

# Kritik an der neuen BVEG – Technische Regel - Bohrungsintegrität

## 3.2.16 Zusätzliche Anforderungen an die Auslegung von Flüssigkeits- und Gaskavernen-Bohrungen

Achtung! Nicht zu Ende gedacht!

Von A. ABDEL-HAQ\*

\*Dr. Amer Abdel-Haq, UGS – Untergrundspeicher und Geotechnologie-Systeme GmbH, Mittenwalde.  
E-Mail: Abdel-Haq@ugsnet.de

0179-3187/21/1 DOI 10.19225/210104  
© 2021 DVV Media Group GmbH

### 1 Aufgabenstellung

#### 1.1 Primärziel

Primärziel dieses Artikels ist, die Aufmerksamkeit sowohl bei den Speicherbetreibern als auch bei den zuständigen Behörden hinsichtlich der im Juli 2017 veröffentlichten zusätzlichen Anforderungen der BVEG-Regeln zum Durchführen von Dichtheitstests zum Nachweis der technischen Integrität einer Kavernenbohrung und der damit verbundenen Risiken zu erwecken. In dieser

Ausarbeitung wird sowohl die technische als auch die wirtschaftliche Machbarkeit der vorgenannten Regeln der Bohrungsintegrität für Kavernen aus Sicht des planenden Ingenieurs überprüft. Der Fokus liegt bei Gaskavernen, betrifft aber folgerichtig auch die Flüssigkeitskavernen (Öl, Sole,...). In den technischen Regeln des Bundesverbandes Erdgas, Erdöl und Geoenergie e. V. (Stand 07/2017) [1] wurden unter 3.3.12 zusätzliche Anforderungen an Herstellung von Gaskavernen-Bohrungen (Praktiken – zu 3.3.12) und unter Anhang B: Akzeptanzta-bellen/2.Barriere-Element-Futterrohrtour/4. Erst-Nachweis/6. die Anforderungen an den Speicherbetreiber – in diesem Fall Gaskavernen – gestellt, einen Gasdichtheitstest der gesamten letzten zementierten Rohrtour und des Rohrschuhs mit dem Testgas Stick-

stoff durchzuführen und den technischen Gas-Dichtheitsnachweis beider, einzeln getestet oder zusammen, zu erbringen.

#### 1.2 Sekundärziel

Des Weiteren wird der Speicherbetreiber in diesem Artikel auf mögliche Risiken hingewiesen, die aus Sicht des planenden Ingenieurs und aufgrund von langjährigen Erfahrungen der Speicherindustrie beim Einsatz von nicht geeigneten Testmethoden (in diesem Fall konventionelle Testmethoden) die gesamte Bohrung bzw. den Verbund Rohr/Zement/Salz (Gebirge) teufenabhängig und auf eine Betriebsdauer von 30–50 Jahre nachhaltig beeinträchtigen könnten.

#### 2 Stand der Technik

Unter Stand der Technik und in Bezug auf

### EEK Aus der Redaktion

#### Leserbriefe

Diskutieren Sie mit und schreiben Sie uns Ihre Meinung per Mail an:  
leserbriefe@eid.de

INTEGRIERTE INGENIEUR- UND DIENSTLEISTUNG  
FÜR DIE UNTERIRDISCHE SPEICHERUNG VON GASEN UND FLÜSSIGKEITEN.



(Foto: Dr. Amer Abdel-Haq)

die Aufgaben wird nicht die Methodik (Testverfahren) der Durchführung von Dichtigkeitstests im Bereich des letzten zementierten Rohrschuhs diskutiert (siehe [2], Pkt. 3, derzeitiger Kenntnissstand, und [3], Pkt. 0, Abstract), sondern die zu testenden Bereiche der Kavernenbohrung. Die in den beiden Referenzen [2] und [3] beschriebenen Methoden stellen immer noch den Stand der Technik dar. Sie unterscheiden sich geringfügig beim Ausweisen der Genauigkeit der errechneten Leckraten sowie in ihren Ausführungen. Diese Methoden werden von den zuständigen Behörden national und international anerkannt. Die Entwicklung dieser Testmethoden wurde Hand in Hand mit der Entwicklung des Mess- und Testequipments vorangetrieben (siehe beispielweise [4], SOMIT-Sonden, [5] SOMIT-Verfahren).

In dieser Ausarbeitung ist es wichtig zu klären, ob der Stand der Technik sich nur auf folgende Aussage beschränkt und diese erfüllen muss:

Die technische Integrität und somit die Gasdichtheit ist nur dann gegeben, wenn:

- a) die gesamte letzte zementierte Rohrtour mit Stickstoff als Testgas und mit dem maximalen Betriebsdruck über mindestens 72 h getestet wird und
- b) der Bereich des letzten zementierten Rohrschuhs (Verbund Rohr/Zement/Salz) mit Stickstoff als Testgas und mit dem maximalen Betriebsdruck getestet wird [6], [7].

**2.1 Zwei-Barriere-System**

Bis zum heutigen Tag wird das Zwei-Barriere-System, zumindest bei Gaskavernen, von den zuständigen Behörden in Deutschland vorgeschrieben. Darauf aufbauend, wurden alle Methoden zum Nachweis der technischen Integrität entwickelt und im Laufe der Zeit (über 50 Jahre) verbessert und angepasst. Die konventionellen Testmethoden wurden niemals dafür entwickelt, dass die gesamte letzte zementierte Rohrtour mit dem maximalen Betriebsdruck überprüft

wird, obwohl die technische Machbarkeit schon immer gegeben war.

Für den normalen Gasbetrieb mit einer Betriebsdauer von etwa 30–50 Jahren (max. Erfahrungswerte) wird der Verbund Rohr-Zement-Gebirge (Abb. 1) im Bereich des Rohrschuhs vor Einbau der ersten Barriere (Förderrohrtour: Komplettierung – Steigraum mit Komplettierung – Permanent Packer) auf Gasdichtheit getestet.

Bei solchen Dichtigkeitstests wird die Bohrung (im Bereich des letzten zementierten Rohrschuhs) unter realen Bedingungen (mit Ausnahme des Speichergases – statt Erdgas wird Stickstoff verwendet) getestet. Folgende Testbedingungen sind vor Beginn der Testzeit zu erfüllen:

- a) Testdruck = max. Betriebsdruck
- b) Der Bereich des letzten zementierten Rohrschuhs (Abb. 1) ist vollständig unterhalb des Testgases.
- c) Der Gas-Sole-Spiegel ist unterhalb des letzten zementierten Rohrschuhs und ist genau definiert (Testvolumen ist genau definiert).

Hierfür wird ein Teststrang, verbunden mit einem Testpacker, unmittelbar oberhalb des letzten Rohrschuhs eingebaut. Der Teststrang und somit der damit verbundene Testpacker haben zwei essenzielle Aufgaben:

**1. Schutz der Hinterrohrzementation**

Schutz der Hinterrohrzementation der letzten zementierten Rohrtour, insbesondere im oberen Bereich, vor dem mechanischen Einfluss der höheren Drücke während des Dichtigkeitstests von mindestens 72 h [8].

Abhängig von der Geologie des umgebenden Gebirges des Bohrloches oberhalb des Salzsteins und somit des summarisch wirkenden Dichteunterschieds des Deckgebirges herrscht im oberen Bereich der Bohrung geringerer Gebirgsdruck (wirkender Gebirgsdruck/Außendruck) als im unteren Bereich. Abbildung 2 und 3 stellen schematisch dar, wie die Druckbelastung (Außen-

druck gegenüber Innendruck) im Bohrlochbereich mit und ohne Testinstallation ist. Die Länge des Pfeiles soll schematisch den relativen Betrag des wirkenden Druckes sowohl von innen als auch von außen darstellen.

Der wirkende Gebirgsdruck und somit der durchschnittliche summarische Druckgradient werden gebirgsmechanisch (Labor, In-situ-Druckbelastbarkeitstests, Software) ermittelt. Da ein gasförmiges Testmedium (Stickstoff) eingesetzt wird, ist der Gravitationsanteil (Gewicht) an dem statischen Druckanstieg von oben nach unten im Vergleich zur Flüssigkeit (nahezu linear) sehr gering. Beim Einsetzen von gasförmigen Testmedien ohne Teststrang und ohne Testpacker werden folgerichtig die oberen Bereiche der Bohrung viel höherem Innendruck ausgesetzt sein als dem von außen wirkenden Gebirgsdruck. Für das Material der letzten zementierten Rohrtour (verschweißt oder verschraubt) bereitet der wirkende Gasinnendruck keine mechanischen negativen Einflüsse.

Das Material ist elastisch und kann sich an den herrschenden Innen- und Außendruck anpassen, sicherlich für die berechnete Innen- und Außendruckbelastbarkeit für den jeweiligen Bereich.

Vielmehr wird der Verbund Rohr/Zement/Gebirge nachhaltig beeinträchtigt. Die Elastizität des Rohrmaterials ist vielfach höher als die Elastizität der Hinterrohrzementation. Das gilt für die gesamte letzte zementierte Rohrtour mit dem Unterschied, dass der Gebirgsdruck in tieferen Bohrungsbereichen, insbesondere im Salzstein, viel höher ist als in oberen Bereichen. Das heißt, dass in tieferen Bereichen (Bereich des letzten zementierten Rohrschuhs) die Ausdehnung des Rohres (letzte zementierte Rohrtour) durch den wirkenden Außendruck an dieser Stelle (Gebirgsdruck) kaum zum Tragen kommt.

Deshalb wird durch den Teststrang und den

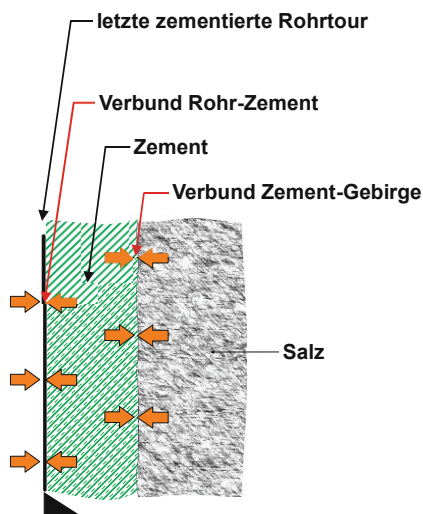


Abb. 1 Verbund Rohr-Zement-Gebirge

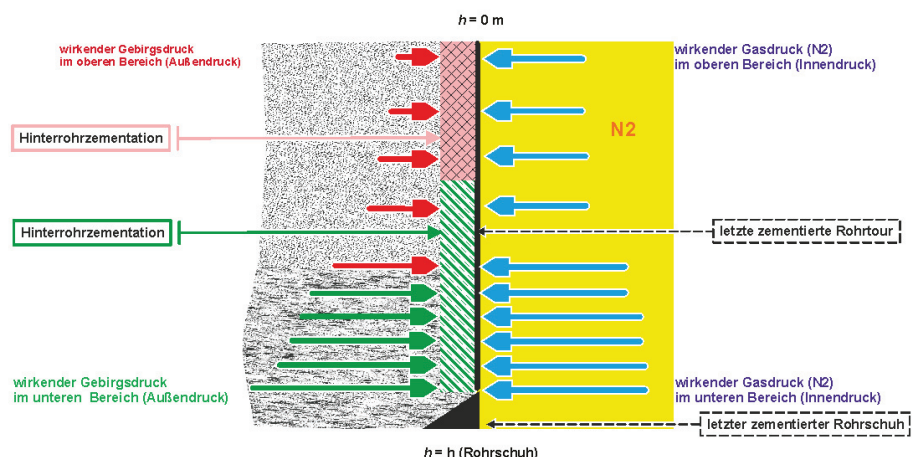


Abb. 2 Innen- und Außendruckbelastung auf der letzten zementierten Rohrtour ohne Testinstallation

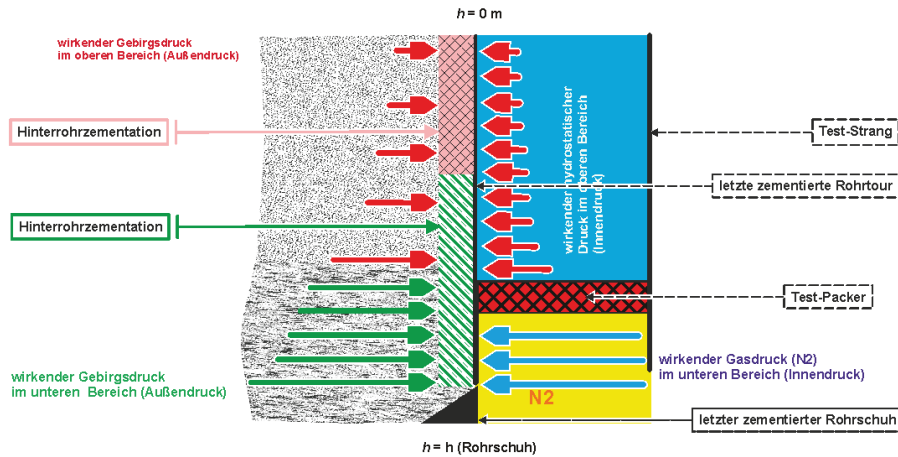


Abb. 3 Innen- und Außendruckbelastung auf der letzten zementierten Rohrtour mit Testinstallation

Testpacker ein Testringraum geschaffen (gefüllt mit Sole), der durch das Gewicht der Sole einen linearen, nach unten und somit mit dem Gebirgsdruck konformen Druckanstieg erzeugt, wobei die sehr geringe Kompressibilität der Sole in diesem Ringraum zu vernachlässigen ist (Abb. 3).

Unterhalb des Testpackers herrscht während des Tests ein Gasdruck (Stickstoff), der dem maximalen Betriebsdruck entspricht. Sowohl Rohr als auch Zementation und Gebirge sind dann den realen Bedingungen für mindestens 72 h Testzeit ausgesetzt.

## 2. Minimieren des Testvolumens

Diese Aufgabe bleibt trotz ihrer Dringlichkeit sekundär. Während des Dichtheitsstests wird das Gasvolumen im Teststrang unterhalb des Testpackers und im Open-Hole-Bereich bis zum Gas-Sole-Spiegel zusammenaddiert und als Testvolumen betrachtet. Ausgehend von der allgemeinen Gasgleichung ist das Testvolumen die wesentliche und somit größte Fehlerquelle, die mathematisch in der Fehlerberechnung (Fehlerfortpflanzungsgesetz) zur Ermittlung der Leckrate herangezogen wird. Bei einem Dichtheitsstest ohne Testinstallation wird das gesamte Volumen der letzten zementierten Rohrtour und der Open-Hole-Bereich als Testvolumen betrachtet. Aus diesem Grund gilt in jedem Fall: Je kleiner das Testvolumen ist, umso höher ist die Genauigkeit bei der Ermittlung der Leckrate unter Prüfbedingungen.

Um die Genauigkeit bei der ermittelten Leckrate zu erhöhen und somit diesen Effekt zu umgehen, wird in den meisten Fällen die Testzeit um weitere 48 h verlängert.

## 2.2 Havarie-Fall und Sicherung der Bohrung

Die zweite Barriere (letzte zementierte Rohrtour und die Hinterrohrzementation) ist die einzige Rohrtour, die mit dem Gebirge und gleichzeitig mit dem Speicher (Kaverne) direkt verbunden ist. Die Hauptaufgaben dieser Rohrtour bestehen darin, den direkten Zugang für die Komplettierung zum Kavernenkörper (Speicher) herzustellen und im Havarie-Fall (Undichtheit der durchgängigen Komplettierung) einen sicheren Auffang-

raum für das Speichermedium zu sein. Die letzte zementierte Rohrtour ist auf keinen Fall dafür konstruiert, einen langfristigen Speicherbetrieb ohne Komplettierung zu überdauern. Sie ist eine Rückfallsicherung, die im Havarie-Fall die umgebenden Gebirge und somit die Umwelt vor dem totalen case-of-open-flow (open-flow-potential) schützen soll, bis der Speicherbetreiber eine dadurch technisch sichere Reparatur der beschädigten Komplettierung vornimmt. Danach wird die letzte zementierte Rohrtour entlastet und wird als zweite Barriere zum Gebirge dienen. Die Komplettierung und die letzte zementierte Rohrtour können bei technischen Beschädigungen in den meisten Fällen repariert werden. Wenn aber das umgebende Gebirge im oberen Bereich der Bohrung nachhaltig geschädigt wird (Entstehung von geologischen Wegsamkeiten), ist dies erstmal, wenn überhaupt, durch selbstständige Heilung des Gebirges möglich. Fließeigenschaften des Salzgesteins ermöglichen eine Selbstheilung. Im oberen Bereich der Bohrung ist aber eine Selbstheilung nicht möglich, da dort kein Salzgestein vorhanden ist. Im Salzgestein selbst kann der Heilungsprozess bis zu zehn Jahre andauern.

## 3 Zusätzliche Vorgaben der BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität

Die in Bezug auf Sicherstellung der Bohrungsintegrität für Gaskavernen zusätzlichen Regeln sind in der BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität von 07.2017 unter folgenden Positionen beschrieben:

1 Punkt 3.3.12 Zusätzliche Anforderungen an Herstellung von Gaskavernen-Bohrungen (Praktiken: Herstellung von Gaskavernen-Bohrungen)/Seite 45

„Vor Gas-Erstbefüllung: Nachweis der (technischen) Gasdichtheit der letzten zementierten Rohrtour und der Rohrschuhzementation mit Stickstoff und maximalem Betriebsdruck [27], [28]“

2 Anhang B:/2. Barriere-Element Futterrohr/4. Erst-Nachweis/6. „6. Gas-Kavernen, vor Erstbefüllung: erneuter Nachweis der hydraulischen bzw. (techni-

schen) Gasdichtheit der Rohrtour und des Rohrschuhs der letzten zementierten Rohrtour und der Rohrschuhzementation mit Stickstoff und maximalem Betriebsdruck. (M)“

## 4 Kritik und technische Empfehlung zur Interpretation von BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität

Die Umsetzung der o.g. Punkte (BVEG – Technische Regel) zur Ausführung eines Dichtheitstests hat bei vielen Speicherbetreibern und bei Bergbehörden unterschiedliche Interpretationen hervorgerufen. Das führte zu technischen Diskussionen, woraus sich folgende Fragen ergaben:

- 1 Soll die letzte zementierte Rohrtour in ihrer Gesamtheit (von Teufe 0 m bis zur Teufe des jeweiligen Rohrschuhs) mit den konventionellen Testmethoden auf Gasdichtheit für einen normalen Gasbetrieb (dynamischer Ein- und Auspeisebetrieb, Temperatur- und Druckänderungen während des Gasbetriebes) getestet werden?
- 2 Was sind die Konsequenzen für die Hinterrohrzementation im oberen Bereich der Bohrung?
- 3 Wurde die Integrität der Bohrungen von den Gaskavernen, die im Betrieb sind, nicht vollständig oder fehlerhaft getestet? Und wie verfährt der Speicherbetreiber mit seinen Speicherbohrungen weiter, die nicht nach den zusätzlichen Regeln von BVEG 07.2017 getestet wurden?
- 4 Muss ein erneuerter Dichtheitstest mit Gas und mit dem max. Betriebsdruck an der letzten zementierten Rohrtour in ihrer Gesamtheit durchgeführt werden?

Zur Beantwortung der oben aufgeführten Fragen muss der Speicherbetreiber zwei Aspekte in Betracht ziehen:

### 4.1 Technischer Aspekt

Die gesamte Entwicklung der Dichtheits-testmethodik bis zu ihrem jetzigen Stand war immer auf den Bereich des letzten zementierten Rohrschuhs bezogen. Über mehr als 30 Jahre herrschte auf der nationalen und europäischen Ebene eine klare Übereinstimmung, dass Dichtheitstests mit dem maximalen Betriebsdruck sich nur auf den Bereich (Rohrschuh der letzten zementierten Rohrtour und der Verbund Rohr-Zement-Gebirge) beziehen dürfen, da die zweite Barriere nur für den Havarie-Fall dient. Die letzte zementierte Rohrtour muss nicht und darf nicht die gleichen technischen Aufgaben der Förderrohrtour haben. Genau aus diesem Grund wurde die letzte zementierte Rohrtour auch nicht wie die Förderrohrtour in ihrer Gesamtheit getestet. Diese Meinung wird auch national und international öfter diskutiert (siehe SMRI-, IGU-, TUBAF- und DGMK-Beiträge zum Thema Tightness Tests for Salt Caverns).

Die Qualität und die Dichtheit der Hinterrohrzementation und der Verbund Rohr-Ze-

ment-Gebirge im oberen Bereich der Bohrung werden durch die Innendruckbelastung eines konventionellen Dichtigkeitstestes mit Stickstoff und mit dem maximalen Betriebsdruck nachhaltig beeinträchtigt. Der Grad der Beeinträchtigung ist kaum abzuschätzen, da solche Tests noch nie, zumindest in Deutschland, so geplant und durchgeführt wurden und mit dem bewussten Risiko von den zuständigen Behörden zugelassen wurden.

Im technischen Sinne wurde aber auch oftmals argumentiert, dass bei Gaskavernen, die mit Stickstoff als Blanket-Medium gesolt wurden, der obere Bereich der letzten zementierten Rohrtour mit höherem Innendruck über längere Zeit (Solzeit) belastet wurde. Diese Aussage ist sachlich richtig, aber nicht vollendet. Bei den Gaskavernen, die mit Stickstoff als Blanket-Medium gesolt wurden, nahm und nimmt der Speicherbetreiber das Risiko, die Bohrungsintegrität im oberen Bereich der Bohrung negativ zu beeinflussen, in Kauf, da für die Dichtigkeit der gesamten Bohrung zwei Elemente entscheidend sind:

- Die Dichtigkeit des Verbundes Rohr/Zement/Gebirge im Bereich der letzten zementierten Rohrtour bzw. bis zum Salzspiegel
- Im Havarie-Fall die Dichtigkeit der verschraubten bzw. verschweißten Verbindungen der letzten zementierten Rohrtour als Rückfallsicherung für das Speichermedium.

#### Leckagesuche

Ein wichtiger technischer Aspekt ist die Zuordnung einer möglichen Undichtheit. Für den Fall der Undichtheit bei einem Test ohne Testpacker wird die Zuordnung der Undichtheit sehr kompliziert. Es müssen dann drei Optionen in Betracht gezogen werden:

- Undichtheit im Bereich des letzten zementierten Rohrschuhs
- Undichtheit durch eine oder mehrere Rohrverbindungen in der letzten zementierten Rohrtour
- Undichtheit durch geologisch bedingte Wegsamkeit nach oben

Bei Feststellung einer Undichtheit ohne Testinstallation wird erschwerend dazu die Hinterrohrzementation im oberen Bereich mit dem Testgas aufgeladen. Das Testgas wird mehrere Wochen bis mehrere Monate brauchen, um vollständig, wenn überhaupt, aus dem zementierten Ringraum kontrolliert und/oder unkontrolliert zu entweichen. Ein wiederholter Test zur Klärung und Zuordnung der Undichtheit kann dann nicht gleich im Anschluss zum ersten Test durchgeführt werden. Ein weiterer Test mit Testpacker muss dann bedingt folgen, um ein Ausschlussverfahren bei der Suche nach der Leckage zu ermöglichen.

Nun ist es eine Frage der Sicherheitsphilosophie des Speicherbetreibers und der zuständigen Behörde, abzuwägen, ob er einen Dichtigkeitstest über die gesamte letzte ze-

mentierte Rohrtour mit Gas und mit dem maximalen Betriebsdruck durchführt und dabei die Integrität der Hinterrohrzementation im oberen Bereich der Bohrung bewusst vernachlässigt und/oder gefährdet.

Auch im Fall einer Wegsamkeit im Bereich des letzten zementierten Rohrschuhs kann eine intakte Hinterrohrzementation im oberen Bereich bis zu bestimmtem Druck und Volumenrate die technische Integrität der Bohrung unterstützen [9].



Abb. 4 Kavernenfeld-Epe, Kaverne S5

Wie in Abbildung 4 ersichtlich gab es ein technisches Versagen der letzten zementierten Rohrtour und die Hinterrohrzementation bei 217,18 m in der Kaverne S5 im Kavernenfeld-Epe. Das Speichermedium Öl im oberen Bereich der letzten zementierten Rohrtour gelangte durch die nicht intakte Hinterrohrzementation für eine sehr kurze Zeit aber unkontrolliert an die Oberfläche. Die Leckage-Suche war sehr kostenintensiv und hat mehrere Wochen gedauert.

Es wird dringend empfohlen, die Technologie und die Methodik des konventionellen Dichtigkeitstests einzusetzen, ohne die letzte zementierte Rohrtour und die Hinterrohrzementation im oberen Bereich unnötig mit den hohen Testdrücken zu belasten und sie damit nachhaltig zu beschädigen.

#### 4.2 Wirtschaftlicher Aspekt

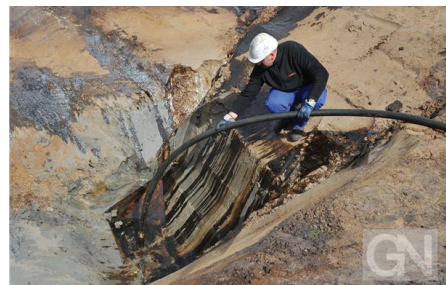
Kurzfristig und im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit ist die Überprüfung der letzten zementierten Rohrtour in ihrer Gesamtheit (von Teufe 0 bis Teufe Rohrschuh) mit Stickstoff und mit dem maximalen Betriebsdruck bei weitem günstiger als die konventionellen Dichtigkeitstestmethoden. Die Ersparnisse beziehen sich zu 80 % auf den Einsatz der für den konventionellen Test benötigten Workover-Anlage. Der Einsatz und somit die entstehenden Mehrkosten bei der Workover-Anlage bestehen aus folgenden Positionen:

- An- und Abtransport der Workover-Anlage
- Auf- und Abbau der Workover-Anlage
- Betriebsstunden beim Einbauen des Testpackers (gegebenenfalls ein weiterer Teststrang)
- Wartezeiten beim Aufpuffern und Entlasten der Kaverne mit/von Sole und Stickstoff

Was der Speicherbetreiber aber unbedingt in

Betracht ziehen soll, sind die möglichen sowohl kurzfristigen (im Fall der Undichtheit) als auch langfristigen Mehrkosten, die sich aus Fehleinsätzen von nicht geeigneten Testmethoden an der gesamten letzten zementierten Rohrtour ergeben.

Im Fall der Undichtheit wird in allen weiteren Untersuchungen zum Lokalisieren der Leckage-Position und zum Definieren der Leckage (welche Volumenrate und bei welchem Druck – Druckgrenze) ein mechani-



scher Testpacker gebraucht und somit eine Workover-Anlage, da bei der Änderung des Stickstoff-Spiegels ohne Testinstallation möglicherweise nur die Position der Leckage ermittelt werden könnte. In diesem Fall werden Mehrkosten entstehen, die bei weitem die tatsächlichen Kosten für einen konventionellen Test, der sich auf den Bereich des letzten zementierten Rohrschuhs bezieht, übersteigen. Im Fall der Undichtheit muss gegenüber der zuständigen Behörde (Bergbehörde, Umweltbehörde) die Leckage-Position nachgewiesen werden, um die Mängel technisch und umweltgerecht zu beheben.

Auch aus wirtschaftlicher Sicht wird dringend empfohlen, die Wichtung auf die langfristigen Wirkungen und Nachhaltigkeit der Hinterrohrzementation sowie auf die spätere Leckagesuche zu legen und nicht auf die kurzfristigen wirtschaftlichen Ersparnisse sowie die Zusammenfassung von Arbeitsschritten, die durch langjährige Erfahrungen in Deutschland und in Europa genau aus diesen Gründen so konzipiert waren.

#### 5 Ergänzung zum BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität

##### 5.1 Anpassung an die behördlichen Anforderungen

Aufgrund der in den letzten Jahren aufgetretenen technischen Komplikationen, sowohl in den Installationen der Ölkavernen als auch in den Komplettierungen von Gaskavernen in Deutschland und in anderen Ländern in Europa, sind die zuständigen Behörden auf dem Weg, neue und angepasste Anforderungen an den Speicherbetreiber zu stellen. Nur durch eine gemeinsame Abstimmung zwischen Industrie und Behörden hinsichtlich der modernen, technisch sicheren und finanziell tragbaren Lösungen und den aufgrund der aufgetretenen technischen

Komplikationen der Öl- und Gaskavernen zu erwartenden neuen Auflagen, kann eine sinnvolle Kombination zum weiteren sicheren Betrieb erzielt werden.

Die in diesem Artikel beschriebenen Empfehlungen zielen unter anderem auf die Gründung eines gemeinsamen Gremiums ab, das Behörden und Speicherindustrie inkludiert und gemeinsam die technischen modernen Lösungen diskutiert. Die BVOT [10] lässt sicherlich an vielen Stellen dem Speicherbetreiber die detaillierten technischen Ausführungen seiner Methodik offen. Die BVOT und die Regelungen, die in den unterschiedlichen Bundesländern auch unterschiedlich ausfallen, können nicht die gesamten Technologien und High-Tech-Lösungen vorschreiben, ohne die Machbarkeit der Vorschriften sowohl technisch als auch wirtschaftlich zu überprüfen. Dies kann nur funktionieren, wenn beide Parteien (Industrie und Behörden) sie gemeinsam abstimmen.

In der Ausführung und bei vielen technischen und wirtschaftlichen Aspekten unterscheiden sich Speicherbohrungen von E&P-Bohrungen. Um belastbare Lösungen und somit Anforderungen herzuleiten, muss der planende Ingenieur und die zuständige Behörde diese Bohrungen separat betrachten.

### 5.2 Gebirgsmechanik

Die Gebirgsmechanik war, ist und bleibt ein wichtiger Bestandteil jeder Aussage hinsichtlich der technischen Integrität von Bohrungen. Die Abdichtung gegen das Gebirge selbst stellt sich als besonders schwierig dar. Im Allgemeinen ist Steinsalz als gas- und flüssigkeitsdicht anzusehen. Die technische Dichtheit des Zementmantels (Hinterrohrzementation der letzten zementierten Rohrtour) bzw. am Rohrschuh ist ein entscheidendes Kriterium für die Eignung einer Tiefbohrung bzw. einer Kaverne zum Gasspeicherbetrieb. In den BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität (siehe Punkt 3.3.12 und Anhang B:/2) wurden die gebirgsmechanischen Aspekte nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt. Die Aussage der BVEG – Technische Regel wurde nicht ausreichend aus gebirgsmechanischer Sicht argumentiert (langfristiger Einfluss der Druckbelastung der Hinterrohrzementation des oberen Bereiches der letzten zementierten Rohrtour).

Zu diesem Punkt wird empfohlen, die Gebirgsmechanik in die BVEG – Technische Regel mit einzubeziehen, um eine vollständige und treffende Aussage über die Technische Integrität herleiten zu können.

### 5.3 Fehlinterpretation der Literaturquellen

Die BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität:

Punkt 3.3.12 Zusätzliche Anforderungen an Herstellung von Gaskavernen-Bohrungen (Praktiken: Herstellung von Gaskavernen-Bohrungen)/Seite 45 „Vor Gas-Erstbefüllung: Nachweis der (technischen) Gasdichtheit

der letzten zementierten Rohrtour und der Rohrschuhzementation mit Stickstoff und maximalem Betriebsdruck [27], [28]“, nimmt die Literaturquelle

- [27]: F. Crotofino, „SMRI Reference for External Well Mechanical Integrity Testing/Performance, Data Evaluation and Assessment,“ Solution Mining Research Institute, Short Class, SMRI Spring Meeting, Houston, 1996 und

- die Literaturquelle [28]: A. Abdel-Haq, „Erfahrungen bei der Durchführung des Dichtheitstests an den letzten zementierten Rohrtouren der Kavernenfelder EPE und Bad Lauchstädt,“ in 57. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Freiburger Forschungsforum, Freiberg, 22. und 23. Juni 2006

als Referenzen für die getroffenen Aussagen.

Nach ausführlicher Überprüfung der genannten Quellen ist Folgendes festzustellen:

- Zu Literaturquelle [27]: Aufgrund der technischen Komplexität der Durchführung und Auswertung von Dichtheitstests zum Nachweis der technischen Integrität einer Gas-Bohrung (Kaverne) ist es schwierig, auf Grundlage dieser Literaturquelle eine Aussage hinsichtlich des zu testenden Bereiches zu treffen, zumal viele genannte Punkte in dieser Literaturquelle das Ergebnis einer internationalen Umfrage darstellen und nicht als Regeln oder Leitlinien zu verstehen sind (siehe Literaturquelle, Pkt. 4.3.5 Germany/Seite 38, Pkt. 2.4.2 Suspended casing or tubing/Seite 42, Pkt. 3, 3.1 Connection of final cemented casing, Pkt. 3.2 Final casing seat/Seite 43 sowie Pkt. 4.2 Bohrrhole section being tested/Seite 44).

Um den Text dieser Literaturquelle besser interpretieren zu können, der oftmals von dem Autor selbst im Rahmen von nachfolgenden SMRI-Meetings und „technical papers“ an vielen Stellen revidiert und verbessert wurde, ist es viel eindeutiger, in den Anlagen dieser Literaturquelle zu sehen, dass bei den Abbildungen: Fig. 1-1/ Fig. 3-1/ Fig. 4-1/ Fig. 4-2/ Fig. 4-3/ Fig. 4-5/ Fig. 4-7/ Fig. 2-4 stets ein Testpacker oder Permanent-Packter unmittelbar oberhalb des letzten zementierten Rohrschuhs installiert war.

Aus den o. g. Gründen stellt diese Literaturquelle den Stand der Technik im Jahr 1995 dar und bestätigt niemals die Notwendigkeit, die letzte zementierte Rohrtour in ihrer Gesamtheit mit dem maximalen Betriebsdruck und mit Stickstoff über mehr als 72 h zu testen.

Diese Literaturquelle wurde bei der BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität hinsichtlich der Methodik zum Dichtheitstest fehlinterpretiert.

- Zu Literaturquelle [28]: (Autor dieser Literaturquelle ist auch Autor dieses Artikels) auch in dieser Literaturquelle ist nirgends beschrieben worden, dass die letzte zementierte Rohrtour in ihrer Gesamtheit mit dem maximalen Betriebs-

druck mit Stickstoff getestet werden muss. Die genannte Literaturquelle behandelt ausschließlich eine moderne Herangehensweise mit Temperatureinflüssen auf den Teststrang und somit den Testpacker. Die letzte zementierte Rohrtour bleibt weiterhin durch den Testpacker geschützt (siehe Seite 5/Abbildung 1, Pkt. 2.4 der o. g. Literaturquelle). Die unter Pkt. 3.4 der Literaturquelle beschriebenen Tests (Abbildung 7 – Literaturquelle) beziehen sich auf eine völlig unterschiedliche Zielstellung und haben mit den normalen Integritätstests kaum Gemeinsames.

Aus diesem Grund ist diese Literaturquelle nur teilweise anwendbar (Dichtheitstest am Rohrschuh), nämlich, wenn es sich um einen konventionellen Dichtheitstest im Bereich des letzten zementierten Rohrschuhs und nicht um die gesamte letzte zementierte Rohrtour handelt. Es wurde in dieser Literaturquelle explizit darauf hingewiesen, dass die letzte zementierte Rohrtour während des Testens unbedingt zu schützen ist, Zitat: „2.2 Testinstallation, In Abbildung 1 (der Literaturquelle) ist die Testinstallation dargestellt. Um die letzte zementierte Rohrtour bzw. die Zementation vor den Einflüssen höherer Drücke zu schützen, wird ein Absperrerelement (Packter) unmittelbar nah an dem Rohrschuh der letzten zementierten Rohrtour eingebaut. Dieser Ringraum (Teststrang/letzte zementierte Rohrtour) ist so gefüllt, drucklos und wird über die gesamte Testdauer beobachtet“

Diese Literaturquelle wurde auch bei der BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität hinsichtlich der Methodik zum Dichtheitstest fehlinterpretiert.

### 6 Zusammenfassung

Seit ihrer Veröffentlichung in 07.2017 sorgten die zusätzlichen Forderungen beim Durchführen von Dichtheitstests zum Nachweis der technischen Integrität einer Kavernenbohrung im Rahmen der BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität für reichliche Diskussionen zwischen den planenden Ingenieuren, den Speicherbetreibern und den zuständigen Behörden. Primärziel dieser Veröffentlichung ist, die Aufmerksamkeit sowohl bei den Speicherbetreibern als auch bei den zuständigen Behörden hinsichtlich der in 07.2017 veröffentlichten zusätzlichen Forderungen beim Durchführen von Dichtheitstests zum Nachweis der technischen Integrität einer Kavernenbohrung und der damit verbundenen Risiken zu erwecken.

Die technischen langfristigen Auswirkungen und Folgen der abrupten und grundsätzlichen Änderung der Zielstellung beim Nachweis der technischen Integrität einer Kavernenbohrung (Gas- und/oder Flüssigkeitspeicherbohrungen) wurden innerhalb der BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität nicht ausreichend ausgearbeitet. In dieser Ausarbeitung sollten aus technischer

Sicht die Risiken, welche die Speicherbetreiber und die zuständigen Behörden in Kauf nehmen, ausführlicher und klarer dargestellt werden.

Die Hauptaufgabe der letzten zementierten Rohrtour und der Hinterrohrzementation besteht darin, als Rückfallsicherung und somit als sicherer Auffangbehälter für den Havariefall zu dienen. Diese Hauptaufgabe wird in diesem Artikel genauer dargestellt. Die letzte zementierte Rohrtour auf Eignung für den Gas- oder Ölbetrieb ohne Komplettierung zu testen, führt zur nachhaltigen Beschädigung der Hinterrohrzementation im oberen Bereich der Bohrung.

Das langjährig bewehrte Sicherheitskonzept des Druckausgleiches bzw. der Druckkonformität (Gebirgsdruck muss immer höher sein als der Innendruck der Bohrung) in Abhängigkeit von der Zeit und Teufe wurde durch die BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität ohne ausreichende technische Gegenargumentation in Frage gestellt. Die Drucksituation in der bohrlochnahen Zone (Außen- und Innendruckverhältnisse) sollte unbedingt aus gebirgsmechanischer Sicht und in Bezug auf die Aussagen der BVEG – Technische Regel erneut überprüft werden. Eine gebirgsmechanische Betrachtung der Druckverhältnisse im oberen Bereich der Bohrung sollte unbedingt mit den bisher bestehenden gebirgsmechanischen Aussagen zur Sicherstellung der technischen Dichtigkeit und somit der Bohrungsintegrität verglichen werden.

In Deutschland existiert eine große Anzahl an Gaskavernen, die leichte Ringraumaktivitäten aufweisen (Druckaufbau im Ringraum

Komplettierung/letzte zementierte Rohrtour) und trotzdem in Betrieb sind. Behördlich wurde diese Art Betrieb nur unter Beachtung eines Sicherheitskonzepts zugelassen, das in den meisten Fällen einen maximalen Kopfdruck im oberen Bereich der letzten zementierten Rohrtour von maximal 50 bar limitiert. Beim Erreichen dieses Drucks ist der Ringraum kontrolliert zu entlasten. Dieses Sicherheitskonzept wurde gemeinsam mit dem planenden Ingenieur, dem Gebirgsmechaniker und den Behörden entwickelt. Sollte die neue BVEG – Technische Regel in ihrer jetzigen Form gelten, so ist ein neues Konzept für die betroffenen Ringräume zu entwickeln, da dann die Zulassung des alten Sicherheitskonzepts weniger Sinn macht.

In der BVEG – Technische Regel – Bohrungsintegrität wurde auf zwei Literaturquellen hingewiesen [27] und [28]. Zur Vermeidung von Fehlinterpretationen sollten diese Quellen seitens BVEG erneut betrachtet und interpretiert werden, sodass keine technischen Missverständnisse für den Speicherbetreiber und die zuständigen Zulassungsbehörden entstehen.

### Literatur

- [1] BVEG Technische Regel, Bohrungsintegrität, Stand 07/2017, „file:///C:/Users/ABDEL-~/1/AppData/Local/Temp/BVEG\_TR\_Bohrungsintegrit%C3%A4t\_final.pdf“. Zugriff am 06.12.2020.
- [2] A. Abdel-Haq, Dissertation, „Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur diffusions- und konvektionsbedingten Vermischung bei der Überschichtung zweier Gase mit unterschiedlicher Dichte in vertikalen

Rohren mit unterschiedlichen Temperaturgradienten“ TU-Freiberg, 02.04.2014, Freiberg/Germany.

- [3] F. Crotogino, Solution Mining Research Institute, “SMRI Reference for External Well Mechanical Integrity Testing/Performance, Data Evaluation and Assessment”, 04.1996, Houston/USA.
- [4] SOCON GmbH, SoMIT-Sonden: Typ A und B, [https://www.socon.com/images/socon/dokumente/Datenblaetter\\_PDF\\_DE/SoMIT\\_2.pdf](https://www.socon.com/images/socon/dokumente/Datenblaetter_PDF_DE/SoMIT_2.pdf)
- [5] A. Reitze, S. Boor, H-J Schweinsberg, Solution Mining Research Institute, “Experience with MITs Using the SoMIT Method Before Commissioning”, 10.2007, Halifax/Canada.
- [6] A. Abdel-Haq, Solution Mining Research Institute, “Mechanical Integrity Tests for Oil Cavern, Principles and case study of testing for leak detection, Slide 6 and 7”, 04.2019, New Orleans/USA
- [7] A. Abdel-Haq, D. Edler, Solution Mining Research Institute, “Interpretation of a Tightness Test of a Gas Storage Cavern Leached with a Gaseous Blanket”, 10.2007, Halifax/Canada.
- [8] A. Abdel Haq, United State Patent, (54) METHOD FOR TESTING THE TIGHTNESS OF CAVITIES AND DEVICE FOR DECREASING CONVECTION AND DIFFUSION FLOW, (10) Patent No.: US 9,869,175 B2, (45) date of Patent: Jan. 16, 2018.
- [9] A. Abdel-Haq, M. Hart, P. Dörne, International Gas Union, “Intelligent troubleshooting to localize the position of an oil escape in salt cavern system in Germany”, 02.11.2018, San Francisco/USA.
- [10] BVOT-Bergverordnung für Tiefbohrungen, Untergroundspeicher und für die Gewinnung von Bodenschätzen durch Bohrungen im Land Niedersachsen (Tiefbohrverordnung – BVOT), (Nds. MBl. S. 887) vom 20.9.2006