr 2012 nachzuholen. Am 24. September 2011, beim bundesweiten „Tag der offenen Tür der Chemie“, wurde den Besuchern eine Einsatzsimulation der MHU erfolgreich vorgeführt. Durch die Test- und Demonstrationsläufe ist eine Gruppe von Mitarbeitern bereits mit der MHU und ihrer Funktionsweise intensiv vertraut worden. Diese stehen ab sofort im Einsatzfall bereit. Darüber hinaus werden weitere Mitarbeiter im Umgang mit dem Rettungssystem MoCER ausgebildet.

Zu Projektbeginn ging man davon aus, mit Hilfe von beschriebenen Szenarien Unfallsituationen nachstellen zu können. Aber mit fortschreitenden Erkenntnissen wurde schnell festgestellt, dass es unendlich viele denkbare Unfall-Szenarien gibt. Auch verschiedene Gespräche mit Fachleuten des TUIS, der Bundesbahn, der VTG als Kesselwagenbetreiber usw. haben dieses unterbaut. Im Anschluss hat Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH dann die Systematik angewendet, die es bei der Erstellung seines Betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplans (BAGAP) in seinem Sicherheitsbericht anwendet. In einer Arbeitsgruppe wurden angenommene Unfall-Szenarien besprochen und daraus die im Handbuch bzw. auch im Endbericht befindlichen Übersichtstabellen abgeleitet. Mit Hilfe der Piktogramme in der Übersichtstabelle, mit den unterschiedlichen Positionen des havarierten Kesselwagens (Abbildung 3) kann sehr schnell ein Unfall-Szenario mit Bahnkesselwagen nachgestellt und fachlich beurteilt werden. Andere Szenarien wurden weniger intensiv betrachtet, da die Einsatzwahrscheinlichkeit für die MHU am ehesten bei Bahnunfällen besteht.

Das Ausbildungskonzept ist flexibel gestaltet, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Unfall-Szenarien sehr unterschiedlich ausfallen können. Die Mitarbeiter werden geschult, um aus der jeweils vorgefundenen Situation ein strukturiertes Vorgehen ableiten und anwenden zu können. Ausgangspunkt der Schulungen, die im Frühjahr 2011 begannen, sind abgeleitete Unfallszenarien aus den im Projekt erarbeiteten Unterlagen.

Zwei Gruppen zu je sechs Personen wurden in einer 4-tägigen Ausbildung im Aufbau, Betrieb und Abbau praktisch und theoretisch trainiert. In den Folgejahren werden regelmäßig Wiederholungstermine stattfinden, in denen neben der Wiederholung auch die Vermittlung von Erkenntnissen aus zurückliegenden Bahnunfällen auf dem Programm steht. Parallel werden Anlagen-Ingenieure aus den Standorten Bitterfeld und Frankfurt/Main im Umgang mit dem MHU-System geschult, damit im Einsatzfall kompetente Fachkräfte kurzfristig an der Unfallstelle sein können.

3.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Die MHU ist als mobiles Notfallaggregat konzipiert und eingestuft. Vor diesem Hintergrund unterliegt sie nicht den behördlichen Genehmigungsverfahren und den gesetzlich vorgeschriebenen Umweltauflagen, wie sie bspw. mit der TA Luft für stationäre Anlagen der Chlorverarbeitung gelten.

Es wurden aber alle erforderlichen Maßnahmen zu Vorsorge gegen Gefahren für Leben, Gesundheit und Umwelt getroffen, insbesondere hinsichtlich der Sicherheitstechnik. Entsprechende Maßnahmen (z.B. nach technischen Normen wie EN, DIN, DIN VDE) und berufsgenossenschaftlichen Vorschriften- und Regelwerke wurden umgesetzt.

Die Projektkonzeption sah jedoch als einen wesentlichen Schritt zur Überprüfung des Projekterfolgs testweise Leistungsfahrten unter Verwendung von Chlor vor. Auch künftig wird die mobile Rettungseinheit im Werk Ibbenbüren zweimal pro Jahr auf ihre ordnungsgemäße Funktion hin getestet werden. Während des Funktionstests auf dem Akzo Nobel Industrial Chemicals-Werksgelände findet die TA-Luft Anwendung.

Um dies umzusetzen, wird die MHU in die werksseitigen Anlagen am Standort Ibbenbüren eingebunden. Dies erfolgt über die bereits beschriebenen Tie-Ins über einen extra hierfür errichteten Teststand.

Für die Einbindung war nicht nur die bautechnische Vorbereitung der Freifläche durchzuführen, sondern es bedurfte darüberhinaus einiger Veränderungen bestehender Anlagen. Folgende Anlagen sind von der fallweisen Einbindung der MHU und damit von Umbauarbeiten betroffen:

- HCl-Synthese 1 zur Versorgung mit Chlor, Kühl-, Demiwasser und Luft
- Chlorgasabsorptionsanlage für die Laugezuführung vom Vorlagebehälter sowie Einbindung in die bestehende Abgasleitung DN 200
- Lager Bleichlauge (Offspec-Behälter)

Da es sich bei den genannten Anlagen um genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des BImSchG handelt, erfolgte im Vorfeld der geplanten Einbindung eine Mitteilung entsprechend § 15 Abs. 1 BImSchG mit einer detaillierten Beschreibung des geplanten Anlagenumbaus und des beabsichtigten Ablaufs der Testdurchführung. In ihrer Stellungnahme kommt die Bezirksregierung Münster als zuständige Genehmigungsbehörde zum Ergebnis, dass eine Genehmigung der Maßnahme nach § 16 Abs. 1 Satz 1 BImSchG nicht erforderlich ist.

Weitere behördliche Genehmigungen waren im Rahmen des Projekts und seiner Durchführung nicht notwendig.

4 Ergebnisse

4.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Im Hinblick auf die selbst gesteckten Ziele des Vorhabens erfüllt das mobile Notfallsystem MoCER alle Erwartungen. Insbesondere die hohe Absorptionskapazität von 1.500 kg Chlor/h (Lastfall 2) bzw. 1.500 kg Chlor/h plus 1.500 m³ Luft/h (Lastfall 1) konnte erreicht und die Einhaltung der Grenzwerte der TA-Luft als plausibel ermittelt werden. Allein die ursprünglich anvisierte Gewichtsbeschränkung der Container für einen Transport auf dem Luftweg musste als nicht realistisch verworfen werden.

Während der Projektdurchführung hat sich gezeigt, dass die Herausforderungen im Rahmen des Detail-Engineering unterschätzt worden sind und es daher zu einer zeitlichen Verzögerung im Projektablauf gekommen ist. Dies wurde unter Punkt 3.3 ausführlich dargestellt. Dem steht positiv gegenüber, dass die MHU substantielle Verbesserungen erfahren hat und im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH und Auftragnehmer GEA für die MHU-Konstruktion ein gegenseitiger Wissenstransfer stattgefunden hat.

Darüber hinaus hat das Projekt einige inhaltliche Erweiterungen erfahren, die zu Beginn nicht absehbar waren. Hierzu gehört vor allem die zusätzliche Errichtung einer Halle für die Einlagerung der Rettungseinheit, um die jederzeitige Einsatzbereitschaft zu gewährleisten.

4.2 Stoff- und Energiebilanz

Eine Quantifizierung von Stoffströmen kann an dieser Stelle nicht sinnvoll erfolgen, da es sich bei der MHU um ein Notfallaggregat handelt. Erst die im Unglücksfall anzutreffenden Parameter wie betroffene Chlormenge oder notwendige Einsatzdauer würden die hierzu notwendigen Daten liefern.

Bei der MHU handelt es sich um eine kontinuierlich arbeitende 3-stufige Chlorgasabsorptionsanlage mit integrierter Abführung ($\geq 98\%$) der Reaktionswärme. Dadurch fällt das Reaktionsprodukt Bleichlauge in einer Qualität an, die eine industrielle Weiterverarbeitung erlaubt. Somit ergibt sich bereits an dieser Stelle eine positive Auswirkung auf die Gesamtstoffbilanz sowie ein weiterer entscheidender Entlastungseffekt für die Umwelt.

Unter der Annahme eines Unfallszenarios, dass ein havariertes Kesselwagen mit einem Füllgewicht von ca. 60 t vollständig abgegast werden muss, weil kein Umfüllvorgang (Flüssigchlortransfer in einen leeren bereitgestellten Kesselwagen) möglich ist (z.B. wenn die Ventile der beiden bis in den Kesselwagensumpf reichenden Steigrohre defekt sind und deshalb nur über das in der Gasphase befindliche Einsteckrohr abgegast werden muss) entstehen 450 t Bleichlauge. Nur durch den Einsatz der MHU ist es möglich die gesamte Bleichlauge in einer Qualität herzustellen, die eine industrielle Weiterverarbeitung erlaubt. Es fällt somit kein Sonderabfall an.

4.3 Umweltbilanz

Das Projekt MoCER bietet eine zusätzliche Schutzebene für Mensch und Umwelt, die bei einem Unfall mit Chlor wirksam werden kann und das verbleibende Restrisiko eines Chlorunfalls absichert. Ergänzend zu vorbeugenden Maßnahmen, wie zum Beispiel dem von AkzoNobel und VTG gemeinsam entwickelten aufprallgeschützten Chlor-Kesselwagen (CPR II), beseitigt das MoCER-System einen Mangel hinsichtlich der Schaden begrenzenden Sicherheitsmaßnahmen rund um das sensible Produkt Chlor.

Dabei steht mit der MHU nicht nur ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem der Transfer von Flüssigchlor aus einem havarierten Chlorkesselwagen in einen bereitgestellten Ersatzkesselwagen ermöglicht wird. Vielmehr kann das Notaggregat bei einer Vielzahl von Unfällen mit Chlor eingesetzt werden, ob es sich dabei um eine Havarie im Bahn- oder Straßentransport oder auch um größere Unfälle bei stationären Anlagen oder Leckagen handelt. Der Transfer von Flüssigchlor ebenso wie die Absorption von Chlorgas-Gemischen wird mit Hilfe der MHU sicher möglich. Im Einzelnen gewährleistet die MHU

- den Transfer von Flüssigchlor, die vollständige Absorption des dabei entstehenden Chlorgases und der nicht umfüllbaren Restmengen (bis auf technisch nicht vermeidbare Restmenge von ca. 200 kg, die durch Spülen entfernt werden muss)
- den schnellen Notfalleinsatz mit einer Einsatzbereitschaft nach max. 4 Stunden (Bereitstellung am Standort Ibbenbüren)
- die Vermeidung (bzw. bei Leckagen Begrenzung) der Kontamination von Luft, Boden und Wasser sowie der Gesundheitsgefährdung von Mensch und Tier,
- die Einhaltung wesentlicher Emissionsgrenzwerte der TA Luft (zumindest Plausibilität belegt), obwohl für dieses Notfallaggregat nicht vorgeschrieben
- die Vermeidung sonst beim Einsatz von Chlornotaggregaten entstehender Abfallstoffe,
- die Einhaltung der Sicherheitsstandards und Umweltauflagen (z.B. EuroChlor-Empfehlungen)
- die Minderung der ökonomischen Folgelasten.

Durch die Umsetzung der innovativen Weiterentwicklungen im Vergleich zu herkömmlichen Notfalleinheiten (siehe Kapitel 2.3 Ausgangssituation) kann die MHU ein Vielfaches an Chlor pro Stunde absorbieren. Dies erlaubt bei einem Notfall eine wesentlich effizientere und raschere Beseitigung der Gefahrenquelle. In diesem Zusammenhang weist auch die schnelle Einsatzbereitschaft und vielseitige Transportierbarkeit der mobilen Einheit in ihrem Standard-Container einen wesentlichen Vorteil auf. Je schneller der Unglücksort erreicht werden kann, desto rascher können die Umweltgefahren beseitigt und damit die Folgen eingedämmt werden. Schließlich ist durch Bauweise und Transportfähigkeit gewährleistet, dass eine Vielzahl möglicher Einsatzorte abgedeckt werden kann.

Bei dem Abgasen eines havarierten Kesselwagens mit Standardbefüllung von ca. 60 t Chlor verbleiben, abhängig vom Unfallszenario, Restmengen zwischen 1.400 kg Chlor und 60.000 kg Chlor im Kesselwagen. Das entspricht ca. 10 bis 400 Laugefüllungen der Pumpenvorlage des mobilen Chlor-Notaggregats nach dem Stand der bisherigen Technik. Unterstellt wird dabei die technische Möglichkeit und ein Batch-Betrieb mit einer Absorptionsleistung von 150 kg Chlor pro Stunde.

Bei Annahme dieser idealen Absorptionsleistung würden sich rein rechnerisch beim Abgasen eines vollen Chlorkesselwagens mit 60.000 kg Füllgewicht ca. 17 Tage reine Absorptionszeit ergeben. Aus der Absorptionszeit und den erforderlichen Rüstzeiten des Batch-Betriebs würde sich eine Einsatzdauer und somit Streckensperrung pro Kesselwagen ergeben, die weit über den angegebenen 17 Tagen liegen wird. Das Risiko einer Chlorfreisetzung durch den bei der bisherigen Technik notwendigerweise offenen Betrieb ist in Kauf zu nehmen.

Die hier demonstrierte Absorptionseinheit MHU würde dies bei höherer Sicherheit in etwa drei Tagen bewältigen können.

Gerade im Fall von Leckagen besteht immer die Gefahr einer Kontamination von Grund- oder Oberflächenwasser. Hier sind der zügige Transfer und die Absorption des Chlors von entscheidender Bedeutung, damit das Chlor wegen seiner hohen Toxizität für Gewässerorganismen nicht in Gewässer gelangen kann.

Chlor ist nach Anhang VI Tabelle 3.2 der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP-Verordnung) eingestuft als giftig beim Einatmen (T; R23), es reizt die Augen, Atmungsorgane und die Haut (Xi; R36/37/38) und ist sehr giftig für Wasserorganismen (N; R50). Wegen seiner starken Giftigkeit für Wasserorganismen sind Gemische schon bei Chlorkonzentrationen von $\geq 0,25\%$ als umweltgefährlich einzustufen.

Nach Tabelle 3.1 gelten folgende Einstufungen nach neuem Recht:

- H331 (Giftig beim Einatmen)
- H319 (Verursacht schwere Augenreizung)
- H335 (Kann die Atemwege reizen)
- H315 (Verursacht Hautreizungen)
- H400 (Sehr giftig für Wasserorganismen), mit Multiplikationsfaktor M=100 (entspricht einer Einstufung von Gemischen ab einer Chlorkonzentration von $\geq 0,25\%$ als gewässergefährdend).

Der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) beträgt nach Technischer Regel für Gefahrstoffe (TRGS 900) $0,5 \text{ ppm (ml/m}^3\text{)}$ bzw. $1,5 \text{ mg/m}^3$. Der Wert gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind bei achtstündiger Exposition an 5 Tagen pro Woche während der Lebensarbeitszeit.

Als Konzentrationsleitwerte für Auswirkungsbetrachtungen zu Störfällen werden wegen der eher einmaligen Exposition über einen kürzeren Zeitraum nicht AGW, sondern in der Regel ERPG-2 oder AEGL-2-Werte für die luftgetragenen Konzentrationen verwendet.

Der AEGL-2-Wert (Acute Exposure Guideline Levels) beträgt bei Chlor¹

	10 Minuten	30 Minuten	60 Minuten	4 Stunden	8 Stunden
AEGL 2 (ppm)	2,8	2,8	2,0	1,0	0,71

Der Einsatztoleranzwert der Feuerwehr entspricht dem AEGL-2-Wert für 4 Stunden (vfdb-Richtlinie 10/01).

¹ (U.S. Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/results56.htm>, download 3.12.2011)

Der ERPG-2-Wert (Emergency Response Planning Guidelines) für Chlor liegt bei 3 ppm bzw. 9 mg/m³ (für eine einstündige Exposition)². Beim ERPG-2-Wert wird angenommen, dass bei einer Exposition von bis zu einer Stunde nahezu alle Individuen keine ernststen Gesundheitsschäden erleiden.

Für Anlagen, die die Anforderungen der TA Luft einhalten müssen, gelten folgende Werte: Massenstrom 15 g/h oder Massenkonzentration 3 mg/m³. Obwohl dies für dieses mobile Notfallaggregat nicht gefordert ist, war es Ziel dieses Projektes, im Abgasstrom die Chlor-Grenzwerte der TA Luft (Stand Juli 2002) zu erreichen. Messungen legen nahe, dass es mit der MHU erstmals möglich ist, die Massenstromwerte einzuhalten. Nach den Messergebnissen werden auch die Grenzwerte der Emergency Response Planning Guidelines (ERPG) für die Konzentration von Chlor in der Luft am Auslass der Abgase (Kamin der MHU) deutlich unterschritten. Somit genießen Einsatzkräfte vor Ort mit dem neuen Notfallaggregat einen höheren Schutz als bisher. Je nach Abdichtung an Leckagen können an der Leckagestelle gegebenenfalls höhere Konzentrationswerte auftreten.

Ein weiterer Umweltvorteil: Die bei der Absorption hergestellte Bleichlauge-Lösung bedarf aufgrund der Kühlung und Prozessregelung keiner Entsorgung als Sonderabfall. Sie kann vielmehr bspw. als Produkt an Kunden geliefert werden.

Als Rettungseinheit bei Eintritt eines Schadens kann MoCER im Einsatzfall damit nicht nur den logistischen und wirtschaftlichen Schaden einer Streckensperrung - gleich ob Schiene oder der Straße - erheblich mildern, sondern insbesondere die Risiken für Mensch und Umwelt an und im Umkreis der Unglücksstelle drastisch reduzieren und im Idealfall vollständig verhindern. Je schneller das Chlor in Lauge absorbiert wird, desto geringer sind die möglichen Folgeschäden. Gleiches gilt für Chlorunfälle, wie sie jederzeit in kleinen Chloranlagen entstehen können. Die MHU stellt somit ein probates Präventionsmittel dar, die Umwelt nachhaltig zu schützen. Boden- und Gewässerschutz sowie Luftreinhaltung werden ebenso effektiv unterstützt, wie die Gesundheitsprävention und Sicherheitslage im gesamten Verkehr flankiert werden. Chlorunfälle, die aus den unterschiedlichsten Gründen ausgelöst werden können, werden somit erheblich besser zu beherrschen und verlieren einen Teil ihres Gefährdungspotenzials. Eine tatsächliche Bilanz unter Einsatzbedingungen kann derzeit nicht erstellt werden, da bisher kein Einsatzfall ausgelöst werden musste.

² (2011 ERPG/WEEL Handbook, AIHA (American Industrial Hygiene Association), http://www.aiha.org/insideaiha/GuidelineDevelopment/ERPG/Documents/2011ergpweelhandbook_table-only.pdf, download 3.12.2011).

4.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Wesentlicher Bestandteil des Projekterfolgs ist neben der grundsätzlichen Funktionsfähigkeit der MHU die Einhaltung der angestrebten Leistungsstandards. Hierzu wurde ein Messprogramm im Rahmen einer mehrstündigen Leistungsfahrt durchgeführt, während der die MHU in den Teststand eingebunden war.

Folgende Anforderungen galt es einzuhalten, die vertraglich dem Lieferanten vorgegeben worden waren:

1. Das zu absorbierende Chlorgas des Kesselwagens enthält geringe Mengen an Fremdstoffen wie N_2 , O_2 , H_2 , CO_2 , Br_2 , J_2 und andere.
2. Die MHU ist im atmosphärischen Druckbereich (Referenzdruck: 1013 mbar) zu betreiben. Der Druck, mit dem die Anlage laut Herstellervorgaben über max. 100 h betrieben werden darf, beträgt -50 mbar(g), entspricht 963 mbar.
3. Die im Absorptionsprozess anfallende Bleichlauge soll einen Gehalt von 4 - 8 g (NaOH/l und ca. 165g akt. Chlor/l besitzen. Dazu ist rechnerisch die Einspeisung einer NaOH-Lauge zwischen 18,5 bis 19 Gew.% erforderlich. Während der Leistungsfahrt wurde die werksseitig eingespeiste 22,5%ige Natronlauge durch Dosierung von Demiwasser auf rund 18,5 Gew.% verdünnt.
4. Der Absorptionsgrad des Chlors muss nach der 1. Stufe (V1) größer als 98% sein, da andernfalls in der nicht gekühlten 2. Stufe zu viel Reaktionswärme anfallen würde.

Ausgangssituation:

- Lastfall 1:

Gaseintritt in die MHU	kg/h Cl_2	1.500
	m^3/h Luft	0 ... 1.500

- Lastfall 2:

Gaseintritt, Cl_2 100%, in die MHU	kg/h	1.500
--------------------------------------	------	-------

Beschreibung des Leistungsnachweises:

Im Leistungstest wurde ein wasserstoffhaltiges Chlorgas aus der laufenden Produktion eingesetzt (Zusammensetzung siehe „Eingesetzte Chlormenge“). Nach Absorption des Chloranteils enthielt das Abgas 30 bis 40 Vol.% Wasserstoff und wäre somit explosionsfähig/ detonationsfähig (Zone 3/4 gemäß Dreiecksdiagramm für das System Wasserstoff, Luft, Chlor).

Um im Abgas der MHU nach Absorption des $Cl_{2,g}$ -Anteils kein explosionsfähiges Gasgemisch erhalten zu können, wurde über eine Armatur (Gaseintritt des Lastfalls 1) Luft (~ 100 m^3/h) dosiert. Die Zuführung des Chlorgases erfolgte über den Gaseintritt des Lastfalls 2.

Der Leistungstest erfolgte aus Sicherheitsgründen mit nachgeschalteter stationärer Cl_2 -Absorptionslage. Die stationäre nachgeschaltete Cl_2 -Absorptionsanlage darf aus genehmigungsrelevanten Gründen nicht mit zusätzlichen 1.500 m^3 Luft/h, belastet werden. Die zudosierten 100 m^3/h Luft beeinträchtigen die Funktionsfähigkeit der nachgeschalteten stationären Cl_2 -Absorptionsanlage nicht.

Ohne Luftdosierung würde das Abgas nur aus den Inertgasen (N_2 , O_2 , H_2 , CO_2) und dem nicht absorbiertem Chlorgas (ca. 0,3 g/h) bestehen. Der Abgasvolumenstrom würde sich dann im Größenbereich von 4 bis 5 m^3 pro Stunde bewegen und die Chlorkonzentration wäre wegen des geringen Abgasstroms erheblich größer als 3 mg/m^3 . Die Messung der Chlorkonzentration mit üblichen Messverfahren, wie z.B.

- Methylorange-Verfahren
- Bromid-Jodid-Verfahren
- Dräger Prüfröhrchen

wäre kaum möglich.

Allerdings hat die Dosierung der Luft einen negativen Einfluss auf den Chlorabsorptionsgrad der MHU, weil der Quotient aus Absorptionsflüssigkeitsmenge und Gasmenge kleiner wird. Ohne die Zugabe der Luft würde der $Cl_{2,g}$ -Absorptionsgrad größer als die im Leistungstest ermittelten 99,99998 Gew.% sein und damit der Chlor-Massenstrom kleiner als 0,3 g Chlor/h werden. Daher ist trotz viel höherer Konzentrationswerte im Abgas wegen des fast fehlenden bzw. kleinen Abgasvolumenstroms von weniger als 5 m^3 pro Stunde im Lastfall 2 anzunehmen, dass der Chlor-Massenstromwert noch weiter unter dem Wert der TA Luft liegt als bei Lastfall 1. Bei einem Unfall sollte wegen der höheren Reinheit des Flüssigchlors im Kesselwagen als bei dem Test mit Einbindung in die HCl-Synthese der Abgasvolumenstrom im Lastfall 2 noch kleiner sein.

Eine Luftdosierung der gewählten 100 Nm^3/h liegt im Auslegungsbereich der MHU und somit entspricht dieser Leistungsnachweis den Anforderungen der Aufgabenstellung 0 bis 1.500 m^3 Luft/h für Lastfall 1.

Die Leistungsfahrt wurde in einem Zeitraum von über 6 Stunden durchgeführt. Ihre Ergebnisse erfüllten die gesetzten Anforderungen und sind nachfolgend aufgeführt:

1. Eingesetzte Chlormenge

Zusammensetzung des Gases in der Leistungsfahrt:

- Chlorgas ≥ 99 Vol.%
- Luft inkl. Kohlendioxid, Brom, Jod $\geq 0,7$ Vol.%
- Wasserstoffgas $\leq 0,3$ Vol.%

Laut Vortex-Durchfluss-Messgerät FICA 03 wurden 1.575 kg $Cl_{2,g}/h$ eingesetzt. 1.575 kg $Cl_{2,g}/h$ entsprechen 105 % der Absorptionsleistung der MHU.

Die eingesetzte Chlormenge wurde überprüft mit Hilfe der

- Produktionsmenge Bleichlauge
- Reaktionswärme in Stufe 1

2. Produktionsmenge Bleichlauge

Bei Einsatz von 1.500 kg Chlor/h sollten ~ 11 t Bleichlauge/h in den Lagerbehälter gefördert werden.

1.575 kg Chlor/h entsprechen $\sim 11,55$ t Bleichlauge/h. Die durchschnittliche Produktionsmenge über 6 h betrug 11,58 t/h.

3. Reaktionswärme in Stufe 1

Bei Einsatz von 1.500 kg Chlor/h sollte in der 1. Stufe durch Reaktionswärme ein ΔT von $\sim 6,3$ °C entstehen.

1.575 kg Chlor/h entsprechen einem ΔT von $\sim 6,6$ °C. Das durchschnittliche ΔT über 6 h betrug $\sim 6,6$ °C.

4. Cl₂-Konzentration im Abgas

Mit Dräger Messröhrchen wurde eine Abgaskonzentration von ~ (4,5/ 4,5/ 2,5/ 2,5/ 2/ 2,5/ 2,5) mg/m³ gemessen. Der Ø-Wert betrug 3 mg/m³. Die höheren Werte wurden während der Einfahrphase der MHU ermittelt. Die Ermittlung erfolgte stündlich während der Leistungsfahrt (siehe Protokoll der Leistungsfahrt der MHU)

Bei einem Abgasvolumenstrom von ~ 100 m³/h werden über das Abgas ~ 0,3 g Chlor/h emittiert. Der Chlor-Absorptionsgrad in der MHU ist bei einem Abgasstrom von 100 m³/h folgender:

$$\frac{(1.500.000-0,3)gChlor*h*100\%}{1.500.000 g Chlor*h} = 99,99998 \text{ Gew.}\%$$

Bei einem Abgasvolumenstrom von ~ 1500 m³/h werden über das Abgas ~ 9 g Chlor/h emittiert. Der Chlor-Absorptionsgrad in der MHU ist bei einem Abgasstrom von 1.500 m³/h folgender:

$$\frac{(1.500.000-9)gChlor*h*100\%}{1.500.000 g Chlor*h} = 99,9994 \text{ Gew.}\%$$

5. Absorptionsgrad Chlor nach V1/1.Stufe

Die Aktiv-Chlor-Konzentration in der Natronlauge der 2. Stufe betrug ~3/~3/~4/~3/~3/~2/~2 g/l. Der Ø-Wert ist ~ 3 g/l.

Die Aktiv-Chlor-Konzentration in der Bleichlauge der 1. Stufe betrug im Ø ~ 168 g/l.

Der Absorptionsgrad des Chlorgases nach V1/1. Stufe ist also ≥ 98 Gew.%.

Das Protokoll der Leistungsfahrt findet sich im Anhang II.

Nachweis der Chlor-Abgasgrenzwerte

Zielsetzung war, die geringe Chloremission während der Chlorabsorption auf ein Minimum zu reduzieren mit dem Bestreben, die TA-Luft-Grenzwerte im Normalbetrieb einzuhalten.

In der Durchführungsphase des Projekts gab es Gespräche mit den örtlichen Genehmigungsbehörden und Vertretern des TUIS. Die Behörden bestätigten, dass die TA-Luft während des Test-Betriebs auf dem Akzo Nobel Industrial Chemicals-Werksgelände Anwendung findet. Bei einem Notfalleinsatz außerhalb von Werksgeländen muss die TA-Luft nicht zwingend angewendet werden.

Im Kapitel 5.3.3.2 Massenstromschwellen für die kontinuierliche Überwachung der TA Luft steht: „Bei Anlagen, deren Emissionen an gasförmigen Stoffen einen oder mehrere der folgenden Massenströme überschreiten, sollen die relevanten Quellen mit Messeinrichtungen ausgerüstet werden, die die Massenkonzentration der betroffenen Stoffe kontinuierlich ermitteln:

Chlor 0,3 kg/h

Da es sich bei der MHU nicht um eine genehmigungsbedürftige Anlage handelt und die Emissionen der MHU stark unterhalb dieses Wertes liegen, hat sich Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH beim Leistungsnachweis auf ein weniger aufwendiges diskontinuierliches Mess- und Nachweisverfahren zur Chlorkonzentrationsbestimmung im Abgasstrom der MHU beschränkt.

Der Nachweis erfolgte durch einen Dräger-Schnelltest. Dieses Messsystem wird heutzutage in vielen Bereichen der Industrie und im Rettungswesen als Messverfahren angewandt.

Angaben zur Probenahme

Emissionsquelle

Höhe über Grund	ca. 5,6m
Austrittsfläche (Abgaskamin)	DN250 (0,043 m ²)
Ausführungsbesonderheit	Abgasstrom wurde aus Sicherheitsgründen während des Leistungsnachweises zur stationären Cl ₂ -Absorptionsanlage geführt
Luftdruck im Abgaskamin	Atmosphärisch
Temperatur im Abgaskamin	29°C - 36°C

Probenahme

Höhe über Grund	ca. 4,6m
Messöffnung	Durchmesser 8 mm
Probenahme	ca. 90mm von der Kaminwand (innen)
Messzyklus	Stündlich (während der Leistungsfahrt)

Probenahmeverfahren

Probenahmeverfahren	statische Probenahme mit Gasprüfgerät (Lungenprinzip)
Messkomponenten	Dräger Prüfröhrchen, Typ DE-Chlor 0,2/a Messbereich : 0,2 – 3 ppm Standardabweichung : ±10 bis 15% Temperatur : 0°C - 40°C Feuchtigkeit : ≤15 mg/l Hubzahl(n) : 10 Dauer der Messung : ca. 3Minuten
Messaufnahme durch	Chemie-Verfahrens-Ingenieur (Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH)

Der Chlormassenstrom während der Leistungsfahrt im Abgas betrug

$$100\text{m}^3/\text{h} * 3\text{mg Chlor}/\text{m}^3 = 0,3 \text{ g Chlor}/\text{h} \text{ (Durchschnittswert)}$$

und war somit sehr viel kleiner als der Grenzwert TA Luft 15g/h. Die Ermittlung der Chlorabgaskonzentration erfolgte durch stündliche Schnelltests mit Dräger Prüfröhrchen.

Das Ergebnis der Messung während der Leistungsfahrt ergab durchschnittlich 0,3 g Chlor/h und unterschreitet somit den geforderten Grenzwert von 15g Chlor/h um 98%.

Aufgrund der vorliegenden Messergebnisse, der beiliegenden Berechnungen und unseren Erfahrungen mit stationären Chlorgas-Absorptionsanlagen erscheint es plausibel, dass die MHU im Normalbetrieb den Grenzwert des Chlor-Massenstroms im Abgas (15g/h) entsprechend der TA-Luft deutlich unterschreitet.

Gemäß Auslegungsdaten des Herstellers der MHU (GEA Betriebsanleitung Kapitel 2.2 (Rev.03)) wird im Lastfall 1 der ungünstigste Betriebszustand, bezüglich Abgaskonzentration und Chlorfracht im Abgasstrom, bei 1500 kg Chlor/h plus 1500 m³ Luft/h erreicht. Bei diesem Betriebszustand wird die Chlorkonzentration mit 6 mg Chlor je Normkubikmeter angegeben. Die Chlorkonzentration im Abgas von 6 mg Chlor/Nm³ ist das Ergebnis der Anlagenauslegung (theoretische Berechnung) des Herstellers.

Gemäß der Berechnung des Herstellers würden sich beim Lastfall 1

$$1500\text{m}^3/\text{h} * 6\text{mg Chlor}/\text{m}^3 = 9 \text{ g Chlor}/\text{h}$$

ergeben. Damit wäre der Chlormassenstrom 9 g/h und unterschreitet somit den Grenzwert der TA Luft um 40%.

4.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Eine wirtschaftliche Verwertung von MoCER ist durch AkzoNobel Industrial Chemicals GmbH nicht beabsichtigt. Zwar wird im Einsatzfall durch TUIS eine Vergütung gezahlt, diese dient jedoch in erster Linie zur Deckung der anfallenden Einsatzkosten. Auch ein direkter Wirtschaftlichkeitsvergleich mit vergleichbaren Anlagen, wie er mit der Rettungseinheit eines weiteren TUIS-Mitgliedsunternehmens verfügbar ist, verbietet sich. Dies ist zum einen in der Natur als Notfallinstrument begründet, zum anderen in der Tatsache, dass das Aggregat des anderen TUIS-Mitgliedsunternehmens bisher noch nicht im Ernstfall eingesetzt worden ist. Allerdings können die zu erwartenden Konsequenzen und damit die Einsatzkosten sowie die gesellschaftlichen Folgekosten eines Unfalls grob skizziert werden.

So kann bspw. die MHU ein Vielfaches an Chlorgas in einer Stunde absorbieren bei deutlich höherer Sicherheit für Mensch und Umwelt wie unter Kapitel 3.3 erläutert. Damit kann die Unfallbeseitigung insgesamt effizienter abgewickelt werden. Gegenüber anderen verfügbaren Anlagen konnte eine bis zu zehnfache Absorptionsgeschwindigkeit realisiert werden. Damit reduzieren sich sowohl die Gefahr ernsthafter Umweltschäden und deren notwendige Beseitigung als auch die Dauer von Evakuierung und Streckensperrung. Zudem kann MoCER durch seinen Aufbau kontinuierlich betrieben werden, Einsatzunterbrechungen zum Wechsel der Reaktionsflüssigkeit sind ebenso wenig notwendig wie schwere Hebewerkzeuge. Das Reaktionsprodukt Bleichlauge-Lösung hat im bisherigen Verfahren zu hohe Restlaugegehalte und ist somit nicht marktüblich. Die Bleichlauge muss z.B. in einer stationären Chlorgasabsorptionsanlage recycelt werden. Bei einer vollständigen Überchlorierung und/ oder zu starker Erwärmung entsteht Sonderabfall. Mit Einsatz der MHU kann künftig das Produkt (Bleichlauge) einer produktiven Verwendung zugeführt werden. Die Rettungseinheit selbst ist so konzipiert, dass sie auch mehrfache Einsätze bewältigen kann. Insgesamt ist somit zu erwarten, dass sich die Einsatzkosten eines Notfalls erheblich verringern. Gleiches gilt für die zu befürchtenden gesellschaftlichen Kosten, die durch Evakuierung, Streckensperrung und ggf. notwendig werdende Heilkosten für Menschen und Kosten der Schadensbeseitigung von eingetretenen Umweltschäden aufzuwenden wären.

4.6 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Es gibt Chlorabsorptionsanlagen, die bei einer Havarie mit Chlorkesselwagen eingesetzt werden können. So kam eine Anlage bei dem letzten größeren Eisenbahnunglück mit Chlorkesselwagen in Schweden zum Einsatz. Im Jahr 2005 überfuhr ein Güterzug in der Nähe von Göteborg ein Haltesignal; vier Chlorkesselwagen entgleisten. Die dort eingesetzte mobile Absorptionseinheit ermöglichte es, die vier Chlor-Kesselwagen innerhalb von 17 Tagen in leere Kesselwagen umzufüllen. Aufgrund ihrer einfachen Konzeption bestand in dieser Zeit nicht nur ein erhöhtes Risiko einer Chlorfreisetzung, sondern wurden während des Bergungsvorgangs auch relativ hohe Mengen an Chlorgas in die Atmosphäre abgegeben. Die Einheit ist nach diesem Notfall nicht mehr einsatzfähig.

Aufgrund der begrenzten Frischlauge-mengen und der eingesetzten Verfahrenstechnik beim vorherigen Stand der Technik war in Schweden eine Abgasung der Rest-Flüssigchlormengen aus z.B. einem havarierten Kesselwagen nicht möglich. Wie

bereits im Rahmen der Ausgangssituation detailliert erläutert, besteht in Deutschland eine ähnliche Notfallanlage für die mobile Chlorabsorption. Diese ist seit dem Frühjahr 2000 bei der BASF Werksfeuerwehr in Ludwigshafen am Rhein, dem TUIS National Response Center, stationiert. Entwickelt wurde die Anlage vom Verband der Chemischen Industrie in Frankfurt (VCI) gemeinsam mit der Firma GEA Jet Pumps GmbH Ettlingen. Alle zum Betrieb der Anlage erforderlichen Komponenten sind auch hier auf einem Containerrahmen montiert, so dass ein bundesweiter Einsatz möglich ist. Die Anlage kann bei Leckagen in Betrieben oder Transportbehältern ausströmendes Chlorgas absaugen und in einer Lauge waschen.

Das bei einer Störung austretende Chlor-Luft-Gemisch wird über einen Schlauch angesaugt. In einer ersten Absorptionsstufe wird das Gemisch mit Natronlauge bedüst und das Reaktionsprodukt, also die Chlorbleichlauge, in Form von Tröpfchen abgetrennt. Dieser Vorgang wird in einer zweiten Stufe nochmals wiederholt. Über einen Tropfenabscheider verlässt das gereinigte Gas die Anlage. Sie kann maximal 1.000 m³/h verunreinigte Luft mit bis zu 150 kg Chlor absaugen und absorbieren. Diese Kapazität ist angesichts verbleibender Restmengen, abhängig vom Unfallzenario, zwischen 1.400 kg bis zu 60.000 kg Chlor in einem einzigen havarierten Kesselwagen zu gering, um eine zügige Beseitigung der Umweltgefährdung und Begrenzung ökonomischer Folgen zu gewährleisten.

Das derzeit bestehende mobile Chlornotaggregat weist einen Abgasstrom von 1000 m³/h mit einer Chlor-Konzentration von bis zu 10 ppm auf, dieses entspricht 30 mg Chlor/m³. Somit überschreiten sowohl die Chlor-Konzentration als auch der Chlor-Massenstrom die Grenzwerte der TA-Luft. (Quelle: Hersteller)

Die im Prozess entstehende Bleichlauge hat zu hohe Restlaugegehalte und ist somit nicht marktfähig. Die Bleichlauge muss z.B. in einer stationären Chlorgasabsorptionsanlage recycelt werden. Bei einer vollständigen Überchlorierung und/ oder zu starker Erwärmung entsteht Sonderabfall.

Darüber hinaus kann diese Anlage als einen weiteren entscheidenden Nachteil lediglich im Batch-Betrieb gefahren werden. Dies bedeutet erhebliche Umrüstzeiten, um die Natronlauge nach- bzw. die entstandene Bleichlauge abzuführen.

Bei der MHU gibt es folgende technische Änderungen im Vergleich zum konventionellen Verfahren

- hohe Absorptionskapazität von bis zu 1.500 kg Chlor/h bzw. 1.500 kg Chlor/h plus 1.500 m³ Luft/h durch dreistufiges Verfahren
- Betrieb als offenes (Lastfall 1) und/oder geschlossens (Lastfall 2) System möglich
- Einhaltung der Grenzwerte nach TA-Luft gelten als wahrscheinlich
- permanente Kühlung der 1.Absorptionsstufe durch einen integrierten Plattenkühler. Dadurch wird die Bleichlaugetemperatur im Bereich zwischen 10°C und 35°C gehalten
- kontinuierlicher Betrieb
- zur Regelung, Steuerung und Überwachung/ Abschaltung des verfahrenstechnischen Prozesses durch den Einsatz einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS)
- Fähigkeit zum mehrfachen Einsatz
- Übertragbarkeit des Verfahrens auf weitere gefährliche Stoffe
- Möglichkeit des Funktionstests der MHU und Schulung der Einsatzteams an einem standorteigenen Teststand zur Sicherstellung der Einsatzfähigkeit“

5 Empfehlungen

5.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Erfahrungen aus der Praxiseinführung können nicht dargestellt werden, da es bisher zu keinem Notfalleinsatz der MHU gekommen ist.

5.2 Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/ Anlage/ Produkt)

Stationäre Anlagen zur Chlorabsorption sind in der Regel in jeder Chlor-Alkali-Anlage errichtet, mobile gibt es kaum. In Deutschland besteht unabhängig von der MHU nur ein diskontinuierliches mobiles Notfallaggregat, das daher vor allem für kleinere Leckagen geeignet ist.

Mit der Realisierung des Projektes MoCER ist es gelungen, eine mobile Chlorabsorptionseinheit für den schnellen Notfalleinsatz mit ausreichender Absorptionskapazität für die rasche Beseitigung der Umweltgefährdung zu bauen. Die Messergebnisse des Leistungsnachweises legen nahe, dass die Chlor-Massenstromwerte der TA Luft, welche nicht für diese mobile Notfallanlage gelten, eingehalten werden. Zudem wird erstmals die Fähigkeit zum schnellen, mobilen Rettungseinsatz mit dem Einhalten der Sicherheits- und Umweltstandards stationärer Großanlagen zur Chlorproduktion und Chlorabsorption vereinbart. Die hohe Absorptionskapazität wird nicht nur durch die kontinuierliche Fahrweise erreicht, sondern auch durch die Anwendung eines mehrstufigen Absorptionsverfahrens und der kompakten Bauweise, die den Platzanforderungen in einer mobilen Einheit Rechnung trägt. Das abzusaugende Chlor wird vollständig und rückstandsfrei umgewandelt und die entstehende Bleichlauge erreicht nicht zuletzt durch die in den Prozess eingeführte Kühlung Qualitätsstandards, die eine Weiterverwertung erlauben.

Durch die Verwirklichung des Rettungssystems bei Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH wird ein Transportvolumen von über 40.000 t Chlor bereits ab dem Zeitpunkt der Umfüllung in Chlor-Kesselwagen im Werk Ibbenbüren abgesichert. Darüber hinaus werden weitere 210.000 t des in Deutschland produzierten Chlors über die Schiene versandt. Vordringlich für den Einsatz bei Havarien von Eisenbahnwagen entwickelt, kann das System MoCER auch bei Transportunfällen im Straßenverkehr mit einem Volumen von weiteren 200.000 t Chlor eingesetzt werden. Dies eröffnet Nutzungsmöglichkeiten und damit die Übertragbarkeit nicht nur Unternehmen in Deutschland, Europa und weltweit, die Chlor handhaben, sondern vor allem auch für nationale und internationale Einrichtungen des Notfall- und Katastrophenschutzes (Quelle: VERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE e.V.).

Die erfolgreiche Projektumsetzung weist Modellcharakter für eine analoge Umsetzung für alle Druckgase auf, die nach dem gleichen Grundprinzip aufgebaut sind und in Abhängigkeit vom spezifischen Druckgas andere Absorptionsmittel verwenden. Hier steht es dem Technologie-Lieferanten frei, entsprechende Maßnahmen und Entwicklungsschritte einzuleiten. Über die verwirklichte Größenordnung hinaus scheint auch der Weg zur Miniaturisierung von Absorptionsanlagen grundsätzlich eröffnet: So ist es mit der MHU bereits ein erstes Mal gelungen ist, Anforderungen an großtechnische Anlagen auf einen kleineren Maßstab zu übertragen. Damit könnten sich langfristig neue Entwicklungsfelder und Chancen der wirtschaftlichen Verwertung über die Entwicklung und den Bau kleinerer Einheiten eröffnen. Damit würden neben

der Industrie und der Logistik auch Gebietskörperschaften zu einem Kundenkreis mit der Folge einer flächendeckenden Absicherung zum Schutz von Mensch und Umwelt.

5.3 Zusammenfassung

Das hier vorgestellte Projekt „Mobiles Notfallsystem für den Einsatz bei Havarien mit Chlor - Mobile Chlorine Emergency Response System“ (MoCER) wurde durch das Unternehmen Akzo Nobel Industrial Chemicals GmbH in Ibbenbüren in eigener Verantwortung durchgeführt. Ziel war es, ein innovatives Notfallaggregat zur Chlorabsorption bei Chlorunfällen bereitzustellen und seine Tauglichkeit auch für den mehrfachen mobilen Einsatz zu demonstrieren.

Ausgangspunkt des Projektes ist das Risiko von Unfällen bei einem Transport von Chlor, mögliche Havarien bei stationären Chloranlagen sowie Leckagen mit Entstehung von Chlor-Luft-Gemischen. Die Bedeutung eines solchen Aggregats und seiner zugehörigen Komponenten erschließt sich sowohl aus dem Umfang der Chlortransporte als auch aus dem bis zur Umsetzung des Projektes zur Verfügung stehenden Stand der Technik. In Deutschland und Europa wird Chlor unter hohen Sicherheitsstandards druckverflüssigt in speziellen Eisenbahn-Kesselwagen (KW) mit einer Standardkapazität von 60 t transportiert, die in der Regel auch bei einer Havarie intakt bleiben. Dennoch verbleibt ein Risiko des Chloraustritts. Zudem kann das Chlor in den verunglückten Kesselwagen in der Regel nicht vollständig entfernt werden. Restmengen von 1.400 kg bis zu 60.000 kg Chlor können im Kesselwagen auch nach einer erfolgten Umfüllung des flüssigen Chlors in leere Ersatzwaggons verbleiben. Rettungs- und Bergungsarbeiten sind deshalb nur unter erschwerten und äußerst zeitintensiven Bedingungen möglich. Bei Havarien bei Chloranwendern oder stationären Anlagen steht vor allem die zügige Beseitigung des Gefährdungspotenzials vor dem Hintergrund von austretendem Chlor und Chlorgas im Mittelpunkt.

An dieser vielschichtigen Problematik setzte das Projekt MoCER an und verwirklicht eine mobile Rettungseinheit (MHU), die vor allem ein effizientes und sicheres Umfüllen von Chlor aus Kesselwagen ermöglicht. So kann die Einheit durch den Einbau in einen 20ft-Norm-Containerrahmen über alle wesentlichen Transportwege (Straße, Schiene, Wasser) schnellstmöglich zum jeweiligen Unglücksort transportiert werden. Chlor aus verunglückten Kesselwagen kann innerhalb kurzer Zeit in intakte KWs überführt und verbleibende Restmengen an verflüssigtem Chlor absorbiert werden. Ein Chlorumsatz von bis zu 1.500 kg/h ermöglicht eine zügige Unfallbeseitigung und damit einhergehend eine schnelle Beseitigung der Gefahr für Mensch und Umwelt.

In seiner Konzeption und Umsetzung berücksichtigt das Projekt nicht zuletzt die Erfahrungen aus dem Einsatz eines mobilen Notfallaggregats bei einem Chlorunfall im Bahntransport, der sich 2005 in Schweden ereignete. Dazu führte das Projekt drei unmittelbar miteinander verbundene Komponenten zusammen: Zum einen die innovative mobile Chlorabsorptionsanlage (MHU), zum anderen ein entsprechend angepasstes und ausgestattete Notfall-Kit, das den Einsatz der MHU in unterschiedlichen Unfallszenarien erst ermöglicht, sowie einen Teststand am Standort Ibbenbüren, mit dem die jederzeitige Einsatzfähigkeit des Aggregates sichergestellt werden kann.

Um dies zu erreichen, setzt die mobile Rettungseinheit auf eine Reihe von Innovationen gegenüber dem Stand der Technik, die von der Verwendung anderer Werkstoffe bis hin zu gekoppelten Mehrfachreaktionskreisläufen in einem

geschlossenen System reicht. So ist bspw. ein mehrstufiges Absorptionsverfahren realisiert, das es gerade durch die Hintereinanderschaltung ermöglicht, das abzusaugende Chlor vollständig und rückstandsfrei umzuwandeln. Ein weiterer entscheidender Punkt zur Steigerung von Effizienz und Sicherheit der Absorption ist die Kühlung der exothermen Reaktion unter einen für das Reaktionsprodukt Chlorbleichlauge kritischen Wert. Zudem wurde eine speicherprogrammierbare Steuerung und Überwachung integriert. Sie garantiert, dass in potenziellen Notfällen, wie etwa bei einer Überschreitung der sicheren Prozesstemperatur, eine Notabschaltung erfolgt. Die Kombination der Ansätze führt nicht nur zu einer vollständigen und risikofreien Umwandlung des Chlors, sondern führt im Vergleich mit herkömmlichen Verfahren zu einer Erhöhung des Durchsatzes um den Faktor 10. Die Umsetzung des Projektes erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Anlagenbauer GEA Jet Pumps, der auch an der Entwicklung des bisher bestehenden Systems maßgeblich beteiligt war.

Nach Abschluss des Vorhabens „Mobiles Notfallsystem für den Einsatz bei Havarien mit Chlor“ können im Hinblick auf Projektergebnis und Verbreitung des demonstrierten Notfallsystems folgende Punkte hervorgehoben werden:

- Eine hohe Absorptionskapazität von bis zu 1.500 kg Chlor/h bzw. 1.500 kg Chlor/h plus 1.500 m³ Luft/h wird erreicht.
- Messungen legen nahe, dass mit dieser kompakten Notfallanlage die TA-Luft-Grenzwerte hinsichtlich der Chlor-Emission eingehalten werden.
- Ergänzend zu vorbeugenden Maßnahmen steht eine weitere Schutzebene für Chlortransporte und Handhabung von Chlor hinsichtlich der Schadensbegrenzung bei Unfällen zur Verfügung.
- Mit der MHU wurden technische Lösungen für den Betrieb von Großanlagen erfolgreich auf einen kleinen Maßstab (Containergröße) übertragen.
- Die Projekterfahrungen können auf weitere gefährliche Stoffe übertragen werden.
- Es steht eine mehrfach einsatzfähige Chlorgasabsorptionseinheit mit hohem Durchsatz für den Notfalleinsatz zur Verfügung und kann über das TUIS angefordert werden.

Mit dem Handbuch zur MHU steht eine umfangreiche Dokumentation und ein Handlungsleitfaden zur Verfügung.

6 Literatur

Für den Einsatz der MHU wurde ein Handbuch erstellt, das alle wesentlichen Aspekte des Rettungssystems einschließlich der notwendigen durchzuführenden Analyseverfahren und der wesentlichen Sicherheitsdatenblätter der Gefahrenstoffe umfasst. Dieses Handbuch wird dem TUIS sowie am Standort Ibbenbüren zur Verfügung gestellt und im Bedarfsfall aktualisiert. Um das System und seine Verfügbarkeit den relevanten Einsatzkräften bekannt zu machen, wurden bisher folgende Veröffentlichungen in Printmedien und online herausgegeben:

Feuerwehr Retten-Löschen.Bergen (Feuerwehr 122010.pdf)

Feuerwehr-Fachjournal Ausgabe Ausgabe 01/2011 (Feuerwehr-Fachjournal.pdf)

Feuerwehr-Fachjournal (noch geplant Ausgabe 04/2011)

CHEManager Ausgabe 20/2010 (CHEManager 202010.pdf)

CHEmanager Online-Artikel (Englische Version) <http://www.chemanager-online.com/en/news-opinions/headlines/akzo-nobel-develops-mobile-hypo-unit-mhu>

CHEMIE.DE Online-Artikel <http://www.chemie.de/news/123664/akzonobel-entwickelt-neuartiges-notfallsystem-fuer-bahnunfaelle-mit-chlor.html>

Chemische Rundschau Ausgabe 11/2010 Artikel Chlorgas zu Bleichlauge (Seite 26)

Gefahr/gut-Online Online vom 04.10.2010 <http://www.gefahrgut-online.de/sixcms/detail.php?id=973397>

Ibbenbürener Volkszeitung Lokal-Presse Ausgabe 01.Oktober 2010 (Bericht der IVZ zur Präsentation der MHU am Standort Akzo Nobel Ibbenbüren.pdf)

WDR Lokalzeit Münsterland TV-Beitrag
http://www.wdr.de/mediathek/html/regional/rueckschau/2010/09/29/lokalzeit_muensterland.xml (leider nicht mehr online Verfügbar)

7 Anhang

7.1 Anhang I: Abkürzungsverzeichnis

<u>akt.</u>	<u>aktiv</u>
BImSchG	Bundes Immissionsschutzgesetz
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (1.Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes- Immissionsschutzgesetz)
DAKS	Digitaler Alarm- und Kommunikationsserver
DN	Nennweite
Gew.%. MHU	Gewichtsprozent Mobile Hypo Unit (mobile Chlorgasabsorptionseinheit)
MSR	Messen, Steuern, Regeln
ppm	parts per million (Maßeinheit)
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
QHSE	Quality, Health, Safety, Environment
Redox	Reduktions-Oxidations-Eigenschaft
bar (g)	(g) Kennzeichnung der Druckangabe als Überdruck
bar(a)	(a) Kennzeichnung der Druckangabe als absoluter Druck
SPS	Speicher Programmierbare Steuerung

Chemische Formeln

Br ₂	Brom
Cl ₂	Chlor
ClO ₂	Chlordioxid
H ₂	Wasserstoff
H ₂ O	Wasser
NaCl	Natriumchlorid (Kochsalz)
NaOCl	Natriumhypochlorit
NaOH	Natronlauge
O ₂	Sauerstoff
Δ T	Temperaturdifferenz

7.2 Anhang II: Ergebnisse der Leistungsfahrt der MHU

Leistungsfahrt MHU über >6h am 27.10.2010

4.2)

				Start								Ende		Uhrzeit
				9.20	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	15.30			
1	2. Stufe ≙ B 2	Level	LIC 02	%		74,8	75	74,8	75	75	75	75		
		Temp.	TIA 02	°C		31,6	29,8	34,3	31,7	35,4	35,6	35,5		
		[NaOH]		g/l		220	216	216	218	219	218	218		
		[akt. Cl ₂]		g/l		3	3	4	3	3	2	2		
		\dot{V} Verd. H ₂ O		m ³ /h		1,7	1,7	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65		
		Pu 2		kW		16,9	16,8	16,9	16,4	16,4	16,4	16,4		
		\dot{V} Injektor	FIA 02	m ³ /h		51,3	51,3	51,0	51,2	51,3	51,3	51,3		
2	1. Stufe ≙ B 1,....	Level	LIC 01	%		75,2	75,1	74,9	74,8	75,1	75	75		
		Temp.	TIA 03	°C		25,3	24,8	25,6	25,3	25,6	25,9	25,8		
		[NaOH]		g/l		4,4	5,2	4,8	4,4	4,4	4,0	4,2		
		[akt. Cl ₂]		g/l		170	165	169	167	167	170	169		
		NaOH - Dos. Stufe 2 → Saugs.-Pu1	RV 05	%		85	84,3	84,9	83,9	83,2	83,6	83,8		
		Pu 1		kW		23,3	23,2	23,3	23,3	23,2	23,2	23,3		
		\dot{V} Injektor	FIA 01	m ³ /h		79,3	82,1	82,4	81,6	83,2	82,8	83		
		Temp.	TIA 01	°C		18,8	18,2	19,0	18,7	19,0	19,2	19,1		
TIA 3 - TIA 1	BT	°C		6,5	6,6	6,6	6,6	6,6	6,7	6,7				
3	Gas	m Chlor ein	FICA 03	kg/h		1570	1578	1575	1578	1575	1575	1575		
		\dot{V} Luft ein		m ³ /h		110	100	100	100	100	100	100		
		Saugzug vor 1. Stufe	PI 01	mbar		-25	-26	-25	-23	-18,7	-16,6	-17		
		[Cl ₂] Abgas		mg/m ³		4,5	4,5	2,5	2,5	2,0	2,5	2,5		
		Cl ₂ -Abs. Anl. Saugzug	PICA 716	mbar		-23	-23	-23	-23	-23	-24	-24		
4	Produkt	Redox. Pot.	QIC 01	mV		548	545	545	545	544	545	545		
		[NaOH]		g/l		4,4	5,2	4,8	4,4	4,4	4,0	4,2		
		[akt. Cl ₂]		g/l		170	165	169	167	167	170	169		
		Pu 3		kW		~3	~3	~3	~3	~3	~3	~3		
		Ausschleusung	RV 04	%		81	81	81	80	81	81	81		
		B8	LISA 651	l		16,9	27,2	39,4	51,4	63,1	75	80,7		
		Produktion	Δt	h			10,3	12,2	12	11,7	11,9	11,4		

7.3 Anhang III: Übersicht über die Komponenten des TUIS-Anhängers

Pos.	Anzahl	Bezeichnung
1	Je 2 1	Steckschlüssel 46-41, 36-32, 30-27, 24-22 3 tlg. Handhebel für Wagenheber
2	2 je 1 6 je 1 1 1 2 1 2 je 1 1 1 2	Eisensägen mit Reserveblatt Bügelsäge und Schraubstock verschiedene Schraubzwingen Ölkanne und Wagenheber Vorschlaghammer Propangasflasche Fuchsschwänze Brustbohrmaschine PVC-Seile Blindflansch m. Muffe u. Einlegering für CI-Flaschenventil DN 40, 50, 80 Chlorflaschenventil Verschlusskappe m. Ventil f. Chlorflasche Paar Gummistiefel, Gr. 43 und 46
3	2	Pressluftatmer mit 2 Reserveflaschen, Reservefilter
4	2	Gesichtsschutzschirme (Bausatz)
5	2	Akkulampen
6	4 6 2 4 2	versch. Brechstangen Drahtschlupps und Bindedraht Nageleisen Rohre für Schraubstockblock Stangenmeißel
7	3 3 2	Vollmasken für Pressluftatmer Vollmasken mit 6 Kombinationsfilter Stablampen Utensilien für Chemikalienschutzanzug
8	1 2	Verbandskasten und Anhängerpapiere Mappe mit Informationsmaterial
9	Je 5 Paar 5 Paar 5	Gummihandschuhe (kurz und lang) Lederhandschuhe Schutzbrillen
10		Schrauben, Stopfen, Schellen Dichtungsmaterial
11	2 Satz je 1 Dose 1 1	Bohrer Kleber und Dichtungskitt Lötgarnitur (Lötwasser, -zinn) Gasspürpumpe mit Chlor-Prüfröhrchen
12	20	verschiedene Holzstopfen
13	5 je 1 1	Abziehvorrichtungen Papierschere, Anzünder, Kreide Klarsichtspray Schlüssel für Akkulampen

Pos.	Anzahl	Bezeichnung
14	2	Steckschlüsselkasten
15	2	Werkzeugkisten (Inhaltsverzeichnis im Kasten)
	1	Beil
	1	Hubzeug
	2	Phönix-Ventile
	2	Chemikalienschutzanzüge
		Handwaschpaste, T.-Papier
	1	Wasserkarister
16	4	Wetterjacken
	4	Schutzhelme
	2	Säureschutzanzüge
17	1	3-teilige Leiter

7.4 Anhang IV: Aufbau MHU

Folgende Schritte sind für den Aufbau und den ordnungsgemäßen Betrieb der MHU notwendig:

- Abladen der Container (im Bedarfsfall)
- Aufstellen der Container
- Anbringen der Leitern an beiden Containern
- Montage des Kamins auf Container 1 (MHU) inklusive Windsack
- Erdung der Container
- Kalibrieren und Montieren der Redox-Elektrode
- Anschluss der Kühlwasser-Schläuche an den Wärmetauscher
- Anschluss eines Stickstoffbündels an den zu entleerenden Kesselwagen (KW 1)
- Anschluss der Flüssigchlor-Verbindungsleitung zwischen KW 1 und dem zu befüllenden Kesselwagen (KW 2)
- Anschluss Chlorgasverbindung zwischen KW 2 und der MHU
- Herstellen der Natronlauge-Schlauchverbindung zwischen anlieferndem Lkw und MHU (hier stehen 2 Anschlüsse zur Verfügung für den Wechsel im kontinuierlichen Betrieb)
- Herstellen der Bleichlauge-Schlauchverbindung zwischen MHU und abtransportierendem Lkw (hier stehen 2 Anschlüsse zur Verfügung für den Wechsel im kontinuierlichen Betrieb)
- Verbindung der Stickstoffflaschen-Umschaltstation des Containers 2 mit der Verteilerbatterie des Containers 1 zur Regelung der Ventile
- Starten des Stromaggregats
- Inbetriebnahme der Prozess-Steuereinheit
- Prüfen der Dichtigkeit der Kesselwagen-Armaturen und Schlauchverbindungen mit Stickstoff
- Füllen der Vorlagebehälter der MHU mit Natronlauge
- Pneumatisches Öffnen der Kesselwagenventile (Beginn des Umfüllens)
- Prüfen der Dichtigkeit hinsichtlich Chlor mittels Ammoniakgas (Spritzflasche)
- Absorption der sich bei der Entspannungsverdampfung bildenden Chlorgase (ca. 10 bis 20 Prozent der zwischen KW 1 und KW 2 transferierten Menge an Flüssigchlor) in der MHU
- Messen des Aktivchlorgehalts der Bleichlauge