



**Zusammenfassende Betrachtung der durchgeführten Untersuchungen  
sowie der geplanten Sanierungsmaßnahmen des Rohölschadens an der  
Kaverne S5 der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH in Gronau-Epe  
unter besonderer Berücksichtigung der Geologie und Hydrogeologie**

Auftraggeber: Bezirksregierung Arnsberg  
Abteilung Bergbau und Energie in NRW

Auftragsbezeichnung: Ölschaden Gronau-Epe

Auftragsdatum: 24.07.2014

Projektleiter: Prof. Dr. Wilhelm G. Coldewey

Projektbearbeiter: M.Sc. Geowiss. Dominik Wesche

Datum: 18.12.2015

Diese zusammenfassende Betrachtung besteht aus 6 Seiten und 1 Abbildung.

---



## Inhalt

|  |   |
|--|---|
| Einleitung.....                                    | 1 |
| Geologischer und Hydrogeologischer Überblick ..... | 2 |
| Durchgeführte Untersuchungen.....                  | 3 |
| Schadenshergang.....                               | 3 |
| Gefährdungseinschätzung .....                      | 4 |
| Sanierungskonzept .....                            | 5 |
| Resümee .....                                      | 6 |

## Einleitung

Im Salzbergwerk Epe der Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH (SGW) werden seit 1972 jährlich bis zu 2 Mio. t Salz in Form von Sole gewonnen. Die hierbei entstandenen Kavernen werden u.a. zur Untergrundspeicherung von Rohöl für die nationale Erdölreserve und Erdgas genutzt. Am 12. April 2014 wurden auf einer Weide in dem Kavernenfeld der SGW Austritte von Rohöl beobachtet. Kurz nach dem ersten Fund wurden zwei weitere Rohölaustritte festgestellt. Nach einer ausführlichen Ursachenanalyse konnte ein Eintrag nahe der Geländeoberfläche, wie z. B. durch defekte Ölleitungen ausgeschlossen werden, so dass untertägige Ursachen und die geologischen Rahmenbedingungen für die Migration des Rohöls zu untersuchen waren. Letztlich wurde festgestellt, dass die Ölaustritte auf eine Leckage an der Verrohrung der Rohölspeicherkaverne Epe S5 zurückzuführen waren.

Von der zuständigen Bezirksregierung Arnsberg – Abteilung Bergbau und Energie in NRW – (Bergbehörde) wurde ein abteilungsinterne Task-Force gegründet, die das bergbehördliche Management der Gefahrenabwehr, Ursachenermittlung, Sanierung koordinieren und Strategien zur Vermeidung gleichartiger Ereignisse entwickeln sollte. Kernelemente dieser Task-Force waren Kompetenzteams (KT), die sich entsprechend der unterschiedlichen Fragestellungen unter Leitung der Bergbehörde aus den jeweils zuständigen Behörden, unabhängiger Institutionen und Sachverständigen zusammensetzten:

- KT Bodenschutz/Landwirtschaft,
- KT Sanierung,
- KT Ökologie,
- KT Wasser,
- KT Arbeitsschutz,
- KT Geologie,
- KT Gefahrenabwehr,
- KT Technik,
- KT Öffentlichkeitsarbeit,
- KT Probennahme.

Zur Lenkung und Koordinierung der Maßnahmen und für Leitentscheidungen wurde vom Regierungspräsident der Bezirksregierung Arnsberg ein Koordinierungskreis mit Entscheidungsträgern der Bezirksregierung Münster (Regierungsvizepräsidentin), des Kreises Borken (Landrat), der Stadt Gronau



(Bürgermeisterin), der SGW (Geschäftsführung) unter Vorsitz der Bezirksregierung Arnsberg (Leiter der Bergbehörde) eingerichtet.

Die Zuarbeit für dieses Entscheidungsgremiums erfolgt durch eine darunter eingerichtete Arbeitsgruppe, bestehend aus Mitarbeitern der Häuser der Koordinierungskreismitglieder, des Geologischen Dienstes NRW, der Stadtwerke Gronau GmbH (Wasserwerke Gronau), der Feuerwehr, der Polizei sowie der SGW und Gutachtern.

### Schutz- und Sicherungsmaßnahmen

Im Rahmen des Krisenmanagements wurden für die Sicherung und den Schutz der Bevölkerung insbesondere folgende Gefahrenabwehrmaßnahmen veranlasst:

- Sicherung der Zuwegungen und der Baustellen,
- Ausbringung von Ölsperren,
- Errichtung von Filtergalerien mit Grundwasserreinigung,
- Errichtung einer 1.570 m langen Dichtwand,
- Überwachung des Grundwassers,
- Überwachung der Trinkwassergewinnung,
- Überwachung und Beprobung von Zisternen und Hausbrunnen,
- Überwachung der Oberflächengewässer,
- Überwachung und Beprobung des Bodens,
- Sanierungsorientierte Maßnahmen,
  - Absaugung/Abpumpung anfallender Wasser-Rohöl-Sand-Gemische,
  - Auskoffnung des belasteten Erdreichs,
  - Erstellung eines Sanierungsplans,
  - Erstellung einer Sanierungsdokumentation.

### Geologischer und Hydrogeologischer Überblick

Oberflächennah stehen in dem betroffenen Gebiet Ablagerungen des Quartär, bestehend aus Sand-, Lehm- oder Torfschichten von meist nur wenigen Metern an. Darunter lagern bis in mehr als 200 m Tiefe Ton- und Schluffsteine der Unterkreide (ca. 100 – 140 Mio. Jahre) mit einem bis zu 30 m mächtigen durchlässigen Bassisandstein (Hauterive). Die Buntsandstein-Schichten im Liegenden der Unterkreide (ca. 240 – 250 Mio. Jahre) aus Ton- und Schluffsteinen mit einzelnen Sandsteinpaketen reichen bis in eine Tiefe von ca. 800 m bis 1.000 m (Abbildung 1). Darunter folgen bis zum Beginn des Steinsalzes jüngere Zechstein-Deckschichten aus Ton-, Mergel- und Kalksteinen sowie Anhydrit. Die Aussolung findet in dem liegenden stratiformen Zechstein-Salinar (Werra-Anhydrit) statt, das sich in einer Tiefe von ca. 1.000 – 1.500 m befindet und eine Mächtigkeit von bis zu 400 m erreicht (GD NRW 2014).

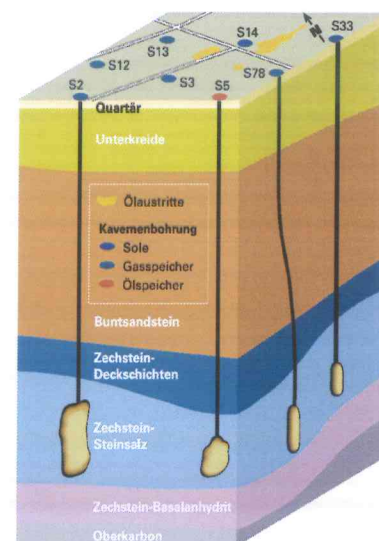


Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Steinsalz-Lagerstätte im Bereich der Schadensstelle (GD NRW 2014).



## Durchgeführte Untersuchungen

Das in das Quartär eingedrungene Rohöl stellte eine unmittelbare Gefahr für Mensch und Umwelt dar. Deshalb waren das Schadensausmaß sowie der Ausbreitungsmechanismus des Ölflusses in der Unterkreide zu ermitteln sowie insbesondere Schadensbegrenzungs- und Überwachungsmaßnahmen zu entwickeln. Aus diesem Grund wurden unverzüglich Schutz- und Sicherungsmaßnahmen ergriffen sowie das folgende umfangreiche Untersuchungsprogramm veranlasst:

- Situations- und Problemanalyse auf Grundlage der in jüngster Zeit gewonnenen Erkenntnisse im Labor und im Gelände.
- Rammkernsondierungen zur Bestimmung der Untergrund-Lithologie sowie der Quartär/Unterkreide-Grenzfläche.
- Geophysikalische Messungen zur Bestimmung der Quartär-Mächtigkeit.
- Abteufung von vier Kernbohrungen (KB1-4) zur Feststellung und Eingrenzung der Schadensausbreitung.
- Elektromagnetische Bohrlochmessungen zur Detektion wasserleitender Bereiche im Untergrund.
- Durchführung von Tiefenschürfen.
- Durchführung von 423 LIF-CPT-Sondierungen (Laser Induced Fluorescence, Cone Penetration Test) mit Messtiefen von bis zu 55 m unter Geländeoberkante (GOK) zur Identifizierung von im Untergrund vorhandenen Rohölbelastungen.
- Abteufung der Aufschlussbohrung KRU1 in ca. 58 m Entfernung zur Kaverne S5 bis in eine Teufe von 290 m u. GOK.
- Berechnung der Konvergenzauswirkungen auf die Verrohrung der Rohöl-Speicherkaverne S5.
- Detailuntersuchung der Bruch-/Harnischflächen mittels Rasterelektronenmikroskopie und Röntgenspektroskopie.
- Erstellung eines strukturellen dreidimensionalen Untergrundmodells auf Grundlage von 2D-seismischen Messungen; das Modell berücksichtigt alle verfügbaren Bohrungsdaten unter Einbeziehung der Bohrlochlogs in die Interpretation der Seismik-Ergebnisse.
- Isotopenuntersuchungen von Wasser, Sole und Böden.

## Schadenshergang

Zur Lokalisierung der Leckagestelle in der Kaverne S5 wurden in der Verrohrung mehrere Drucktests durchgeführt. In einem Testintervall von 209,3 m bis 221,8 m u. GOK wurde aufgrund des Druckabfalls oberhalb von 2,5 MPa im Testbetrieb eine defekte Rohrverbindung im Bereich der Ton- und Schluffsteine der Unterkreide festgestellt. Mittels Kamerabefahrung und Kalibermessung wurde diese undichte Rohrverbindung in einer Tiefe von  $217,2 \pm 1,7$  m u. GOK nachgewiesen.

Der kapillare Eindringdruck für Flüssigkeiten in die Ton- und Schluffsteine der Unterkreide wird auf ca.  $p_c = 4,7$  MPa geschätzt. Der Öldruck in ca. 217 m Tiefe, der zu dem Schadensereignis führte, lag bei ca. 8,1 MPa. Durch diesen hohen Öldruck und der damit verbundenen Zunahme der Horizontalspannung wurden bestehende, ursprünglich dichte Klüfte in den Ton- und Schluffsteinen der Unterkreide geöffnet. Auf den so entstandenen Scherbrüchen konnte das Rohöl migrieren. Ein Eindringen von Rohöl in die Poren der Gesteinsmatrix wird aufgrund des kapillaren Widerstands ausgeschlossen. Aufgrund der Zunahme der Horizontalspannungen des Gebirges in größerer Tiefe ist eine Öffnung von Klüften in



diesem Bereich unwahrscheinlich. Eine Rohölausbreitung erfolgte deshalb in Richtung der Tagesoberfläche aus den entstandenen Scherbrüchen der Unterkreide in die Schichten des Quartär.

Durch die Druckentlastung der Kaverne wurde der Öldruck unterhalb der minimalen Horizontalspannung des Gebirges reduziert. Hierdurch wurden die geöffneten Scherbrüche wieder geschlossen. Bei weiterer Druckabnahme unterhalb von 2,5 MPa erfolgte ein Rückfluss des Rohöls in die Bohrung. Aufgrund der lithologischen Zusammensetzung des Schadenshorizontes (Ton- und Schluffsteine der Unterkreide) wird in einem Zeitraum von wenigen Monaten eine Versiegelung der Scherbrüche auftreten, wodurch das aus der Kaverne ausgetretene Rohöl in dem anstehenden Ton- und Schluffsteinen sicher eingeschlossen wird („self-sealing process“). Die wieder geschlossenen, kompaktierten Scherbrüche sind häufig weniger durchlässig als die Matrix (URAI & KUKLA 2015). Eine weitere Ausbreitung des Rohöls in der Unterkreide ist daher nicht wahrscheinlich. Das bereits in die Schichten des Quartär migrierte Rohöl muss an einer weiteren Ausbreitung gehindert werden.

Zurzeit wird davon ausgegangen, dass die Ursache für das Versagen der Muffenverbindung multikausaler Natur ist. Aufgrund eines Einbau- oder Materialfehlers konnte die Muffenverbindung den Beanspruchungen nicht standhalten.

### Gefährdungseinschätzung

Die umfangreichen Untersuchungen ergaben ein eindeutiges Schadensbild. Die Rohölproben aus den Grundwassermessstellen Sundermann, Wald und Weide weisen geochemisch die gleiche Herkunft auf und stimmen mit dem Rohöl aus der Kaverne S5 überein. Das in den Erkundungsbohrungen angetroffene Wasser ist eine Mischung aus dem durch die Bohrmaßnahmen eingebrachten Fremdwasser und einem Grundwasser mit einer mittleren Verweilzeit. Es liegen keinerlei Hinweise vor, dass das in den Erkundungsbohrungen angetroffene Wasser aus den tiefer liegenden Aussolungen oder umliegenden Produktionsbohrungen zuströmt oder zugeströmt ist (EICHINGER et al. 2015).

Von dem Rohöleintrag sind die Schichten des Quartär und der Unterkreide betroffen. Diese weisen unterschiedliche petrophysikalische Eigenschaften und Durchlässigkeiten auf und sind daher für eine Gefährdungseinschätzung und eine anschließende Sanierung getrennt zu betrachten und zu bewerten. Die Schichten des Quartär stehen oberflächennah an. Somit stellt das in diese Lockergesteine migrierte Rohöl eine Gefährdung für Mensch und Umwelt dar.

Anders ist die Situation bei den Ton- und Schluffsteinen der Unterkreide. Hier migrierte das Rohöl auf Scherbrüchen, die durch den hohen Öldruck entstanden sind bzw. als alte Bewegungsbahnen wieder aufgerissen sind und konnte sich diffus bis an die Geländeoberfläche verbreiten.

Ein großer Aufwand wurde daher für die Untersuchung der Unterkreide-Schichten betrieben, da in der Region im tieferen Teil der Unterkreide ein Sandstein (Valangin bis Barrême) ansteht, der von dem Wasserwerk der Stadtwerke Gronau GmbH zur Trinkwassergewinnung genutzt wird. Aufgrund mikropaläontologischer Daten und eines Vergleichs von Bohrlochmessungen ließ sich nachweisen, dass der durchlässige Basissandstein der Unterkreide (Hauterive) im Bereich des Salzbergwerks Epe und der Grundwasser-Förderhorizont der Stadt Gronau in der Unterkreide (Valangin bis Barrême) ein unterschiedliches Alter besitzen und keinerlei Verbindungen aufweisen. Daher ist dauerhaft keine Gefährdung der Trinkwasserversorgung in Gronau zu befürchten.



## Sanierungskonzept

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse wurden verschiedene Sanierungsvarianten diskutiert.

Die Sanierung des Rohölschadens umfasst zwei voneinander unabhängige hydrogeologische Kompartimente. In den Schichten des Quartär liegt das Rohöl mobil vor und kann aus dem Schadensbereich ausgetragen werden. Hier sind Sanierungsmaßnahmen zu ergreifen. Von den zur Verfügung stehenden Sanierungsmethoden wird der Austausch von verunreinigtem Boden als zweckmäßig erachtet. Bedingt werden für das Quartär auch die Verfahren des Natural Attenuation, der Sicherung/Beobachtung sowie einer Kapselung empfohlen (SCHLEICHER & PARTNER 2015).

In den Schichten der Unterkreide ist das Rohöl – nach der Druckentlastung der Kaverne und damit fallendem Öldruck – in den Klüften der Ton- und Schluffsteine sicher eingeschlossen. Eine weitere Migration des Rohöls ist gegeben, so lange der in die Unterkreide eingebrachte Öldruck nicht vollständig abgebaut ist. Von den Sachverständigen wurde daher abgeraten, aufwendige Sanierungs- oder Umlagerungs-Maßnahmen in den Schichten der Unterkreide durchzuführen, um damit das eingeschlossene Rohöl („self-sealing process“) zu mobilisieren. Aufgrund mikrobieller Prozesse, wird ein langfristiger natürlicher Abbau des eingeschlossenen Rohöls in den Schichten der Unterkreide stattfinden. Solange jedoch in den Scherbrüchen noch ein erhöhter Öldruck herrscht, wird weiterhin in geringer Menge Rohöl an der Oberfläche der Kreide austreten. Dieses austretende Rohöl muss angenommen werden, um eine weitere Belastung des Quartär zu verhindern.

Vom KT Sanierung wurde eine Kapselung der Schichten der Unterkreide gegen die des Quartär als sinnvoll erachtet. Außerdem muss eine Einrichtung zur Absaugung bzw. Förderung des Rohöls aus dem gekapselten Bereich durch geeignete technische Maßnahmen gegeben sein. Hierzu stehen verschiedene Bauvarianten zur Verfügung, die als gemeinsames Merkmal eine sehr gute hydraulische Durchlässigkeit zwischen der natürlich anstehenden Kreide und der hydraulisch weitgehend undurchlässigen Kapsel aufweisen. Zur Wahl der Kapsel stehen als Material natürliche oder technisch aufbereitete Tonmineralien, Kunststoffdichtungsbahnen oder Mineral-Polymer-Gemische zur Verfügung. Für die Wahl der durchlässigen Schicht unterhalb der Kapsel kommen natürliche Materialien (Kies, Schotter) mit oder ohne Drainleitungen zu den Brunnen und technisch gefertigte Draineinrichtungen in Frage.

Alle Materialien sind grundsätzlich geeignet, weisen jedoch spezifische Vor- und Nachteile auf. Bei allen zur Verfügung stehenden Bauausführungen ist die diskontinuierliche Förderung bzw. Absaugung des Rohöls z. B. über Brunnen/Revisionsschächte vorgesehen. Die in der Draineinrichtung für den Transport des Rohöls zum Förderbrunnen/Förderschacht notwendige Wasserschicht soll dabei kontrolliert im Kreislauf gefahren werden. Eine Entnahme bzw. Zugabe von Wasser, je nach gewünschter, optimierter Betriebsart soll möglich sein.

Die generellen notwendigen Arbeitsschritte wurden bereits im KT Sanierung diskutiert. Die Ausführungsplanung dieser Maßnahmen ist in Arbeit.

Die Notwendigkeit von Messeinrichtungen zur Bestimmung wichtiger Parameter der Rohöl- und Wasserphase wurde im KT Sanierung gefordert. Ein Monitoring-Programm zur Betriebssteuerung im Sicherungsbauwerk und zur zeitlichen Entwicklung des Sicherungserfolges ist notwendig und wird zurzeit erarbeitet.

Die im KT Sanierung erarbeitete Sicherungsmethode ist zielführend und erscheint zweckmäßig.



## Resümee

Der zeitliche Ablauf der Untersuchungen sowie die jeweilige Vorgehensweise sind geprägt durch die Abfolge der Ereignisse und der sich daraus ergebenden Gefährdung für Mensch und Umwelt. Der Ablauf des Untersuchungsprogrammes ist in sich logisch und reduziert das Risiko für alle betroffenen Schutzgüter.

Art und Umfang der Untersuchungen sowie zu ergreifenden Maßnahmen wurden von der Bergbehörde veranlasst und einvernehmlich mit allen Behörden, deren Aufgabenbereiche berührt waren, sowie mit Sachverständigen abgesprochen. Sie waren erforderlich, um eine Gefährdung von Menschen und eine weitere Beeinträchtigung der Umwelt zu verhindern sowie eine eventuelle Beeinträchtigung des Grundwasserhorizontes des Wasserwerkes der Stadtwerke Gronau GmbH auszuschließen. Darüber hinaus war es zwingend erforderlich, Kenntnisse über den Schadensumfang und die Schädigungsmechanismen zu erlangen, um geeignete Sanierungs-, Sicherungs- und Monitoringmaßnahmen entwickeln zu können.

Die Untersuchungen ergaben insbesondere, dass keinerlei Verbindung zwischen dem durchlässigen Basissandstein der Unterkreide (Hauterive) im Bereich des Salzbergwerks Epe und der Grundwasserförderhorizonte der Stadt Gronau in der Unterkreide (Valangin bis Barrême) existiert. Daher ist dauerhaft keine Gefährdung der Trinkwasserversorgung in Gronau zu befürchten.

Die generellen notwendigen Arbeitsschritte zur Sanierung des Schadens wurden im KT Sanierung diskutiert. Die Ausführungsplanung dieser Maßnahmen ist in Arbeit.

Die Umsetzung der vom KT Sanierung erarbeitete Sicherungsmethode und des entsprechenden Sicherungskonzeptes erscheint zielführend und zweckmäßig.

Auf Veranlassung der Bezirksregierung Arnsberg – Abteilung Bergbau und Energie in NRW – (Bergbehörde) wird zur Verhinderung gleichartiger Ereignisse eine Ölspeicherung in Kavernen in Nordrhein-Westfalen zukünftig nur noch mit einem Doppelwandsystem mit Überwachungsraum durchgeführt werden dürfen. Bestehende Systeme müssen nachgerüstet werden.

Diese Betrachtung basiert auf den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen sowie den Beschlüssen des KT Geologie und des KT Sanierung.

Dülmen, den 18.12.2015

  
Prof. Dr. Wilhelm G. Coldewey

  
M.Sc. Geowiss. Dominik Wesche