

Praktische Erfahrungen mit dem Gasliftverfahren bei der Gaserstbefüllung im Kavernenfeld Etzel und weitere Einsatzmöglichkeiten

Practical Experience with the Gas Lift Method during the Gas First Fill in the Etzel Cavern Field and further possible Applications

Von H. BERNHARDT, S. BOOR und C. REEKERS*

Abstract

The further development of the Etzel cavern field by IVG Caverns GmbH involves converting crude oil caverns to natural gas storage caverns. The planning and technical supervision of the conversion project is managed by KBB Underground Technologies GmbH.

The large heights of the oil caverns meant that the brine-filled caverns could not be completely filled with natural gas in the conventional way i. e. injecting natural gas to displace the brine. This is because the maximum permissible gas injection pressure has to be exceeded when the gas / brine interface drops beyond a certain depth. The maximum permissible gas pressure is primarily determined by the depth of the last cemented casing shoe and limits the gas pressure that can be safely used during brine displacement. In the case presented here, the limit meant that the brine could not be removed from the lower part of the cavern using conventional means, which would have left valuable cavern volume unutilised.

The challenge of the complete displacement of brine in such caverns can be solved by using the gas lift method. This involves the injection of nitrogen into the brine stream. The nitrogen is injected via an injection string which runs down the brine displacement string in a predetermined depth. The addition of nitrogen reduces the specific gravity of the saturated brine, and therefore also lowers the gas injection pressure required to lift the brine to the surface. Using this method enables the complete first fill of the cavern to be carried out successfully.

The nitrogen gas lift method was used for the first time in caverns towards the end of the gas first fill of caverns being converted in the Etzel cavern field. The successful implemen-

tation of the gas lift method meant that another approx. 1/3 of the total cavern volume – i. e. 2,500,000 m³ in total – could be emptied of brine and filled with gas.

The first part of the paper gives beside a brief cost-benefit description an insight into the practical experience with the gas lift method, and describes the main factors influencing the brine displacement rate and nitrogen consumption. This involved conducting practical and theoretical analysis to help determine aspects such as the optimal Coiled Tubing installation depth and the optimal nitrogen rate.

The second part of the paper looks at the deliberate design of taller caverns than usual which would also have to be filled using the gas lift method in the first fill phase. The potential gains in height, geometrical volume and working gas volume are sketched out and compared to the extra costs and the impact on profitability.

Kurzfassung

Im Zuge der weiteren Entwicklung des Kavernenfelds Etzel hat die IVG Caverns GmbH Rohölkavernen in Erdgasspeicherkavernen umgerüstet. Die Planung und technische Begleitung der Umrüstkampagne wurde von KBB Underground Technologies GmbH durchgeführt.

Aufgrund der großen Höhen der insgesamt zehn Ölkavernen konnten die solegefüllten Kavernen nicht vollständig mit Erdgas im konventionellen Verfahren befüllt werden – d.h. Verdrängung der Sole durch injiziertes Erdgas – da ab einem bestimmten Abstand zwischen dem Rohrschuh der letzten zementierten Rohrtour und dem Solespiegel der maximal zulässige Gaseinspeicherdruck überschritten werden würde. Der maximale zulässige Gasdruck wird dabei vor allem von der Teufe des Rohrschuhs der letzten zementierten Rohrtour bestimmt und begrenzt den für die Soleentleerung zur Verfügung stehenden Produktionsdruck. Diese Begrenzung hatte im vorliegenden Fall zur Folge,

dass der untere Kavernenbereich nicht konventionell von Sole entleert werden konnte und wertvolles Kavernenvolumen nicht nutzbar gewesen wäre.

Das Problem der vollständigen Soleentleerung kann durch Anwendung des Gasliftverfahrens gelöst werden. Hierbei wird durch einen Injektionsstrang, der zusätzlich in dem Soleentleerungsstrang bis in Kavernenteufe installiert ist, Stickstoff in den Solestrom injiziert. Das spezifische Gewicht der gesättigten Sole wird durch die Zuführung von Stickstoff reduziert und somit der notwendige Gasinjektionsdruck für ein Ausliften der Sole verringert, wodurch die vollständige Gasbefüllung der Kaverne erreicht werden kann.

Bei der Gaserstbefüllung der Etzel Kavernen als Teil der Umrüstkampagne wurde zum Ende der Gaserstbefüllung erstmalig an Kavernen das Stickstoff-Gasliftverfahren eingesetzt. Durch die erfolgreiche Anwendung konnten auf diese Weise alle zehn Kavernen vollständig soleentleert und somit gasbefüllt werden, so dass im Mittel ca. 1/3 des Gesamtvolumens – insgesamt ca. 2,5 Mio. m³ – zusätzlich für den späteren Gasbetrieb zur Verfügung steht.

Der erste Teil des Beitrags gibt neben einer kurzen Kosten-Nutzen-Darstellung einen Einblick in die praktischen Erfahrungen mit dem Gasliftverfahren und beschreibt die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Soleauslagerungsrate und den Stickstoffverbrauch. Dazu wird über praktische und theoretische Untersuchungen zur Bestimmung der optimalen Coiled Tubing-Einbauteufe und Stickstoffrate berichtet.

Der zweite Teil befasst sich mit der gezielten Auslegung von Kavernen mit größerer Höhe als bisher üblich, die in der Endphase ebenfalls mithilfe des Gasliftverfahrens erstbefüllt werden müssten, um den gesamten Kavernenhohlraum zu nutzen. Konkret werden möglicher Gewinn an Höhe, geometrischem Volumen und Arbeitsgasvolumen skizziert und dem finanziellen Mehraufwand wie auch Gewinn gegenüber gestellt.

* H. Bernhardt, S. Boor, KBB UT, Hannover (E-mail: H.Bernhardt@kbbnet.de); C. Reekers, IVG Caverns GmbH, Bonn. Vortrag, gehalten anlässlich der DGMK/ÖGEW-Frühjahrs-tagung 2011, 11.–12. April in Celle.

Ausgangssituation

Die IVG Caverns GmbH betreibt das Kavernenfeld Etzel seit den 70er Jahren zur untertägigen Lagerung von Rohöl und Erdgas. Im Zuge der Entwicklung des Kavernenfeldes als eines der größten Gasspeicheranlagen in Salzkavernen weltweit sollten zehn der Ölkavernen auf Gasspeicherung umgerüstet werden. Die Höhen und Teufenlagen dieser Kavernen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Aufgrund der großen Höhen der ehemaligen Ölkavernen konnten die nun solegefüllten Kavernen nicht ausschließlich konventionell, d. h. durch Verdrängung von Sole mittels Gas, befüllt werden. Ab einer bestimmten Teufe des Solespiegels befinden sich der maximal zulässige Gasdruck und der Druck der statischen Solesäule im Gleichgewicht, so dass eine weitere Auslagerung allein durch den Gasdruck nicht mehr möglich ist. Der maximal zulässige Gasdruck wird dabei vor allem von der Teufe des Rohrschuhs der letzten zementierten Rohrtour (LZRT) bestimmt. Im vorliegenden Fall führt diese Begrenzung dazu, dass der untere Kavernenbereich mit dem konventionellen Verfahren nicht von Sole entleert und wertvolles Kavernenvolumen nicht genutzt werden kann (Abb. 2). Bei einigen Kavernen des Projektes waren teilweise mehr als 50 % des Kavernenvolumens nicht mit konventionellen Verfahren befüllbar.

Die Aufgabenstellung der IVG Caverns GmbH war daraufhin, ein technisches und wirtschaftlich sinnvolles Konzept zur Nutzung des gesamten geometrischen Kavernenvolumens als Gasspeicher zu entwickeln.

Lösungsansatz

Um das Ziel des vollständig nutzbaren Kavernenvolumens erreichen zu können, mussten Sondermaßnahmen ergriffen werden.

Anhand eines Variantenvergleichs wurde zur Realisierung einer vollständigen Soleentleerung der Kavernen das Gasliftverfahren mit Stickstoff als sicherste und wirtschaftlichste Alternative ausgewählt.

Während der Gaserstbefüllung unter Anwendung des Gasliftverfahrens wird kontinuierlich durch einen in den Soleentleerungsstrang eingebauten Coiled Tubing (CT) Stickstoff in die Sole injiziert, um die Dichte der Sole herabzusetzen. Abbildung 3 zeigt die verbesserten hydraulischen Verhältnisse unter Anwendung des Gasliftverfahrens gegenüber der konventionellen Gaserstbefüllung.

Dieses Verfahren war bisher im Rahmen von Gaserstbefüllungen nicht üblich und sollte so erstmalig an zehn Kavernen durchgeführt werden.

Vor dem Start des Gasliftverfahrens wurden rechnerische Abschätzungen der zu erwartenden hydraulischen Verhältnisse durchgeführt, wobei auf Erfahrungen bei der An-

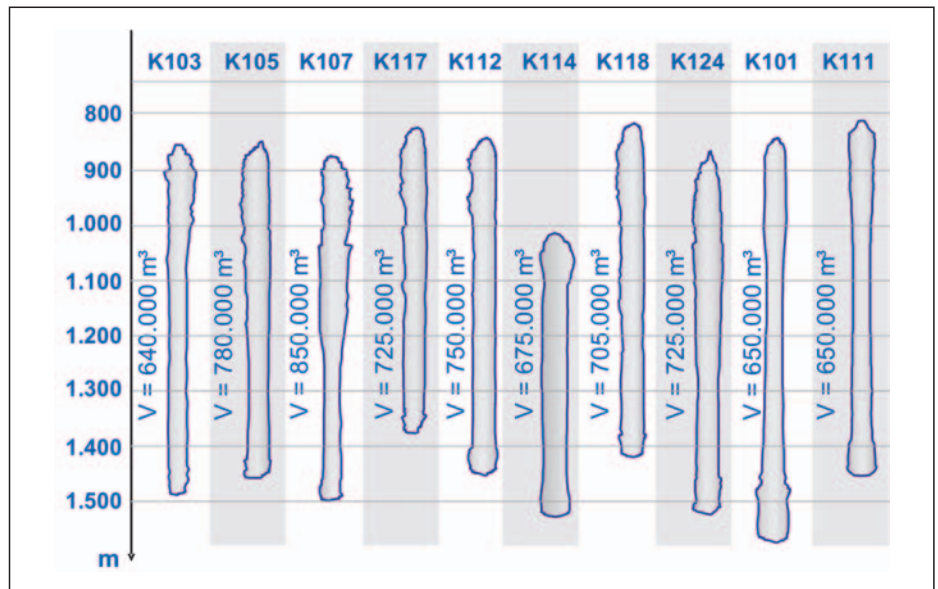


Abb. 1 Höhen und Teufenlagen der zehn Kavernen

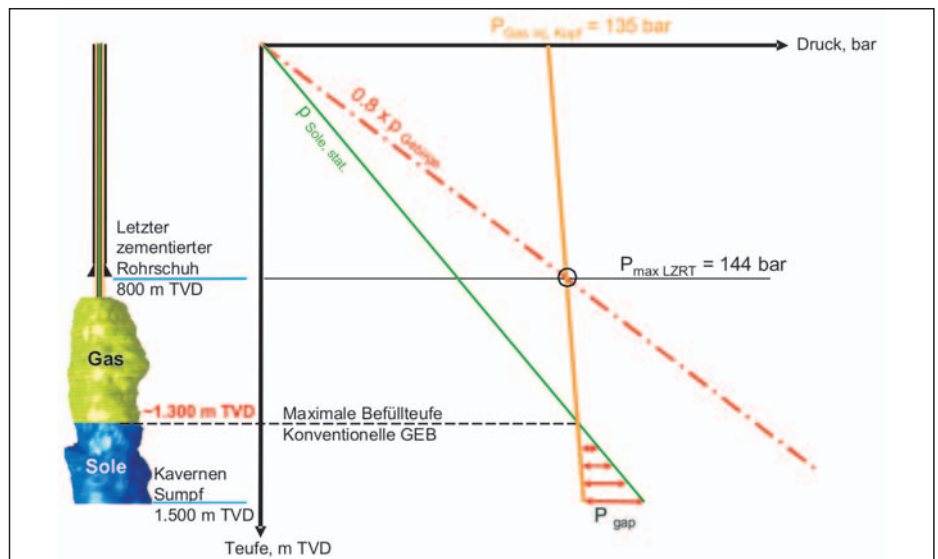


Abb. 2 Konventionelle Gaserstbefüllung (GEB) – Schematisches Druckverlaufs-Diagramm

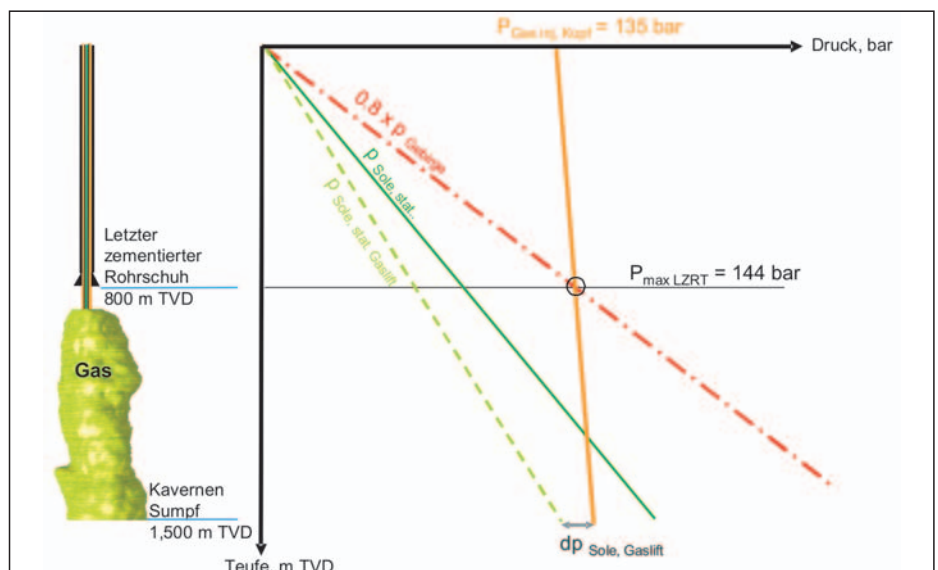


Abb. 3 Schematischer Vergleich der Druckverläufe während konventioneller Gaserstbefüllung und Gaserstbefüllung mit Gaslift

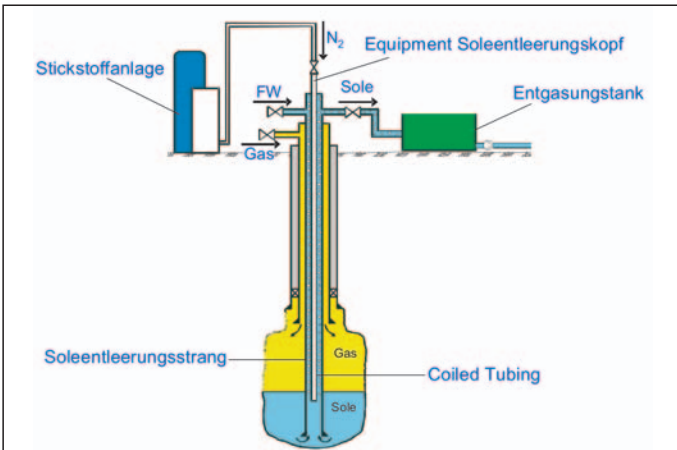


Abb. 4 Schematische Darstellung des technischen Aufbaus für das Gasliftverfahren (Gebrauchsmuster DE 20 2009 016 682 U1)

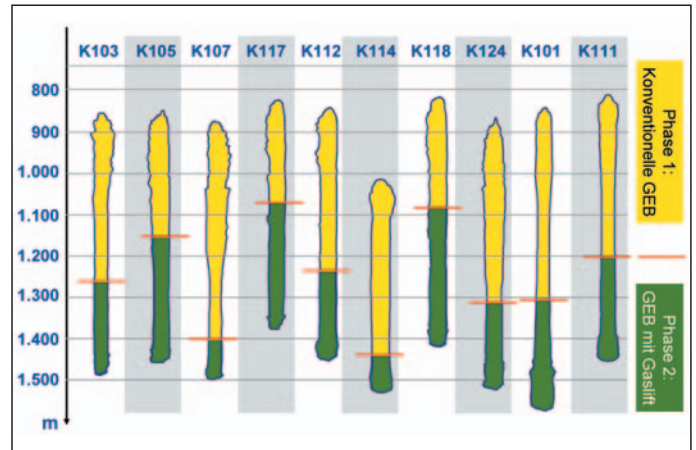


Abb. 6 Volumenzugewinn durch die 2-phasige Gaserstbefüllung

wendung von Gasliftarbeiten bei der Ölförderung zurückgegriffen werden konnte. Zudem wurden Tests sowohl an einer solegefüllten Kaverne vor Beginn der Gaserstbefüllung als auch während der Gaserstbefüllung durchgeführt.

Technischer Aufbau für Gasliftverfahren

Vor Beginn der Gaserstbefüllung wird die Kaverne für den Gasbetrieb einschließlich des Soleentleerungsstrangs komplettiert. Durch den Soleentleerungsstrang wird die Sole während der Gaserstbefüllung in einen Soleentleerungstank ausgelagert. Neben der konventionellen technischen Einrichtung für eine Gaserstbefüllung sind für das Gasliftverfahren weitere zusätzliche Komponenten notwendig (s. auch Abb. 4):

– Stickstoffanlage:

Die Stickstoffanlage besteht aus einem Tank für flüssigen Stickstoff, der Stickstoffinjektionsanlage, einer Pumpe für Flüssigstickstoff, Verdampfern und elektrischen Gaserhitzern. Die Stickstoffanlage fördert vollautomatisch über den Zeitraum der Gaserstbefüllung kontinuierlich

Stickstoff. Der Durchsatz ist regelbar. Der flüssige Stickstoff wird durch die zwei Verdampfer geleitet und durch Wärmeaustausch mit der Umgebungsluft gasförmig.

– Coiled Tubing:

Der gasförmige Stickstoff wird während des Gasliftverfahrens über den Coiled Tubing als Injektionsstrang in den Solestrom während der Auslagerung injiziert. Um hydraulische Reibungsdruckverluste im verwendeten 4 1/2"-Soleentleerungsstrang zu minimieren wurde ein 1"-Coiled Tubing als Injektionsstrang gewählt. Der Coiled Tubing wurde nach Beendigung der konventionellen Phase der Gaserstbefüllung mit einer Coiled Tubing Unit auf Zielteufe eingebaut und abgehängt.

– Zusatzausstattung am Soleentleerungskopf für Stickstoffzufuhr:

Aufgrund des zusätzlichen Injektionsstranges für die Stickstoffinjektion während des Gasliftverfahrens musste der konventionelle Soleentleerungskopf um einen zusätzlichen Hänger sowie zusätzliche Flansche und Absperrvorrichtungen erweitert werden.

– Zusatzausstattung am Soleentgasungstank:

Der Soleentgasungstank wird auch für die konventionelle Gaserstbefüllung benötigt. Da beim Gasliftverfahren Stickstoff mit einer großen Rate in den Solestrom injiziert wird, sind größere Turbulenzen im Soleentleerungstank zu erwarten. Der Soleentleerungstank wurde aus diesem Grund mit einer erhöhten Haube versehen, um die aufspritzen Sole vollständig innerhalb Soleentleerungstanks aufzufangen.

Verlauf der Gaserstbefüllung

Die zehn zu Gasspeichern umgerüsteten Kavernen wurden zunächst in einer ersten Phase konventionell mit Gas befüllt. Nachdem die ausgelagerte Sole eine vorher festgelegte Rate unterschritten hatte, wurde der Coiled Tubing in den Soleentleerungsstrang eingebaut, um Stickstoff in den auszulagernden Solestrom einzuzirkulieren und das Gewicht der Solesäule zu verringern und auf diese Weise die Erstbefüllung zu beschleunigen.

Der Verlauf der Gaserstbefüllung ist in Abbildung 5 dargestellt und zeigt beide Phasen der Gaserstbefüllung mit den täglichen Injektionsvolumina von Erdgas und Stickstoff sowie dem täglichen Soleauslagerungsvolumen.

Während der konventionellen Gaserstbefüllung zeigt sich darin die übliche kontinuierliche Abnahme der Soleauslagerungsrate. Bei Einsatz des Gasliftverfahrens nimmt die Soleauslagerungsrate zu Beginn des Gasliftverfahrens deutlich zu (Abb. 5). Im weiteren Verlauf sinkt jedoch die Soleauslagerungsrate deutlich weniger ab als bei der konventionellen Gaserstbefüllung. Diese Entwicklung bestätigte die Erwartung an das Gasliftverfahren, wobei jedoch festgestellt wurde, dass das Verfahren sich anders verhält, als zunächst angenommen. Durch einen kontinuierlichen Weiterentwicklungsprozess mit allen Beteiligten wurden die Einflussfaktoren genauer untersucht und das Verfahren optimiert, so dass im Verlauf der Anwen-

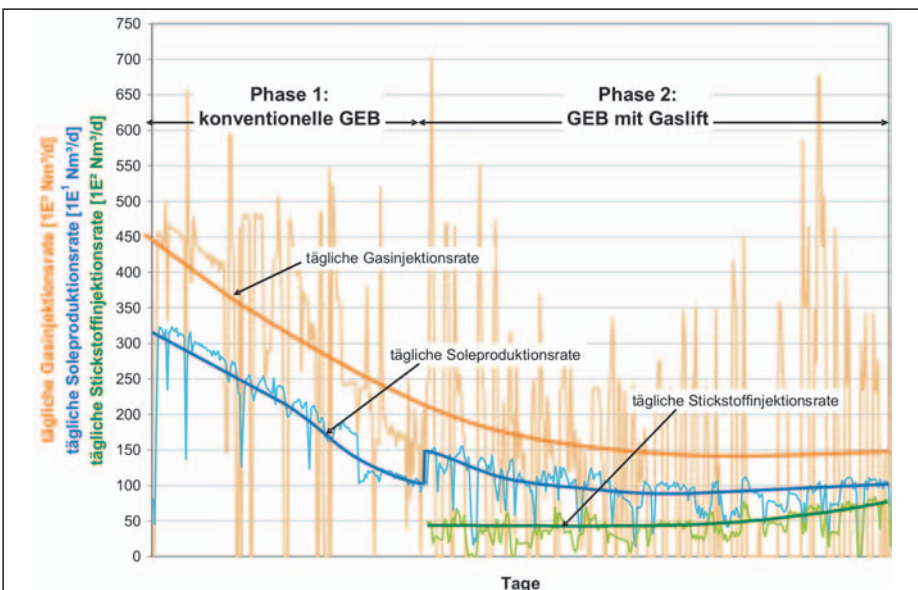


Abb. 5 Exemplarischer Verlauf der Gaserstbefüllung

Tabelle 1 Exemplarische Kostenübersicht

| | Durchschnittswert |
|--|--------------------------------------|
| Geometrisches Kavernenvolumen | 715.000 m ³ |
| Restsolevolumen (Start Gaslift) | 250.000 m ³ |
| Dauer Gaslift (inkl. Stillstandszeit) | 11 Monate |
| Stickstoff Verbrauch | 1.320.000 Nm ³ |
| Durchschnittlicher spezifischer Stickstoffverbrauch | 5,3 Nm ³ / m ³ |
| Stickstoffkosten | 196.350 Euro |
| Spezifische Stickstoffkosten | 0,79 Euro/m ³ prod. Sole |
| Gaslift Unit (Installation und Betrieb) | 141.000 Euro |
| Coiled Tubing & CT Arbeiten | 87.000 Euro |
| Planung, technische Betreuung, Simulationen (pro-rata) | 20.000 Euro |
| Weitere Kosten | 45.000 Euro |
| Gesamtkosten Gaslift | 489.350 Euro |
| Spezifische Gesamtkosten Gasliftverfahren | 1,96 Euro/m ³ prod. Sole |

derung des Gasliftverfahrens die Stickstoff- und die Solefördermengen mit ausreichender Genauigkeit vorhergesagt und eine hohe Effizienz des Verfahrens erreicht werden konnte.

Mittlerweile konnten durch Anwendung des Gasliftverfahrens alle zehn Kavernen vollständig befüllt werden. Abbildung 6 zeigt den Zugewinn an Hohlraumvolumen an den vollständig befüllten Kavernen.

Bei den dargestellten Kavernen konnte bei einzelnen ein Volumenzugewinn von bis zu 55 % erzielt werden. Bei Betrachtung aller zehn Kavernen des Gasliftprojektes hat sich ein zusätzlich nutzbares Hohlraumvolumen von insgesamt ca. 2,5 Mio. m³ ergeben. Dies entspricht in diesem Fall einem zusätzlichen Gasvolumen von mehr als 375 Mio. Nm³ Erdgas. Die zusätzlichen Kosten für die Sondermaßnahme Gaslift sind exemplarisch in Tabelle 1 dargestellt.

Erkenntnisse aus dem Gasliftverfahren

Die durchgeführten praktischen und theoretischen Untersuchungsreihen zum Gasliftverfahren sowie die Beobachtungen während der Gaserstbefüllung lieferten Rückschlüsse zur Funktionalität und Effizienz des Verfahrens.

Die ermittelten maßgeblichen Einflussfaktoren auf die Effizienz der Soleauslagerungsrate sind:

- Durchmesser Soleentleerungsstrang/ Coiled Tubing (CT)
- Auswirkung der 2-Phasenströmung
- Druckverhältnisse in der Kaverne
- Höhe der Stickstoffinjektionsrate
- Abhängteufe des 1"-Coiled Tubing.

Durchmesser Soleentleerungsstrang/CT und Auswirkung der 2-Phasenströmung

Der Durchmesser des verwendeten 4 1/2"-Soleentleerungsstrangs war zu Beginn der Planung des Gasliftverfahrens vorgegeben. Um Reibungsdruckverluste im Soleentleerungsstrang zu minimieren, wurde der 1"-CT als Stickstoffinjektionsstrang ausgewählt. Die Dimensionierung des Soleentleerungsstrangs im Verhältnis zum CT als auch die Möglichkeit der Ausbildung der 2-Phasenströmung haben Einfluss auf die Effizienz des Gasliftverfahrens.

Untersuchungen zum Mehrphasenfluss in vertikalen Rohren zeigen, dass bei abnehmendem Durchmesser und konstanter Gasinjektionsrate die Rohrreibungsverluste allein für den Durchsatz des Gases so groß werden, wie es dem statischen Druck am un-

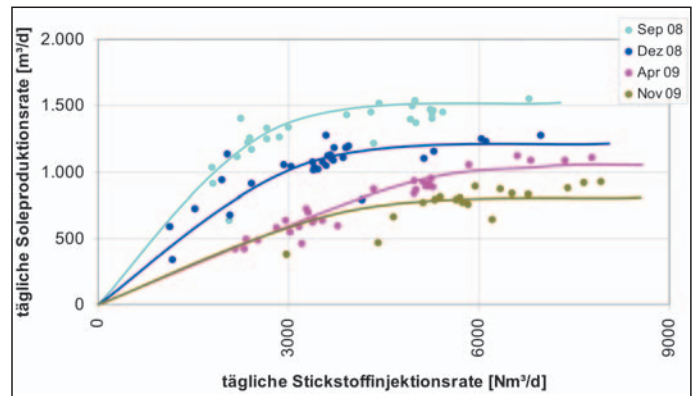


Abb. 8 Abhängigkeit der Soletagesproduktion von den Druckverhältnissen in der Kaverne

teren Ende des Rohres entspricht, d. h. es ergibt sich eine Art Gasblasen-Stau, welcher die Flüssigkeitsproduktion verhindert. Bei noch kleineren Durchmessern kann ein Teilstrom des Gases am unteren Ende des Rohrstanges ausströmen und außerhalb des Rohres in der Flüssigkeit aufsteigen. Dies bedeutet, dass die mithilfe des Gasliftverfahrens erreichte Soleproduktionsrate vom Durchmesser der Produktionsrohre abhängt, wie in Abbildung 7 auf der linken Seite schematisch dargestellt. Weitere Untersuchungen an der Universität Delft [vgl. Mudde (2005), »Gravity-Driven Bubbly Flows in Annual Reviews Fluid Mechanics«] ergaben, dass sich in hohen Rohren (ab einem Verhältnis von Rohrhöhe zu Durchmesser >3) häufig zirkulierende Strömungen bzw. Wirbel an den Wänden der Rohre bildeten. Dies führt an den Wänden zu einem Abwärtsfluss der Gasblasen und in der Mitte des Rohres zu einem vertikal nach oben gerichteten Fließbereich mit schnell fließenden Gasblasen. Auch hier zeigt sich, dass je kleiner der Durchmesser des Rohres ist, auch der nach oben gerichtete Fließbereich immer kleiner wird (Abb. 7, rechte Seite). Experimentelle Untersuchungen an vertikalen Rohren zeigten [vgl. Mudde, 2005], dass die Größe der Gasblasen das System des Gasblasen-Flusses innerhalb des Produktionsrohres bestimmt. Je kleiner die Gasblasen, desto eher wird die Bildung in sich relativ fester Gasblasen-Cluster verhindert, welche zu großen Dichteunterschieden in dem Gas-Flüssigkeitsgemisch führen. Des Weiteren werden durch kleine, gleichmäßig geformte Gasbläschen auch die beschriebenen Wirbel-Strukturen verhindert. Durch den Einsatz von Düsen ist die Größe der Gasbläschen während des Verfahrens variierbar. Eine weitere Erkenntnis aus den Untersuchungen ist, dass die Verwendung des 4 1/2"-Soleentleerungsstrang den ungünstigsten Einflussfaktor für die Gaserstbefüllung unter Anwendung des Gasliftverfahrens darstellt, da durch den kleinen Durchmesser die Effizienz des Verfahrens verringert wird. Die Verwendung von größer dimensionierten Soleentleerungssträngen führt unter gleichen Voraussetzungen zu höherer Effizienz des Verfahrens.

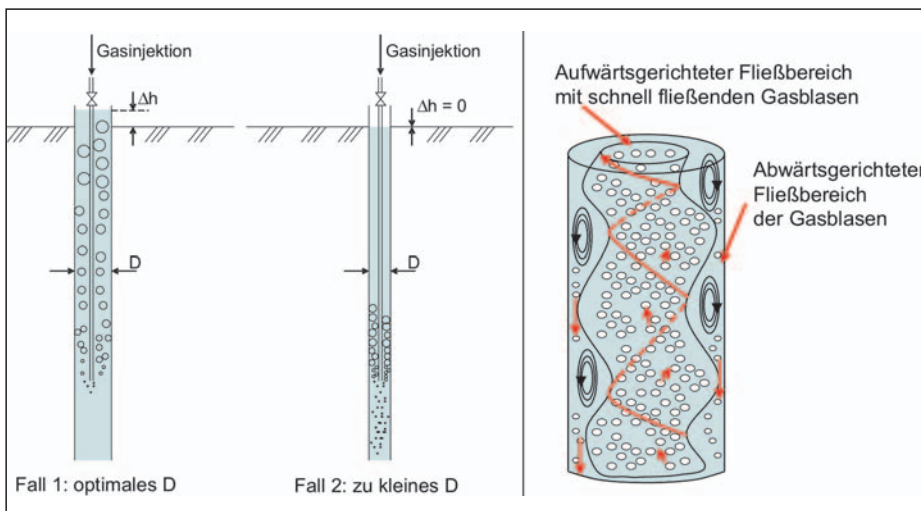


Abb. 7 Schematische Darstellung des Gasliftverfahrens in Produktionsrohren

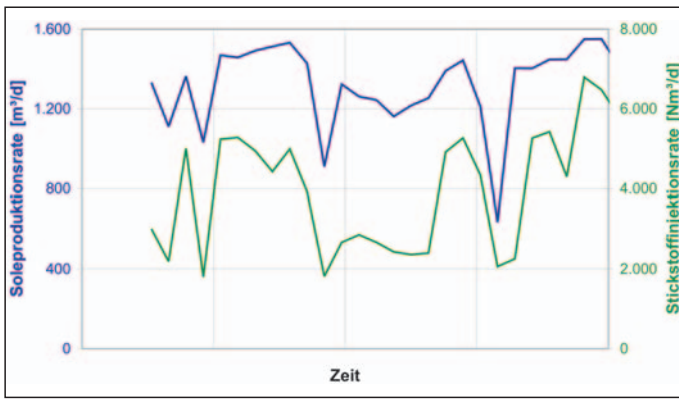


Abb. 9 Abhängigkeit der Soletagesproduktion von Stickstoffinjektionsrate

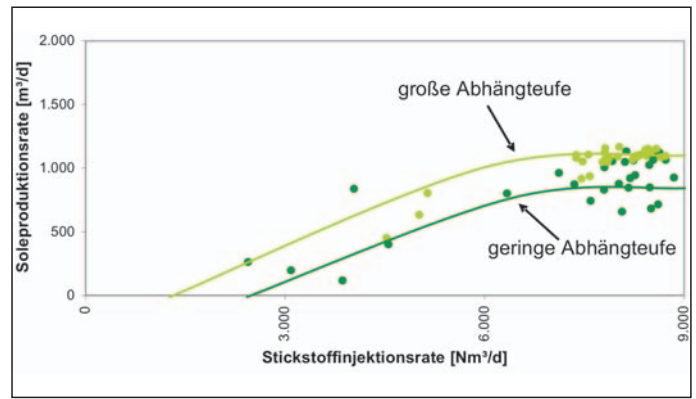


Abb. 10 Einfluss der Abhängteufe des 1"-Coiled Tubing auf die Soleauslagerung

Druckverhältnisse in der Kaverne

Die Druckverhältnisse in der Kaverne sind von verschiedenen Parametern wie z. Gaszusammensetzung, Temperatur, Dichte der Sole, Dichte bzw. Dichteverlauf des Stickstoff/Sole-Gemisches, maximal zulässigem Druck am 13 3/8"-LZRS und Teufe des Gas-/Solespiegels abhängig. Abbildung 8 stellt an einem Beispiel den Verlauf der täglichen Soleauslagerungsrate zu verschiedenen Zeitpunkten der Gaserstbefüllung in Abhängigkeit von der Stickstoffinjektionsrate dar.

Die Effizienz der Soleauslagerung nimmt während des Gasliftverfahrens mit sinkender Teufe des Gas-/Solespiegels ab. Die Effizienz der Soleauslagerung ist demnach abhängig von den Druckverhältnissen in der Kaverne – wenn auch nicht im gleichen Maße wie während der konventionellen Gaserstbefüllung.

Höhe der Stickstoffinjektionsrate

Die Stickstoffinjektionsrate ist ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Soleauslagerungsrate. In Abbildung 9 ist der exemplarische Verlauf der Soleproduktionsrate und der Stickstoffinjektionsrate zu erkennen.

Grundsätzlich führt eine Erhöhung der Stickstoffinjektionsrate zu einer Erhöhung der Soleauslagerungsrate. Dieser Zusammenhang ist jedoch nach oben begrenzt; ab einer bestimmten Stickstoffinjektionsrate ist keine weitere Erhöhung der Soleauslagerung mehr möglich und führt sogar zu deren Abnahme. Für jede Kaverne kann eine optimale Stickstoffinjektionsrate eingestellt werden, die jedoch an die herrschenden Druckverhältnisse angepasst werden sollte.

um. Im Gegensatz dazu führt eine sehr geringe Abhängteufe zu Effizienzverlusten, so dass sich die optimale Abhängteufe des 1"-CT auf einen verhältnismäßig kleinen Bereich beschränkt. Abbildung 10 verdeutlicht dieses Phänomen.

Durch Einstellung der optimalen Teufe des CT kann eine Steigerung der Soleauslagerungsrate – wie in dem gezeigten Beispiel – um mehr als 30 % erreicht werden.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten in der Untergrundspeichertechnik

In den vorangehenden Abschnitten wurden die praktischen Erfahrungen in der Anwendung des Gasliftverfahrens im Kavernenfeld Etzel beschrieben. Die Anwendung war durch die Umrüstung von sehr hohen Ölkavernen zu Gasspeichern notwendig geworden. Im Folgenden werden für zukünftig geplante Kavernenprojekte zwei weitere Ansätze zur Nutzung des Gasliftverfahrens bei der Herstellung von Kavernen und der Gaserstbefüllung vorgestellt:

- Soleauslagerung während Einlagerungspausen von Erdgas
- Gezielte Auslegung höherer Kavernen.

Soleauslagerung während Einlagerungspausen von Erdgas

Bei vielen Erdgaskavernen treten während der Gaserstbefüllung Stillstandszeiten z. B. durch Gasleitungsprüfungen, Winterpausen etc. auf. Bei längeren Unterbrechungen der Gaserstbefüllung kann es daher wirtschaftlich sein, diese Stillstandszeiten für eine Fortführung der Soleauslagerung ohne Gasinjektion durch Anwendung des Gasliftver-

fahrens zu nutzen und somit einen früheren Termin für den Beginn des Gasspeicherbetriebs zu erreichen. Bei Fortsetzung der Gaserstbefüllung sind zu Beginn kurzfristig höhere Gasinjektionsraten möglich, so dass der reguläre Gaserstbefüllbetrieb innerhalb kürzester Zeit fortgeführt werden kann.

Die Soleauslagerung mittels Gaslift ohne Gaseinlagerung ist so lange möglich, wie der absinkende Gasdruck in der Kaverne oberhalb des für das Liften minimal notwendigen Drucks liegt. Durch diese Maßnahmen können sich – in Abhängigkeit von den vorhandenen Randbedingungen, wie z. B. dem zulässigen Einspeicherdruck, der Höhe der Kavernen, der Dimensionierung des Soleentleerungsstrangs etc. – Zeiteinsparungen in einem Bereich von einigen Wochen ergeben. Im Kavernenfeld Etzel konnten durch diese Entkopplung der Soleauslagerung von der Gasinjektion in einem Zeitraum von ca. 1,5 Monaten an sieben im Gaslift befindlichen Kavernen – bei bereits weit fortgeschrittener Gaserstbefüllung – ca. 300.000 m³ Sole produziert werden, ohne dass eine Gaseinlagerung stattfand.

Gezielte Auslegung höherer Kavernen

Die gezielte Herstellung von höheren Kavernen bietet ein größeres Maß an Flexibilität und mehr Planungsspielraum. Hierbei kann ein größeres Speichervolumen an Erdgas erreicht werden. Dem gegenüber stehen zusätzliche Kosten für längere Dauer der Durchführung der Bohrung, Solung und Gaserstbefüllung sowie für die Sonderausrüstung des Gasliftverfahrens. Die Vor- und Nachteile wurden exemplarisch an drei Bei-

Abhängteufe des 1"-Coiled Tubing

Die Abhängteufe des 1"-CT hat einen wesentlichen Einfluss auf die Soleauslagerung. Während Tests vor Beginn des Gasliftverfahrens zeigte sich, dass eine zu große Abhängteufe des CT in geringem Abstand über dem Rohrschuh des Soleentleerungsstrangs dazu führt, dass kein Lifteffekt entstehen kann. Der Stickstoff strömt entgegen dem Solestrom und steigt am Rohrschuh des Soleentleerungsstrangs in die Kaverne

Tabelle 2 Basisdaten der drei Beispielkavernen

| Basisdaten | Kaverne A | Kaverne B | Kaverne C |
|--|------------|-------------|-------------|
| Rohrschuhteufe, m | 800 | 800 | 800 |
| Höhe, m | 300 | 700 | 1000 |
| Kavernenvolumen, m³ | 600.000 | 950.000 | 1.200.000 |
| Gesamtgasvolumen, Nm³ | 95.000.000 | 150.000.000 | 180.000.000 |
| Arbeitsgasvolumen, Nm³ | 75.000.000 | 105.000.000 | 95.000.000 |
| Geschätzte Kosten für Bohrung / Solung / GEB, Euro | 7.300.000 | 9.700.000 | 12.100.000 |
| Kosten/Arbeitsgasvolumen, Euro/Nm³ | 0,097 | 0,092 | 0,130 |

spielkavernen mit gleichen Rohrschuh-teufen aber unterschiedlichen Kavernenhöhen betrachtet und finanziell abgeschätzt. Tabelle 2 gibt die angenommenen Basisdaten sowie die zusätzlichen geschätzten Kosten und die spezifischen Kosten bezogen auf das Arbeitsgasvolumen der drei Beispieltavernen an.

Für die drei Beispieltavernen wurden ausschließlich die Kosten aus den durch diese Änderung der Kaverengeometrie maßgeblich betroffenen Gewerke, der Bohrung, Solung und Gaserstbefüllung dem Arbeitsgasvolumen gegenübergestellt. Bei den Kavernen B und C wurden die zusätzlich anfallenden Kosten für das Gasliftverfahren berücksichtigt. In Abbildung 11 werden diese Kosten je Beispieltaverne dargestellt sowie mit dem erwarteten Arbeitsgasvolumen ins Verhältnis gesetzt. Die Darstellung macht deutlich, dass Kaverne C nicht rentabel ist, da mit der großen Teufe der Minimaldruck überproportional zunimmt und somit nur ein geringer Arbeitsgasanteil zur Verfügung steht, so dass sowohl die Gesamtkosten als auch die spezifischen Kosten sehr hoch sind. Aufgrund des höheren möglichen Arbeitsgasvolumens und der unterproportional ansteigenden Kosten ergibt sich trotz Anwendung des Gasliftverfahrens bei Kaverne B für die spezifischen Kosten ein Optimum. In dem dargestellten Beispiel können bereits bei der Herstellung der Kaverne B im Vergleich zur Kaverne A die spezifischen

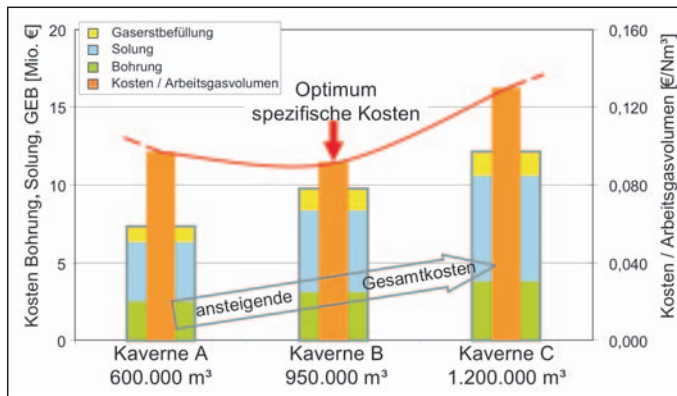


Abb. 11 Optimum spezifische Kosten bei den betrachteten Kavernenhöhen

Kosten pro Nm³ Arbeitsgasvolumen um 5 % gesenkt werden. Die vereinfachte Abschätzung zeigt, dass die Herstellung von höheren Kavernen von bis zu 700 m auch bei Anwendung des Gasliftverfahrens unter bestimmten Voraussetzungen eine langfristig kostengünstigere Alternative zu den herkömmlichen Kavernenhöhen sein kann, aufgrund der geringeren spezifischen Kosten sowie wegen des langfristig nutzbaren höheren Arbeitsgasvolumens.

Zusammenfassung

Das Verfahren zur Gaserstbefüllung unterstützt durch das Gasliftverfahrens wurde erstmals im Kavernenfeld Etzel an zehn Kavernen angewandt und erfolgreich abgeschlossen. Bei Betrachtung aller zehn Kavernen des Gasliftprojektes ergab sich ein zusätzlich nutzbares Hohlraumvolumen von einem Drittel bzw. insgesamt ca. 2,5 Mio. m³. Dies entspricht in diesem Fall einem zusätzlichen Gasvolumen von mehr als 375 Mio. Nm³ Erdgas.

In der Erprobungsphase konnte das Verfahren bereits optimiert werden, insbesondere hinsichtlich Abhängteufe des Coiled Tubings und des Stickstoffeinsatz als auch der bis hin zur tagesgenauen Vorhersagbarkeit. Dadurch wird das Gasliftverfahren auch für andere Projekte interessant und auch weiterhin bei anderen Projekten noch eingesetzt. Insbesondere der bislang noch nicht näher zu untersuchende Einfluss der Dimensionierung des Soleentleerungsstranges auf die Effizienz des Gasliftverfahrens wird durch den Einsatz eines 5 1/2"-Soleentleerungsstrangs dabei näher beleuchtet werden können.

Als weitergehende Anwendungsmöglichkeit kann das Gasliftverfahren auch zur Soleentleerung während Unterbrechungen der Gaseinlagerung eingesetzt werden. Im Kavernenfeld Etzel wurden in einem Zeitraum von ca. 1,5 Monaten an sieben im Gaslift befindlichen Kavernen ca. 300.000 m³ Sole produziert, ohne dass eine Gaseinlagerung stattfand. Zudem besteht auch die Möglichkeit der gezielten Auslegung von wesentlich höheren Kavernen. Nach Betrachtung von drei Beispieltavernen (Referenzkaverne: 300 m Höhe) ergab sich bei einer 700 m hohen Kaverne ein Optimum der spezifischen Kosten. Durch die Vergrößerung des Hohlraumvolumens und trotz Anwendung des Gasliftverfahrens können zum einen die Investitionskosten pro Nm³ Arbeitsgasvolumen um 5 % gesenkt werden. Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist aber eine Vergrößerung des Hohlraumvolumens um ca. 60 % pro Kaverne und damit eine wesentlich bessere Ausnutzung der genehmigten Konzession bei günstigeren spezifischen Investitionskosten und gleichzeitig höherem zur Verfügung stehendem Arbeitsgasvolumen.