

## Antrag auf Planfeststellung

### Hartsalzwerk Siegfried-Giesen

## Planfeststellungsunterlage zum Rahmenbetriebsplan

---

### Unterlage I - Bearbeitungsgrundlagen

#### I-21 Gutachterliche Stellungnahme zum Auftreten natürlicher brennbarer Gase und zum Umfang von Explosionsschutzmaßnahmen

Erstellung der Unterlage:



(Dr. D. Hempel)

Dr. D. Hempel  
Friedeburger Str. 8 b  
09599 Freiberg



(Dr. R. Holländer)  
Geologe

K+S KALI GmbH  
Projektgruppe  
Siegfried-Giesen  
Kardinal-Bertram-Straße 1  
31134 Hildesheim

Aufgestellt:  
Hildesheim, den 17.12.2014

---

Antragsteller / Vorhabensträger

**K+S Aktiengesellschaft**  
Bertha-von-Suttner-Straße 7  
34131 Kassel/Deutschland



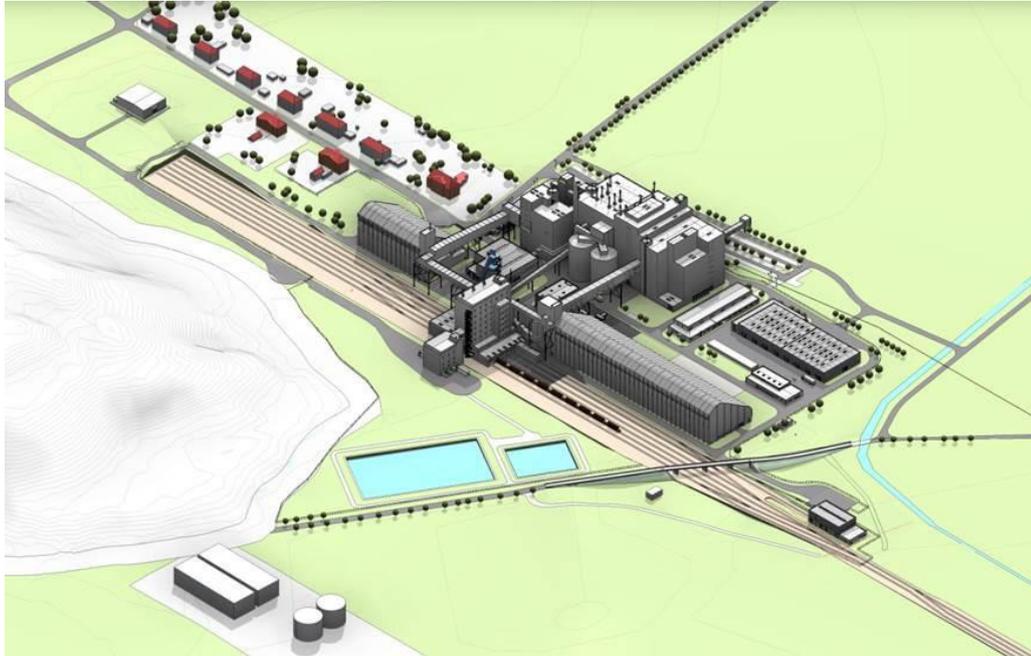
K+S Aktiengesellschaft

vertreten durch:

**K+S KALI GmbH**  
**Projektgruppe Siegfried-Giesen**  
Kardinal-Bertram-Straße 1  
31134 Hildesheim

# Hartsalzwerk Siegfried-Giesen

## Planfeststellungsunterlage zum Rahmenbetriebsplan



### Unterlage I – Bearbeitungsgrundlagen

#### I-21 Gutachterliche Stellungnahme zum Auftreten natürlicher brennbarer Gase und zum Umfang von Explosionsschutzmaßnahmen bei der Wiederinbetriebnahme des Kaliwerkes Siegfried-Giesen

Antragsteller/  
Vorhabensträger:

**K+S Aktiengesellschaft**  
Bertha-von-Suttner-Straße 7  
34131 Kassel/Deutschland



vertreten durch:

**K+S KALI GmbH**  
**Projektgruppe Siegfried-Giesen**  
Kardinal-Bertram-Straße 1  
31134 Hildesheim

Erstellung der Unterlage:

Dr. D. Hempel  
Friedeburger Str. 8 b  
09599 Freiberg

Datum:

Hildesheim, im Juli 2014

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Antrag und Aufgabenstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Unterlagen .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Geologische und betriebliche Verhältnisse .....</b>	<b>3</b>
3.1	Geologische Verhältnisse .....	3
3.2	Betriebliche Verhältnisse .....	3
<b>4</b>	<b>Auftreten von natürlichen Gasen im Kaliwerk Siegfried-Giesen .....</b>	<b>5</b>
4.1	Gasaustrittsformen.....	5
4.2	Gas- und Salzlösungsaustritte im Kaliwerk Siegfried- Giesen .....	7
4.3	Zusammensetzung der Austrittsgase im Kaliwerk Siegfried- Giesen.....	8
4.4	Bewertung der Austrittsgase.....	9
4.5	Vergleich der Gasführung mit anderen Kali- und Steinsalzwerken .....	11
4.6	Auftreten von Schwefelwasserstoff im Kali- und Steinsalzbergbau .....	15
<b>5</b>	<b>Bisheriger Explosionsschutz im Kaliwerk Siegfried-Giesen im Vergleich zu anderen Kali- und Steinsalzwerken .....</b>	<b>17</b>
5.1	Auswertung von im deutschen Kali- und Steinsalzbergbau aufgetretenen Schlagwetterexplosionen .....	17
5.2	Bisherige Explosionsschutzmaßnahmen im Kaliwerk Siegfried-Giesen .....	18
5.3	Vergleich der Explosionsschutzmaßnahmen mit Schutzmaßnahmen anderer Kali- und Steinsalzwerke .....	19
<b>6</b>	<b>Einfluss von Salzstaub auf die Zündfähigkeit von Bläsergasen im Kaliwerk Siegfried- Giesen .....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>Zoneneinteilung und Anforderungen an im Kalibergbau einzusetzende explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel .....</b>	<b>23</b>
7.1	Anwendung der Zoneneinteilung für explosionsgefährdete Bereiche in Kali- und Steinsalzgruben .....	23
7.2	Anforderungen an den Explosionsschutz von im Kali- und Steinsalzbergbau einzusetzende elektrische Betriebsmittel.....	25

<b>8</b>	<b>Schutzbereiche und Explosionsschutzmaßnahmen in der Grube Siegfried-Giesen .....</b>	<b>28</b>
8.1	Ausgangswerte und Kriterien.....	28
8.2	Berechnung der bei Gaszutritten freiwerdenden Brenngasmengen .....	31
8.3	Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Schutzbereiche .....	35
8.4	Schutzbereiche (Zonen) und Schutzmaßnahmen- allgemein .....	37
8.4.1	Schutzmaßnahmen bedingt bei Gefährdung durch brennbare Gase.....	38
8.4.2	Schutzmaßnahmen bedingt bei Gefährdung durch Schwefelwasserstoff.....	38
8.5	Schutzbereiche (Zonen) und Schutzmaßnahmen für Erkundungs- und Bemusterungsbohrungen .....	41
8.5.1	Geologische Erkundungsbohrungen .....	41
8.5.2	Naherkundungsbohrungen .....	42
8.5.3	Bemusterungsbohrungen .....	43
8.6	Schutzbereiche (Zonen) und Schutzmaßnahmen für konventionelle und schneidende Streckenauffahrung.....	44
8.6.1	Konventionelle Auffahrung im Anhydrit.....	44
8.6.2	Konventionelle Auffahrung im Steinsalz und im Lager .....	48
8.6.3	Konventionelle Streckenerweiterung .....	49
8.6.4	Schneidende Streckenerweiterung.....	49
8.6.5	Schneidende Auffahrung von Strecken und Wendeln.....	50
8.7	Technische Bohrungen .....	51
8.7.1	Roll- und Wetterlöcher .....	51
8.7.2	Einbruchslöcher .....	52
8.8	Strossenbohrungen.....	52
8.9	Ankerbohrungen .....	53
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>54</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>56</b>

## Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Gliederung des Zechsteins im Bereich des Blattes Sarstedt
Anlage 2	Zusammenstellung von Gaszutritten in der Grube Siegfried- Giesen Blatt 1 und 2
Anlage 3	Zusammenstellung von Gas/ Salzlösungszutritten in der Grube Siegfried- Giesen, Blatt 1-3
Anlage 4	Brennbarkeitsgrenzen von in Kali- und Steinsalzgruben auftretenden brennbaren Gasen
Anlage 5	Sicherheitstechnische Kennzahlen der im Kali- und Steinsalzbergbau auftretenden brennbaren Gase
Anlage 6	Temperaturklassen- und Explosionsgruppenunterteilung
Anlage 7	Ergebnisse der Normspaltweitenermittlung von 4 CH <sub>4</sub> / H <sub>2</sub> / N <sub>2</sub> - Luftgemischen der Grube Siegfried-Giesen
Anlage 8	Vergleich der Gasführung der Grube Siegfried- Giesen mit anderen Kali- und Steinsalzgruben, Blatt 1 und 2
Anlage 9	Zusammenstellung von Analysen von Gasaustritten anderer niedersächsischer Kaligruben, Blatt 1- 6
Anlage 10	Toxizitätsangaben und sicherheitstechnische Kenngrößen von Schwefelwasserstoff
Anlage 11	Gaszutritte mit hohem H <sub>2</sub> S- Gehalten in deutschen Kali- und Steinsalzgruben, (Zeitraum 1908- 1917)
Anlage 12	Explosionsunfälle im niedersächsischen Kalirevier, Blatt 1 und 2
Anlage 13	Explosionsunfälle im mitteldeutschen und Südharzkalirevier, Blatt 1- 3
Anlage 14	Auswertung Explosionsunfälle in niedersächsischen Kaligruben
Anlage 15	Auswertung Explosionsunfälle im mitteldeutschen und Südharz Kalirevier
Anlage 16	Schutzbereiche und Schutzmaßnahmen von Kali- und Steinsalzgruben Sachsen- Anhalts und Niedersachsens, Blatt 1 und 2
Anlage 17	Volumenströme bei Bläseraustritten bei einem Primärruhedruck von 75 bar
Anlage 18	Auswertung Gas- und Salzlösungszutritte in der Grube Siegfried-Giesen, Bilder 1- 3

## 1 Antrag und Aufgabenstellung

Die K+S Aktiengesellschaft, Kassel, beauftragte mit Schreiben vom 16.08.13 - Bestell- Nr. 6700966240/0061/62 M- den Unterzeichnenden mit der Erarbeitung einer gutachterlichen Stellungnahme zum Auftreten natürlicher brennbarer Gase und zum Umfang von Explosionsschutzmaßnahmen bei der Wiederinbetriebnahme des Kaliwerkes Siegfried- Giesen.

Die Aufgabenstellung beinhaltet im Einzelnen folgende Komplexe:

1. Beurteilung des Auftretens natürlicher brennbarer Gase auf der Grundlage vorliegender betrieblicher Gaskenndaten und geologischer Einschätzungen.
2. Bewertung möglicher Gasaustrittsformen natürlicher brennbarer Gase im Hinblick auf die Freisetzung gefährlicher Mengen brennbarer und ggfs. toxischer Gase.
3. Spezielle Beurteilung des Freisetzens gefährlicher Mengen brennbarer Gase aus den verschiedenen stratigraphischen Horizonten unter Berücksichtigung ihrer regionalen Verteilung und des Auftretens von tektonisch gestörten Bereichen und Anhydrithorizonten.
4. Bewertung möglicher Gasmengen beim Anbohren von Primärbläsern auf der Grundlage der Größe und der Öffnungsweiten der in den verschiedenen Horizonten auftretenden Klüfte und der zu erwartenden maximalen Primärdrücke.
5. Stellungnahme zur Gaszusammensetzung im Hinblick auf die Auslegung explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel zu Grunde zu legenden sicherheitstechnischen Kennzahlen.
6. Anforderungen an die einzusetzenden explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmittel unter Berücksichtigung der ATEX- Vorschriften.
7. Unterbreitung von Vorschlägen über Notwendigkeit und Umfang von Explosionsschutzmaßnahmen einschließlich Festlegung von Zonen bei Erkundungs- und Bemusterungsbohrungen sowie bei Bohrarbeiten und schneidender Gewinnung in Aus- und Vorrichtungsbereichen und Abbauen.

Die Komplexe 5 und 6 der Aufgabenstellung wurden im Teilgutachten 1 vom 04.09.13 [1] ausführlich dargelegt, so dass im Rahmen des Hauptgutachtens nur zusammenfassend darauf eingegangen wird.

## 2 Unterlagen

Der gutachterlichen Stellungnahme liegen vor allem zu Grunde:

Ergebnisse von Beratungen und Befahrungen der Kaliwerke Siegfried- Giesen und Sigmundshall

Betriebliche Ausarbeitungen über Gas- und Salzlösungsvorkommen im Kaliwerk Siegfried- Giesen [2]

Technische Daten des Kaliwerkes Siegfried- Giesen [3,5]

Technische Daten des Kaliwerkes Sigmundshall einschließlich Schutzkonzept bei Gefährdung durch Schwefelwasserstoff [4]

Gasaustrittsstatistiken vergleichbarer Kali- und Steinsalzgruben im Hinblick auf Zusammensetzung und Herkunft der Gase

Untersuchungsberichte, Dissertationen und Veröffentlichungen zum Auftreten brennbarer Gase und zu Explosionsschutzmaßnahmen in Kali- und Steinsalzgruben der ehemaligen DDR

Bergbauverordnungen, Explosionsschutzrichtlinien sowie allgemeine Normen und Regeln des Explosionsschutzes.

### **3 Geologische und betriebliche Verhältnisse**

#### **3.1 Geologische Verhältnisse**

Bei der Lagerstätte des Kaliwerkes Siegfried- Giesen handelt es sich um einen Diapir mit einer rundlichen Grundfläche von ca. 16 km<sup>2</sup> [2]. Der durch den Aufstieg des Zechsteinsalzes komplizierte Aufbau des Salzstockes Sarstedt (Werk Siegfried- Giesen) bewirkte, dass mit der übrigen Zechstein- Schichtenfolge auch die beiden Kaliflöze (Kaliflöz Staßfurt K2 und Kaliflöz Ronnenberg K3) verfaultet und steilgestellt wurden (steile Lagerung). Durch diese Deformation wurden die Flöze ausgedünnt oder angestaut, so dass sich nicht bauwürdige und bauwürdige Bereiche, d.h. die sogenannten Lager gebildet haben. Nach dem derzeitigen Erkundungsgrad betragen die Hartsalzvorräte in diesen Lagern mehr als 80 Mio. t.

Anlage 1 zeigt den stratigraphischen Aufbau und die Schichtmächtigkeiten des Zechsteins im Salzstock Sarstedt [2].

Als Speicherreservoir für Gase und Salzlösungen (Laugen) gelten vor allem klüftige Gesteine wie Tonsteine/ Karbonate und Anhydrite. Für den Salzstock Sarstedt handelt es sich in erster Linie um den Hauptanhydrit (A3) mit Mächtigkeiten von 30 m - 50 m sowie den oberen Teil des grauen Salztonnes (T3), den Deckanhydrit (A2r), das Anhydritmittelsalz (Na3h) mit zwei ca. 1 m mächtigen Anhydritmitteln und den 1m bis 2 m mächtigen Pegmatitanhydrit (A4). Potenzielle Wegsamkeiten für Salzlösungen und Gase bestehen grundsätzlich auf Klüften sowie auf Trennflächen wie Schnitten [2]. Dies gilt besonders für den Abschnitt Deckanhydrit (A2r), Grauer Salzton (T3), Hauptanhydrit (A3) wie die im nächsten Hauptabschnitt dargelegte Verteilung der bisherigen Gas- und Salzlösungsvorkommen in den einzelnen stratigraphischen Horizonten zeigt. In diesen Horizonten können korrespondierende Kluftsysteme über größere Distanzen auftreten und entsprechende Wegsamkeiten für Gase und Salzlösungen bilden. Nach Holländer [2] ist bei Wiederaufnahme der Aus- und Vorrichtung sowie der Abbautätigkeit insbesondere in den Lagern 16 und 17 mit solchen petrographisch bedingten Klüften und damit dem Auftreten von Gasen und Salzlösungen zu rechnen. Neben diesen petrographisch bedingten Klüften in den Anhydrit-Horizonten können auch in allen stratigraphischen Schichten einzelne oder gescharte Klüfte und Schnitte auftreten.

Es handelt sich dabei entweder um steilstehende "kryogene Klüfte" oder Press- und Zerrklüfte. Letztere sind auf Grund der verschiedenen geologischen Eigenschaften der Salinargesteine bei der Salzstockbildung entstanden. Kryogene Klüfte sind vermutlich durch die Einwirkung von Permafrost gebildet worden. Nach Holländer [2] sind kryogene Klüfte vor allem im oberen Bereich des Salzstockes von der 353 m- Sohle mindestens bis zur 500 m- Sohle verbreitet.

#### **3.2 Betriebliche Verhältnisse**

Das Kaliwerk Siegfried- Giesen baute ca. 80 Jahre bis 1987 im wesentlichen Hartsalz und untergeordnet Steinsalz des Salzstockes Sarstedt ab. Nach Einstellung der Förderung wurden die übertägigen Fabrikanlagen abgerissen. Das Kaliwerk galt seit dieser Zeit als Reservebergwerk [3]. Der Grubenbetrieb besteht heute aus dem bis 1987 aufgefahrenen Grubengebäude mit den 4 Schachtanlagen Siegfried- Giesen, Fürstenhall, Glückauf- Sarstedt und Rössing- Barnten. Es wurden Hauptsohlen im Niveau 400 m, 550 m, 650 m, 750 m, 850 m und 1050 m Teufe aufgefahren.

Die anstehenden Kalisalze sollen auch zukünftig wie in den anderen niedersächsischen Gruben mit steilstehenden Kaliflözen mittels des Abbaufahrens Weitungsbaue mit Versatz gewonnen werden. Das Abbaufahren beinhaltet den Abbau eines Lagerstättenteils zwischen zwei vertikal etwa 200 m

voneinander entfernten Hauptsohlen (Ausrichtungsstrecken). Die Vorrichtung des Abbaublockes beginnt mit der maschinellen Herstellung senkrechter bzw. fast senkrechter Roll- und Wetterlöcher (Durchmesser max. 2,5 m) zwischen den 2 Hauptsohlen durch Pilotbohrungen und Erweiterungsbohrungen mittels Kernringräummaschine [4]. Danach erfolgt die Auffahrung der Wendelstrecke (Querschnitt ca. 30 m<sup>2</sup>) durch Bohr- und Sprengarbeit oder mittels Teilschnittmaschine. Von der Wendelstrecke aus werden in einem senkrechten Abstand von 16 m- 20 m voneinander die Teilsohlen zwischen den beiden Hauptsohlen durch Bohr- und Sprengarbeit aufgefahren. Danach erfolgt die Abbauphase durch Hereingewinnung des zwischen den Teilsohlen anstehenden Kalisalzes durch Strossen mittels Bohr- und Sprengarbeit. Das Strossen wird dabei von den unteren Teilsohlen zu den oberen Teilsohlen vorgenommen, so dass das Haufwerk von jeder Strosse bis zum tiefsten Niveau im Abbau herabfallen kann. Von dort wird über speziell aufgefahrene Ladeorte das gewonnene Hartsalz mittels Fahrlader abtransportiert. Nach dem Leerfördern eines Abbauabschnittes wird dieser von oben über Rolllöcher mit Fabrikrückständen oder Steinsalz versetzt. Im Vorfeld der Abbauauffahrungen erfolgt eine Erkundung der einzelnen Abbaulager durch Explorations- und Naherkundungsbohrungen [5].

## 4 Auftreten von natürlichen Gasen im Kaliwerk Siegfried- Giesen

Es erfolgt eine Bewertung der bisherigen bei Erkundungsbohrungen und Bohrungen in Gewinnungsbereichen des Kaliwerkes Siegfried- Giesen registrierten Bläser- und Gas/ Salzlösungs- Austritte sowie im Hinblick auf gleiche Wegsamkeiten auch der aufgetretenen Salzlösungsaustritte. Darüber hinaus wird Stellung genommen zu weiteren Formen des Freisetzens von natürlichen Gasen bei Bohrarbeiten und in Gewinnungsbereichen und ihre sicherheitstechnische Relevanz. In Bezug auf die Zusammensetzung der Bläsergase ist neben der Beurteilung der Brennbarkeit der Austrittsgase das vereinzelte Auftreten von Schwefelwasserstoff auf Grund seiner hohen Toxizität von besonderer Bedeutung. Abschließend erfolgt ein Vergleich der Gasaustritte mit Bläseraustritten anderer Kaligruben der Steilen Lagerung in Niedersachsen sowie auch mit produzierenden Kali- und Steinsalzgruben der Flachen Lagerung in Sachsen- Anhalt.

### 4.1 Gasaustrittsformen

Bei den im Kali- und Steinsalzbergbau auftretenden natürlichen brennbaren Gasen kann zwischen 3 Hauptaustrittsformen der Gasfreisetzung unterschieden werden [6, 7].

1. Austritt freier Gase aus dem Gebirge
  - Primärläser
  - Sekundärläser
  - Austritte von Gas in Verbindung mit Salzlösungen
  
2. Austritt gesteinsgebundener Gase ohne Zerstörung des Gesteinsverbandes
  - Stoßausgasung
  - Haufwerksausgasung
  
3. Austritt gesteinsgebundener Gase mit Zerstörung des Gesteinsverbandes
  - Plötzliche Ausbrüche von Gas und Salz
  - Gasfreisetzung durch primäre natürliche Gesteinszertrümmerung (großflächige Firstfälle)
  - Gasfreisetzung durch Gewinnungsarbeiten

Nachstehend wird auf die einzelnen Gasaustrittsformen und ihre sicherheitstechnische Relevanz für das Kaliwerk Siegfried- Giesen näher eingegangen.

- Primärbläser, d.h. das Freisetzen hochgespannter Kluftgase stellen auch in der Grube Siegfried- Giesen wie in anderen durch brennbare Gase gefährdete Kali- und Steinsalzgruben die aus explosionsschutztechnischer Sicht bedeutsamste Gasaustrittsform dar. Sie werden vornehmlich bei Bohrarbeiten (Erkundungsbohrungen, Gewinnungsbohrungen) freigesetzt, können aber auch beim Sprengen und bei schneidender Gewinnung auftreten. Bei den bisher in der Grube Siegfried- Giesen registrierten Gas- und Gas/ Salzlösungs- Austritten handelt es sich wie aus den Anlagen 2 und 3 ersichtlich ist ausschließlich um bei Bohrarbeiten aufgetretene Primärbläser. Die beim Anbohren von Primärbläsern freiwerdenden möglichen Anfangsvolumenströme werden in entscheidendem Maße von der Kluftspaltweite und der Höhe des Primärruhedruckes des Kluftgases bestimmt. Kennzeichnend für Primärbläser ist die rasche Druck- und Volumenstromabnahme mit fortschreitender Blasdauer. Die in tektonischen Klüften eingeschlossenen Gase stehen in den meisten Fällen unter Primärruhedrücken, die den der jeweiligen Teufe zuordenbaren hydrostatischen Druck nicht übersteigen. Vereinzelt wurden in mehreren Kali- und Steinsalzgruben (Bischofferode, Sollstedt, Bernburg) bei Erkundungsbohrungen Ruhedrucke festgestellt, die erheblich höher waren als der zuordenbare hydrostatische Druck [8]. Bei allen diesen Feststellungen handelt es sich um kleine lokale Kluftvolumina im Salinar (Na<sub>2</sub>, Na<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>). Ob im Kaliwerk Siegfried- Giesen Bläseraustritte bei extrem hohen Primärruhedrücken aufgetreten sind, lässt sich aus der Bläserstatistik nicht erkennen.
- Sekundäraustritte sind gekennzeichnet durch nicht unmittelbar beim Bohren auftretende, in der Regel schwache Langzeitgasaustritte. Der Austritt erfolgt durch gebirgsdruckbedingtes allmähliches Öffnen von Verbindungswegen infolge Abbaueinwirkungen zu nicht direkt mit den Grubenbauen in Verbindung stehenden gasgefüllten Klüften. In der Regel liegt der austretende Volumenstrom nicht über 1 m<sup>3</sup>/ min. Besonders gefährlich sind Sekundärgasaustritte in unbewetterten Grubenbauen, wo sie zur Bildung von großen Gasansammlungen führen können. Ein Großteil der im Kalibergbau aufgetretenen Schlagwetterzündungen sind auf solche Gasansammlungen zurückzuführen [9]. Dies trifft besonders für das Südhartzkalirevier zu. In den niedersächsischen Gruben sowie auch in den Gruben Zielitz und Bernburg sind Sekundärgasaustritte weitgehend unbekannt. Austritte von Gas in Verbindung mit Salzlösungsaustritten stellen eine für die Grube Siegfried- Giesen relativ häufig auftretende Gasaustrittsform dar (vgl. Anlage 3). Die Gase treten dabei gemeinsam mit Salzlösungen oft pulsierend auf. Des Weiteren gibt es, wie aus anderen Kali- und Steinsalzgruben bekannt, Austritte von Gas mit sich anschließenden Austritten von Salzlösungen.
- Stoßausgasung und Haufwerksausgasung d.h. Freisetzen mineralgebundener Gase aus dem Haufwerk und aus frisch freigelegten Stößen spielt aus sicherheitstechnischer Sicht in der Grube Siegfried- Giesen keine bzw. nur eine untergeordnete Rolle. Da solche Ausgasungsvorgänge zeitlich auf mehrere Minuten bis max. 1 Stunde befristet sind, können für bewettete Grubenbaue Ansammlungen von brennbaren Gasen ausgeschlossen werden.

Gassalzausbrüche sind aus der Grube Siegfried- Giesen wie auch aus anderen niedersächsischen Gruben der steilen Lagerung nicht bekannt. Auch Gasfreisetzungen mineralgebundener Gase durch Gesteinszertrümmerung bei großflächigen Zusammenbrüchen wie sie z. B. im Kaliwerk Bleicherode 1983 zu einer Schlagwetterexplosion führten [10] sind aus dem Kaliwerk Siegfried- Giesen unbekannt. Ein Auftreten großflächiger Zusammenbrüche ist auf Grund des angewandten Abbauverfahrens mit Versatz unwahrscheinlich.

Auch die Freisetzung von Gasen durch Gesteinszertrümmerung beim Sprengen und bei der schneidenden Gewinnung führt auf Grund des wie in anderen Gruben festgestellten meist sehr geringen Gasgehaltes von Sylvinit und Hartsalz nicht zur Bildung von gefährlichen Gas/ Luft- Gemischen in bewetterten Grubenbauen. Dies gilt nicht, wenn durch das Sprengen gasgefüllte größere Kluftsysteme freigelegt wurden.

## 4.2 Gas- und Salzlösungsaustritte im Kaliwerk Siegfried- Giesen

Im Kaliwerk Siegfried- Giesen wurden in den ca. 80 Jahren Betriebsdauer mehr als 200 Zutritte von Gasen, Gasen zusammen mit Salzlösungen und reinen Salzlösungen registriert. Nach Angaben von Holländer [2] führte dies z. T. zu erheblichen Einschränkungen in der Gewinnung und erhöhten sicherheitstechnischen Aufwendungen.

Wie aus Anlage 18 Bild 1 ersichtlich ist, handelt es sich bei der überwiegenden Anzahl der Austritte um Salzlösungszutritte (86 %). Der Anteil an Gaszutritten und Gas/ Salzlösungs-Zutritten beträgt hingegen nur jeweils 7 %. Auf die Salzlösungszutritte soll in diesem Zusammenhang nur in Bezug auf Ausgangsdaten eingegangen werden die für die Austritte von Bläsegasen von Bedeutung sind. So lassen sich aus den Salzlösungs- Schüttungsraten (l/ min) in grober Näherung Hinweise auf die Öffnungsweiten der Klüfte ableiten.

Von den 55 Salzlösungszutritten, bei denen die Schüttungsraten erfasst wurden, lag die Schüttungsrate bei 53 % der Austritte bei  $\leq 1$  l/ min. Dies deutet auf eine geringe Wegsamkeit der Austrittsklüfte sowie bei Vernachlässigung der Schwankungen der Primärrohdrücke in den einzelnen Salzlösungsreservoirs auf geringe Klüftöffnungsweiten ( $< 1$  mm) bei der Mehrzahl der Laugenzutritte hin. Große Klüftöffnungsweiten dürfen bei den 9 Salzlösungs-austritten (16 %) mit Schüttungsraten von  $> 10$  l/ min vorgelegen haben. Die Gasausschüttungsmengen der diesbezüglich erfassten Salzlösungs- Austritte lag zwischen  $< 1$  m<sup>3</sup> und  $> 100$  m<sup>3</sup>. Auch die Dauer der Salzlösungsaustritte weist eine Bandbreite von wenigen Minuten bis zu mehreren Jahren auf.

Bei den Salzlösung- Austritten würden in Bohrlöchern max. 60 bar in der Regel kleiner 30 bar

d.h. weniger als der hydrostatische Druck gemessen. Die Druckmessungen erfolgten dabei meist erst Stunden bis Tage nach Beginn des Lösungsaustrittes, so dass der ursprüngliche Primärrohdruck höher, z.T. bis in die Größenordnung des hydrostatischen Druckes, gelegen haben dürfte.

Anlage 2 zeigt eine Zusammenstellung der im Kaliwerk Siegfried- Giesen während der 80- jährigen Betriebsdauer registrierten 14 Gaszutritte. Analog sind in Anlage 3 die im gleichen Zeitraum registrierten 15 Gas/ Salzlösungszutritte zusammengestellt. Auf Grund der ungleichmäßigen zeitlichen Zuordnung der Gas- und Gas/ Salzlösungszutritte - so wurden z. B. für einen Zeitraum von 30 Jahren Betriebszeit (1922- 1952) keine Zutritte in den Statistiken ausgewiesen- ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Anzahl der im Kaliwerk Siegfried- Giesen aufgetretene Anzahl höher lag. Unter Zugrundelegung der insgesamt registrierten 29 Zutritte ergibt sich für das Kaliwerk Siegfried- Giesen eine Gashäufigkeitsquote von 0,36 Gas- und Gas/ Salzlösungszutritte pro Jahr. Für die letzten 35 Jahre Produktionszeitraum (1952- 1987) wurden insgesamt 33 Gas- und Gas/ Salzlösungsaustritte registriert. Daraus ergibt sich für diesen Zeitraum eine wesentlich realistische Gashäufigkeitsquote von ca. einem Austritt pro Jahr. Im Vergleich mit anderen brenngasgefährdeten Kali- und Steinsalzgruben ist die Quote als sehr gering einzuschätzen. So betrug die Quote in den produzierenden Gruben Zielitz und Bernburg ca. 5 Bläser pro Jahr, in der Grube Braunschweig- Lüneburg ca. 1 Bläser/ a. In den in den Anfang der 90er Jahre stillgelegten Südharz- Kaligruben lag die Quote zwischen 10 und 20 Bläsern/ Jahr. In der Kaligrube Bischofferode der brenngasgefährdetsten Grube Deutschlands betrug sie mehr als 500 Bläser pro Jahr [9]. In dem hinsichtlich des Abbaus in der Steilen Lagerung vergleichbaren Kaliwerk Sigmundshall sind im Zeitraum 1980- 2013 (33 Jahre) 20 Gaszutritte und 12 Salzlösungszutritte mit Gas aufgetreten, d. h. die Gashäufigkeitsquote liegt bei ca. einem Gaszutritt pro Jahr.

Die Auswertung der Gas- und Gas- Salzlösungszutritte im Kaliwerk Siegfried- Giesen zeigt, dass ca. 90 % aller Austritte direkt oder indirekt dem Hauptanhydrit (A3) bzw. dem Schichtenkomplex Hauptanhydrit (A3), Grauer Salzton (T3) und Deckanhydrit (A2r) entstammen.

Von den ausschließlichen Gaszutritten (vgl. Anlage 2) wurde je ein Zutritt im Kaliflöz Ronnenberg (K3RoH) und im Aller- Steinsalz (Na4) angetroffen. Anlage 18 Bild 2 zeigt die von Holländer [2] vorgenommene Auswertung aller in der Grube Siegfried- Giesen aufgetretenen 209 Gas- und Salzlösungsvorkommen bezüglich ihres stratigraphischen Zutrittschizonts. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass bei den Salzlösungszutritten neben den dominierenden Austritten aus dem Komplex A2r- A3 (40) auch eine erhebliche Anzahl aus den Kaliflözen Staßfurt (16) und Ronnenberg (19) stammt. Diese Feststellung unterstreicht, dass auch potenzielle Wegsamkeiten (Klüfte, Schnitte) für Gase in den AbbauhORIZONTEN gegeben sind. Der Hauptteil (70 %) der reinen Gaszutritte wurden beim Sprenglochbohren und Vorbohren auf den Hauptanhydrit angetroffen. Nur ca. 30 % der Gaszutritte traten bei Erkundungsbohrungen auf. Bei den Gas- Salzlösungszutritten dominierten hingegen die Untersuchungsbohrungen mit ca. 60 %. Gasdrücke und die austretenden Gasmengen konnten nur selten bestimmt werden. Bei Gas- Salzlösungszutritten aus Erkundungsbohrungen wurden Drücke von max. 22 bar (Bereich 750 m- Sohle) gemessen. Diese Drücke entsprechen nicht dem max. Primärdruck des Gasreservoirs, da sie nicht unmittelbar gemessen wurden. Auch die mittels Gasuhr beim Gasaustritt SLV- Nr. 79 aus einer Vorbohrung ermittelte Gasmenge von 23 l/ min ist in keiner Weise repräsentativ für die Anfangsgasmengen beim Anbohren eines heftigen Bläfers. Die Dauer der Gaszutritte betrug in der Regel mehrere Minuten bis einige Tage. Im Extremfall wurden Austrittszeiten von 400 Tagen (SLV- Nr. 4d) bzw. von 200 Tagen (SLV- Nr. 77) angegeben. Die bei den Langzeitgasaustritten auftretenden Gasraten (l/ min) waren, außer in der Anfangsphase der Bläser jedoch sehr gering.

Die Verbreitung der Gas- und Salzlösungsvorkommen erstreckt sich vertikal über die bisher aufgefahrenen Sohlen des Salzstockes und horizontal über die gesamte Fläche der Lagerstätte.

In Anlage 18 Bild 3 wurden von Holländer [2] die vertikale Verteilung der Gas- und Salzlösungsvorkommen in Bezug auf die aufgefahrenen Hauptsohlen dargestellt.

Die Gasvorkommen traten verstärkt im Bereich der 750 m- Sohle aber auch auf der 400 m- Sohle, der 650- der 850- und der 1050 m- Sohle auf. Gas- und Gas- Salzlösungszutritte wurden nur im Bereich Siegfried- Giesen/ Fürstenhall nicht jedoch im Bereich Rössing- Barnten festgestellt. Die von besonderer sicherheitstechnischer Relevanz aufgetretenen H<sub>2</sub>S- haltigen Gaszutritte ereigneten sich in Lager 6 (850 m- Sohle) sowie in den Lagern 4 und 16 im Bereich der 750 m- Sohle [2]. Der bedeutendste Gasaustritt mit gefährlichen H<sub>2</sub>S- Anteilen von 1,5 Vol % erfolgte bei der Streckenauffahrung im Flöz Ronnenberg ebenso wie der im Werk Sigmundshall 2012 einem tödlichen Unfall verursachte Gaszutritt mit hohen H<sub>2</sub>S- Anteilen (5,4 Vol %).

#### **4.3 Zusammensetzung der Austrittsgase im Kaliwerk Siegfried- Giesen**

Von den im Kaliwerk Siegfried- Giesen registrierten 14 Gaszutritten liegen von 9 Gaszutritten Analysen vor. Bei den 15 Gas- Salzlösungszutritten wurden nur bei 3 Zutritten Gase analysiert, wobei bei einer Analyse eine Zusammensetzung von Luft ausgewiesen wurde. In den Anlagen 2 und 3 sind die auf betrieblichen Statistiken [19] basierenden Analysenergebnisse für die entsprechenden Gas- und Gas/ Salzlösungszutritte zusammengestellt.

Da natürliche in den Schichten des Zechsteins eingeschlossene Gase, d.h. sowohl freie auf Klüften befindliche Gase als auch mineralgebundene Gase, grundsätzlich luftfrei sind, erfolgte bei Analysen bei dem Sauerstoff festgestellt wurde eine Umrechnung auf Luftfreiheit nach folgenden Formeln:

$$r_M' = 100 \cdot r_M / 100 - 4,76 \cdot r_o \quad (1)$$

$$r_N' = 100(r_N - 3,76 \cdot r_o) / 100 - 4,76 \cdot r_o \quad (2)$$

$r_M$  - Anteil der einzelnen Gaskomponenten im Austrittsgas mit Ausnahme von  $O_2$  und  $N_2$  in Vol %

$r_N$  - Stickstoffanteil des Austrittsgases in Vol %

$r_o$  - Sauerstoffanteil des Austrittsgases in Vol %

$r_M'$  - auf Luftfreiheit korrigierter Anteil der einzelnen Gaskomponenten des Austrittsgases in Vol %

$r_N'$  - auf Luftfreiheit korrigierter Anteil des Stickstoffgehaltes des Austrittsgases in Vol %

Die auf Luftfreiheit umgerechneten Analysenwerte sind in den Anlagen 2 und 3 als Klammerwerte angegeben. Für die Bewertung der Gaszusammensetzung wurde grundsätzlich von den auf Luftfreiheit umgerechneten Werten ausgegangen.

Für das Kaliwerk Siegfried- Giesen ist charakteristisch, dass die analysierten Gase neben hohen Stickstoffgehalten z. T. auch hohe Wasserstoffgehalte und nur relativ geringe Methananteile aufwiesen.

- Alle 9 analysierten Proben von Gaszutritten wiesen Wasserstoffgehalte auf, wobei der Anteil bei 6 Proben (67 %) zwischen 14 Vol % und 49 Vol % und bei 3 Proben (33 %) unter 10 Vol % lag.
- Die beiden Proben aus Gas- Salzlösungszutritten wiesen keinen Wasserstoff jedoch Methananteile zwischen 1 und 5 Vol auf.
- Methangehalte bei den Analysen von Gaszutritten lagen bis auf eine Probe nur im einstelligen Prozentbereich (2- 7 Vol%).
- Von sicherheitstechnisch besonderer Bedeutung ist auf Grund seiner Toxizität die Feststellung von  $H_2S$  bei Proben von 3 Gaszutritten und einem Gas- Salzlösungszutritt. Bei 2 im Jahre 1978 aufgetretenen Gaszutritten im Lager 6 und im Lager 16 wurden  $H_2S$ -Konzentrationen von 1,5 Vol % bzw. 0,15 Vol % ausgewiesen. Bei den anderen beiden Proben liegen keine Konzentrationsangaben vor.

#### 4.4 Bewertung der Austrittsgase

Zur Beurteilung der Brennbarkeit, d.h. der Explosionsfähigkeit von Brenngas- Inertgas- Gemischen bei Zutritt von Luft, dienen die sogenannten Brennbarkeitsgrenzen. Unter dem nicht standardisierten Begriff Brennbarkeitsgrenze ist die Brenngaskonzentration eines Brenngas/ Inertgas- Gemisches zu verstehen bei dessen Vermischung mit Luft keine Bildung explosionsfähiger Gemische mehr möglich ist. In Anlage 4 sind die von verschiedenen Autoren angegebenen Brennbarkeitsgrenzen von Brenngas/ Stickstoffgemischen und Brenngas/Kohlendioxid- Gemischen für im Kali- und Steinsalzbergbau auftretenden Brenngase zusammengestellt. Danach unterscheiden sich die Angaben aus älterer Literatur [11, 12, 13] z.T. erheblich von Werten aus neuerer Literatur [14, 15]. So liegt z.B. die Brennbarkeitsgrenze von Methan/Stickstoffgemischen nach neueren Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialforschung und – prüfung (BAM), 2008 [14] bei 8,7 Vol % gegenüber 14 bzw. 14,3 Vol % nach Angaben von Redeker, 1991 [12] und ISO 10156, 1996 [13].

Aus der Anlage ist ersichtlich, dass Kohlendioxid einen höheren Inertisierungsgrad aufweist als Stickstoff. Die Brennbarkeitsgrenzen von Brenngas/ CO<sub>2</sub>- Gemischen liegen ca. 50 % über den Brennbarkeitsgrenzen von Brenngas/ N<sub>2</sub>- Gemischen. Des Weiteren ist aus der Tabelle zu ersehen, dass die Brennbarkeitsgrenzen von Methan/ Inertgas- Gemischen ca. doppelt so hoch sind, wie die Brennbarkeitsgrenzen von Wasserstoff- und höheren Kohlenwasserstoff/ Inertgas- Gemischen.

Bei Bläsergasen mit mehreren Brenngaskomponenten lassen sich die Brennbarkeitsgrenzen der Brenngasgemische in grober Näherung nach der Beziehung von Le Chatelier abschätzen.

$$BG_G = \sum c_i / \sum c_i / BG_i \quad (3)$$

BG<sub>G</sub> - Brennbarkeitsgrenze des Brenngasgemisches in Vol %

c<sub>i</sub> - Anteil der Brenngaskomponente im Austrittsgas in Vol %

BG<sub>i</sub> - Brennbarkeitsgrenze der Brenngaskomponente in Vol %

Der Beurteilung der Brennbarkeit von Gaszutritten im Kali- und Steinsalzbergbau wurde entsprechend den Empfehlungen der BAM die in den neueren Standardwerken des Explosionsschutzes [14, 15] angegebenen Brennbarkeitsgrenzen zugrunde gelegt. Für die in dem Kaliwerk Siegfried- Giesen auftretenden Gasgemische mit den Hauptkomponenten Stickstoff, Wasserstoff und Methan ist auf Grund des hohen Wasserstoffgehaltes von einer Brennbarkeitsgrenze von 5,5 Vol % auszugehen; d.h. alle Gaszutritte mit Gehalten an Wasserstoff und Methan > 5,5 Vol % sind als explosionsfähig einzustufen. Danach sind von den analysierten 9 Proben der Gaszutritte 8 Proben als explosionsfähig zu werten. Unter der Maßgabe, dass die Gaszutritte nahezu in allen Hauptsohlenbereichen sowie in einer Vielzahl der Lager erfolgten, muss mit Explosionsgefährdungen durch austretende Gase in allen Feldesteilen gerechnet werden.

Zur explosionstechnischen Bewertung der Austrittsgase, d.h. der Explosionsfähigkeit, der Zündbedingungen und der Explosionswirkungen dienen sicherheitstechnische Kennzahlen.

Wesentliche sicherheitstechnische Kennzahlen sind:

- Für die Charakterisierung der Bildung explosionsfähiger Gemische die Explosionsgrenzen sowie die oben ausführlich dargelegten Brennbarkeitsgrenzen,
- für die Charakterisierung der Zündung explosionsfähiger Gemische die Zündtemperatur, Mindestzündenergie und Grenzspaltwerte und
- für die Charakterisierung der Explosionswirkung der maximale Explosionsdruck.

In Anlage 5 sind für die im Kali- und Steinsalzbergbau festgestellten Brenngaskomponenten die genannten sicherheitstechnischen Kennzahlen zusammengestellt. Nachstehend wird eine Interpretation einiger wichtiger sicherheitstechnischer Kennzahlen unter dem Aspekt der Beeinträchtigung durch für den Steinsalz- und Kalibergbau spezifische Einflussfaktoren vorgenommen.

#### - **untere Explosionsgrenze**

Die Ermittlung der unteren Explosionsgrenze der Austrittsgase kann mit genügender Genauigkeit nach der Formel von Le Chatelier vorgenommen werden. Für die im Kaliwerk Siegfried- Giesen aufgetretenen Gaszutritte ist auf Grund der gegenüber Wasserstoff wesentlich geringeren Anteile an Methan sowie dem Fehlen von höheren Kohlenwasserstoffen die untere Explosionsgrenze von Wasserstoff von 4,0 Vol % zu Grunde zu legen.

– **Mindestzündenergie**

Die Mindestzündenergie von Wasserstoff liegt, wie aus Anlage 5 ersichtlich ist, über eine Zehnerpotenz niedriger als von Kohlenwasserstoffen. Daraus resultiert, dass durch elektrostatische Entladungen sowie auch durch mechanische Funken Wasserstoff sich leichter entzünden lässt als Kohlenwasserstoffe.

– **Zündtemperatur**

Die Zündtemperatur von Gasgemischen wird maßgeblich von der Komponente mit der niedrigsten Zündtemperatur beeinflusst. Wie aus Anlage 5 ersichtlich ist, liegen die Zündtemperaturen der in der Grube Siegfried- Giesen auftretenden Brenngase Wasserstoff mit 560 °C und Methan mit 595 °C erheblich über der Grenzzündtemperatur der Temperaturklasse T1 (vgl. Anlage 6). Die sehr geringen Anteile von Schwefelwasserstoff in einigen Austrittsgasen führen zu keiner Zündtemperaturabsenkung unterhalb der Grenzzündtemperatur von 450 °C der Temperaturklasse T1. Das gleiche gilt für in Zukunft nicht auszuschließende geringe Anteile an höheren Kohlenwasserstoffen.

In der Grube Siegfried- Giesen einzusetzende explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel müssen wie in allen anderen Kali- und Steinsalzgruben Deutschlands nur den Anforderungen der Temperaturklasse T1 genügen.

– **Grenzspaltweite**

Die für die Gestaltung explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel bedeutsame Kennzahl Grenzspaltweite (Schutzarten druckfeste Kapselung, Eigensicherheit) ist für Wasserstoff wesentlich geringer als für Kohlenwasserstoffe (vgl. Anlage 5). Die in den natürlichen Gasen enthaltenen Inertgasanteile bewirken eine Erhöhung der Grenzspaltweite.

Auf die Bestimmung der Grenzspaltweiten für Gasgemische bestehend aus den Brenngasen Wasserstoff und Methan sowie dem Inertgas Stickstoff wurde ausführlich im Teilgutachten 1 vom 04.09.13 [1] zu diesem Gutachten Stellung genommen. Danach ergeben sich auf der Grundlage von Berechnungen sowie den in Anlage 7 dokumentierten Ergebnissen experimenteller Untersuchungen an der IBExU GmbH für die Gaszusammensetzungen der in der Grube Siegfried- Giesen aufgetretenen Gaszutritte Grenzspaltweiten > 0,5 mm, für einen Teil der Gaszusammensetzungen sogar > 0,9 mm. Die Austrittsgase sind gemäß Anlage 6 somit der Explosionsgruppe IIA und in geringem Umfang der Explosionsgruppe IIB zuzuordnen. Es wird aus sicherheitstechnischer Sicht empfohlen grundsätzlich alle in der Grube Siegfried-Giesen einzusetzenden explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmittel der Zündschutzarten "druckfeste Kapselung" und "Eigensicherheit" in der Explosionsschutzgruppe IIB auszuführen.

#### 4.5 Vergleich der Gasführung mit anderen Kali- und Steinsalzwerken

Der Vergleich der Gasführung des Kaliwerkes Siegfried- Giesen erfolgte vor allem mit Kali- und Steinsalzgruben der Steilen Lagerung in Niedersachsen, insbesondere des in Betrieb befindlichen Kaliwerkes Sigmundshall und des Steinsalzwerkes Braunschweig Lüneburg (vgl. Anlage 8). Darüber hinaus erfolgte ein Vergleich mit im Betrieb befindlichen Gruben der Flachen Lagerung in Sachsen- Anhalt (Kaliwerk Zielitz, Steinsalzwerk Bernburg).

Der Gegenüberstellung liegen Angaben zugrunde über:

- Gasaustrittsformen
- Gasaustrittshorizonte
- Zusammensetzung der Austrittsgase
- Häufigkeit und Heftigkeit der Gasaustritte
- Auftreten der Primärrohdrücke bei den Gaszutritten und
- Austritte bei verschiedenen Bohrarbeiten

Auf das Auftreten von Schwefelwasserstoff wird unter Einbeziehung von H<sub>2</sub>S- Austritten auch in anderen Kali- und Steinsalzgruben in einem gesonderten Abschnitt eingegangen.

Folgendes ist festzustellen:

1. Gasaustrittsformen

In allen betrachteten in der Leine- Folge bzw. in der steilen Lagerung auch in der Staßfurt- Folge bauenden Gruben ist aus sicherheitstechnischer Sicht vor allem das Auftreten von Primärbläs-ern von Bedeutung. Sekundäraustritte wie sie im Südharz- Kalirevier Ursache mehrerer schwerer Schlagwetterexplosionen waren, sind aus den Gruben nicht bekannt. Die Freisetzung mineralgebundener Gase führte mit Ausnahme eines großen Gas- Salz- Ausbruches in einem stark gestörten Bereich im Kaliwerk Zielitz 2007 [17] zu keinen gefährlichen Gasansammlungen. Der Gehalt an mineralgebundenen Gasen ist in der Leine- Folge in der Regel sehr gering. In den Gruben der steilen Lagerung liegen dazu keine Untersuchungsergebnisse vor.

2. Gasaustrittshorizonte

Die Gasaustritte entstammen in allen betrachteten Gruben vornehmlich direkt dem Hauptanhydrit (A3). Im Kaliwerk Zielitz ist ein Großteil der Austritte dem Anhydritmittel 1 (am 1) zuzuordnen. Die angetroffenen Gase in den Abbauhorizonten (K3Ro, Na3, K2) sind zum größten Teil aus dem A3 in die Gewinnungshorizonte eingewandert. Das gilt z. B. für die relativ häufigen Gaszutritte beim Strossen in der Steinsalzgrube Bernburg besonders bei wall- bzw. klippenförmigen Anstauungen des Hauptanhydrits.

3. Gaszusammensetzung

Hinsichtlich der Gaszusammensetzung von Klufthgasen gibt es erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Gruben. Die mit der Grube Siegfried- Giesen vergleichbaren Gruben der Steilen Lagerung Sigmundshall, Salzdetfurth (1992 stillgelegt) und Niedersachsen- Riedel (1996 stillgelegt) wurde in Anlage 9 eine Zusammenstellung von Analysen von Gaszutritten vorgenommen. Die Anlage enthält für die Grube Sigmundshall auf der Grundlage betrieblicher Gasstatistiken [18] alle bisher registrierten Gaszutritte mit den entsprechenden auf Luftfreiheit umgerechneten Analysenergebnissen. Für die stillgelegten Kaligruben Salzdetfurth und Niedersachsen- Riedel lagen nur wenige Angaben zu Gaszutritten und zur Zusammensetzung der Austrittsgase vor [20].

Nachstehend wird eine Bewertung der Gaszusammensetzung der einzelnen Gruben vorgenommen:

- Brennbarkeit der Austrittsgase
  - In der Grube Siegfried- Giesen waren 8 von 11 Austrittsgasen (73 %) brennbar.
  - In der Grube Sigmundshall waren hingegen nur 4 von 18 Austrittsgasen (22 %) brennbar.
  - Von den analysierten Gaszusammensetzungen der stillgelegten Gruben Salzdetfurth und Niedersachsen- Riedel waren ca. die Hälfte brennbar.
  - In der Grube Braunschweig- Lüneburg waren über 90 % der 52 analysierten Austrittsgase brennbar [21].
  - In der Grube Zielitz waren über 90 % der analysierten 58 Austrittsgase brennbar [22].
  - Für die Grube Bernburg liegt der Anteil der brennbaren Gaszutritte bei ca. 80 % [23]
  
- Wasserstoffanteile in Austrittsgasen
  - Sicherheitstechnisch relevant sind die Wasserstoffgehalte nur in den Gruben Siegfried- Giesen und Zielitz.
  - In der Grube Siegfried- Giesen wurden bei allen analysierten Proben von Gaszutritten Wasserstoffgehalte festgestellt. Bei 6 von 8 untersuchten Gaszutritten, d.h. bei 75 % lag der Wasserstoffgehalt zwischen 14 Vol % und 49 Vol %.
  - Auch die Proben von Gaszutritten aus der Grube Salzdetfurth wiesen zum überwiegenden Teil Wasserstoffgehalte > 10 Vol % auf.
  - Für die Grube Zielitz werden Wasserstoffanteile in Bläsegasen bis zu 25 Vol % angegeben. Bei 22 von 58 analysierten Bläsegasen (38 %) lag der Wasserstoffgehalt über 10 Vol %. Im Gegensatz zur Grube Siegfried- Giesen ist der Methangehalt in den Bläsegasen der Grube Zielitz meistens höher als der Wasserstoffgehalt [22].
  - Nur sehr geringe Wasserstoffkonzentrationen wurden in Austrittsgasen der Gruben Sigmundshall (< 1 Vol %), Niedersachsen- Riedel ( $\leq$  1 Vol %), Braunschweig- Lüneburg (< 1 Vol %, ein Extremwert 3 Vol %) und Bernburg (< 1 Vol %) festgestellt.

- Methananteile im Austrittsgas
  - Im Kaliwerk Siegfried- Giesen lagen die Methankonzentrationen bis auf eine Ausnahme im einstelligen Bereich und waren in der Regel wesentlich niedriger als die Wasserstoffkonzentrationen.
  - Auch in der Grube Sigmundshall waren die Methangehalte bei über 80 % der Gaszutritte < 10 Vol %.
  - In den Gruben Salzdetfurth und Niedersachsen- Riedel wurden bei ca. einem Drittel der Proben CH<sub>4</sub>- Gehalte > 40 Vol % festgestellt.
  - In der Grube Braunschweig- Lüneburg waren bei 77% der 52 bewerteten Gasaustritte die Methankonzentrationen > 30 Vol % [21].
  - Die Methangehalte in den Bläsegasen der Grube Zielitz lagen bei 35 % der Bläsegase über 20 Vol % und bei 48 % der Gasaustritte zwischen 10 und 20 Vol %. Der höchste CH<sub>4</sub>- Gehalt betrug 47 Vol % [22].
  - In der Grube Bernburg lag der Methangehalt zwischen 1 und 68 Vol %, davon ca. 30 % über 30 Vol % CH<sub>4</sub>. Bei 20 % der Bläser waren die CH<sub>4</sub>- Konzentrationen unterhalb der Brennbarkeitsgrenze [23].
  
- Höhere KW im Austrittsgas
  - In der Grube Siegfried- Giesen wurden in den Analysen keine höheren Kohlenwasserstoffe ausgewiesen.
  - In der Grube Sigmundshall wurden nur sehr geringe Anteile an höheren Kohlenwasserstoffen (≤ 0,1 Vol %) festgestellt.
  - Die Bläsegasanalysen der Gruben Zielitz und Bernburg wiesen hingegen Gehalte an höheren Kohlenwasserstoffen bis 4 Vol % (Zielitz) bzw. bis 6 Vol % (Bernburg) auf [22, 23].
  - In der Grube Braunschweig- Lüneburg lagen die hKW- Anteile unter 1,5 Vol %.
  
- Stickstoff im Austrittsgas
  - Stickstoff stellt in den Bläsegasen aller betrachteten Gruben die Hauptkomponente dar. Der Stickstoffgehalt kann dabei zwischen 40 und 98 Vol % liegen. Besonders hohe Stickstoffanteile weisen die Austrittsgase der Grube Sigmundshall auf [18]. Bei 50 % der Gaszutritte war der Stickstoffgehalt > 90 Vol %.
  
- Kohlendioxid im Austrittsgas
  - Der Kohlendioxidgehalt ist in den Gaszutritten aller betrachteten Gruben sehr gering. In der Grube Siegfried- Giesen wurde in den Analysen max. CO<sub>2</sub>- Gehalte von 1 Vol % ausgewiesen. In der Grube Sigmundshall betrug der CO<sub>2</sub>- Gehalt nur max. 0,1 Vol %. Auch in den Gruben Braunschweig- Lüneburg, Zielitz und Bernburg wurden max. CO<sub>2</sub>- Konzentrationen bis 1 Vol % festgestellt.

#### 4. Häufigkeit und Heftigkeit von Gaszutritten

Auf die Häufigkeit der Gas- und Gas- Salzlösungszutritte der einzelnen Gruben wurde bereits im Abschnitt 4.2 näher eingegangen. Für die Gruben Siegfried- Giesen, Sigmundshall und Braunschweig- Lüneburg wird auf Grund der festgestellten Gashäufigkeitsquoten von  $\leq 1$  Austritt pro Jahr das Auftreten von Gaszutritten als "sehr selten" eingeschätzt. Hingegen ist das Auftreten in den Gruben Zielitz und Bernburg auf Grund der festgestellten Gashäufigkeitsquoten von 5 bzw. 6 Bläsern/ Jahr als "selten" zu bewerten. Berücksichtigt man die unterschiedlichen Förderquoten ergibt sich für die Grube Bernburg eine größere Gasgefährdung als für die Grube Zielitz.

Der Anteil an heftigen Gaszutritten am Gesamtgasaustrittsaufkommen ist in den einzelnen Gruben unterschiedlich. Während er in den Gruben Zielitz, Braunschweig- Lüneburg und Sigmundshall unter 20 % liegt, beträgt er in der Grube Bernburg ca. das Doppelte. Für das Kaliwerk Siegfried- Giesen liegen keine diesbezüglichen Angaben vor. Es wird eingeschätzt, dass der Anteil an heftigen Gaszutritten 20 % nicht überstiegen haben dürfte.

#### 5. Festgestellte Primärrohdrücke

Die in Anlage 8 für die einzelnen Gruben bei Bläsergasaustritten angegebenen max. Primärrohdrücke lagen mit Ausnahme der Grube Bernburg zwischen 22 und 65 bar d.h. sie überstiegen nicht den auf die jeweiligen Teufen bezogenen hydrostatischen Druck. In der Grube Bernburg wurde in einem Fall ein Primärrohdruck (130 bar) im petrostatischen Bereich festgestellt [23]. Für die Grube Siegfried- Giesen betragen bei Gas- Salzlösungszutritten die max. Drücke 22 bar. Bei reinen Salzlösungszutritten wurden max. 48 bar gemessen.

#### 6. Auftreten von Gasen bei den verschiedenen Bohrarbeiten

In allen Gruben wurde der Hauptteil der Gaszutritte (50- 80 %) bei Erkundungs- und Bemusterungsbohrungen angetroffen. In Streckenvortrieben wurde in der Grube Siegfried- Giesen bei ca. 30 % der Gas- bzw. Gas- Salzlösungszutritten Gase angebohrt. Für die Grube Sigmundshall beträgt dieser Anteil ca. 40 %. In der Grube Bernburg wurden Gaszutritte von ca. 30 % in Gewinnungsbereichen bezogen auf die Gesamtanzahl der Gaszutritte festgestellt. Für die Gruben Zielitz und Braunschweig- Lüneburg ist dieser Anteil mit ca. 10 % wesentlich niedriger.

### 4.6 Auftreten von Schwefelwasserstoff im Kali- und Steinsalzbergbau

Schwefelwasserstoff als Bestandteil von Kluftgasen stellt auf Grund seiner sehr hohen Toxizität ,wie zuletzt der durch H<sub>2</sub>S 2012 in der Grube Sigmundshall verursachte tödliche Unfall gezeigt hat, für den Kali- und Steinsalzbergbau eine große Gefahr dar. Über die toxischen Wirkungen von H<sub>2</sub>S auf den Menschen sind in Anlage 10 spezielle Angaben enthalten [24]. Danach sind H<sub>2</sub>S- Konzentrationen in der Atemluft von 0,1 Vol % bereits nach wenigen Minuten lebensgefährlich. Konzentrationen  $\geq 0,5$  Vol % wirken bereits nach wenigen Sekunden tödlich.

Schwefelwasserstoff kann außer in Kluftgasen auf Grund seiner guten Wasserlöslichkeit auch beim Austritt von Salzlösungen freigesetzt werden. Schwefelwasserstoff kann auch wie Gasaustritte in der polnischen Steinsalzgrube Klodawa gezeigt haben [25] als Bestandteil mineralgebundener Gase durch Ausgasung, Gesteinszertrümmerung und Gas- Salz- Ausbrüche austreten. Die Bildung von Schwefelwasserstoff im Salzbergbau dürfte vor allem auf die Zersetzung von schwefelsauren Salzen (Anhydrit, Gips) unter reduzierender Einwirkung bestimmter Substanzen zurückzuführen sein [8]. Als weitere Möglichkeit kommt die fossile Bildung bei der Reduktion organischer schwefelhaltiger Substanzen in Betracht [8].

Im deutschen Kali- und Steinsalzbergbau ist das Auftreten von Schwefelwasserstoff selten. Das Gas tritt dabei vornehmlich als Bestandteil von Kluftgasen sowie in Verbindung mit Salzlösungen auf. In der Regel ist die Konzentration sehr gering und wird durch Geruch nach faulen Eiern wahrgenommen (< 0,02 Vol %). Höhere H<sub>2</sub>S- Konzentrationen sind vereinzelt vor allem auch in Kaligruben der Steilen Lagerung aufgetreten. So sind aus der Grube Siegfried- Giesen 2 Gaszutritte mit H<sub>2</sub>S- Gehalten von 0,15 und 1,5 Vol % aus dem Jahr 1978 bekannt (vgl. Anlage 2).

In der Grube Sigmundshall trat außer dem 2012 im K3 Ro angebohrten Primärbläser mit einer H<sub>2</sub>S- Konzentration im Austrittsgas von 5,4 Vol %, 1965 bei einer Untersuchungsbohrung ein Gaszutritt mit einem H<sub>2</sub>S- Gehalt von 0,05 Vol% (500 ppm) auf. Bei einem H<sub>2</sub>S- haltigen Gas- Salzlösungszutritt im Jahre 1988 wurde ein H<sub>2</sub>S- Gehalt von 0,344 g/ l das entspricht ca. 0,025 Vol % (250 ppm) gemessen. Aus der Steinsalzgrube Braunschweig- Lüneburg lagen keine Angaben zu H<sub>2</sub>S- haltigen Gasaustritten vor. In der Kaligrube Zielitz wurde bei 4 Bläseranalysen H<sub>2</sub>S- Konzentrationen von < 0,05 Vol % (<500 ppm) und bei 27 Bläseranalysen von < 0,01 Vol % (< 100 ppm) angegeben. Wie hoch der tatsächliche H<sub>2</sub>S- Gehalt in den Bläsergasen war, lässt sich aus den Angaben nicht ableiten. In der Steinsalzgrube Bernburg sind sowohl bei Erkundungs- und Bemusterungsbohrungen als auch bei Strossenbohrungen mehrere Gaszutritte mit H<sub>2</sub>S- Gehalten aufgetreten. Bei 6 Gasaustritten beim Strossen wurden H<sub>2</sub>S- Konzentrationen zwischen 0,0016 Vol % (16 ppm) und 0,025 Vol % (250 ppm) gemessen. Angaben über Vergiftungserscheinungen des Bohrpersonals lagen weder von Zielitz noch von Bernburg vor.

Über Austritte von Gasen mit hohen H<sub>2</sub>S- Gehalten sowie über H<sub>2</sub>S- Unfälle liegen Angaben vor allem aus der Zeit vor dem 1. Weltkrieg vor [26] (vgl. Anlage 11). Sehr hohe H<sub>2</sub>S- Gehalte (von 3,5 bzw. 6 Vol %) wurden bei Gaszutritten in den Kaliwerken Ernsthall bei Halle und Orlas bei Nebra festgestellt. Auf den niedersächsischen Kaliwerken Leverhausen, (1914) und Königsburg bei Lehrte (1915) verunglückten bei Gas- Salzlösungszutritten mit hohen H<sub>2</sub>S- Gehalten je ein Bergmann tödlich.

## **5 Bisheriger Explosionsschutz im Kaliwerk Siegfried-Giesen im Vergleich zu anderen Kali- und Steinsalzwerken**

### **5.1 Auswertung von im deutschen Kali- und Steinsalzbergbau aufgetretenen Schlagwetterexplosionen**

Der Explosionsschutz im Kali- und Steinsalzbergbau dient der Verhinderung der Bildung und Zündung von explosionsfähigen Gas- Luft- Gemischen, d.h. der Vermeidung von Explosionen in den Gruben. Das Auftreten von Explosionen im deutschen Kali- und Steinsalzbergbau kann gewissermaßen als Synonym für unzureichende Explosionsschutzmaßnahmen in den Gruben angesehen werden. In den Anlagen 12 und 13 wurde deshalb eine Zusammenstellung aller im deutschen Kali- und Steinsalzbergbau seit Anfang des 20. Jahrhunderts aufgetretenen Explosionsunfälle getrennt für Gruben der steilen Lagerung und für Gruben der flachen Lagerung im mitteldeutschen und Südhaz-Kalirevier vorgenommen [27, 9]. Insgesamt sind in den Tabellen 57 Schlagwetterexplosionen (Zeitraum 1904 bis 1997) unter Angabe der tödlich Verunglückten und der Verletzten sowie der Zündursachen aufgelistet.

Im niedersächsischen Kalirevier ereigneten sich 16 Schlagwetterexplosionen mit 35 Toten, wobei der Hauptteil der Explosionsunfälle mit 22 Toten in den Gruben südlich von Hannover vor allem im Großraum Hildesheim aufgetreten ist. Ursache des Auftretens von brennbaren Gasen waren vor allem Austritte von Primärbläsern in Gewinnungsbereichen. Als Zündquellen sind wie aus Anlage 14 ersichtlich ist offenes Geleucht (63 %), defekte Wetterlampen (13 %) und Sprengarbeit (13 %) zu nennen. Nach 1945 kam es noch zu 3 Explosionsereignissen in der Grube Salzdetfurth (1946, 1959) und in der Grube Siegfried- Giesen (1956). Als Zündquelle wird für alle 3 Explosionen noch offenes Geleucht angegeben. Bei den beiden Ereignissen in der Grube Salzdetfurth handelt es sich um Zündung wasserstoffhaltiger Gasgemische in Abbaubereichen. Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, dass keine der Explosionen in den niedersächsischen Gruben durch elektrische Funken z.B. nicht explosionsgeschützte Bohraggregate ausgelöst wurde. Die Einführung explosionsgeschützten elektrischen Geleuchts in den 60 er Jahren in Verbindung mit einer verbesserten Bewetterung der Grubenbaue und Einsatz von explosionsgeschützten Maschinen bei geol. Bohrungen dürfte mit dazu beigetragen haben, dass in den niedersächsischen Kali- und Steinsalzgruben seit über 50 Jahren keine Explosionsereignisse mehr aufgetreten sind.

In Anlage 15 wurde eine Auswertung der Explosionsunfälle in mitteldeutschen Kali- und Steinsalzgruben und in den Kaligruben des Südhazreviers vorgenommen. Im mitteldeutschen Revier waren 19 Schlagwetterzündungen mit 19 Toten zu verzeichnen. Die Bildung explosionsfähiger Gas- Luft- Gemische war dabei vor allem auf das Anbohren von Primärbläsern sowie auch auf das Auftreten von Sekundäraustritten zurückzuführen. Von den 19 aufgetretenen Explosionsereignissen im mitteldeutschen Revier wurden 17 (90 %) durch offenes Geleucht oder Anzünden eines Bläasers ausgelöst. Auch hier ist festzustellen, dass nach Einführung explosionsgeschützten elektrischen Geleuchts und Schlagweterschutzmaßnahmen bei der Bohrerkundung in Auswertung der schweren Explosionsunfälle in den Gruben Volkenroda und Sondershausen 1951 keine Schlagwetterexplosionen in den mitteldeutschen Kali- und Steinsalzgruben mehr auftraten.

Im Südhazrevier, dem brenngasgefährdetsten Kalirevier Deutschlands, ereigneten sich in 7 Gruben 22 Schlagwetterexplosionen bei denen 39 Tote zu beklagen waren. Die Explosionsunfälle waren sowohl auf Primärbläser als auch Sekundärgasaustritte zurückzuführen. So wurden die schweren Explosionen im Jahre 1951 in den Gruben Bischofferode, Volkenroda und Sondershausen [9] sowie auch die letzte 1997 in der Grube Bleicherode aufgetretenen Schlagwetterexplosion [28] durch sekundäre Gasaustritte gebildete Ansammlungen großer Mengen explosionsfähiger Gas/ Luft- Gemische verursacht. In der Grube Bleicherode ereignete sich 1983 die bisher einzige im deutschen Kali- und

Steinsalzbergbau aufgetretene Schlagwetterexplosion, verursacht durch Zündung durch bei großflächigem Zusammenbruch eines Abbaublockes freigesetzten mineralgebundenen Gase durch einen elektrischen Funken [10].

Generell war bis zur Einführung des explosionsgeschützten elektrischen Geleuchts in allen Südharzgruben im Jahre 1951 offenes Geleucht und Anzünden von Bläsern Zündursache für die aufgetretenen Explosionen (vgl. Anlage 15). Die letzten seit 1951 aufgetretenen 3 Schlagwetterexplosionen in den Gruben Volkenroda (1951) und Bleicherode (1983, 1997) wurden ausgelöst durch auftretende Kurzschlussfunken infolge Zerstörung elektrischer Kabel bzw. für das letzte Ereignis 1997 möglicherweise auch durch Schaltfunken beim Abfallen eines Lüftermotor- Schützes [28].

## **5.2 Bisherige Explosionsschutzmaßnahmen im Kaliwerk Siegfried-Giesen**

Die Explosionsschutzmaßnahmen im Kaliwerk Siegfried- Giesen beschränkten sich auf Maßnahmen bei Durchführung von Untersuchungsbohrungen der Fernerkundung sowie in begrenztem Umfang auf Vortriebsarbeiten in Bereichen in denen Gaszutritte erfolgten [29]. Im Rahmenbetriebsplan für die Durchführung von Untersuchungsbohrungen vom 16.11.81 [30] sind nach Maßgabe der Richtlinie für die Herstellung von Untersuchungsbohrungen das Oberbergamtes Clausthal- Zellerfeld [31] folgende Explosionsschutzmaßnahmen festgelegt:

- Festlegung eines Schutzbereiches um die Untersuchungsbohrungen
- In diesem müssen alle elektrischen Betriebsmittel (Antriebsmotoren, Bohrmaschine und Spülpumpe, Schalter, Transformator), ortsfestes und tragbares Geleucht sowie Telefon und Funkgerät Explosionsschutz für Methan (Explosionsgruppe IIA, Temperaturklasse T1) oder Schlagwetterschutz (Explosionsgruppe I, Temperaturklasse T5) aufweisen.
- Kriterien für die Größe des Schutzbereiches werden nicht genannt.
- Zur Überwachung der Wetter insbesondere auf brennbare Gase sind im Schutzbereich geeignete Gasmessgeräte vorzuhalten und Gasmessungen durchzuführen.
- Alle Untersuchungsbohrungen sind mit Sicherheitseinrichtungen wie Standrohr, Preventer und Kelly- Kugelhahn zu versehen. Die Sicherheitseinrichtungen sind auf das 1,5 fache des hydrostatischen Druckes auszulegen.

Für die Auffahrungen des Verbindungsquerschlages Siegfried- Giesen- Rössing- Barnten d.h. einem Bereich in dem Gasaustritte erfolgten und zu erwarten sind, wurde vom Bergamt Hildesheim 1952 verfügt [29], dass vor Bohren der Sprengbohrlöcher, Vorbohrlöcher von mindestens 5 m Länge zu bohren sind. Während der Herstellung der Vorbohrlöcher dürfen nur schlagwettersichere elektrische Grubenlampen verwendet und keine betriebsmäßig funkengebende elektrische Anlagen eingesetzt werden.

In der Verfügung des Bergamtes wird ausdrücklich aufgeführt, dass bei Durchführung aller Arbeiten nach dem Vorbohren offenes Geleucht verwendet werden kann.

In den letzten 20 bis 30 Jahren vor Schließen des Kaliwerkes Siegfried- Giesen dürfte wie in der Grube Sigmundshall elektrisches Geleucht anstelle des offenen Geleuchts eingesetzt worden sein. Ob das elektrische Geleucht explosionsgeschützt oder wie in der Grube Sigmundshall mit Ausnahme des bei Erkundungsbohrungen eingesetzten elektrischen Geleuchts nicht explosionsgeschützt war, ist aus den betrieblichen Unterlagen nicht erkennbar.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bis zum Schließen der Grube 1986 weder in Ausrichtungsorten (Hauptsohlen, Bandstrecken, Wendeln) noch in Vorrichtungsgrubenbauen (Teilsohlenauffahrungen, Versatz- und Wetterrolladen) und beim Strossen in den Abbaubereichen Explosionsschutzmaßnahmen angewandt wurden.

Das gilt sowohl für Auffahrungen durch Bohr- und Sprengarbeit als auch mittels Teilschnittmaschinen. Auch Naherkundungs- und Bemusterungsbohrungen wurden nicht mit explosionsgeschützten Bohrmaschinen gebohrt. Das gleiche gilt für die Durchörterung von Anhydrit- und Tonhorizonten. Der Explosionsschutz erstreckte sich wie oben ausgeführt auf Erkundungsbohrungen und Auffahrbereiche in denen brennbare Gase aufgetreten sind.

### **5.3 Vergleich der Explosionsschutzmaßnahmen mit Schutzmaßnahmen anderer Kali- und Steinsalzwerke**

Der Vergleich wurde mit Gruben der Steilen Lagerung in Niedersachsen sowie mit brenngasführenden Gruben der Flachen Lagerung in Sachsen- Anhalt geführt. In den Vergleich wurden die Kaliwerke Zielitz und Sigmundshall sowie die Steinsalzwerke Bernburg und Braunschweig- Lüneburg einbezogen. In allen diesen Gruben ist wie im Abschnitt 4.5 dargelegt aus sicherheitstechnischer Sicht vor allem das Auftreten von Primärbläsern von Bedeutung. Entsprechend dem in Anlage 8 vorgenommenen Vergleich der Gasführung der betrachteten Gruben unterscheiden sich vor allem in Bezug auf Heftigkeit und Häufigkeit der auftretenden Bläser die Gruben Zielitz und Bernburg von den niedersächsischen Gruben. Dementsprechend unterscheiden sich auch die angewandten Explosionsschutzmaßnahmen. Während sich in der niedersächsischen Grube Sigmundshall die Schutzmaßnahmen auf die Bohrerkundung beschränkt, werden in den Gruben Zielitz und Bernburg entsprechend des Auftretens von Bläsern Schutzmaßnahmen bei Bemusterungsbohrungen, bei Streckenvortrieben in Anhydrit- und Tonhorizonten sowie in der Grube Bernburg in begrenztem Umfang auch in Vortrieben und Abbaustrossen angewandt.

In Anlage 16 sind die Schutzbereiche (Zonenbereiche) und die Anforderungen an den Explosionsschutz elektrischer Betriebsmittel gegenübergestellt.

- Fernerkundungsbohrungen werden wie bereits ausgeführt in allen Gruben unter Explosionsschutz gebohrt. Die Schutzbereiche liegen dabei zwischen 20 m und 50 m. In den Gruben Zielitz und Bernburg sind die Schutzbereiche in Zone 1 und sich anschließenden Zone 2- Bereich unterteilt.
- Bei Naherkundungsbohrungen sind in den Gruben Bernburg und Braunschweig- Lüneburg die gleichen Schutzbereiche und in der Grube Zielitz verkleinerte Bereiche gegenüber der Fernerkundung in Anwendung. In der Grube Sigmundshall werden bei Naherkundungsbohrungen keine Schutzbereiche gefordert. Dies galt auch für die 1987 geschlossene Grube Siegfried-Giesen und andere ehemalige Kaligruben in Niedersachsen.
- Bei Bemusterungsbohrungen werden nur Schutzbereiche für die Gruben Zielitz (15m) und Bernburg (40 m) gefordert [6, 23].
- Bei Ankerbohrungen werden außer in den Gruben Zielitz und Bernburg bei Abständen des Bohrlochtieftsten vom am1 von < 0,25 m keine Schutzbereiche gefordert.
- Bei Streckenvortrieben in Anhydrit- und Tonhorizonten vor allem dem A3 werden in den Gruben Zielitz und Bernburg Schutzbereiche von 25 m bzw. 50 m gefordert. Auf Schutzbereiche kann verzichtet werden, wenn vor Beginn der Auffahrung 2 Degasierungsbohrungen mit explosionsgeschützten Bohrmaschinen gebohrt wurden, wobei die Bohrlöcher mindestens 3 Meter über die Abschlagslänge hinaus reichen müssen. Bei Anbohren von Gas sind nach Vorgabe des Geologen weitere Degasierungsbohrlöcher zu bohren.

- In Abbauen und Vortrieben im Salz werden nur in der Grube Bernburg Schutzbereiche von 2 m gefordert. Der Schutzbereich kann entfallen wenn trocken gebohrt wird oder vorher eine Degasierungsbohrung gebohrt wurde. Beim Trockenbohren wird davon ausgegangen, dass durch die inertisierende Wirkung des aus dem Bohrloch ausgeworfenen Salzstaubes [32] in Verbindung mit einer Abschaltung des Bohrwagens bei Anzeichen eines Bläfers eine Zündung von Brenngasen im Aufstellungsbereich des Bohrwagens ausgeschlossen werden können.
- Beim Strossen ist in der Grube Bernburg kein Schutzbereich vorgesehen, wenn das Bohrloch-tiefste mindestens noch 4 m über dem Hauptanhydrit (A3) ist und die Abschaltung des Bohrwagens mittels eines explosionsgeschützten Notaus- Taster erfolgt [23].
- Grundsätzlich sind die festgelegten Schutzbereiche in allen Gruben mit mindestens 500 m<sup>3</sup>/min zu bewettern.
- In Bezug auf die in den Explosionsschutzbereichen einzusetzenden explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmittel werden in den einzelnen Gruben unterschiedliche Anforderungen gestellt. Während die el. Betriebsmittel in den Gruben Braunschweig- Lüneburg und Sig-mundshall für die Explosionsgruppe IIC ausgelegt sein müssen, genügt in der Grube Bernburg eine Auslegung in der Explosionsgruppe IIA bzw. I und in der Grube Zielitz in IIB oder I in Verbindung mit IIA.

## 6 Einfluss von Salzstaub auf die Zündfähigkeit von Bläsegasen im Kaliwerk Siegfried- Giesen

Über die Wirkung von Salzstäuben auf die Verhinderung der Zündung der im Salzbergbau auftretenden Brenngas- Inertgas- Luft- Gemische wurden umfangreiche Untersuchungen am Institut für Bergbausicherheit [32, 33] durchgeführt. Nachstehen werden die wesentlichsten Ergebnisse dargelegt. Speziell wird auf die Wirksamkeit von Salzstäuben auf die Zündfähigkeit von Bläsegasen eingegangen.

1. Die zur Explosionsunterdrückung erforderliche Salzstaubkonzentration nimmt mit kleiner werdendem Korndurchmesser ab. Als vom Korndurchmesser unabhängige Bezugsgröße für die Bewertung der inertisierenden Wirkung von Salzstäuben wurde deshalb die spezifische Oberfläche gewählt (volumenbezogene Oberfläche aller Staubpartikel im Staub/ Gas- Gemisch).
2. Die spezifische Oberfläche von Salzstäuben zur Explosionsunterdrückung ist in erheblichem Maße von der Gaszusammensetzung abhängig.
  - Sie ist im Bereich der stöchiometrischen Zusammensetzung am höchsten und geht mit Annäherung an die Explosionsgrenzen stark zurück. So war z.B. bei Methan- Luft- Gemischen von 8 Vol % Methan zur Explosionsunterdrückung nur ein Drittel der spezifischen Oberfläche von Steinsalzstäuben ( $0,1 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ ) gegenüber der stöchiometrischen Zusammensetzung ( $0,3 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$ ) erforderlich.
  - Sie verringert sich mit steigenden Inertgasanteilen in den Austrittsgasen erheblich. So beträgt die für die Explosionsunterdrückung erforderliche spezifische Oberfläche von Steinsalzstaub bei einer Bläsegaszusammensetzung von 45 Vol %  $\text{CH}_4$  und 55 Vol %  $\text{N}_2$  weniger als ein Drittel gegenüber Methan.
  - Höhere KW bewirken keine Erhöhung der Explosionsunterdrückungswerte von Salzstäuben.
  - Hingegen führen höhere Wasserstoffgehalte zu einer Erhöhung der zur Explosionsunterdrückung erforderlichen Salzstaubkonzentration. So betragen die Explosionsunterdrückungswerte für Gaszusammensetzungen von 30 Vol %  $\text{CH}_4$ , 20 Vol %  $\text{H}_2$  und 50 Vol %  $\text{N}_2$  etwa das Doppelte gegenüber Gasen mit einer Zusammensetzung von 50 Vol %  $\text{CH}_4$  und 50 Vol %  $\text{N}_2$ .
3. Für die Steinsalz- und Hartsalzstäube wurden für eine Gaszusammensetzung von 50 Vol %  $\text{CH}_4$  und 50 Vol %  $\text{N}_2$  Explosionsunterdrückungswerte von  $390 \text{ g} / \text{m}^3$  (Staubkonzentration) bzw.  $0,23 \text{ cm}^2 / \text{cm}^3$  (spezifische Oberfläche) ermittelt.

Für Anhydritstäube liegen die Werte um das 4- fache höher, d.h. die inertisierende Wirkung ist wesentlich schlechter als bei Steinsalzstäuben.

4. Beim Sprenglochbohren mit Nassluftspülung ist beim Anbohren von Bläsern nur mit geringen Schwebstaubkonzentrationen im Grubenbau zu rechnen ( $< 50 \text{ g} / \text{m}^3$ ), so dass die Zündfähigkeit der Bläsegase nicht gemindert wird.
5. Bei Trockenbohrungen ist in der Anfangsphase des Gasaustrittes auf Grund der im Aufstellungsbereich der Maschine auftretenden Salzstaubkonzentrationen ( $> 100 \text{ g} / \text{m}^3$ ) eine Explosionsunterdrückung bei  $\text{CH}_4 / \text{N}_2$ - Gemischen mit  $\text{CH}_4$ - Anteilen  $\leq 35 \text{ Vol} \%$  gegeben. Bei höheren Methangehalten sowie bei Anteilen an Wasserstoff wird durch die Salzstäube eine Zündung nur bedingt vermindert. Dies ist z.B. bei Bläsegas/ Luft- Gemischen in der Nähe der Explosionsgrenzen und bei Stickstoffanteilen  $> 80 \text{ Vol} \%$  nicht der Fall.

6. Im Schneidraum einer Vollschnittmaschine ist mit Staubkonzentrationen  $> 300 \text{ g/ m}^3$  wahrscheinlich sogar  $> 500 \text{ g/m}^3$  zu rechnen [33].

Aus den dargelegten Ergebnissen ergeben sich für das Kaliwerk Siegfried- Giesen folgende Schlussfolgerungen:

- In Streckenvortrieben ist auf Grund der beim Sprenglochbohren angewandten Nassspülung nicht mit dem Auftreten explosionsunterdrückender Salzstaubkonzentrationen zu rechnen, so dass eine Zündung austretender Bläsegerase nicht verhindert wird.
- Beim trocken erfolgten Strossenbohren ist beim Anbohren eines heftigen Bläseers im Nahbereich der Gasaustrittsstelle im Abbau mit einer erheblichen Salzstaubwolke zu rechnen. Eine Zündunterdrückung ist bei hohen Wasserstoffgehalten nur bei Gasgemischen in der Nähe der Explosionsgrenzen wahrscheinlich. Bei sehr hohen Stickstoffanteilen im Bläsegerase ( $\geq 80 \text{ Vol } \%$ ) kann eine Zündung durch wasserstoffhaltige Gase im Nahbereich der Gasaustrittsstelle grundsätzlich ausgeschlossen werden.
- Bei der schneidenden Gewinnung ist im Schneidraum von Vollschnittmaschinen und Continuous- Minern auf Grund der hohen Staubentwicklung beim Schneidprozess eine Zündung von Bläsegerasen unwahrscheinlich [34]. Für den Maschinenaufstellungsbereich des Continuous- Miner dürfte auf Grund der direkten Einbindung der Absaugung in den Schneidraum der auftretende Salzstaub für eine Explosionsunterdrückung nicht ausreichen.
- Ob der auftretende Salzstaub im Aufstellungsbereich von Teilschnittmaschinen beim Anschneiden einer Gaskluft für eine Explosionsunterdrückung bei wasserstoffhaltigen Bläsegerasen ausreicht, wird als wenig wahrscheinlich angesehen und sollte gegebenenfalls durch Gravitationsmessungen untersucht werden.
- Eine Zündung der Bläsegerase beim Anbohren von heftigen langandauernden Bläseern kann auch bei Bläsegerasen mit hohen Stickstoffgehalten nicht ausgeschlossen werden, da mit explosionsunterdrückenden Salzstaubkonzentrationen nur in den ersten Minuten des Gasaustritts zu rechnen ist. Bei längeren Gasaustritten dürften durch den erfolgten Austrag des Bohrkleins und den Abtransport in der Nähe der Gasaustrittsstellen abgelagerten Staubes explosionsunterdrückende Salzstaubkonzentrationen nicht mehr vorhanden sein.

## **7 Zoneneinteilung und Anforderungen an im Kalibergbau einzusetzende explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel**

### **7.1 Anwendung der Zoneneinteilung für explosionsgefährdete Bereiche in Kali- und Steinsalzgruben**

Nach der Elektro- Bergverordnung der Länder Niedersachsen [37] und Sachsen- Anhalt [38], der Thüringer Elektro- Bergverordnung [39] sowie der Elektro- Bergverordnung des Landes Nordrhein- Westfalen [40] - sie gelten für die Errichtung und den Betrieb elektrischer Betriebsmittel in den der Bergaufsicht unterstehenden Betrieben sowie für den elektrischen Teil von Fahrzeugen und für tragbares elektrisches Geleucht - können explosionsgefährdete Bereiche unter Tage im Nichtsteinkohlenbergbau nach der Wahrscheinlichkeit und Dauer des Auftretens explosionsfähiger Atmosphäre in Zonen unterteilt werden. In der europäischen Richtlinie 1999/92/EG über die Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können [41], wird folgende Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen vorgenommen:

#### **Zone 0:**

Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

#### **Zone 1:**

Bereich, in dem bei Normalbetrieb gelegentlich sich eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.

#### **Zone 2:**

Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

Diese europäische Richtlinie- sie wurde in der Betriebssicherheitsverordnung [42] in deutsches Recht umgesetzt- gilt ebenso wie die nachgeordnete Explosionsschutznorm DIN EN 1127-1 [43] vornehmlich für übertägige Bereiche der Industrie. Für den untertägigen Bergbau erstreckt sich der Geltungsbereich dieser Richtlinie bzw. der Norm nur auf Bereiche, die durch nicht natürliche Gase (antropogene Gase) gefährdet sind. Dies trifft z.B. zu für Gefährdungen durch Gase, die bei Einlagerung von bergbaufremden Stoffen (Reststoffe) in Grubenbauen freigesetzt werden.

Für den Bergbau ist für Gefährdungen durch natürliche Gase, d.h. Gase, die aus dem Abbauhorizont und seinem Nebengestein freigesetzt werden, eine entsprechende Unterteilung explosionsgefährdeter Bereiche in einer speziellen europäischen Richtlinie nicht geregelt. In der den europäischen Explosionsschutz- Richtlinien nachgeordneten deutschen Norm für Bergwerke DIN EN 1127-2 [44] wird für den untertägigen Bergbau zwischen 2 Gefährdungsbereichen unterschieden:

- Gefährdungsbereich 1 (Explosionsfähige Atmosphäre) Bereich zwischen unterer Explosionsgrenze (4,4 Vol % CH<sub>4</sub>) und oberer Explosionsgrenze (17 Vol % CH<sub>4</sub>) von Grubengas in Luft
- Gefährdungsbereich 2 (explosionsgefährdeter Bereich)  
Bereich zwischen 0 % und unterhalb unterer Explosionsgrenze oder oberhalb oberer Explosionsgrenze bis 100 % von Grubengas in Luft.

Diese vornehmlich für den Steinkohlenbergbau getroffene Unterteilung des Gefährdungsbereiches ist im durch natürliche brennbare Gase gefährdeten Kali- und Steinsalzbergbau Deutschlands aus folgenden Gründen nicht anwendbar:

- Gasgefährdung in der Regel unterhalb des Gefährdungsbereiches 2
- Auftreten brennbarer Gase selten und im Gegensatz zur kontinuierlichen Ausgasung im Steinkohlenbergbau meist zeitlich begrenzt
- Gasaustritte vornehmlich an bestimmte Arbeiten gebunden: z.B. Bläseraustritte beim Bohren und Sprengen, Gas- Salz- Ausbrüche beim Sprengen
- Die Austrittsgase weisen im Gegensatz zum ausschließlich aus Methan bestehenden Grubengas im Steinkohlenbergbau hohe Inertgasanteile meist Stickstoff meist > 50 Vol % auf, die die Explosibilität der Gase beeinflussen.

Auf Grund der Nichtanwendbarkeit der in der DIN EN 1127-2 [44] für Bergwerke angegebenen Unterteilung der Gefährdungsbereiche im Kali- und Salzbergbau sowie einer einheitlichen Regelung der Unterteilung der explosionsgefährdeten Bereiche in Kaligruben, in denen Gefährdungen durch natürliche Gase und nicht natürliche Gase auftreten können, wurde in den Elektro- Bergverordnungen der Länder Niedersachsen [37], Sachsen- Anhalt [38], Thüringen [39] und Nordrhein- Westfalen [40] die Anwendung der Zoneneinteilung gemäß Richtlinie 1999/92/EG [41] generell festgelegt; d.h. auch für die Grube Siegfried- Giesen können explosionsgefährdete Bereiche in Zonen unterteilt werden. Grundsätzlich wird dazu folgender Standpunkt vertreten:

1. Die in den Elektro- Bergverordnungen Niedersachsens, Sachsen- Anhalts, Thüringens und Nordrhein- Westfalens festgeschriebene Einführung der Unterteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen gemäß der Richtlinie 1999/92/ EG [41] wird trotz der Tatsache, dass diese Richtlinie nur bedingt für den Bergbau gilt aus folgenden Gründen für sinnvoll und notwendig erachtet:
  - Die in der DIN EN 1127-2 [44] für den Bergbau angegebene Zweiteilung explosionsgefährdeter Bereiche lässt sich im Kali- und Steinsalzbergbau auf Grund der spezifischen Besonderheiten der Freisetzung der Gase sowie der in der Regel geringeren Gasgefährdung gegenüber dem Steinkohlenbergbau nicht anwenden.
  - Da in den meisten Kaligruben neben natürlichen Gasen auch nicht natürliche Gase zu Gasgefährdungen führen können, ist eine einheitliche Graduierung der explosionsgefährdeten Bereiche erforderlich. Eine Beschränkung der Zoneneinteilung auf Gefährdungsbereiche durch nicht natürliche Gase, wie sie nach den europäischen Explosionsschutz- Richtlinien und – Normen vorgegeben ist, wird nicht für sinnvoll erachtet.
2. Bei den auf der Grundlage von Bläser- und Gasausbruchsgefahren festgelegten Zonen handelt es sich um temporäre Zonen. In diesen Zonen können außerhalb der Gefährdungszeiträume nicht explosionsgeschützte KfZ sowie gegebenenfalls mobile nicht explosionsgeschützte Betriebsmittel und Messgeräte verwendet werden.
3. Bei Einsatz von Gaswarnanlagen (optischakustischer Gaswarnmesstechnik) kann ggfs. eine Herabsetzung der Zone in eine weniger gefährdete Zone oder eine Verkleinerung des Zonenbereiches vorgenommen werden.

## 7.2 Anforderungen an den Explosionsschutz von im Kali- und Steinsalzbergbau einzusetzende elektrische Betriebsmittel

Die Anforderungen an den Explosionsschutz elektrischer Betriebsmittel wurden in der Richtlinie 94/9/EG vom 23.03.94 [45] für die Mitgliedstaaten der EG neu festgelegt. Diese sowohl für den Bergbau als auch die übertägige Industrie geltende Richtlinie regelt im Rahmen des Artikel 114 AEUV den gesamten Bereich des konstruktiven Explosionsschutzes und löste nach Ablauf der Übergangsfrist am 01.01.2003 die bisher geltenden Einzelrichtlinien ab.

Die Richtlinie unterscheidet grundsätzlich zwischen Anforderungen an den Explosionsschutz von elektrischen Betriebsmitteln und Schutzsystemen im Bergbau einerseits und der übrigen Industrie andererseits. Die Richtlinie 94/9/EG wurde in der Explosionsschutzverordnung [46] in deutsches Recht umgesetzt.

Sie unterscheidet zwischen folgenden Gerätegruppen und Kategorien:

- Gerätegruppe I mit den Kategorien M1 und M2 für Geräte in durch Grubengas und/ oder brennbare Stäube gefährdete Bergwerke und
- Gerätegruppe II mit den Kategorien 1,2 und 3 für Geräte in den übertägigen durch brennbare Gase und/ oder brennbare Stäube gefährdete Bereiche. Entsprechend der Art der Gefährdung kennzeichnet man in der Gerätegruppe II die Kategorien bei Gasgefährdung mit dem Symbol G und bei Staubgefährdung mit dem Symbol D.

### 1. Kategorien der Gerätegruppe I

- Geräte der Kategorie M1 müssen ein sehr hohes Maß an Sicherheit aufweisen. Sie müssen selbst bei seltenen Gerätestörungen in vorhandener explosionsfähiger Atmosphäre weiterbetrieben werden können. Nach DIN EN 1127-2 [44] können sie in den Gefährdungsbereichen 1 und 2 eingesetzt werden.
- Geräte der Kategorie M2 müssen ein hohes Maß an Sicherheit gewährleisten. Beim Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre müssen die Geräte abgeschaltet werden können. Sie können nach DIN EN 1127-2 im Gefährdungsbereich 2 eingesetzt werden.
- Die Geräte beider Kategorien unterliegen einer EG- Baumusterprüfung.

### 2. Kategorien der Gerätegruppe II

- Kategorie 1 (Kategorien 1 G und 1 D) umfasst Geräte, die ein sehr hohes Maß an Sicherheit gewährleisten. Sie sind gemäß Zoneneinteilung nach der Richtlinie 1999/92/EG [41] für den Einsatz in Zone 0 bestimmt.
- Kategorie 2 (Kategorien 2 G und 2 D) umfasst Geräte, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie ein hohes Maß an Sicherheit gewährleisten. Sie sind für den Einsatz in Zone 1 bestimmt. Eine Forderung, dass die Geräte beim Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre abgeschaltet werden müssen, wie bei den Geräten der Kategorie M2 gemäß DIN EN 1127-2 [44] wird nicht erhoben.
- Kategorie 3 (Kategorien 3 G und 3 D) umfasst Geräte, die ein Normalmaß an Sicherheit gewährleisten. Geräte dieser Kategorie gewährleisten bei normalem Betrieb das erforderliche Maß an Sicherheit. Sie sind für den Einsatz in Zone 2 bestimmt.
- Geräte der Kategorien 1 und 2 unterliegen einer EG- Baumusterprüfung.

Die sicherheitstechnischen Anforderungen an Geräte der Gerätegruppe I sind vor allem auf Grund der speziellen Einsatzbedingungen im Steinkohlenbergbau höher als für Geräte der Gerätegruppe II. Dies betrifft vor allem die auf Grund der niedrigen Zündtemperatur von Kohlenstaub erforderliche Auslegung auf die Temperaturklasse T5 (max. zulässige Oberflächentemperatur 100°C) sowie die infolge der rauen Einsatzbedingungen und komplizierten Transportverhältnisse (geringe Grubenbauquerschnitte) erhöhte mechanische Festigkeit. Für den Nichtsteinkohlenbergbau, speziell den Kalibergbau, treffen die genannten erhöhten sicherheitstechnischen Anforderungen nicht zu.

So ist z.B. auf Grund der in den Kali- und Steinsalzgruben freiwerdenden Brenngasgemische (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, geringe Anteile an hKW) sowie des Fehlens von brennbaren Stäuben nur eine Einstufung in die Temperaturklasse T1 (max. zulässige Oberflächentemperatur 450 °C) erforderlich.

Aus diesen Gründen wurden nach bisher gültigem Recht in der Elektrozulassungs-Bergverordnung vom 19.03.93 [47] unterschieden zwischen

- schlagwettergeschützten elektrischen Betriebsmitteln- entspricht Geräten der Gerätegruppe I- zur Verwendung in den Grubenbauen des Steinkohlenbergbaus und
- explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmitteln- entspricht Geräten der Gerätegruppe II- neben schlagwettergeschützten elektrischen Betriebsmitteln zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen des Nichtsteinkohlenbergbaus.

Auch das in der ehemaligen DDR für den Kali- und Steinsalzbergbau gültige Explosionsschutzkonzept- festgelegt in der Anweisung 1/80 des Leiters der Bergbehörde Erfurt [48] sieht in Schlagwetterbereichen neben dem Einsatz schlagwettergeschützter elektrischer Betriebsmittel auch gleichwertig den Einsatz explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel vor. Darüber hinaus können bei Bläser- und Ausbruchgefährdung auf Grund des ausschließlich an Bohr- und Sprengarbeiten gebundene zeitlich begrenzte Auftreten von brennbaren Gasen nicht explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel eingesetzt werden, wenn sie vor Auftreten gefährlicher Gaskonzentrationen rechtzeitig abgeschaltet werden. Ebenso ist in den Schlagwetterbereichen eine Einfahrt nicht explosionsgeschützter Kfz außerhalb der Gefahrenzeiträume möglich.

Im Ergebnis der dargelegten und diskutierten Vorschriften wird folgender Standpunkt zum Einsatz explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel in den Kali- und Steinsalzgruben vertreten.

1. Der Einsatz von explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmitteln der Gerätegruppe II neben den Geräten der Gerätegruppe I wird in den Kali- und Steinsalzwerken auch weiterhin für sicherheitstechnisch vertretbar gehalten. Dieser Standpunkt basiert auf den unterschiedlichen Gefährdungen, Grubenverhältnissen und Gasfreisetzungsformen zwischen dem Steinkohlenbergbau einerseits (schwierige Transportverhältnisse, kontinuierliche Freisetzung größerer Methanmengen, Vorhandensein von brennbaren Stäuben) und dem Kalibergbau andererseits (große Grubenbauweiten, günstigen Transportverhältnisse, Auftreten von brennbaren Gasen in der Regel selten und zeitlich begrenzt, hohe Inertanteile der natürlichen Austrittsgase, inertisierende Wirkung der bei Bläsern und Ausbrüchen freiwerdenden Salzstäube).
2. Sowohl die elektrischen Betriebsmittel der Gerätgruppe I als auch der Gerätegruppe II müssen den Sicherheitsanforderungen (Explosionsgruppe, Temperaturklasse) für die jeweiligen Gase bzw. Gasgemische (CH<sub>4</sub>- H<sub>2</sub>-hKW- N<sub>2</sub>- CO<sub>2</sub>- Gemische) genügen.

3. Folgende explosionsgeschützte Geräte können in den jeweiligen Zonen im Kali- und Steinsalzbergbau eingesetzt werden:
- Zone 0:
    - Geräte der Gerätegruppe I Kategorie M1
    - Geräte der Gerätegruppe II Kategorie 1 G
  - Zone 1:
    - Geräte der Gerätegruppe I Kategorien M 1 und M 2
    - Geräte der Gerätegruppe II Kategorien 1 G und 2 G
  - Zone 2:
    - Geräte der Gerätegruppe I Kategorien M 1 und M 2
    - Geräte der Gerätegruppe II Kategorien 1 G, 2 G, und 3 G

## 8 Schutzbereiche und Explosionsschutzmaßnahmen in der Grube Siegfried-Giesen

### 8.1 Ausgangswerte und Kriterien

Den Empfehlungen für Schutzbereiche und anzuwendende Explosionsschutzmaßnahmen wurde folgendes zugrunde gelegt:

1. Kritische Auseinandersetzung mit den in der Grube Siegfried- Giesen aufgetretenen Gaszutritten und Gas- Salzlösungszutritten unter Berücksichtigung von Häufigkeit, Heftigkeit und Dauer der Gaszutritte.
  2. Bewertung der Austritte bezüglich Austrittshorizont und Art der Bohrtätigkeit.
  3. Bewertung der Zusammensetzung der Bläsegerase im Hinblick auf ihre Explosionsfähigkeit und die Anforderungen an die Qualität des Explosionsschutzes elektrischer Betriebsmittel.
  4. Beurteilung der Möglichkeit des Auftretens gefährlicher Konzentrationen von Schwefelwasserstoff in den Austrittsgasen.
  5. Bewertung der bei den Gaszutritten gemessenen Ruhedrucke im Hinblick auf die Berechnung der beim Anbohren eines Bläasers möglichen Primäruhedrucke.
  6. Vergleich des Bläserauftretens und von Schutzmaßnahmen in Gewinnungsorten und bei der geologischen Bohrerkundung mit den Kaligruben Sigmundshall und Zielitz und den Steinsalzgruben Bernburg und Braunschweig- Lüneburg.
  7. Beurteilung der in der Grube Siegfried- Giesen möglichen Erstreckung und Öffnungsweiten gasführender Klüfte in Anhydrithorizonten in Anlehnung an die in anderen Gruben zugrunde gelegten Kluftabmaße.
  8. Bewertung der Zündfähigkeit der Austrittsgase unter spezieller Berücksichtigung der Inertgasanteile und der explosionshemmenden Wirkung freiwerdender Salzstäube sowie Beurteilung der Zündwahrscheinlichkeit von Bläsegerasen im Bohrort (Abbau) nach Abschaltung des Bohrwagens über Notaus.
- Zu 1. In der Grube Siegfried- Giesen wurden in deren 80- jährigen Betriebsdauer 14 Gaszutritte und 15 Gas/ Salzlösungszutritte statistisch erfasst, davon entfallen 23 Zutritte auf die letzten 35 Jahre bis zur Schließung der Grube (Produktionszeitraum 1952- 1987). Für diesen Zeitraum ergibt sich eine Gashäufigkeitsquote von ca. einem Zutritt pro Jahr. Das Auftreten von Gas- und Gas/ Salzlösungszutritten in der Grube Siegfried- Giesen kann somit als sehr selten eingestuft werden. Bezüglich Heftigkeit der austretenden Gas- und Gas- Salzlösungen werden in den Statistiken keine bzw. nur sehr unzureichende Aussagen gemacht. Es wird eingeschätzt, dass der Großteil der Zutritte, insbesondere der Gas- Salzlösungszutritte schwach waren und die Gase von den zugeführten Wettern im Grubenbau auf ungefährliche Brenngaskonzentrationen verdünnt wurden. Das auch starke Gasaustritte aufgetreten sind dürfte z.B. für Bläser gelten in deren Gefolgschaft eine Stundung des Streckenvortriebes erfolgte. Hinsichtlich der Dauer der Gas- und Gas- Salzlösungszutritte liegen nur bei ca. 25 % der Zutritte Angaben vor. Die Zeiträume schwanken dabei zwischen weniger als 1 Stunde und mehreren Monaten (max. 13 Monate).

Zu 2 Die Gase entstammen wie in Abschnitt 4.2 ausführlich dargelegt weitestgehend dem Hauptanhydrit bzw. dem Komplex A3/T3/A2r. Dies trifft für 85 % der Gaszutritte und 80 % der Gas-Salzlösungszutritte zu. Von den insgesamt 29 Gas- und Gas-Salzlösungszutritten erfolgten 13 (45 %) bei geologischen Untersuchungsbohrungen, 8 (28 %) bei Vorbohrungen auf dem Hauptanhydrit und 7 (21 %) bei Streckenauffahrungen. Von den bei der Streckenauffahrung aufgetretenen 3 Gaszutritten sind einer im AbbauhORIZONT (K3 RoH) und zwei in Anhydrit-HORIZONTEN aufgetreten.

Zu 3 Unter Bezugnahme auf die im Abschnitt 4.3 vorgenommene Auswertung der Zusammensetzung der Austrittsgase muss trotz der bei einem Teil der Analysen festgestellten sehr hohen Stickstoffgehalte mit Austrittsgasen gerechnet werden die brennbar sind und explosionsfähige Brenngas- Luft- Gemische bilden können. Der für die Grube Siegfried- Giesen charakteristische hohe Wasserstoffgehalt und in der Regel nur geringe Methangehalt erfordert wie im Teilgutachten 1 ausführlich dargelegt eine Auslegung explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel in die Explosionsgruppe IIB. Der Wasserstoffgehalt begünstigt auf Grund seiner sehr geringen Mindestzündenergie eine Zündung durch mechanische Funken auch bei nicht explosionsgeschützten Betriebsmitteln.

Bei der Berechnung der beim Anbohren von Bläsern freigesetzten Brenngasmengen wurde von einem Gesamtbrenngasgehalt der Austrittsgase von 35 Vol % ausgegangen. Dieser Wert berücksichtigt zum einen die in der Regel hohen Stickstoffgehalte und zum anderen das von den vorliegenden 12 Gasanalysen bei 11 Gaszusammensetzungen (92 %) der Brenngasgehalt unter 35 Vol % lag. Nur bei einer Analyse wurde ein Brenngasgehalt von ca. 50 Vol festgestellt.

Zu 4 H<sub>2</sub>S- Anteile in Austrittsgasen der Grube Siegfried- Giesen (max. 1,5 Vol % ) wurden bei 3 Gasaustritten, d.h. bei 21 % der analysierten Gasaustritte festgestellt. Die H<sub>2</sub>S- Austritte erfolgten sowohl aus dem A3 / T3- Komplex als auch wie der letzte gefährliche H<sub>2</sub>S- Zutritt in der Grube Sigmundshall im Jahre 2012 aus dem Flöz Ronnenberg (K3RoSy) bzw. aus den Liegenden Schichtpaketen der Na3- Horizonte (einschließlich des A3). Wenn auch gefährliche H<sub>2</sub>S- Austritte sehr selten sind, muss dies bei der Festlegung von Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden. Eine Zuordnung solcher Austritte zu bestimmten stratigraphischen Horizonten lässt sich aus dem bisherigen Geschehen nicht eindeutig ableiten

Zu 5 Bei den Gas- und Gas- Salzlösungszutritten konnten nur bei einigen Untersuchungsbohrungen Gasdrücke gemessen werden. Die Gasdrücke- max. wurden 22 bar registriert- waren nicht repräsentativ für die Primärruhedrucke zu Beginn des Gasaustrittes, da sie immer zu einem späteren Zeitpunkt, d.h. nach Entgasen bzw. Teilentgasen der Primärkluft gemessen wurden.

Für die Abschätzung der beim Anbohren eines Bläasers auftretenden Gasmengen wird deshalb wie in anderen brenngasgefährdeten Kali- und Steinsalzgruben von einem Primärruhedruck ausgegangen, der dem der entsprechenden Teufe zugeordneten hydrostatischen Druck entspricht. Für die Verhältnisse in der Grube Siegfried- Giesen wird unter dem Aspekt des vorgesehenen Abbaus für die folgenden Betrachtungen von einem einheitlichen Primärruhedruck von 75 bar ausgegangen.

Zu 6 Im Abschnitt 4.5 wurde ein ausführlicher Vergleich der Gasführung der Grube Siegfried-Giesen mit anderen Kali- und Steinsalzgruben vorgenommen. Danach sind in allen betrachteten Gruben Gaszutritte vor allem aus Anhydrithorizonten vornehmlich dem Hauptanhydrit aufgetreten. In den Gewinnungshorizonten (K3 Ro, Na3) ist mit Ausnahme der Steinsalzgrube Bernburg das Auftreten von Bläsern äußerst selten. Demzufolge werden in Gewinnungsbereichen der Gruben Sigmundshall, Zielitz und Braunschweig- Lüneburg keine Explosionsschutzmaßnahmen gefordert. In der Grube Bernburg sind hingegen begrenzte Schutzmaßnahmen sowohl in Vortrieben als auch beim Strossen in Anwendung.

Hingegen erfolgt in allen Gruben die geologische Bohrerkundung unter Explosionsschutz, d.h. es sind Schutzbereiche (Zonen) festgelegt, in denen nur explosionsgeschützte Betriebsmittel eingesetzt werden dürfen. Bei Bemusterungsbohrungen sind nur in den Gruben Zielitz und Bernburg differenzierte Explosionsschutzmaßnahmen in Anwendung.

Zu 7 In der Grube Siegfried- Giesen treten neben petrographisch bedingten Klüften in Anhydrithorizonten kryogene Klüfte und Press- und Zerrklüfte auf. Alle diese Klüfte können Gas- und Salzlösungsreservoirs sowie Wegsamkeiten für Gase und Salzlösungen bilden. Besonders aus den bis zur 500 m- Sohle verbreiteten kryogenen Klüften sind über die Hälfte der bisher registrierten Gas- und Salzlösungsausstritte freigesetzt worden. Über Erstreckungs- und Öffnungsweiten der Klüfte liegen keine exakten Angaben vor. Es wird davon ausgegangen, dass wie in anderen Kali- und Steinsalzgruben beim Anbohren eines Bläfers neben dem Freisetzen des Gases auf der Primärkluft auch Gase über Verbindungswege (Schnitte, Schlechten) aus benachbarten Kluftsystemen freigesetzt werden. In der Regel weisen die Verbindungswege wesentlich geringere Öffnungsweiten (<1 mm) als die Primärkluft auf, so dass es nach dem Freisetzen der Gase aus der Primärkluft zu einem wesentlichen schwächeren Gasaustritt kommt. Diese Form der Zweiteilung des Gasfreisetzens beim Anbohren eines Bläfers- heftiges Entgasen der Primärkluft-geringerer Gasvolumenstrom in der Nachgasphase- ist für die meisten heftigen Bläser charakteristisch.

Für die Dimensionierung des Schutzbereiches beim Anbohren von Gasen ist deshalb von der Erstreckung und Öffnungsweite der Primärkluft auszugehen. Unter Bezugnahme auf Angaben von Schwerter und Stäubert [35] über Öffnungsweiten und Ausbisslängen von Klüften für die Grube Zielitz wird in Anlehnung an die in Zielitz und Bernburg zugrunde gelegten Kluftabmaße empfohlen für Primärklüfte in Anhydritbereichen von folgenden Maßen auszugehen.

- Geologische Untersuchungsbohrungen  
Spalterstreckung; 20 m\* 20 m  
Spaltöffnungsweite: 3 mm
- Naherkundungsbohrungen  
Spalterstreckung; 20 m\* 10 m  
Spaltöffnungsweite: 2 mm
- Bemusterungsbohrungen  
Spalterstreckung; 20 m\* 10 m  
Spaltöffnungsweite: 1 mm

Den verringerten Spaltabmaßen bei den Bemusterungsbohrungen liegt zugrunde, dass diese Bohrungen den Anhydrit nur anritzen oder in diesen nur geringfügig einbohren.

Zu 8. Die in der Grube Siegfried- Giesen auftretenden Austrittsgase waren trotz teilweise sehr hoher Stickstoffgehalte in ihrer Mehrzahl zündfähig. Auf Grund der hohen Wasserstoffgehalte ist die inertisierende Wirkung von aus dem Bohrloch ausgeworfenen oder im Grubenraum aufgewirbelten Salzstäuben gering, da die für eine Explosionsunterdrückung erforderlichen hohen Salzstaubmengen zum überwiegenden Teil nicht vorhanden sein dürften.

Eine Zündung von Austrittsgas- Luft- Gemischen nach Abschaltung des nichtexplosionsgeschützten Bohrwagens durch am Bohrwagen vorhandenen heißen Oberflächen wird auf Grund der hohen Zündtemperaturen von Wasserstoff (560 °C) und Methan (595 °C) für unwahrscheinlich erachtet. Bei Verwendung explosionsgeschützter Notaus- Schalter am Bohr- aggregat kann eine Zündung durch den Schaltfunken des Schalters ausgeschlossen werden, sodass das Explosionsrisiko in besonders gefährdeten Bereichen verringert werden kann, sofern der nicht explosionsgeschützte Notaus- Schalter am Bohrwagen nicht so eingebaut ist, dass ein Eindringen von Gas in der Anfangsphase eines Gasaustrittes weitestgehend ausgeschlossen werden kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der Grube Siegfried- Giesen mit einem Auftreten brennbarer Gase in Form von Primärläusern und Gas- Salzlösungsaustritten vor allem in Anhydrithorizonten sowie in deren Nähe gerechnet werden muss. In Gewinnungs- und Steinsalzbereichen ist die Wahrscheinlichkeit wesentlich geringer. Dies gilt vor allem für Auffahrbereiche unterhalb einer Teufe von 500 m. Ein Auftreten von Schwefelwasserstoff sowohl als Bestandteil von Austrittsgasen als auch in Verbindung mit Salzlösungen dürfte sehr selten sein, lässt sich jedoch wie bisherige Ereignisse zeigen nicht generell ausschließen. Dies gilt vor allem für Anhydritbereiche aber auch für Auffahrungen in den Lagerhorizonten. Eine regionale Zuordnung möglicher H<sub>2</sub>S- Zutritte ist nach derzeitigem Erkenntnisstand nicht möglich.

## **8.2 Berechnung der bei Gaszutritten freiwerdenden Brenngasmengen**

Bei der Berechnung der beim Anbohren von Bläsern freiwerdenden Gasmengen wurde von der Gasfreisetzung aus der sogenannten Primärkluft ausgegangen. Charakteristisch für das Freisetzen der Gase aus der Primärkluft ist, dass sich der austretende Volumenstrom auf Grund der Verminderung des Ruhedruckes während des Blasvorgangs stark verringert. Einen wesentlichen Einfluss auf den Bläsergasstrom haben Spaltverwachsungen als Folge unterschiedlicher Einlagerung von Sekundärmineralien in Klüften.

Grundlage der Bläsergas- Volumenstrom- Berechnungen ist das von Richter [9] auf der Basis von Windkanalmessungen erstellte Rechenmodell. In Anlage 17 sind nach dem Rechenmodell ermittelte mittlere und Anfangsvolumenströme bei Bläsergasaustritten aus verwachsenen Spalten und einem Primärruhedruck von 75 bar für verschiedene Spaltweiten und Bohrlochdurchmesser zusammengestellt. Bei den für Spaltweiten < 1 mm angegebenen Werten handelt es sich dabei um extrapolierte Abschätzwerte. Die Ermittlung der Gesamtbläsergasmenge erfolgte auf der Grundlage der Zustandsgleichung. Unter Vernachlässigung der Temperaturunterschiede zwischen Gebirgstemperatur und Temperatur in Grubenbau und Ansatz eines Luftdruckes im Grubenbau von 1 bar abs. ergibt sich folgende Gebrauchsformel:

$$V_2 = p_1 \cdot V_1 \quad [4]$$

$V_2$  = Bläsegasmenge bei Normaldruck in  $m^3$

$V_1$  = Kluftvolumen in  $m^3$

$p_1$  = Primärdruck abs. in bar

Nachstehend wird unter Bezugnahme auf die im vorangegangenen Abschnitt angegebenen Spaltabmaße eine Abschätzung

- der Bläsegas mengen,
- der Brenngas mengen sowie
- der mittleren Bläsegas- Volumenströme und
- der mittleren Brenngas- Volumenströme

für Erkundungs- und Bemusterungsbohrungen vorgenommen.

#### 1. Geologische Erkundungsbohrungen

Die geologischen Erkundungsbohrungen werden mit Standrohr, Preventer und Bohrlochverschluss bis zu einer Länge von 1500 m gebohrt. Die Bohrungen erfolgen mit Gestängetyp NRQHP bei einem Bohrlochdurchmesser von 81 mm bis 86 mm.

Von folgenden Größen wurde bei der Berechnung der freiwerdenden Brenngas mengen ausgegangen:

- o Spalterstreckung: 20 m \* 20 m
- o Spaltweite: 3 mm
- o Verwachsungsfaktor: 0,75
- o Primärdruck: 75 bar
- o Bohrlochdurchmesser: 81 mm
- o Brenngasgehalt: 35 Vol %

Auf der Grundlage dieser Daten wurden folgende Werte ermittelt:

- o Kluftvolumen: 0,9  $m^3$
- o Gesamtbläsemenge: 68  $m^3$
- o Brenngasmenge: 24  $m^3$
- o Mittlerer Bläsegas-Volumenstrom 90  $m^3$ / min
- o Mittlerer Brenngas-Volumenstrom: 32  $m^3$ / min

## 2. Naherkundungsbohrungen

Naherkundungsbohrungen werden mit Bohrgestängen des Typs AQ (Bohrlochdurchmesser von 48 mm bis 52 mm) unter dem Schutze geologischer Erkundungsbohrungen gebohrt.

Folgende Ausgangsgrößen wurden zugrunde gelegt:

- Spalterstreckung: 20 m \* 10 m
- Spaltweite: 2 mm
- Verwachsungsfaktor: 0,75
- Primärruhedruck: 75 bar
- Bohrlochdurchmesser: 52 mm
- Brenngasgehalt: 35 Vol %

Auf der Grundlage dieser Daten wurden folgende Werte ermittelt:

- Kluftvolumen: 0,3 m<sup>3</sup>
- Gesamtbläsermenge: 23 m<sup>3</sup>
- Brenngasmenge: 8 m<sup>3</sup>
- Mittlerer Bläsergas-Volumenstrom: 40 m<sup>3</sup>/min
- Mittlerer Brenngas-Volumenstrom: 14 m<sup>3</sup>/min

### 3. Bemusterungsbohrungen

Bemusterungsbohrungen werden mit Schneckengestänge bis ca. 40 m Länge gebohrt (Bohrlochdurchmesser 40 mm). Bei der Zugrundelegung der Ausgangsdaten wird davon ausgegangen, dass Bemusterungsbohrungen in die Anhydrithorizonte in der Regel nur geringfügig einbohren.

Ausgangsdaten:

- Spalterstreckung: 10 m \* 10 m
- Spaltweite: 1 mm
- Verwachsungsfaktor: 0,75
- Primärruhedruck: 75 bar
- Bohrlochdurchmesser: 40 mm
- Brenngasgehalt: 35 Vol %

Folgende Werte wurden ermittelt:

- Kluftvolumen: 0,15 m<sup>3</sup>
- Gesamtläsermenge: 12 m<sup>3</sup>
- Brenngasmenge: 5 m<sup>3</sup>
- Mittlerer Bläsergas-Volumenstrom 12 m<sup>3</sup>/min
- Mittlerer Brenngas-Volumenstrom: 4 m<sup>3</sup>/min

Bei den zugrunde gelegten relativ großen Spaltöffnungsweiten ist, wie auch die angegebenen großen mittleren Volumenströme im Verhältnis zur Gesamtläsermenge zeigen, mit einem kurzzeitigen Freisetzen der Gase aus der Primärkluft beim Anbohren zu rechnen. Für die Dimensionierung der Schutzbereiche ist deshalb das plötzliche Freisetzen der auf der Primärkluft anstehenden Gase zugrunde zu legen. Die bei vielen Bläsern beobachteten Langzeitaustritte sind auf das Ausströmen von Gasen aus benachbarten Kluftsystemen zurückzuführen. Die Verbindungswege (Schnitte, Schlechten) zwischen den einzelnen Klüften haben in der Regel Öffnungsweiten von weniger als 1 mm. Für die Dimensionierung der Wetterführung sind die in der sogenannten Nachgasphase, d.h. bei Austritten von Gasen in benachbarten Kluftsystemen (Sekundärklüften) auftretenden Volumenströmen von Bedeutung. Dabei wurde von folgenden Werten ausgegangen:

- Brenngasgehalt: 35 Vol %
- Kluftöffnungsweiten: 0,75 mm
- Verwachsungsfaktor: 0,75
- Primärruhedruck: 75 bar
- Bohrlochdurchmesser (Erkundungsbohrungen): 81 mm
- Bohrlochdurchmesser (Bemusterungsbohrungen): 40 mm

Daraus ergibt sich aus Anlage 17 für Erkundungsbohrungen ein mittlerer Bläsegas- Volumenstrom von  $16 \text{ m}^3/\text{min}$ , das entspricht einem Brenngas- Volumenstrom von  $6 \text{ m}^3/\text{min}$ . Für Bemusterungsbohrungen beträgt auf Grund des geringeren Bohrlochdurchmessers der mittlere Bläsegas- Volumenstrom  $10 \text{ m}^3/\text{min}$ , das entspricht einem Brenngas- Volumenstrom von  $4 \text{ m}^3/\text{min}$ . Bei einer zugeführten Wettermenge von  $500 \text{ m}^3/\text{min}$  würden bei einer homogenen Vermischung der Gase mit den Wetter die Brenngase auf Konzentrationen auf 1,2 Vol % bei Erkundungsbohrungen bzw. 0,8 Vol % bei Bemusterungsbohrungen d.h. auf 30 % bzw. 20 % der unteren Explosionsgrenze verdünnt.

Das Auftreten von Gaszutritten aus den AbbauhORIZONTEN (K3, K2) angrenzenden Steinsalzhorizonten (Na3, Na2) ist wie im Abschnitt 4.2 dargelegt sehr selten. Bisher wurde ein Gaszutritt im AbbauhORIZONT (K3 RoH) in der Grube Siegfried-Giesen registriert. Grundsätzlich lassen sich wie auch Bläser aus der vergleichbaren Grube Sigmundshall zeigen Gaszutritte aus den AbbauhORIZONTEN für die Grube Siegfried-Giesen nicht gänzlich ausschließen. Hinsichtlich der dabei freiwerdenden Gasmengen dürften im Normalfall die für Bemusterungsbohrungen gemachten Angaben gelten.

### 8.3 Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Schutzbereiche

Beim ungestörten Austritt von Bläsegasen in den Grubenbau kommt es zu einer freistrahlförmigen Ausbreitung der Gase. In der Literatur werden über die Ausbreitung von Gasen als turbulenter Freistrahls verschiedene Rechenverfahren angegeben z.B. [9, 36].

Die ungestörte Freistrahlausbreitung von Bläsegasen wird im Salzbergbau von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Störung des ungehinderten Bläseraustritts durch die beim Bohren mit Bohrwagen im Bohrloch verbleibenden Bohrgestänge.
- Aufprall des Bläserstrahls auf den vor dem Bohrloch befindlichen Bohrlafettenkopf bzw. beim Strossenbohren angebrachte Bohrgestängeführungen.
- Störung des Freistrahls durch die Abraumbegrenzung und im Strahlbereich befindliche Bohrwagenteile.
- Störung der Freistrahlausbreitung durch die Abführung und Aufwirbelung von Salzstaub.
- Einfluss der Wettergeschwindigkeit auf die Ausbreitung des Bläserstrahls im Abbau.

Eine Abschätzung der Größe der Gefahrenbereiche beim Anbohren von Bläsern ist auf der Grundlage von Freistrahlberechnungen infolge der Vielzahl von Störfaktoren deshalb nicht möglich. Stattdessen wurden zur überschlägigen Ermittlung der Gefahrenbereiche zwei Methoden angewandt, die beide auf einer homogenen Vermischung der in einem Grubenbauabschnitt anstehenden Wetter mit den aus der Primärkluft freigesetzten Gase auf Konzentrationen  $\leq 50 \%$  der unteren Explosionsgrenze beruhen.

Die sogenannte „Halbkugelmethode“ basiert auf der Größe einer Halbkugel um den Bohrlochmund, die durch das austretende Brenngas sich vollständig und homogen mit einem Brenngas/ Luft- Gemisch von 50 % der unteren Explosionsgrenze gefüllt hat. Die Methode eignet sich zur überschlägigen Ermittlung der Gefahrenbereiche beim Anbohren kleinerer Gasreservoirs und ist deshalb für die zu betrachtenden Bläsegasfreisetzungen nur bedingt geeignet.

Die Berechnung des Gefahrenbereiches erfolgt nach folgender Gebrauchsformel:

$$r = (96 \cdot V_{BG} / UEG)^{1/3} \quad (5)$$

r - Radius des Gefahrenbereiches vor dem Bohrloch in m

$V_{BG}$  - Brenngasmenge aus Primärkluft in  $m^3$

UEG - untere Explosionsgrenze in Vol-%

Bei der sogenannten „Streckenabschnittsmethode“ wird von einer vollständigen und homogenen Vermischung der aus der Primärkluft freigesetzten Bläsegerase mit den im Streckenabschnitt anstehenden Wetterern ausgegangen.

Es gilt folgende Beziehung:

$$l = 200 \cdot V_{BG} / A \cdot UEG \quad (6)$$

l - Länge des Gefahrenbereiches in m

A - Streckenquerschnitt in  $m^2$

$V_{BG}$  - Brenngasmenge aus der Primärkluft in  $m^3$

UEG - untere Explosionsgrenze in Vol %

Bei Ansatz eines Streckenquerschnittes von mindestens  $25 m^2$  und einer unteren Explosionsgrenze des Bläsegerases von 4 Vol % ergibt sich folgende Gebrauchsformel:

$$l = 2 \cdot V_{BG} \quad (7)$$

Für die Ermittlung der erforderlichen Wettermengen wird vom mittleren Volumenstrom der in der Nachgasphase aus Sekundärklüften austretenden Brenngas- Volumenströme und einer Verdünnung der Bläsegerase auf 50 % der UEG ausgegangen.

Die Berechnung erfolgt nach folgender Beziehung:

$$Q = 200 \cdot V_{BG} / UEG \quad (8)$$

Q - Mindestwettermenge in  $m^3 / \text{min}$

$V_{BG}$  - Brenngas- Volumenstrom in  $m^3 / \text{min}$

UEG - untere Explosionsgrenze in Vol %

#### 8.4 Schutzbereiche (Zonen) und Schutzmaßnahmen- allgemein

Für die Festlegung erforderlicher Schutzmaßnahmen muss nach Arbeitsprozessen unterschieden werden. Dies sind:

- Geologische Erkundungsbohrung (Exploration)
- Bemusterung
- Konventionelle und schneidende Streckenauffahrung
- Konventionelle und schneidende Streckenerweiterung
- Herstellung von Roll-, Wetter- und Einbruchslöchern

Strossenbohrung Abgesehen von der Exploration kommen überwiegend nicht explosionsgeschützte Betriebsmittel wie in den vergleichbaren Gruben Sigmundshall, Zielitz und Braunschweig- Lüneburg zum Einsatz.

Um das Restrisiko bezüglich einer möglichen Explosionsgefährdung sowie von toxischen Gefahren bei H<sub>2</sub>S- haltigen Gasaustritten zu minimieren, sind bei den unterschiedlichen Auffahrungen verschiedene Maßnahmen vorgesehen. Ziel der Maßnahmen ist neben der Reduzierung des Anbohrens von Gasen vor allem die Sicherheit des Bedienungspersonals der Bohrwagen, Bohrmaschinen und Teilschnittmaschinen.

Nach derzeitigem Stand ist eine Vorabdifferenzierung der zu erwartenden Gaszutritte in nichtbrennbare, brennbare und toxische Gase nicht immer möglich

Das Inbetriebnahmekonzept der Grube Siegfried-Giesen beinhaltet:

- Erweiterung der durch Konvergenz verringerten Streckenquerschnitte vorhandener Strecken
- Neuauffahrung von Strecken in allen Bereichen
  - Wendeln
  - Band- und Richtstrecken
  - Lagerstrecken
- Auffahrung von Roll- und Wetterlöchern in allen Bereichen
- Strossenbohrung

Hinsichtlich der anzuwendenden Schutzmaßnahmen ist zu differenzieren zwischen:

- Aus- und Vorrichtungsstrecken unterhalb der 500 m- Sohle
- Aus- und Vorrichtungsstrecken oberhalb der 500 m- Sohle
- Auffahrungen in durch Schwefelwasserstoff gefährdeten Bereichen

Die Maßnahmen beinhalten zum einen die vor der Auffahrung durchgeführte Bohrerkundung und zum anderen Maßnahmen zum Schutz der Sprengloch- und Großbohrlochfahrer bei Gasaustritten. Erkenntnisse über gestörte und gasführende Bereiche ergeben sich aus der im Vorfeld stattfindenden geologischen Erkundung.

Der Abbau der Lagerstätte erfolgt im Flöz Ronnenberg über die komplette Flöz-Mächtigkeit und im Flöz Staßfurt bis zu einer Entfernung von  $\leq 1$  m zu den Anhydrithorizonten.

Da in den oberen Bereichen (353m- Sohle bis 500 m- Sohle) verstärkt mit kryogenen Klüften und damit einer erhöhten Laugen- und Gasgefahr zu rechnen ist, wird das Abbaufahren „Weitungsbaue mit Versatz“ vorerst nur bis zur 500 m- Sohle angewandt. Jedoch findet in der Bauscheibe zwischen der 500 und 400 m- Sohle Aus- und Vorrückung statt.

#### **8.4.1 Schutzmaßnahmen bedingt bei Gefährdung durch brennbare Gase**

1. Explorationsbohrungen und Naherkundungsbohrungen unter Explosionsschutz
2. Vorherige Exploration im Nahbereich von Richt- und Bandstreckenauffahrungen  
Bei Gasfeststellungen sind im Profil der Auffahrung Degasierungsbohrungen zu bohren.
3. Ausrüstung der nicht explosionsgeschützten Bohrwagen, Bohrmaschinen und Teilschnittmaschinen mit einem Notaus- Schalter.
4. Fernsteuerung des Bohrvorganges mit nicht explosionsgeschützten Bohrwagen aus sicheren Entfernungen durch den Bohrwagenfahrer.
5. Abschaltung des Bohrvorganges und ggf. auch der blasenden Sonderbewetterung bei Auftreten von Gas.
6. Ausreichende Bewetterung der Bohrorte bzw. Schneidorte.
7. Bohren von Strossenbohrlöchern ohne Befeuchtung des Bohrmehls im Hinblick auf eine Erhöhung der inertisierenden Wirkung des austretenden Salzstaubes.

#### **8.4.2 Schutzmaßnahmen bedingt bei Gefährdung durch Schwefelwasserstoff**

In Bereichen, in denen Gasaustritte mit Schwefelwasserstoffanteilen nicht auszuschließen sind, werden folgende zusätzliche Maßnahmen empfohlen:

1. Einsatz von Gasmesstechnik mit Sensoren für brennbare Gase und Schwefelwasserstoff.
2. Bei Alarmauslösung neben Abschaltung des Bohraggregats ggf. Abschaltung der blasenden Sonderbewetterung, Flucht des Bohrwagenfahrers unter Anlegen H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerätes und Mitnahme des außenluftunabhängigen Selbstretters (SSR90).
3. Durchführung von ferngesteuerten Degasierungsbohrungen bei abgeschalteter Sonderbewetterung vor dem Großlochbohren in besonders gefährdeten Bereichen.
4. Ausrüstung von Bohrmaschinen und Teilschnittmaschinenfahrern mit leicht handhabbaren H<sub>2</sub>S-Filterrettern.
5. Vor Großlochbohren ggf. Bohren eines Sprengbohrloches im Profil des Großbohrloches.

- Zu 1: Bei der verwendeten Gaswarnmesstechnik (GWM) werden Alarmwerte von 0,4 Vol % (10 % UEG) für brennbare Gase und 10 ppm (MAK- Wert) für Schwefelwasserstoff empfohlen. Die Alarmwerte wurden bewusst niedrig gewählt, da durch den Standort der GWM am Bohrwagen bei Anbohren von Gas aus den unterschiedlichen Bohrlöchern zu niedrige Werte angezeigt werden. Die Alarmierung hat optisch durch eine vom Standort des Bohrmaschinisten gut einsehbare Alarmleuchte möglichst durch eine Rundumleuchte zu erfolgen. Ein akustischer Alarm ist nur dann sinnvoll, wenn der Alarm trotz der Bohrgeräusche von den Bohrmaschinisten auch bei Fernsteuerung des Bohrwagens gut hörbar ist. Als geeignetes Bereichsüberwachungsgerät kommen z.B. die in der Grube Sigmundshall verwendeten Dräger X- zone 5000 Geräte in Kombination mit dem Gasmessgerät Dräger X- am 5000 in Betracht. Die Messgeräte lassen die gleichzeitige kontinuierliche Messung von bis zu 5 verschiedenen Gasen zu. Die in der Grube Siegfried- Giesen einzusetzenden Geräte müssen zur komplexen Messung von Wasserstoff, Methan und höheren Kohlenwasserstoffen mit einer Wärmetönungszelle sowie Sensoren für Schwefelwasserstoff und Sauerstoff ausgerüstet sein. Die Messgeräte müssen Explosionsschutz der Gerätegruppe II Kategorien 1G bzw. 2G Explosionsgruppe IIC und Temperaturklasse T3/ T4 aufweisen.
- Zu 2: Bei Alarmauslösung wird das Bohrgerät aus sicherer Entfernung über die Fernbedienung abgeschaltet und der Bediener setzt umgehend das am Mann zu tragende H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerät auf. Bei der anschließenden Flucht ist der umluftunabhängige Sauerstoffseltretter mitzuführen. Am Streckeneingang ist die Sonderbewetterung abzustellen, um eine Gefährdung der Belegschaft durch die belasteten Wetter zu vermeiden. Sofern technisch möglich, kann durch die sofortige Abschaltung der Sonderbewetterung gleichzeitig mit dem Stillsetzen der Maschine das Gefährdungspotential auf Grund der verringerten Ausbreitung der Austrittsgase im Grubenraum noch weiter abgesenkt werden. Ausgehend von den im Gutachten angesetzten Berechnungen bleibt auch bei laufender Sonderbewetterung unter Verwendung eines geeigneten H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerätes genügend Zeit für den Bediener, den Streckeneingang und den dortigen Lüfter der Sonderbewetterung noch vor Eintreffen der belasteten Wetter zu erreichen.
- Zu 3: Für Auffahrungen in den durch starken H<sub>2</sub>S- Austritt im Lager 10 der Grube Sigmundshall gekennzeichneten besonders gefährdeten Abbaubereich wurden auf Grundlage von Gasausbreitungsberechnungen von Dartsch [49] Maßnahmen festgelegt, durch die eine Gefährdung des Bohrwagenfahrers durch einen H<sub>2</sub>S- Bläser bei der Auffahrung von Teilsohlen weitestgehend verhindert werden soll. Dartsch kommt zu dem Ergebnis, dass in Strecken mit einem Querschnitt  $\geq 25 \text{ m}^2$  beim Auftreten eines heftigen Bläasers bis zum Eintreffen der Gasfront in 20 m Entfernung die Reaktionszeit ohne Bewetterung 200 s und bei blasender Sonderbewetterung mit  $400 \text{ m}^3/\text{min}$  ca. 35 s beträgt.

Im Hinblick auf mögliche ähnliche Gefährdungen durch starke H<sub>2</sub>S- Austritte in der Grube Siegfried- Giesen wird das in der Grube Sigmundshall angewandte Schutzmaßnahmenkonzept dargelegt. Das Konzept basiert auf der Durchführung von Degasierungsbohrungen mittels nicht explosionsgeschützten Sprenglochbohrwagen vor jedem Abschlag vor den Gewinnungsbohrungen (Großloch- und Sprenglochbohrungen). Durch Bohren von 6 Degasierungsbohrungen- davon zwei mittig im Bereich der vorgesehenen Großlochbohrungen und je 2 an den Stößen im Sohl- und Firstbereich wird davon ausgegangen, dass in der Gewinnungsphase Austritte von Kluftgasen ausgeschlossen werden können, so dass bei den Gewinnungsbohrungen keine Gasschutzmaßnahmen durchgeführt werden brauchen.

Für den Schutz des Bohrwagenfahrers während der Herstellung der Degasierungsbohrlöcher werden folgende Maßnahmen angewandt:

- Abstellen der Sonderbewetterung vor Einfahrt des Bohrwagens in die Strecke
- Aufstellung eines Gasmessgerätes z.B. des Typs Dräger X- zone 5000 in Höhe der Hinterachse des Sprenglochbohrwagens
- Nach Einrichten der Lafette Rückzug des Bohrwagenbedieners in eine Entfernung von 40 m vom Bohrwagenheck
- Mitnahme der Fernbedienung, des Selbstretters, des Funkgerätes, des Geleuchts sowie eines mit Sensoren für H<sub>2</sub>S, brennbare Gase und Sauerstoff ausgerüsteten Handmessgerätes z.B. Dräger X- am 5000
- Durchführung des Bohrens der 6 Degasierungs- Bohrlöcher bei abgeschalteter Sonderbewetterung
- Während des Bohrens ist eine Einfahrt von Kfz in den 40 m Sperrbereich auszuschließen.

Bei Gasalarm (H<sub>2</sub>S, brennbare Gase) hat der Bohrwagen- Bediener folgende Schutzmaßnahmen durchzuführen:

- Auslösung des Not- Aus mittels Fernbedienung
- Anlegen des Selbstretters
- Sofortiges Verlassen des Gefahrenbereiches in Frischwetterrichtung
- Kontrolle der vom Gasmessgerät angezeigten Konzentrationswerte von H<sub>2</sub>S und brennbaren Gasen
- Warnmeldung per Funk aus einem sicheren Standort an die verantwortliche Aufsichtsperson

Es wird eingeschätzt, dass die aufgezeigten Maßnahmen beim Anbohren eines heftigen Bläasers mit hohen H<sub>2</sub>S- Gehalten im Gas einen sicheren Schutz des Bohrwagenfahrers vor toxischen Gefahren garantieren. Auch die Wahrscheinlichkeit einer Zündung der Austrittsgase wird auf Grund sofortigen Abschaltens des Bohrwagens sowie der explosionshemmenden Wirkung der austretenden Salzstäube als gering eingeschätzt. Es wird vor allem aus klimatischen Gründen empfohlen die Außerbetriebnahme des Lüfters erst zusammen mit dem Not-Aus beim Auftreten eines Bläasers vorzunehmen.

Zu 4: Bei dem H<sub>2</sub>S- Bläserunfall in der Grube Sigmundshall hat sich gezeigt, dass die im Kalibergbau eingesetzten luftsauerstoffunabhängigen Selbstretter auf Grund ihrer Inbetriebnahmezeiten und ihres Gewichts bei einem solchen Gasunfall nur bedingt geeignet sind. Für den Bohrergeräte- Bediener am Bohrort eignen sich im Falle einer Gefährdung durch Schwefelwasserstoff leicht handhabbare Filter- Selbstretter von geringem Gewicht die unmittelbar am Mann getragen werden. Für solche Einsatzbedingungen kommen die von der Fa. Dräger angebotenen Brandschutzfluchthauben Dräger Parat 5500 [50] in Betracht. Die Haube gewährleistet einen Ganzkopfschutz. Bei der Inbetriebnahme ist die Verpackung zu öffnen und die Filterhaube mit dem eingesetzten Gasfilter über den Kopf zu ziehen.

Vom Unterzeichnenden bei einem Besuch der Fa. Dräger durchgeführte Tests zeigten, dass die Haube in max. 15 s aufgesetzt werden kann und der Filter betriebsbereit ist. Die mit einem Schwefelwasserstofffilter ausgerüstete Haube Dräger Parat 5500 wurde vom Hersteller mit Schwefelwasserstoffkonzentrationen von 2500 ppm (0,25 Vol %) und 10000 ppm (1,0 Vol %) getestet.

Es werden Mindesthaltezeiten von 15 min bei 2500 ppm und 5 min bei 10000 ppm angegeben. Die Tests erfolgten gemäß DIN 58647-7 [51] mit einer Atemfrequenz von 30 l/ min bei 70 % relativer Feuchtigkeit und einer Temperatur von 20 °C. Die nicht außenluftabhängige Filterhaube kann nach der Norm BGR/ GUV R- 190 [52] bis zu Sauerstoffkonzentrationen in der Luft von minimal 17 Vol % eingesetzt werden. Eine Verringerung des Sauerstoffgehaltes in der Atemluft auf Konzentrationen < 17 Vol % wird beim Auftreten eines Bläasers im Standortbereich des Bohrwagen- Bedieners, d.h. in der Regel mehrere Meter von der Bläseraustrittsstelle entfernt für unwahrscheinlich gehalten. Die Brandschutzhaube stellt eine zusätzliche Schutzmaßnahme dar. Sie entbindet vor allem auf Grund der begrenzten Mindesthaltezeiten den Bohrwagen- Bediener nicht nach Flucht in einen sicheren Bereich (z.B. Frischwetterbereich) den außenluftunabhängigen Selbstretter anzulegen.

Es wird empfohlen den Einsatz der Brandschutzhaube Dräger Parat 5500 oder eines anderen geeigneten Filterselbstretters für durch H<sub>2</sub>S gefährdete Grubenbaue in den Kali- und Steinsalzgruben von K+S zu prüfen.

## **8.5 Schutzbereiche (Zonen) und Schutzmaßnahmen für Erkundungs- und Bemusterungsbohrungen**

### **8.5.1 Geologische Erkundungsbohrungen**

Bei der Ermittlung der Schutzbereiche wird von den im Abschnitt 8.1 aufgezeigten Kluffverhältnissen ausgegangen. Für die Berechnung der Schutzbereiche wurde die konservative Streckenabschnittsmethode gewählt. Auf Grund der zugrunde gelegten großen Brenngasmengen in der Primärkluff ist eine Anwendung der Halbkugelmethode unrealistisch, da vor allem auf Grund der Streckenbegrenzung zu kleine Gefahrenbereiche ausgewiesen würden. Nach der Streckenabschnittsmethode ergibt sich bei Zugrundelegung eines Streckenquerschnitts von  $\geq 30 \text{ m}^2$  ein Gefahrenbereich von 40 m.

Für die unterschiedlichen Bohransatzpunkte und Bewetterungsverhältnisse werden folgende Zonenbereiche vorgeschlagen.

- Bohransatzpunkt in seitlichen Stößen einer nicht durchgehend bewetterten Strecke  
Zonenbereiche sowohl 40 m vor Bohransatzpunkt als auch 40 m hinter Bohransatzpunkt bzw. bei kleineren Entfernungen bis zur Ortsbrust der Strecke Bereich bis zur Ortsbrust. Die Zonenbereiche können in einen 20 m- Zone 1- Bereich und einen sich anschließenden 20 m- Zone 2- Bereich unterteilt werden.
- Bohransatzpunkt an der Ortsbrust einer sonderbewetterten Strecke  
Zonenbereich 40 m, davon 20 m Zone 1- Bereich und einen sich anschließenden 20 m Zone 2- Bereich.
- Bohransatzpunkt in durchgehend bewetterter Strecke  
Vom Bohransatzpunkt abwetterseitig Zonenbereich 40 m davon 20 m Zone 1- Bereich und sich daran anschließend 20 m Zone 2- Bereich  
Vom Bohransatzpunkt frischwetterseitig Zonenbereich 10 m davon 5 m Zone 1- Bereich und 5 m Zone 2- Bereich

Folgende Schutzmaßnahmen bzw. Schutzanforderungen sind zu gewährleisten:

- Einsatz explosionsgeschützter Betriebsmittel entsprechend den Anforderungen der jeweiligen Zonen
- Bewetterung der Bohrorte mit mindestens  $500 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Bei Sonderbewetterung sollte sich das Ausblasende der Luttentour nicht mehr als 20 m vom Bohransatzpunkt befinden. Kann die Wettermenge nicht gewährleistet werden ist der Zonenbereich um 50 % zu erweitern, wobei eine Wettermenge von mindestens  $350 \text{ m}^3/\text{min}$  zuzuführen ist.

- Der Bohrmaschinist sowie der Bediener an der Kernfangrinne haben sich während des Bohrens frischwetterseitig aufzuhalten.

Beim Anbohren eines Gasreservoirs erfolgt der Gasaustritt über die Spülflüssigkeit in der Kernfangrinne. Auf Grund der Auslegung der Bohrgarnitur auf sehr hohe Drücke ( $>> 100 \text{ bar}$ ) kann ein Austritt von Bläsegasen am Bohrloch ausgeschlossen werden.

- Im Hinblick auf eine Gefährdung durch Schwefelwasserstoffanteile im Austrittsgas werden folgende Maßnahmen empfohlen:
  - Anbringung einer optoakustischen Gaswarnmesstechnik mit Sensoren für Schwefelwasserstoff und brennbare Gase abwetterseitig an oder unmittelbar hinter der Kernfangrinne ggf. zusätzlich auch an der Bohrmaschine.
  - Zusätzliche Ausrüstung des Bedienpersonals mit  $\text{H}_2\text{S}$ - Filterfluchtgeräten, die am Mann zu tragen sind.
  - Bei Überschreitung der Gasalarmwerte (Alarmwerte  $10 \text{ ppm H}_2\text{S}$  und  $0,4 \text{ Vol } \%$  brennbare Gase) bzw. Anzeichen von Gas (Geruch nach faulen Eiern, starke Schäumung der Spülflüssigkeit) ist die Bohrmaschine abzuschalten und das Bedienpersonal hat das Bohrort unter Anlegen des  $\text{H}_2\text{S}$ - Filterfluchtgerätes und Mitnahme des außenluftunabhängigen Selbstretters (SSR90) sofort zu verlassen. Die Sonderbewetterung des Bohrortes darf nur unter Berücksichtigung keiner weiteren Gefährdung des Grubengebäudes abgeschaltet werden.
  - Die Einschätzung der zu erwartenden Wetterbewegungen bei Abschaltungen der Sonderbewetterung des Bohrortes ist in Sonderbetriebsplänen geregelt.

### 8.5.2 Naherkundungsbohrungen

Bei der Festlegung des Sicherheitsbereiches und der Bewetterungsverhältnisse ist zu berücksichtigen, dass Naherkundungsbohrungen offen ohne Bohrlochverschluss unter Schutz von Fernerkundungsbohrungen gebohrt werden. Bei Zugrundelegung einer Gesamtbrenngasmenge von  $8 \text{ m}^3$  aus der Primärkluft beim Anbohren eines Bläasers ergibt sich bei einem Streckenquerschnitt von  $25 \text{ m}^2$  nach Formel 4 ein fiktiver Gefahrenbereich von 16 m. Es wird empfohlen grundsätzlich auch bei Streckenquerschnitten  $> 30 \text{ m}^2$  einen Schutzbereich von 30 m festzulegen. Dieser Bereich kann in einen Zone 1- Bereich von 20 m und einen sich anschließenden Zone 2- Bereich von 10 m unterteilt werden.

Das Bohrort ist mit mindestens  $500 \text{ m}^3/\text{min}$  blasend zu bewettern. Dem von der K+S Projektgruppe Siegfried- Giesen unterbreiteten Vorschlag für Naherkundungsbohrungen die gleichen Zonenbereiche und Zonenunterteilungen wie für die Fernerkundung anzuwenden wird auf Grund des erhöhten Sicherheitsgrades zugestimmt. Dies gilt sowohl für sonderbewetterte als auch durchgehend bewetterte Bohransatzpunkte.

Folgende Schutzmaßnahmen bzw. Schutzanforderungen sind zu gewährleisten:

- Einsatz explosionsgeschützter Betriebsmittel in den Zonenbereichen
- Analoge Bewetterung wie bei der Fernerkundung
- Der Bohrmaschinist hat sich während des Bohrens frischwetterseitig am Bohrgerät aufzuhalten.
- Im Hinblick auf eine Gefährdung durch Schwefelwasserstoff sind die gleichen Schutzmaßnahmen wie bei der Fernerkundung anzuwenden. Als Standort der optoakustischen Gaswarnmesstechnik sollte ein Bereich am Bohrgerät von ca. 2- 4 m Entfernung vom Bohrsatzpunkt gewählt werden.

### 8.5.3 Bemusterungsbohrungen

Bemusterungsbohrungen erfolgen generell nach Rücksprache mit der geologischen Abteilung und der Markscheiderei.

Es wird unterschieden zwischen Bemusterungsbohrungen ins geologisch Liegende (Steinsalzhorizonte Na2, Na3) und zur Lager- Hangendgrenze (Anhydrithorizonte A2r, A3).

Bei den Bemusterungsbohrungen ins geologisch Liegende wird davon ausgegangen, dass im Normalfall ein Anbohren von Gas im Lager und den angrenzenden Steinsalzhorizont sehr unwahrscheinlich ist. Dies gilt nicht für Bereiche, in denen bei der Exploration und Grubenbauauffahrung Gase aufgetreten sind.

Für Bohrungen in nicht gashöffigen Bereichen sind unter Berücksichtigung des betrieblichen Vorschlages folgende Schutzmaßnahmen anzuwenden:

- Auf dem nicht explosionsgeschützten Bohrwagen ist eine optoakustische Gaswarnmesstechnik mit Sensoren für H<sub>2</sub>S und brennbare Gase zu stationieren.
- Der Bohrmaschinist hat sich mit Ausnahme des Zeitraumes zum Anbohren und Gestänge nachsetzen frischwetterseitig außerhalb des Fahrzeugbereiches aufzuhalten.
- Bei Anzeichen von Gas (Gasalarm, Geruch nach faulen Eiern oder Benzin) hat der Bohrwagenfahrer über das Notaus der Fernbedienung den Bohrvorgang abubrechen, d.h. den Bohrwagen spannungsfrei zu schalten und den Bohrort unter Anlegen des H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerätes und Mitnahme des außenluftunabhängigen Selbstretters sofort zu verlassen.
- Dem Bohrort sind mindestens 500 m<sup>3</sup>/min Frischwetter zuzuführen. Bei nicht sonderbewetterten Bohrorten kann die Bewetterung durch einen frischwetterseitig vor dem Bohrort stationierten Mengelüfter (Wetterwerfer) unterstützt werden.

Für Bemusterungsbohrungen zur Lager- Hangendgrenze, d.h. bis zum Erreichen des Anhydrits bzw. Tons sowie für gashöfliche Bohrungen ins geologisch Liegende sind auf Grund der erhöhten Gasgefährdung zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich. Dabei ist neben der Gefährdung durch brennbare Gase (Schlagwettergefahr) einer möglichen Gefährdung durch Schwefelwasserstoff Rechnung zu tragen. Das diesbezügliche betriebliche Konzept sieht bei Verzicht auf eine Zonenfestlegung als wesentliche Schutzmaßnahme einen Schutzbereich von 25 m zwischen dem Bemusterungsbohrwagen und dem Standort des Bohrwagenfahrers beim Bohren vor. Dadurch soll bei Gasalarm eine sofortige Spannungsfreischaltung des Bohrwagens, d.h. Beseitigung von Zündquellen sowie ausreichend Zeit für den Individualschutz des Bohrwagenfahrers bei H<sub>2</sub>S- Austritten gewährleistet werden.

Dem vorgeschlagenen Sicherheitskonzept kann zugestimmt werden, wenn folgende Bedingungen gewährleistet sind:

- Ausrüstung des Bemusterungsbohrwagens mit einem explosionsgeschützten Notaus- Schalter, sofern der Notaus- Schalter am Bohrwagen nicht so eingebaut ist, dass ein Eindringen von Gas in der Anfangsphase eines Gasaustrittes weitestgehend ausgeschlossen werden kann.
- Sicherheitsabstand Bemusterungsbohrort- Standort Bohrwagenfahrer auf Grund möglicher H<sub>2</sub>S- Gefährdung 25 m, d.h. der Bohrwagenfahrer begibt sich nach dem Anbohren bzw. einem Gestängewechsel 25 m hinter das Bemusterungsfahrzeug bevor er den Bohrvorgang fortsetzt.
- Sperrbereich von 20 m bei durchgehender Wetterführung abwetterseitig hinter Bohrwagen, d.h. während des Bohrens ist in diesem Bereich die Kfz- Einfahrt unzulässig.
- Abschaltung Bohrwagen über die außerhalb des Sicherheitsabstandes gelegene Niederspannungsversorgung bei Gasalarm.
- Verwendung einer optoakustischen Gaswarnmesstechnik für brennbare Gase und Schwefelwasserstoff.
- Aufstellung eines Gaswarngerätes am Bohrwagen abwetterseitig, so dass austretende Gase trotz teilweiser Vermischung mit den Wettern registriert werden.
- Das Bohrort ist mit mindestens 500 m<sup>3</sup>/ min zu bewettern. Zusätzlich kann bei durchgehender Wetterführung die Bewetterung durch einen Mengenlüfter verstärkt werden. Der Mengenlüfter sollte dabei max. 20 m vom Bohrort entfernt sein.
- Der Bohrwagenfahrer ist zusätzlich mit einem H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerät auszurüsten, welches am Mann zu tragen ist. Bei Gasalarm hat der Bohrwagenfahrer unter Anlegen des H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerätes und Mitnahme des außenluftunabhängigen Selbstretters das Bohrort zu verlassen, die Sonderbewetterung am Streckeneingang ggf. abzuschalten und die zuständige Aufsichtsperson zu informieren.

## **8.6 Schutzbereiche (Zonen) und Schutzmaßnahmen für konventionelle und schneidende Streckenauffahrung**

### **8.6.1 Konventionelle Auffahrung im Anhydrit**

Bei der Festlegung der Schutzbereiche (Zonen) und Schutzmaßnahmen bei Anhydritdurchörterungen in der Grube Siegfried- Giesen ist die relativ große Klüftigkeit der Anhydrithorizonte insbesondere des Hauptanhydrits zu berücksichtigen. Nachstehend werden, in Anlehnung an die in der Grube Zielitz diesbezüglich angewandten Maßnahmen, Vorschläge für eine aus explosionsschutztechnischen Gesichtspunkten sichere Auffahrung in Anhydrithorizonten der Grube Siegfried- Giesen unterbreitet.

Die in den Gruben Zielitz und Bernburg praktizierte Methode der Durchörterung von Anhydrithorizonten ohne Schutzbereichsfestlegung nach vorheriger Degasierung des Auffahrbereiches durch Stoßen spezieller Bohrungen im Streckenprofil kann grundsätzlich auch in der Grube Siegfried- Giesen angewandt werden.

Bei der Degasierungsmethode wird davon ausgegangen, dass im Auffahrbereich der Anhydritstrecken vorhandene gasgefüllte Klüfte durch die Vorbohrungen angeschnitten, und dadurch eine weitestgehende Entgasung des Auffahrbereiches vor der bergmännischen Durchörterung erfolgt. Im Hinblick auf das verbleibende Restrisiko des Nichtanschneidens vorhandener Klüfte durch die Vorbohrungen sind bei der Streckenauffahrung gegenüber den in explosionsgefährdeten Grubenbauen angewandten

umfassenden Explosionsschutzmaßnahmen nur begrenzt Schutzmaßnahmen vorgesehen, durch die die Gefahr einer Explosion durch einen Gasaustritt bei Anbohren einer durch die Vorbohrungen nicht erfassten Kluft weitestgehend verhindert werden soll.

Die konventionelle Auffahrung in Anhydritbereichen kann nach folgenden Verfahrensweisen vorgenommen werden:

- Variante 1:** Streckenauffahrung nach vorheriger Vorerkundung mit explosionsgeschützten Erkundungsbohrmaschinen
- Variante 2:** Streckenauffahrung ohne vorherige Vorerkundung
- Variante 3:** Streckenauffahrung unter Explosionsschutz

**Zu Variante 1** - Streckenauffahrung nach vorheriger Vorerkundung mit explosionsgeschützten Erkundungsbohrmaschinen:

Mit einem Abstand von mindestens 6 m zum Anhydritbereich wird unter Einrichtung eines Zonenbereiches von 30 m (siehe Kapitel 8.5.2) eine Naherkundungsbohrung im geplanten Streckenprofil gestoßen.

Wird dabei Gasfreiheit nachgewiesen, kann auf weitere Erkundungsbohrungen verzichtet werden. Eine Auffahrung mit nicht explosionsgeschützten Bohrwagen wird für sicherheitstechnisch vertretbar gehalten.

Werden bei der Erkundungsbohrung stärkere oder mehrere Gasaustritte festgestellt, sind weitere Erkundungsbohrungen in Stoßnähe zu bohren. Dabei sind die für Naherkundungsbohrungen angegebenen Zonenbereiche und Schutzmaßnahmen anzuwenden.

Bei Gasfeststellungen bei der Erkundungsbohrung sind vor der Bergmännischen Auffahrung Degasierungsbohrungen mit nicht explosionsgeschützten Sprenglochbohrwagen unter Anwendung folgende Schutzmaßnahmen durchzuführen.

Folgende Maßnahmen sind in der Degasierungsphase zu gewährleisten:

- Aufstellung einer optoakustischen Gaswarnmesstechnik mit Sensoren für H<sub>2</sub>S und brennbare Gase abwetterseitig am Bohrwagen.
- Einrichtung eines Schutzbereiches von 30 m.
- Mit dem Gasmessgerät sind Gaskonzentrationsmessungen im Vortriebsbereich durchzuführen. Mindestwettermenge: 500 m<sup>3</sup>/min
- Der Bohrwagenfahrer hat sich während des Bohrens der Degasierungsbohrlöcher frischwetterseitig, außerhalb des Schutzbereiches d.h. mindestens 30 m vom Bohrort entfernt aufzuhalten.
- Es sind mindestens 3 Vorbohrungen von 7 m Länge auf halber Höhe im Streckenprofil davon eine mittig und zwei in der Nähe des Stöße zu bohren.
- Die Vorbohrungen sind in horizontalen Abständen von mindestens 2,5 m anzusetzen.
- Bei Gasalarm ist der Bohrwagen mit Notaus sofort spannungsfrei zuschalten. Der sofortigen Abschaltung des Bohrwagens bei einem Gasaustritt kommt im Hinblick auf eine Verhinderung der Zündung austretender Gase besondere Bedeutung zu. Nach Abschaltung des Bohrwagens wird eine Zündung durch die noch vorhandenen heißen Oberflächen des Bohrwagens auf Grund der hohen Zündtemperaturen der austretenden Gase ausgeschlossen.

- Bei Gasalarm hat der Bohrwagenfahrer das Bohrort unter Anlegen der H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerätes und Mitnahme des Selbstretters sofort zu verlassen, die Sonderbewetterung ggf. abzuschalten und die zuständige Aufsichtsperson zu informieren.
- Bei Feststellung von stärkeren Gasaustritten bei den Bohrungen sind nach Vorgaben des Geologen weitere Degasierungsbohrungen zu stoßen. Gegebenenfalls ist eine Erweiterung des Schutzbereiches und eine Erhöhung der Wettermenge vorzunehmen.
- Eine vorher im Streckenprofil bzw. in dessen Nähe im Abstand von weniger als 5 m gebohrte Erkundungsbohrung kann als Degasierungsbohrung gelten. In diesem Fall brauchen nur zwei weitere Degasierungsbohrungen gestoßen werden.

Bei der Durchführung der bergmännischen Auffahrung der Anhydritstrecken nach erfolgtem Degasierungsbohren sind auf Grund des Restrisikos folgende Schutzmaßnahmen zu gewährleisten:

- Die nicht schlagwettergeschützten Sprenglochbohrwagen und Großlochbohrwagen sind mit einem Notaus- Schalter auszurüsten.
- Bei Gasaustritt sind der Bohrwagen sowie ggf. die Sonderbewetterung über Notaus sofort abzuschalten.
- Der Vortriebsort ist mit einem Gasmessgerät auszurüsten. Mit dem Gasmessgerät sind Gas Konzentrationsmessungen im Vortriebsbereich vor Beginn der Bohrarbeiten, nach dem Sprengen, nach längerem Lüfterstillstand sowie bei Gasaustritten durchzuführen. Die Feststellung der Gasfreiheit ist auf einer Freigabetafel zu dokumentieren. Ein Gasaustritt ist dabei gekennzeichnet durch:
  - eine Geräuschkulisse
  - Geruch nach Diesel/ Benzin (hKW) oder faulen Eiern (H<sub>2</sub>S)
  - Feststellung eines Druckaufbaus am Austrittsbohrloch z.B. durch Handauflegen am Bohrlochmund
  - Feststellung von brennbaren Gasen im Ortsbrustbereich (Ein messtechnischer Nachweis von brennbaren Gasen nur im Bohrloch gilt nicht als Gasaustritt).
  - Austritt von schäumenden Salzlösungen (Gas- Salzlösungszutritt)
- Der Bohrwagenfahrer hat sich außer beim Anbohren in einer Entfernung von  $\geq 10$  m frischwetterseitig von der Ortsbrust aufzuhalten.
- Das Vortriebsort ist blasend mit  $\geq 500 \text{ m}^3/\text{min}$  zu bewettern. Das Ausblasende der Luttentour sollte während der Bohrarbeit nicht weiter als 20 m von der Ortsbrust entfernt sein.
- Während des Bohrens und nach dem Sprengen bis zur Gasfreigabe ist eine Einfahrt von Kfz in einen Bereich der weniger als 20 m vom Bohrort bzw. Sprengort entfernt ist, unzulässig.
- Bei Gasalarm (Alarmwerte 0,4 Vol % brennbare Gase, 10 ppm H<sub>2</sub>S) bzw. Anzeichen von Gas hat der Bohrwagenfahrer das Bohrort unter Anlegen des H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerätes und Mitnahme des Selbstretters sofort zu verlassen, die Sonderbewetterung ggf. abzuschalten und die zuständige Aufsichtsperson zu informieren.

### **Variante 2** - Streckenauffahrung ohne vorherige Vorerkundung:

Kann im Vorfeld der Streckenauffahrung nicht mit Explorationsbohrmaschinen vorerkundet werden, muss vor dem Bohren eines jeden Abschlages mit Degasierungsbohrungen Gasfreiheit nachgewiesen werden.

Dabei sind die unter Variante 1 aufgeführten Schutzmaßnahmen beim Degasierungsbohren mit nicht explosionsgeschützten Sprenglochbohrwagen anzuwenden.

Nach erfolgter Degasierung und dem Nachweis der Gasfreiheit folgt die bergmännische Auffahrung unter den bereits aufgezeigten Schutzmaßnahmen analog Variante 1.

### **Variante 3** - Streckenauffahrungen mit explosionsgeschützten Bohrwagen:

Der Einsatz explosionsgeschützter Bohrwagen ist in der Grube Siegfried- Giesen derzeit nicht vorgesehen. Im Hinblick auf einen perspektivischen Einsatz solcher Bohrwagen werden Empfehlungen bezüglich Zonenbereiche und Schutzmaßnahmen gegeben.

#### Auffahrung unter Explosionsschutz

Eine solche Art der Auffahrung ist derzeit nicht vorgesehen!

Es wird empfohlen die für die Erkundungsbohrungen vorgeschlagenen Zonenbereiche und Schutzmaßnahmen anzuwenden.

- Zonenbereich: 30 m, davon
  - 20 m Zone 1 und
  - 10 m Zone 2
- Wettermenge: 500 m<sup>3</sup>/ min

Die Auffahrungsorte sind blasend zu bewettern, wobei der Lüfter sich außerhalb des Schutzbereiches befinden und das Ausblasende der Luttentour sich während der Bohrarbeiten nicht mehr als 20 m von der Ortsbrust entfernt sein soll. Beim Auftreten stärkerer Gasaustritte bzw. Beobachtung von offenen Klüften > 2 mm ist durch den Betriebsleiter ggf. eine Erweiterung der Schutzbereiche und/oder eine Verstärkung der Wetterführung zu veranlassen.

Bei den Schutzbereichen handelt es sich um temporäre Schutzbereiche für die Zeiträume des Bohrens und Sprengens bis zur Gasfreigabe nach dem Sprengen. Demzufolge sind bei Anwendung des Brenneinbruches explosionsgeschützte Sprengbohrwagen einzusetzen. Die Bohrwagen müssen Explosionsschutz gemäß Explosionsgruppe IIB und Temperaturklasse T1 gewährleisten.

- Im Bereich der Ortsbrust ist eine optoakustische Gaswarnmesstechnik zu stationieren. Die Warnanlage ist auf Alarmwerte von 0,4 Vol % (10 % UEG) für brennbare Gase und 10 ppm (MAK- Wert) für H<sub>2</sub>S einzustellen.
- Der Bohrwagenfahrer hat sich während des Bohrens in Entfernungen von mindestens 30 m aufzuhalten.
- Bei Gasalarm sind der Bohrwagen und ggf. die Sonderbewetterung vom Bohrwagenfahrer über „Notaus“ sofort abzuschalten. Der Bohrwagenfahrer hat unter Aufsetzen des H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerätes und Mitnahme des Selbstretters das Bohrort zu verlassen.

## 8.6.2 Konventionelle Auffahrung im Steinsalz und im Lager

Konventionell durch Bohr- und Sprengarbeit werden sowohl Ausrichtungen (z.B. Bandstrecken, Hauptsohlen, Wendeln) als auch Vorrichtungen (z.B. Teilsohlen) aufgefahren. Die Streckenquerschnitte können bei zwischen  $18 \text{ m}^2$  und  $100 \text{ m}^2$  liegen. Die Auffahrungen erfolgen vor allem in den Lagerhorizonten K2 und K3Ro sowie in angrenzenden Steinsalzbereichen (Na2, Na3).

Das Auftreten von Gaszutritten aus den Lagerhorizonten (K3, K2) und angrenzenden Steinsalzhorizonten (Na3, Na2) ist, wie im Abschnitt 4.2 dargelegt, als sehr selten einzuschätzen.

Für den Horizont des älteren Steinsalzes (Na2) ist die Eintrittswahrscheinlichkeit von Gaszutritten als sehr gering einzuschätzen, womit für diesen Horizont Schutzmaßnahmen weitgehend entfallen können. Dies trifft jedoch nicht zu, wenn die im Vorfeld stattfindende Erkundung gegenteilige Ergebnisse erbringt.

Die verwendeten Sprenglochbohrwagen sind mit Fernbedienungstableaus ausgerüstet. Als Großlochbohrwagen sind Bohrwagen einzusetzen, die mit einer Fernbedienung ausgerüstet sind bzw. mannos bohren. Es werden pro Abschlag jeweils 3 Großbohrlöcher (Drillingsbohrung) mit einem Durchmesser von 280 mm gebohrt. Die Bewetterung der Vortriebe erfolgt über eine blasende Luttentour mit ca.  $500 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Hinsichtlich der anzuwendenden Schutzmaßnahmen ist zu differenzieren zwischen:

- Aus- und Vorrichtungsstrecken unterhalb der 500 m- Sohle
- Aus- und Vorrichtungsstrecken oberhalb der 500 m- Sohle
- Auffahrungen in durch Schwefelwasserstoff gefährdeten Bereichen

Die erforderlichen Schutzmaßnahmen leiten sich durch die im Vorfeld der Auffahrung durchgeführte Bohrerkundung ab.

Band- und Richtstrecken, sonstige Steinsalzstrecken und Lagerstrecken unterhalb der 500 m- Sohle  
Folgende Schutzmaßnahmen werden empfohlen:

- Aufstellung einer optoakustischen Gaswarnmesstechnik während der gesamten Bohrtätigkeit abwetterseitig am Bohrwagen. Die mit Sensoren für brennbare Gase und  $\text{H}_2\text{S}$  bestückte Warnanlage ist so aufzustellen, dass sie von den Standorten der Bohrwagenfahrer gut einsehbar ist.
- Bohren der Großbohrlöcher mit Drillings- Bohrwagen mittels Fernbedienung oder mannos. Der Bohrwagenfahrer hat sich während des Bohrens in einer Entfernung von 30 m hinter dem Bohrwagen aufzuhalten.
- Im Kaliflöz Staßfurt (K2) erfolgt ein Vorbohren auf die Lager- Hangendgrenze (A2r, T3, A3) mit Sprenglochbohrwagen (SBW). Der Bohrwagenfahrer hat die Vorbohrungen mittels Fernbedienung aus 30 m Entfernung vom Bohrwagen zu bohren.
- Bohren der Sprengbohrlöcher mittels Fernbedienung. Der Bohrwagenfahrer hat sich dabei frischwetterseitig mindestens 7 m vom Bohrort aufzuhalten.
- Das Bohrort ist blasend mit einer Wettermenge  $\geq 500 \text{ m}^3/\text{min}$  zu bewettern.
- Bei Anzeichen von Gas (Ansprechen der optoakustischen Gaswarnmesstechnik,  $\text{H}_2\text{S}$ - Geruch, Austritt von Gas- Salzlösungen aus Bohrlöchern) ist die Maschine über Notaus sofort abzuschalten und der Bohrwagenfahrer hat das Bohrort unter Aufsetzen des  $\text{H}_2\text{S}$ - Filterfluchtgerätes und Mitnahme des Selbstretters zu verlassen und ggf. die Sonderbewetterung am Streckeneingang abzustellen.

Streckenauffahrungen oberhalb der 500 m- Sohle und bei Feststellung von Gas bei Erkundungsbohrungen bei Auffahrungen unterhalb der 500 m- Sohle.

Zusätzlich zu den für Streckenauffahrungen unterhalb der 500 m- Sohle aufgezeigten Maßnahmen werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Bohren von mindestens 3 Degasierungsbohrlöchern von 7 m Länge in halber Streckenhöhe mittig und an den Stößen. Die Bohrungen sind mittels Fernbedienung des SBW aus einer Entfernung von mindestens 30 m vom Bohrort zu bohren.
- Bei Anzeichen von Gas sind nach Vorgabe des Geologen weitere Degasierungsbohrungen zu bohren.
- Bei Feststellung von Gas bei den zusätzlichen Degasierungsbohrungen sowie bei Langzeitgasaustritten ist der Vortrieb einzustellen. Es wird empfohlen Erkundungsbohrungen unter Explosionsschutz im Nahbereich des Vortriebes zu bohren.

Auffahrungen in durch Schwefelwasserstoff gefährdeten Bereichen

Zusätzlich zu den für Streckenauffahrungen oberhalb der 500 m- Sohle aufgezeigten Maßnahmen sind auch die Sprengbohrlöcher mittels Fernbedienung aus einer Entfernung von mindestens 30 m vom Bohrort zu bohren. Die Bohrwagenfahrer haben die H<sub>2</sub>S- Filterfluchthaube sicher am Mann zu tragen.

### 8.6.3 Konventionelle Streckenerweiterung

Bei der Erweiterung der durch Konvergenz verringerten Streckenquerschnitte durchgängig bewetterter bzw. sonderbewetterter Strecken wird davon ausgegangen, dass durch geomechanische Einflüsse (Gebirgsdruckwirkungen) sich eine Auflockerungszone um die Konturen des Grubenbaus gebildet hat. Eine Streckenerweiterung innerhalb der Auflockerungszone (ca.1 m) führt zu keinen Gasaustritten, da vorhandene Klüfte entgast sind. Bei Erweiterung der Strecken über die Auflockerungszone hinaus, kann ein Anbohren bzw. Anschneiden gasführender Klüfte nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Es wird eingeschätzt, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Bläsern bei den vorgesehenen Streckenerweiterungen sehr gering ist. Als Schutzmaßnahmen werden bei konventioneller Auffahrung empfohlen, dass sich der Bohrwagenfahrer während des Bohrens frischwetterseitig aufhält und die Wettermenge mindestens 500 m<sup>3</sup> beträgt. Der Bohrwagen ist bei Anzeichen von Gas über „Notaus“ abzuschalten und der Bohrwagenfahrer hat unter Anlegen des H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerätes und Mitnahme des außenluftunabhängigen Selbstretters (SSR90) den Bohrort zu verlassen.

### 8.6.4 Schneidende Streckenerweiterung

Bei Streckenerweiterung mit schneidender Gewinnungstechnik ist zu gewährleisten, dass die Maschine sich im Frischwetterbereich befindet. Bei Anzeichen von Gas ist die Maschine abzuschalten und der Maschinist hat das Schneidort frischwetterseitig zu verlassen. Der Einsatz einer optoakustischen Gaswarnmesstechnik im Bereich der Auffahrung wird in gestörten Bereichensowohl bei konventioneller als auch schneidender Streckenerweiterung empfohlen.

### 8.6.5 Schneidende Auffahrung von Strecken und Wendeln

Mit nicht explosionsgeschützten Teilschnittmaschinen werden im Steinsalz z.B. Bandstrecken und Wendeln aufgefahren. Eine schneidende Auffahrung von Lagerstrecken ist nicht geplant.

Der Streckenquerschnitt beträgt ca. 30 m<sup>2</sup>. Den Vortrieben werden mindestens 800 m<sup>3</sup>/min Frischwetter über eine, bei über 500 m Auffahrlänge über 2 Luttentouren zugeführt. Über eine Abwetterluttentour werden die salzstaubangereicherten Abwetter abgesaugt.

Folgende Maßnahmen werden empfohlen:

#### 1. Vorerkundung

- Die Strecken sind unter dem Schutz von Erkundungsbohrungen aufzufahren.
- In Bereichen unterhalb der 500 m- Sohle darf die Entfernung der Erkundungsbohrung von der aufzufahrenden Band- und Richtstrecke max. 20 m betragen.
- Bei Auffahrungen oberhalb der 500 m- Sohle sollte wegen des möglichen Auftretens von kryogenen Klüften der Abstand der Erkundungsbohrung vom Streckenprofil 10 m nicht überschreiten.
- Bei Wendelauffahrungen mit Teilschnittmaschinen im Aller- Steinsalz (Na4) und im Leine- Steinsalz (Na3) ist, sofern eine Annäherung an den Komplex A3 bis K2 nicht auszuschließen oder geplant ist, eine kleinräumige Bohrerkundung durchzuführen. Im Staßfurt- Steinsalz (Na2) ist durch die geologische Abteilung festzulegen, ob und in welchem Umfang Erkundungsbohrungen gestoßen werden sollen.
- Wird bei den Erkundungsbohrungen Gas angetroffen sind weitere Erkundungsbohrungen als Degasierungsbohrungen im Profil der aufzufahrenden Strecke zu bohren.

#### 2. Einsatz von optoakustischer Gaswarnmesstechnik

Es wird empfohlen die Teilschnittmaschinen wie in der Grube Zielitz [34] mit einer optoakustischen Gaswarnmesstechnik für brennbare Gase und Schwefelwasserstoff auszurüsten.

Als Alarmwerte werden bei zweistufiger Alarmierung folgende Alarmierungswerte empfohlen:

##### 1. Alarmstufe

brennbare Gase 0,4 Vol % (10 %UEG)

H<sub>2</sub>S 10 ppm (MAK- Wert)

##### 2. Alarmstufe

brennbare Gase 0,8 Vol % (20 %UEG)

H<sub>2</sub>S 20 ppm

Bei der Alarmstufe 1 (optisches Signal) ist der Schneidmotor der Maschine abzuschalten und die Maschinenbediener haben den Gefahrenbereich zu verlassen und unter Anlegen des Selbstretters sich in sichere Frischwetterbereiche zu begeben. Bei der 2. Alarmstufe ist die Maschine komplett ab der Hochspannungsanlage abzuschalten. Bei einstufiger Alarmierung ist wie in den anderen Bohr- und Gewinnungsbereichen der Grube die Teilschnittmaschine bei Gaskonzentrationen von 0,4 Vol % brennbaren Gasen oder 10 ppm H<sub>2</sub>S über Notaus abzuschalten.

### 3. Schutzmaßnahmen bei Auffahrungen in H<sub>2</sub>S- gefährdeten Bereichen.

Es wird empfohlen Auffahrungen in H<sub>2</sub>S- gefährdeten Bereichen mit Teilschnittmaschinen nicht durchzuführen, da beim Anschneiden einer Kluft mit dem Freisetzen wesentlich größerer Anfangs- Volumenströme gerechnet werden muss als beim Anbohren einer Kluft.

Lässt sich eine H<sub>2</sub>S- Gefährdung bei Auffahrungen mit Teilschnittmaschinen nicht gänzlich ausschließen, werden folgende Zusatzmaßnahmen empfohlen:

Ausstattung der Teilschnitt- Maschinisten mit H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgeräten

Bei Alarm der GWA oder Anzeichen von Gas z.B. Geruch nach faulen Eiern oder Benzin Abschaltung der blasenden Sonderbewetterung und Flucht der Maschinisten unter Anlegen der H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgeräten in sichere Bereiche.

## 8.7 Technische Bohrungen

### 8.7.1 Roll- und Wetterlöcher

Zur Wetterführung, Förderung und Versatzeinbringung werden im vorgesehenen Abbaublock zwischen den fertigen Hauptsohlenbereichen großkalibrige Bohrlöcher erstellt. Diese werden grundsätzlich außerhalb der Lagerbereiche angeordnet. Die vertikalen bzw. geringfügig geneigten ca. 220 m langen Löcher zwischen den Hauptsohlen werden in folgenden Etappen gebohrt:

- In der 1. Etappe wird von der unteren Strecke ein Pilotloch von 265 mm Durchmesser mit einer nicht explosionsgeschützten Bohrmaschine (Bohrgerät GB 10) gebohrt.
- Danach erfolgt eine Erweiterung der Bohrung auf einen Durchmesser von max. 372 mm durch Abwärtsbohren von der oberen Sohle aus.
- In einer 3. Etappe wird von der oberen Sohle aus bohrend die Antriebs- und Ringeinheit der nichtexplosionsgeschützten Kernringschrämmaschine (Bohrgerät KRE) von der unteren zur oberen Strecke heraufgezogen. Die Bohrung wird auf einen Durchmesser von 1,5 m bzw. 2,5 m aufgeweitet.

Während der Bohrvorgänge befindet sich der Bohrmaschinist in der 1. und 2. Etappe in der sonderbewetterten unteren Strecke frischwetterseitig in einer Entfernung von ca. 7 m vom Bohrstand. In der 3. Etappe hält sich der Bohrmaschinist in der oberen Strecke in Entfernungen von ca. 20 m von dem GB 10- Loch frischwetterseitig auf.

Folgende Schutzmaßnahmen werden empfohlen:

- Oberhalb der 500 m- Sohle sowie in H<sub>2</sub>S-gefährdeten Bereichen sollte im vorgesehenen Rolllochprofil eine Vorbohrung mit einer explosionsgeschützten Erkundungsbohrmaschine gebohrt werden. Während des Bohrens sind die im Abschnitt 8.5.1 für Erkundungsbohrungen angegebenen Schutzmaßnahmen anzuwenden.
- Auf eine Vorbohrung kann verzichtet werden, wenn ein Auftreten von Gas und Salzlösungen im vorgesehenen Abbaublock weitestgehend ausgeschlossen werden kann.
- In Bereichen, in denen beim Bohren der Vorbohrung kein Gas festgestellt wurde, ist ein Auftreten von Gas bei der Bohrung der Rolllöcher unwahrscheinlich.

- In der 1. und 2. Etappe der Rollochbohrung von der unteren Sohle aus beschränken sich die Maßnahmen auf:
  - o Bewetterung des Bohrortes mit  $\geq 500 \text{ m}^3/\text{min}$
  - o Standort des Bohrmaschinisten frischwetterseitig in  $\geq 7 \text{ m}$  Entfernung von der Bohrung
  - o Abschalten des Bohrvorganges bei Anzeichen von Gas und sofortiges Verlassen des Bohrortes durch den Bohrmaschinisten in sichere Bereiche unter Aufsetzen des  $\text{H}_2\text{S}$ -Filterfluchthaube und Mitnahme des Selbstretters
- Auch in der 3. Etappe der Rollochbohrung beschränkt sich die Maßnahmen auf eine ausreichende Bewetterung der oberen Sohle ( $> 500 \text{ m}^3/\text{min}$ ) und dem frischwetterseitigen Standort des Bohrmaschinisten. Die vorgesehene Entfernung der Rollochbohrung von 20 m in der 3. Etappe der Bohrung vom Standort des Bohrmaschinisten wird als ausreichend angesehen.
- Bei Auftreten von Gas ist der Bohrvorgang sofort abzubrechen und der Bohrmaschinist hat das Bohrort frischwetterseitig unter Aufsetzen der  $\text{H}_2\text{S}$ - Filterschutzhaube und Mitnahme des Selbstretters zu verlassen.
- Es wird grundsätzlich während der Bohrarbeiten die Aufstellung einer optoakustischen Gaswarnmesstechnik mit Sensoren für brennbare Gase und  $\text{H}_2\text{S}$  abwetterseitig an den Bohrgeräten sowohl auf der unteren als auch auf der oberen Sohle empfohlen.

### 8.7.2 Einbruchslöcher

- Es werden zwischen den einzelnen Teilsohlen bei jedem neuen Strossenabschnitt Einbruchslöcher (Durchmesser 500 mm – 700 mm) von ca. 20 m Länge hergestellt. Für das Bohren der zwischen den Abbauschweben anzulegenden Einbruchslöcher werden wie im Abschnitt 8.7.1 folgende Schutzmaßnahmen empfohlen: Bewetterung des Bohrortes mit  $\geq 500 \text{ m}^3/\text{min}$   
In durchgehend bewetterten Strecken ist der natürliche Wetterzug durch Betreiben eines Mengenlüfters zu unterstützen
- Standort des Bohrmaschinisten frischwetterseitig in  $\geq 7 \text{ m}$  Entfernung von der Bohrung
- Abschalten des Bohrvorganges bei Anzeichen von Gas und sofortiges Verlassen des Bohrortes durch den Bohrmaschinisten. Der Bohrmaschinist hat sich in sichere Bereiche unter Anlegen der  $\text{H}_2\text{S}$ - Filterschutzhaube und Mitnahme des Selbstretters zu begeben.

### 8.8 Strossenbohrungen

Ein Kernstück des in der Grube Siegfried- Giesen angewandten Gewinnungsverfahrens ist die Hereingewinnung des Salzes zwischen den einzelnen Teilsohlen durch Strossen. Die durch Pfeiler getrennten Strossenbereiche weisen eine Länge von ca. 80 m auf. Die Strossenbohrungen haben eine Länge von ca. 20 m. Der Bohrlochdurchmesser beträgt in der Regel 40 bzw. 42 mm. Die Abbaustrossen (Teilsohlen) können einen Querschnitt zwischen  $18 \text{ m}^2$  und  $100 \text{ m}^2$  haben. Sie werden durchgehend über die Wendel, die Teilsohle und den gestrossen Abbauraum bzw. das Einbruchloch bewettert.

Bei den erforderlichen Explosionsschutzmaßnahmen ist zu berücksichtigen, dass eine weitgehende Erkundung des Abbaublockes durch Vorrichtungsauffahrungen (Wendel, Teilsohlen, Rolllöcher) erfolgt ist und damit auch Angaben über mögliche Gasgefährdungen vorliegen.

Folgende Schutzmaßnahmen werden empfohlen:

- Das Bohren der Strossenbohrlöcher ist ohne Befeuchtung des Bohrmehls durchzuführen. Dadurch wird bei einem Gasaustritt durch die inertisierende Wirkung des austretenden Salzstaubes im Nahbereich des Strossenbohrloches die Wahrscheinlichkeit einer Zündung vermindert.
- In Abbaublöcken unterhalb der 500 m- Sohle, in denen bei Vorrichtungsauffahrungen kein Gas aufgetreten ist, ist auch der Einsatz von nicht mit Fernbedienung ausgestatteten Strossenbohrwagen sicherheitstechnisch vertretbar. Der Bohrmaschinist hat sich dabei frischwetterseitig in Entfernungen von  $\geq 5$  m vom Bohransatzpunkt aufzuhalten. Zur Verminderung der Gefährdung durch austretende Gase wird die Aufstellung eines Mengenlüfters empfohlen. Der Bohrmaschinen- Bediener hat beim Anbohren von Gas den Bohrwagen sofort außer Betrieb zu nehmen und das Bohrort frischwetterseitig unter Aufsetzen des Selbstretters ggfs. der H<sub>2</sub>S- Filterschutzhaube zu verlassen.
- In Abbaublöcken oberhalb der 500 m- Sohle sowie in Abbaublöcken unterhalb der 500 m- Sohle, in denen bei Vorrichtungsauffahrungen Gas angebohrt wurde sind Strossenbohrwagen mit Fernbedienung einzusetzen. Der Bohrwagen- Bediener hat sich nach Anbohren frischwetterseitig mindestens 20 m vom Bohransatzpunkt zurückzuziehen. Zur besseren Verdünnung austretender Gase wird auch bei diesem Strossenbohrwagen der Einsatz eines Mengenlüfters unmittelbar am Bohrwagen empfohlen. Beim Anbohren von Gas ist der Bohrwagen außer Betrieb zu nehmen und der Bohrwagenbediener hat das Bohrort frischwetterseitig zu verlassen. Ist eine Fluchtmöglichkeit nur abwetterseitig möglich, wird eine Ausrüstung des Bohrwagen-Bediener mit dem leicht handhabbaren H<sub>2</sub>S- Filterfluchtgerät empfohlen, das im Falle eines Gasaustrittes sofort anzulegen ist.
- Auf der Strosse ist im Bohrbereich eine optoakustische Gaswarnmesstechnik mit Sensoren für H<sub>2</sub>S und brennbare Gase aufzustellen.
- Bei Gasalarm hat der Bohrwagenbediener sofort den Bohrvorgang abubrechen und den Bohrbereich unter Aufsetzen der H<sub>2</sub>S- Filterfluchthaube und Mitnahme des Selbstretters frischwetterseitig zu verlassen sowie von einem sicheren Standort aus die verantwortliche Aufsichtsperson zu benachrichtigen.

## 8.9 Ankerbohrungen

Auf Schutzmaßnahmen bei Ankerbohrungen kann verzichtet werden, da nur gegen Nachfall geankert wird und die zu ankernden Hangendbereiche innerhalb der auffahrungsbedingt bereits entgasten Zone um die Streckenkontur liegen.

## 9 Zusammenfassung

Ausgehend von dem bisherigen Auftreten natürlicher Gase im Kaliwerk Siegfried- Giesen wurde eine Bewertung der Gaszutritte bezüglich der Zusammensetzung der Gase und Gas/ Salzlösungen aus Klüften bei Erkundungsbohrungen und Bohrungen in Gewinnungsbereichen, insbesondere des Auftretens von Wasserstoff und Schwefelwasserstoff, der Brennbarkeit der Austrittsgase und der Austrittshorizonte vorgenommen. Des Weiteren wurde Stellung genommen zu weiteren Formen des Freisetzens von natürlichen Gasen bei Gewinnungsarbeiten und ihrer sicherheitstechnischen Relevanz.

Die Gasaustritte des Kaliwerkes Siegfried- Giesen wurden mit Bläseraustritten anderer Kali- und Steinsalzgruben der steilen Lagerung in Niedersachsen und der flachen Lagerung in Sachsen- Anhalt verglichen. Die gegenüber vergleichbaren anderen Gruben aufgetretenen Gasaustritte in der Grube Siegfried- Giesen sind relativ selten, entstammen fast ausschließlich Anhydrithorizonten und sind gekennzeichnet durch hohe Anteile an Wasserstoff. Sicherheitstechnisch besonders bedeutsam sind auf Grund seiner hohen Toxizität die bei einigen Gasaustritten festgestellten Schwefelwasserstoffgehalte.

Es erfolgte eine explosionsschutztechnische Bewertung der Austrittsgase auf der Grundlage sicherheitstechnischer Kennzahlen. Danach sind auf Grund der hohen Wasserstoffgehalte in der Grube Siegfried- Giesen einzusetzende explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel in der Explosionsgruppe IIB auszuführen.

In gesonderten Abschnitten wurden eine Auswertung der im deutschen Kali- und Steinsalzbergbau aufgetretenen Schlagwetterexplosionen vor allem bezüglich der Zündursachen vorgenommen und das Auftreten von Schwefelwasserstoff in Austrittsgasen im deutschen Kali- und Steinsalzbergbau näher betrachtet. Zu tödlichen Unfällen durch  $H_2S$  kam es 2012 in der Grube Sigmundshall sowie mehrfach in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts auch in den Kaligruben der steilen Lagerung.

Es erfolgte ein Vergleich der bisher in der Grube Siegfried- Giesen angewandten Explosionsschutzmaßnahmen mit Maßnahmen in den Kaligruben Sigmundshall und Zielitz und den Steinsalzgruben Bernburg und Braunschweig- Lüneburg. Die in der Grube Siegfried- Giesen angewandten Maßnahmen beschränken sich auf die Festlegung eines Schutzbereiches um Untersuchungsbohrungen in dem die elektrischen Betriebsmittel explosionsgeschützt ausgeführt sein müssen.

In einem gesonderten Abschnitt wurde auf die Anwendung der Zoneneinteilung für explosionsgefährdete Bereiche im Kali- und Steinsalzbergbau und die sich daraus für den Einsatz explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel ergebenden Anforderungen näher eingegangen.

Es wurden die beim Anbohren von Bläsern in der Grube Siegfried- Giesen freiwerdenden Brenngasmenge berechnet und darauf basierend die Schutzbereiche bei Erkundungsbohrungen und in Anhydritbereichen ermittelt. Für Bemusterungsbohrungen werden auf Grund seltener und wesentlich geringerer Gaszutritte Schutzmaßnahmen empfohlen durch die auf eine Zonenbereichsfestlegung verzichtet werden kann. Auch bei den Auffahrungen im Abbauhorizont wird wie in den meisten Kali- und Steinsalzgruben auf eine Festlegung von Zonenbereichen und den Einsatz explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel auf Grund der geringen Wahrscheinlichkeit von Gaszutritten verzichtet. Auf Grund des verbleibenden Restrisikos sowie der nicht auszuschließenden Gefährdung von Gewinnungsbereichen durch Austritte von Gasen mit Schwefelwasserstoffanteilen werden unterschiedliche Schutzmaßnahmen für die verschiedenen Auffahrungen empfohlen.

Folgende Maßnahmen können dabei angewandt werden:

- Durchführung von Erkundungsbohrungen mit explosionsgeschützten Bohrmaschinen im Nahbereich der vorgesehenen Streckenauffahrungen
- Fernsteuerung des Bohrvorganges der nicht explosionsgeschützten Bohrmaschinen aus sicheren Entfernungen
- Ausreichende Bewetterung der Bohrorte
- Einsatz optoakustischer Gaswarnmesstechnik mit Sensoren für Schwefelwasserstoff und brennbaren Gasen
- Bei Alarmauslösung Abschaltung des Bohraggregates und ggfs. der Sonderbewetterung sowie Flucht des Bohrwagenfahrers

In Gewinnungsbereichen, in denen Gasaustritte mit H<sub>2</sub>S nicht auszuschließen sind, werden folgende zusätzliche Maßnahmen empfohlen:

- Ausrüstung des Bedienpersonals mit leicht handhabbaren H<sub>2</sub>S- Fluchthauben mit Filtern für Schwefelwasserstoff
- Durchführung von ferngesteuerten Degasierungsbohrungen bei abgeschalteter Sonderbewetterung vor dem Großlochbohren

Auf der Grundlage der oben aufgezeigten Maßnahmen wurden spezifische Schutzkonzepte erstellt.

Dr. D. Hempel

## 10 Literaturverzeichnis

- [1] Hempel, D.  
Teilgutachten 1 vom 04.09.13  
Anwendung der Zoneneinteilung und Anforderungen an die in der Grube Siegfried- Giesen einzusetzenden explosionsgeschützten elektrischen Bohraggregate für Explorationsbohrungen  
Freiberg, 4.9.13  
-unveröffentlicht
  
- [2] Holländer, R.  
Gas- und Salzlösungsvorkommen im Bergwerk Siegfried- Giesen  
Beschreibung und Bewertung  
Bad Salzdetfurth, März 2011  
-unveröffentlicht-
  
- [3] Holländer, R.  
Technische Daten Grube Siegfried- Giesen  
Hildesheim 07.08.2013  
-unveröffentlicht-
  
- [4] Holländer, R.  
Technische Daten Werk Sigmundshall mit Schutzkonzept H<sub>2</sub>S- Austritte  
Sigmundshall 11.02.2013  
-unveröffentlicht-
  
- [5] Lodzig, J. und Ehlers, J.  
Bergtechnische Daten Grube Siegfried- Giesen  
Hildesheim 11.2013  
-unveröffentlicht-
  
- [6] Hempel, D.  
Gutachten 1/98 zur betrieblich vorgeschlagenen Neukonzipierung des Explosionsschutzes im Grubenbetrieb Zielitz, 1999  
-unveröffentlicht-
  
- [7] Hempel, D.  
Umfang und Gestaltung des Schlagwetterschutzes im Kali- und Kupferschieferbergbau  
Z geol. Wiss, Berlin 17 (1989) S. 419- 429
  
- [8] Hempel, D.  
Analyse der Schlagwettergefährdung im Bergbau der DDR  
unvollendetes Manuskript zur Promotion B an der Bergakademie  
Freiberg, 1987  
-unveröffentlicht-

- [9] Hempel, D. und Richter, K.  
Auftreten und Zündung brennbarer Gase in schlagwettergefährdeten Kaligruben der DDR  
Promotion A, Bergakademie Freiberg 1972
- [10] Hempel, D.; Fisch, W.; Hoffmann, R. und Rauer, H.  
Schlagwetterexplosion mit Brandereignis als Folge eines Gebirgsschlages im Kaliwerk Bleicherode  
Kali und Steinsalz Band 10 H12  
Oktober 1991 S. 428-431
- [11] Coward, H.F. und Jones, G.W.  
Explosionsgrenzen von Gasen und Dämpfen  
Bulletin Nr. 503 US Bureau of Mines  
Washington, 1952
- [12] Redeker, T.  
Brennbarkeit und Explosionsschutz  
Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis Band 5 Methoden  
Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1991
- [13] ISO 10156, 1996  
Zit. Molnare u.a. „Sicherheitstechnische Kenngrößen“ Band 2  
Wirtschaftsverlag NW Bremerhaven 2008
- [14] Molnare, M.; Schendler, T. und Schröder V.  
Sicherheitstechnische Kenngrößen  
Band 2: Explosionsbereich von Gasgemischen  
Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 2008
- [15] Nabert, Schön, Redeker  
Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase und Dämpfe Band 1  
Deutscher Eichverlag Berlin, 2004
- [16] Brandes, E.; Möller, W.  
Sicherheitstechnische Kenngrößen  
Band 1: Brennbare Flüssigkeiten und Gase  
Wirtschaftsverlag NW Bremerhaven, 2003
- [17] Hempel, D.  
Gutachterliche Stellungnahme zu Explosionsgefahren und erforderliche Schutzmaßnahmen beim Auftreten von Gas- Salz- Ausbrüchen in der Grube Zielitz  
Freiberg, 12.11.2007  
-unveröffentlicht-

- [18] Holländer, R.  
Betriebliche Statistiken über Gas- und Gas- Salzlösungs- Zutritte in der Kaligrube  
Sigmundshall, Hildesheim, 2013
- [19] Holländer, R.  
Betriebliche Statistiken  
über Gas-, Gas/ Salzlösungs- und Salzlösungszutritte in der Hartsalzgrube  
Siegfried- Giesen  
Hildesheim, 2013
- [20] Mitteilung von Dr. Zeibig  
K+S GmbH, Kassel, über Gasaustritte in den stillgelegten Kaligruben  
Salzdetfurth und Niedersachsen- Riedel
- [21] Betriebliche Statistik über aufgetretene Primärbläser in der Steinsalzgrube  
Braunschweig- Lüneburg  
Stand 2013
- [22] Betriebliche Statistik über  
Gaszutritte in der Kaligrube Zielitz  
Zeitraum 1968- 2013
- [23] Hempel, D.  
Gutachterliche Stellungnahme zur Neubewertung des Explosionsschutzes  
im Werk esco- Steinsalzgrube Bernburg  
Teilgutachten 1 vom 30.12.04 und  
Teilgutachten 2 vom 29.04.05  
Freiberg, 2005  
-unveröffentlicht-
- [24] Reifenstein, R.J. u. a.  
Toxicology of hydrogen sulfide  
Annal Review of Pharmacology and Toxicology Band 32, 1992 S. 109-134
- [25] Hempel, D.  
Reisebericht über eine 1977 durchgeführte Konsultationsreise zur Steinsalzgrube Klo-  
dawa/ Polen  
Institut für Bergbausicherheit Freiberg, 1977  
-unveröffentlicht
- [26] Gropp  
Gasvorkommen in Kalisalzbergwerken in den Jahren 1907- 1917  
Zeitschrift „Kali“

- [27] Statistische Zusammenstellung von Schlagwetterexplosionen im deutschen Kali- und Steinsalzbergbau  
1904- 1959  
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie  
Clausthal- Zellerfeld
- [28] Redeker, T.; Griesche, G. und Büttner, S.  
Untersuchung der Schlagwetterexplosion in der Kaligrube Bleicherode  
am 26.08.1997  
IBExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH  
Freiberg, 04.02.1998  
-unveröffentlicht-
- [29] Zulassungsbescheid über Schutzmaßnahmen bei der Auffahrung des Verbindungsquerschlages Siegfried- Rössing- Barnten  
Bergamt Hildesheim, 19.03.52
- [30] Rahmenbetriebsplan für die Durchführung von Untersuchungsbohrungen in der Grube Siegfried- Giesen  
16.11.1981
- [31] Richtlinien für Sicherheitsmaßnahmen beim Herstellen und Verfüllen von Untersuchungsbohrungen sowie beim Abdichten von Zuflüssen durch Einpressen von Dichtmitteln im Salzbergbau  
Oberbergamt Clausthal- Zellerfeld, 12.01.81
- [32] Wolf, H.; Hempel, D.; Haisler, K. und Ebert, F.  
Einfluss von bei Gasaustritten im Kalibergbau der DDR auftretenden Salzstäuben auf die Verhinderung der Zündung explosionsfähiger Gas/ Luft- Gemische  
Neue Bergbautechnik 17 Jg. H9 Sept. 87
- [33] Wolff, H.  
Abschlussbericht zum Forschungsauftrag „Salzstaubuntersuchungen“  
Institut für Bergbausicherheit, 1982  
-unveröffentlicht-
- [34] Hempel, D.  
Gutachterliche Stellungnahme zu Explosionsgefahren und erforderliche Schutzmaßnahmen beim Einsatz schneidender Gewinnungstechnik in der Grube Zielitz  
Freiberg, 30.06.11  
-unveröffentlicht-
- [35] Schwerter, R. und Stäubert, A.  
Zur Klüftung von Anhydritgesteinen  
Neue Bergbautechnik 17. Jg H9 Sept. 87

- [36] Kutzer, H.- J.  
Abschlussbericht zur Studie  
„Gasausbreitung geringerer Emissionen in der Atmosphäre“  
Institut für Bergbausicherheit, Leipzig 1988  
-unveröffentlicht-
- [37] Bergverordnung für elektrische Anlagen  
(Elektro- Bergverordnung- ElBergV)  
vom 23.10.2000  
Oberbergamt Clausthal- Zellerfeld
- [38] Elektrobergverordnung (EIBVO)  
des Landes Sachsen- Anhalt  
vom 27.11.01
- [39] Thüringer Elektro- Bergverordnung (ThürElBergV)  
vom 01.12.03
- [40] Elektro- Bergverordnung (ElBergV)  
des Landes Nordrhein- Westfalen  
vom 01.10.2000
- [41] Richtlinie 1999/92/EG  
(ATEX 137) vom 16.12.99  
über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der  
Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären  
gefährdet werden können  
Amtsblatt der EG Nr L 23/57- 64
- [42] Betriebssicherheitsverordnung  
vom 27.09.02  
BG Bl. Teil 1 2002 S.3777- 3815
- [43] DIN EN 1127-1:2010  
Explosionsfähige Atmosphären- Explosionsschutz  
Teil 1: Grundlagen und Methodik  
Beuth- Verlag Februar 2011
- [44] DIN EN 1127-2:2010  
Explosionsfähige Atmosphären- Explosionsschutz  
Teil 1: Grundlagen und Methodik in Bergwerken  
Beuth- Verlag Juli 2010

- [45] Richtlinie 94/9/EG (ATEX 100a)  
des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.3.94  
zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und  
Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosions-  
gefährdeten Bereichen  
Amtsblatt der EG L 100/1-29
- [46] Explosionsschutzverordnung  
11. GSGV vom 12.01.96
- [47] Elektrozulassungs- Bergverordnung vom 10.03.93  
BG BI Teil 1 1993 S. 317- 326
- [48] Anweisung 1/80 des Leiters der Bergbehörde Erfurt über die Gewährleistung  
Schlagwetterschutzes im Kalibergbau  
Erfurt 1980
- [49] Dartsch, B.  
Ausbreitungsrechnungen über Ausbreitung von Bläsegasen in Strecken mit Auswer-  
tung des tödlichen Bläsegasunfalls am 11.04.12 in der Grube Sigmundshall  
Kompetenzzentrum Exploration K+S, 20.03.13  
-unveröffentlicht-
- [50] Prospekt  
Dräger Parat Fluchthauben  
überreicht durch  
Dräger Safety AG Region Ost, Markleeberg
- [51] DIN 58 647- 7  
Atemschutzgeräte für Selbstrettung  
Teil 7: Fluchtgeräte  
Beuth- Verlag, Berlin Dez. 1997
- [52] BGR/GUV- R 190  
Benutzung von Atemschutzgeräten  
Deutsche gesetzliche Unfallversicherung  
Stand Dez. 2011
- [53] Hempel, D.  
Gutachterliche Stellungnahme zu Explosionsgefahren und erforderlichen Schutzmaß-  
nahmen bei schneidender Gewinnungstechnik in der Grube Zielitz vom 30.06.2011 mit  
Nachtrag vom 01.11.2011  
Freiberg, 01.11.2011  
-unveröffentlicht-