

Abschnitt A – Textbeiträge

Teil 3 Ausgewählte Beispiele aus dem Bereich der Bergbehörde

A 3.1 Das Kavernenspeicherfeld Epe in Nordrhein-Westfalen Kavernenhalskonditionierung – die Notwendigkeit der Bearbeitung von Kavernenzugängen

1. Steinsalzgewinnung und Erdgasspeicherung im Raum Gronau-Epe

Das Salzbergwerk Epe im nord-westlichen Münsterland gewinnt mittels kontrollierter Bohrlochsolung Steinsalz in Form hochreiner Industriesole. Die durch die Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH (SGW) so gewonnene Industriesole ist ein bedeutender Rohstoff für die chemische Industrie, nicht nur in Deutschland. Sie wird vollständig über ein 350 km langes Fernleitungssystem zu den verarbeitenden Betriebsstandorten in Marl und Rheinberg und dem belgischen Jemeppe gefördert. Die Jahresförderung beträgt etwa 2 Mio. t Steinsalz; das entspricht einem Volumen von ca. 6,5 Mio. m³ gesättigter Sole. Das im Jahre 1970 verliehene Bergwerksfeld hat eine Konzessionsgröße von 22,5 km², die in 2004 um 7 km² erweitert wurde. Die Steinsalzlagerstätte in Epe ist durch eine flache und weitgehend homogene Gebirgsstruktur gekennzeichnet. Die bis zu 400 m dicke Salzgesteinsschicht ist von einem etwa 1.000 m mächtigen

Deckgebirge überlagert. Die Lagerstätte eignet sich hervorragend für den Salzabbau durch Solung.

Zur Vorbereitung auf die Solung und den damit einhergehenden Kavernenbau werden Bohrungen in die Lagerstätte niedergebracht und technisch sowohl für die Soleförderung als auch für den dauerhaft stand-sicheren Zugang zu den Kavernen ausgerüstet. In Epe sind bisher 107 förderfähige Bohrungen entstanden. Weitere sieben Bohrungen befinden sich in der Vorbereitung. Die entstehenden Kavernen weisen in der Regel geometrische Hohlräume von 200.000 bis 500.000 m³ und in Einzelfällen auch darüber auf. Aufgrund der Lagerstättenbeschaffenheit eignen sich die Salzkavernen in Epe sehr gut für die behälterlose Untergrundspeicherung von Flüssigkeiten und Gasen. Kavernenspeicher dienen zum Ausgleich von tages- bis jahreszeitlichen Energieverbrauchsspitzen. Bereits in den 1970er Jahren wurden in Epe die ersten Kavernen für die Rohölspeicherung umgerüstet. Seit 1978 wird hier im Wesentlichen natürliches Erdgas gespeichert.

Im Jahr 2012 waren 72 Erdgaskavernen im Regelspeicherbetrieb; vier Kavernen befanden sich in der Umrüstung. Drei weitere Kavernen dienten der Rohölspeicherung. Die Erdgasspeicherkavernen waren im Jahr 2012 sechs verschiedenen Energieversorgungsunternehmen zuge-teilt und wurden durch diese bewirtschaftet. Das gesamte maximale Gasspeichervolumen in Epe beträgt 4,65 Mrd. m³. Davon stehen 3,7 Mrd. m³ als Arbeitsgas

Tabelle: Leistungsdaten der Erdgasspeicheranlagen im Kavernenfeld Epe (Stand 31.12.2012)

Speicherunter-nehmen Betreiber	Kavernenanzahl Stoff (geplant)	zugel. Gesamtgas- speichervolumen [Mio. m ³ (Vn)]	max. Arbeitsgas- menge [Mio. m ³ (Vn)]	max. Einspeicher- leistung [1 000 m ³ (Vn)/h]	max. Ausspeicher- leistung [1 000 m ³ (Vn)/h]
EGS – E.ON Gas Storage GmbH	H-Gas 31 L-Gas 8	2 578	2 006	1 100	2 900
RWE Gasspeicher GmbH, Epe H-Gas	H-Gas 10	585	467	225	870
RWE Gasspeicher GmbH, Epe L-Gas	L-Gas 10	700	544	400	800
NUON Epe Gasspei- cher GmbH	L-Gas 7	417	325	360	675
Trianel Gasspeicher Epe GmbH & Co.KG	H-Gas 4	275	210	300	600
Eneco Gasspeicher B.V.	L-Gas 1 (2)	65 (150)	46 (105)	200	400
KGE. Kommunale Gas- speichergesellschaft Epe mbH & Co.KG	H-Gas 1 (4)	54 (250)	42 (180)	Keine Eigen- kapazitäten Dienstleistung der EGS	Keine Eigenkapazitäten Dienstleistung der EGS

Quelle: Bezirksregierung Arnsberg

Abbildung 1: Die Verdichter- und Entnahmestation der Trianel in Epe aus der Vogelperspektive

Quelle: Trianel Gasspeicher Epe GmbH & Co. KG

zur Verfügung. Die übrige Lagermenge muss als Kissen-gas zur Stabilität der Lagerstätte im Hohlraum zurück gehalten werden. Die minimale und maximale Gas-druckcharakteristik der Kavernen in Epe liegt zwischen 45 und 225 bar.

Die Kavernen sind über individuelle Feldleitungssysteme mit je einer Verdichter- und Entnahmestation eines Versorgungsunternehmens verbunden. Jede der Stationen ist mit mindestens einem, teils jedoch mit zwei oder drei überregionalen Ferngastransportnetzen verbunden und hat eine eigene Überwachung der Gasqualität. Neben der gaswirtschaftlichen Betrachtung ist zu beachten, dass der Kavernenspeicher Epe zum großen Teil in ausgewiesenen Landschafts- und Naturschutzgebieten des Münsterlandes liegt. Um Nutzungskonflikten entgegenzuwirken spielen deshalb neben der technischen Sicherheit die Umweltverträglichkeit und der Artenschutz von der Konzeption bis zum dauerhaften Gewinnungs- oder Speicherbetrieb eine besondere Rolle. Die bergbaubedingten Auswirkungen auf die Umwelt werden einem regelmäßigen Monitoring unterzogen.

Zur Erschließung der Lagerstätte und zum Bau der Kavernen werden Bohrungen durch das mächtige Deckgebirge bis in den unteren Teil der Salzlagerstätte geteuft. Neben den klassischen Vertikalbohrungen sind seit den 1990er Jahren auch horizontal abgelenkte Bohrungen zur Erreichung der Lagerstätte sicher in der Anwendung. Von den 107 Kavernenbohrungen in Epe sind bisher 45 horizontal abgelenkt. Dieser bohrtechnische Fortschritt führte zu einem geringeren Flächenverbrauch für Bohrplätze und Leitungstrassen und trägt zu einem verminderten Eingriff in Natur und Landschaft bei. In Epe werden heute von einem Bohrplatz zwischen zwei und sieben Bohrungen abgeteuft. Der Bohrlochverlauf und der Landepunkt werden durch die Pfeilergeometrie im Salzgebirge bestimmt.

Haben die Kavernen nach mehrjähriger Solung das für die Gasspeicherung vorgegebene Hohlraumvolumen erreicht, wird die Salzgewinnung unterbrochen und die Bohrung für den Gasspeicherbetrieb technisch komplettiert. Nach der gastechnischen Komplettierung erfolgt die Gaserstbefüllung der Kaverne. Dazu wird das Erdgas unter hohem Druck in die Kaverne gepresst, wodurch dann die Sole in einem geschlossenen System

an die Tagesoberfläche transportiert und dem Soleleitungsnetz der SGW zugeleitet wird. Nach vollständigem Austausch der Medien (Gas/Sole) und Inbetriebnahme der Sicherheitsabsperntechnik (Anschlusspiping/Kavernenkopf/Untertagesicherheitsabsperrentil) steht der unterirdische Hohlraum für den Speicherbetrieb zur Verfügung. Bei der Ein- und Ausspeicherung von Erdgas in Speicherkavernen sind aufgrund der enormen Druckänderungen des Erdgases auf den Verdichter- und Entnahmestationen verschiedene Verfahrensprozesse erforderlich. Beim Einspeichern sind dies die Verdichtung und Kühlung des Erdgases, beim Ausspeichern die Erwärmung, die Druckreduzierung und die Trocknung, weil das Gas bei der Lagerung in Speicherkavernen Feuchtigkeit aufnimmt. Die verfahrenstechnischen Prozesse zur Erfüllung der Bedarfsmeldungen aus den Ferngasnetzen (Nominierungen) werden auf allen Stationen mit einer vollautomatischen Prozessleittechnik gesteuert und aufgezeichnet.

2. Bohrungen und Kavernenbetrieb

Die Bohrungen zur Erschließung der Lagerstätte im Raum Gronau-Epe sind technisch nahezu gleich ausgelegt. Über ein etwa 25 m tief eingerammtes Standrohr mit dem Durchmesser von 24“ wird ein stoffdichter Bohrkeller aus Stahlbeton gebaut. Mit einer Tiefbohranlage wird dann durch das Standrohr eine 20“ Bohrung bis auf ca. 200 m niedergebracht und mit einer 16“ – Ankerrohrtour zum Gebirge ausgekleidet und vollständig zementiert. Danach wird bis ins Tiefste der Salzlagerstätte gebohrt. Die Bohrung wird mit einem 11 3/4“-Stahlcasing bis zur festgelegten Salzteufe verrohrt und bis zur Tagesoberfläche zementiert. Das untere Ende der Rohrtour bildet den so genannten Rohrschuh. Die letzte zementierte Rohrtour (LZRT 11 3/4“-Casing) muss ausreichend tief in der Salzformation abgelandet sein, damit im Verbund zwischen Stahlcasing, Zement und Salzgebirge die Gasdichtheit dauerhaft gewährleistet ist. Zur Erdgasförderung wird die Bohrung mit einer 8 5/8“ Gasförderohrtour und einer gasdichten Packertechnik komplettiert. Im Hinblick auf die langfristige technische Gasdichtheit wird die Komplettierung umfassend auf Dichtheit getestet.

Im Feld Epe beträgt der gesamte Abstand zwischen der Oberfläche der Salzformation (Salztop) und dem Kavernendach bei den meisten Speicherkavernen

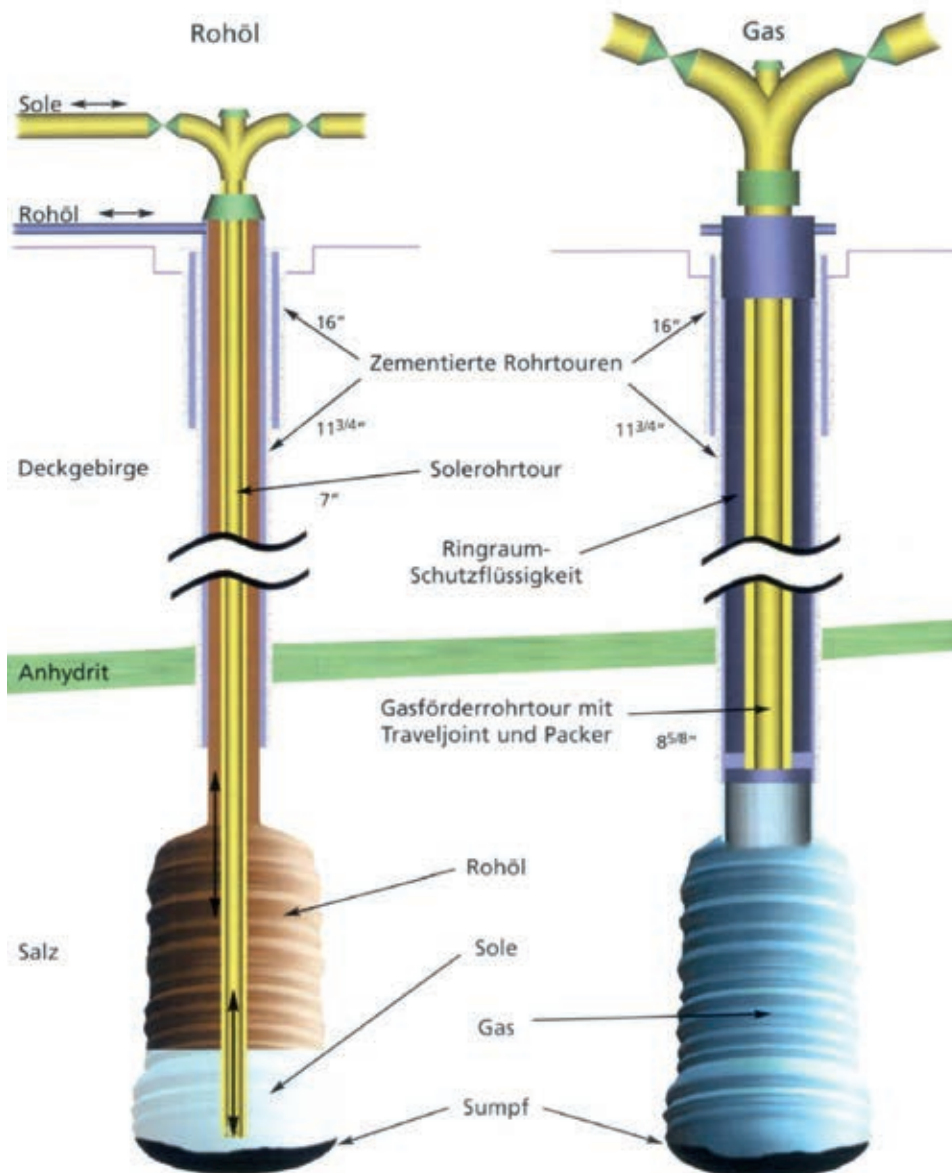
100 m und mehr. Die Kavernenbohrung teilt sich im Steinsalz in einen verrohrten und einen unverrohrten Abschnitt auf. Der unverrohrte Abschnitt wird Kavernenhals genannt. Die übliche Halslänge im Kavernenfeld Epe beträgt 50 m und mehr. Sie ist abhängig von der Teufenlage der Kaverne, der Dachkontur und des zulässigen Arbeitsdruckbereichs. Für jede Kaverne ist eine gebirgsmechanische Bewertung erforderlich.

Der Betrieb von Speicherkavernen wird in eigenständigen bergrechtlichen Sonderbetriebsplänen geregelt. Wesentlicher Bestandteil darin ist die Überwachung der Grenzwertcharakteristik der einzelnen Kaverne (Fahrweise), die Instandhaltung und Prüfung der technischen Ausrüstung sowie die regelmäßige und durch Fristen zwischen drei und vier Jahren vorgeschriebene Vermessung der untertägigen Hohlräume. Zur Hohlraumüberwachung werden mittels einer Messsonde, die an einem Kabel durch die Bohrung in die Kaverne herabgelassen wird (Wireline), echometrische Messungen vorgenommen. Anhand der Messungen können die Konturen der Kavernenhohlräume genau bestimmt und die Konvergenz ermittelt werden. Damit Vermessungen sicher durchgeführt werden können, ist die widerstandsfreie Befahrbarkeit der Kavernenbohrung eine zwingende Voraussetzung.

In den vergangenen Jahren zeigten sich an Gasspeicherkavernen in Epe immer wieder Veränderungen an den unverrohrten Abschnitten der Kavernenbohrungen. Das Erscheinungsbild war dabei unterschiedlich. Angetroffen wurden Spülkanäle durch abtropfendes Kondensat aus der Bohrung, Verformungen durch Zerklüftung, Verjüngung durch Ovalität oder durch Speicherarbeit erzeugte Rauigkeit der Halsinnenfläche. An Flüssigkeitskavernen sind solche Veränderung im Feld Epe bislang nicht auffällig. Auf die Ein- und Ausspeicherung von Erdgas haben diese Veränderungen zwar keine direkte nachteilige Auswirkung, jedoch wird die zur Überwachung der Hohlräume erforderliche Vermessung zunehmend riskant oder sogar verhindert.

Aus diesem Umstand resultiert die Notwendigkeit der mechanischen Bearbeitung der Kavernenzugänge, der Kavernenhalskonditionierung. Das jeweilige Manöver ist mit sehr hohen technischen und personellen Sicherheitsanforderungen belegt, da die Kavernen unter dem speichertechnischen Betriebsdruck stehen. Für die Vorbereitung und Durchführung dieser Maß-

Abbildung 2: Standorttypische Bohrlochausstattung für die Kavernenspeicherung in Epe



Quelle: Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH & Co. KG

nahmen müssen die Speicherunternehmen am Standort Epe sowohl Spezialgerät als auch Spezialfirmen hinzuziehen, da diesbezüglich keine eigenen Ressourcen vorgehalten werden.

Die Verfahrensweise bei der Halskonditionierung erfordert wie bei jeder Hohlraumvermessung ein Einfahren in die Kaverne mit einer für das jeweilige Vor-

haben ausgelegten Garnitur oder Werkzeug. Für die Einfahrt muss das vorgeschriebene Untertagesicherheitsabsperrventil (USAV) festgesetzt oder ausgebaut werden. Die verwendete Anlagentechnik zur Beherrschung der unter Betriebsdruck stehenden Bohrung bestehend aus Standgerüst, Druckschleuse, Preventergarnitur und Coil-Werkzeugen unterliegt deshalb hohen Qualitätsanforderungen und mehrinstanzlichen

Prüfungen. Der Arbeitsvorgang wird Coiled Tubing (CT)-Arbeit genannt. Der Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V. hat einen Leitfaden zur Durchführung von CT-Einsätzen herausgegeben.

3. Kavernenhalskonditionierung an einem konkreten Beispiel

3.1 Ausgangssituation

Die Erdgasspeicherkaverne Epe S 42 der NUON Epe Gasspeichergesellschaft mbH wurde gemäß bergbehördlicher Fristsetzung zuletzt im August 2009 echometrisch vermessen; das geometrische Hohlraumvolumen betrug 237.000 m³. Bei der Vermessung des

Kavernenhalses zeigte sich eine Kerbe, die durch Tropfwasser vom Rohrschuh gebildet wurde. Die Kerbe erstreckte sich gleichmäßig über die gesamte Kavernenhalslänge von 48 m (gemessene Teufe 1.158 m bis 1.206 m MD – measured depth). Der Hals hat eine Abweichung aus dem Lotrechten von ca. 3°, wodurch die Kanalisierung von abtropfendem Wasser begünstigt wurde. Eine solche Einkerbung kann beim Ausfahren von Messgeräten infolge des Schlüssellockeffekts ein Verklemmen oder letztlich das Abreißen und damit den Verlust dieser Geräte zur Folge haben. Damit wäre in diesem Fall die nächste Kontrollvermessung im Jahr 2012 nicht mehr sicher durchführbar gewesen und eine mechanische Erweiterung und Glättung des Kavernenhalses – eine so genannte Kavernenhalskonditionierung – unumgänglich.

Abbildung 3: Eine aufgebaute CT-Anlage im Kavernefeld Epe



Quelle: E.ON Gas Storage GmbH

3.2 Technisches Konzept

Bei der Kaverne Epe S 42 betrug der Halsdurchmesser etwa 0,5 m; mit einer Erweiterung des Durchmessers auf bis zu 1,5 m sollte die Einkerbung geglättet und damit beseitigt werden. Um eine Beeinträchtigung der Festigkeit des letzten zementierten Rohrschuhs zu vermeiden, wurde festgelegt, die Halserweiterung erst 2 m unterhalb der Gasförderrohrtour in Richtung Kaverndach zu beginnen. Da die Speicherkaverne unter Betriebsdruck stand, war die Bearbeitung der Förderbohrung nur mit einer dementsprechenden Druckschleusenausrüstung möglich. Für das Aufweiten des Halses war darüber hinaus eine Werkzeuggarnitur erforderlich, mit der die vorgesehene Bearbeitung leistungsfähig und sicher durchgeführt werden konnte.

Das im Kavernenbetrieb am häufigsten angewandte Verfahren zur Halskonditionierung ist das hydraulische Schneiden der störenden Unregelmäßigkeiten im Salz.

Das technische Konzept besteht dabei im Wesentlichen darin, dass die Halsstrecke mit hohem Süßwasserdruck und eventuell zugesetztem Abrasionsmittel (z.B. Quarzsand) gespült wird. Für den mechanischen/hydraulischen Abtrag des Salzes werden Düsenköpfe (Jetting Tools) verwendet, die über ein ins Bohrloch geführtes flexibles endloses Stahlrohr (Coiled Tubing) geführt und versorgt werden. Die Düsenköpfe sind drehbar gelagert. Durch die Anordnung wird das Werkzeug in Verbindung mit Wasserdruck in Drehbewegung versetzt, wodurch eine horizontale und auch vertikale Bearbeitung der Halsinnenfläche erreicht wird. Die eingesetzte

Abbildung 4: Jetting Tool im Test



Quelle: E.ON Gas Storage GmbH

Spülkopfgarnitur (Bottom Hole Assembly) ist stabilisiert geführt, so dass durch die Erweiterungsmaßnahme ein nahezu lotrechter Kavernenhals erhalten bleibt. Die erforderliche Menge an Frischwasser wird in 50–70 m³ großen Behältern auf dem Kavernenplatz vorgehalten. Verfahrensbedingt werden keine Flüssigkeiten zurückgeführt. Das Schneidgut landet in der Kaverne.

3.3 Arbeitsprogramm

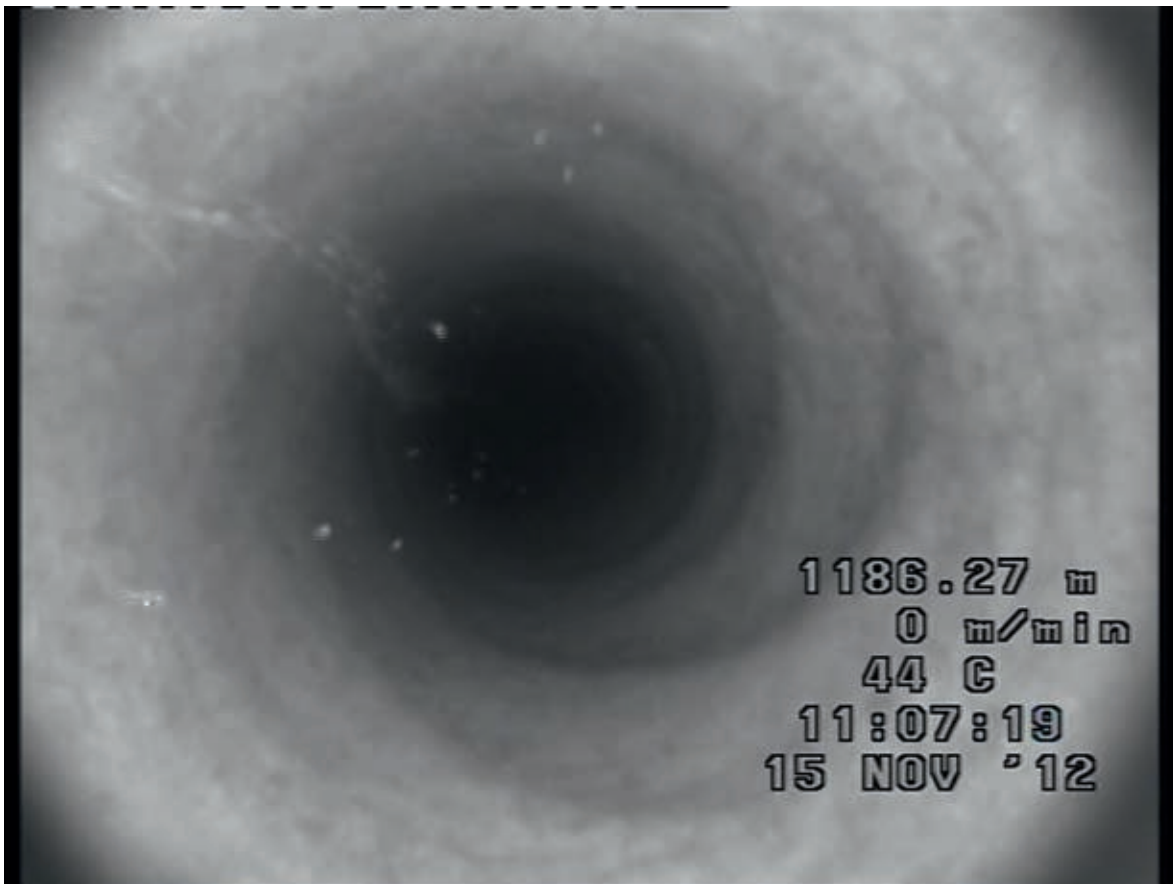
Das Vorhaben wurde im April/Mai des Jahres 2012 durchgeführt. Bei Aufnahme der Arbeiten stand die Speicherbohrung unter einem Gasdruck von 100 bar, gemessen am Kavernenkopf. Die vorbereitenden Arbeiten begannen zwei Wochen vor der eigentlichen Halskonditionierung. Die Konditionierung in der Haupt-

sache dauerte einschließlich des Auf- und Abbaus der Anlagentechnik und der Qualitätskontrolle sechs Arbeitstage. Die erforderliche Vollvermessung und Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft nahmen weitere vier Arbeitstage in Anspruch. Sämtliche Arbeiten wurden aus sicherheitlichen und ökologischen Aspekten nur bei Tageslicht durchgeführt.

Das Arbeitsprogramm wird mit folgenden Eckpunkten beschrieben:

1. Aufbau einer Sperrstrecke im Rohrleitungssystem zwischen Kopf und Feldleitung.
2. Gastechnische Druckentlastung des Piping-Systems auf dem Kavernenplatz.

Abbildung 5: Kavernenhals, Kamerabefahrung am Beispiel der Kaverne Epe S 31



3. Ringkratzer- und Kaliberfahrt durch die 8 5/8“ Gasförderrohrtour.
4. Ausbau und Revision des USAV (Typ Storm Choke).
5. Echometrische Kavernenhalsvermessung mit Auswertung zur Spülgangbestimmung.
6. Aufbau und Prüfung der Coiled Tubing- Anlage und der Schleusentechnik.
7. Bestimmung/Markierung der Rohrschuhteufe (LZRT).
8. Durchführung der Spülgänge mit und ohne Sandzusatz.
9. Echometrische Vermessung des Kavernenhalses zur Erfolgskontrolle.
10. Vollständiger Rückbau des Coiled Tubing Equipments.
11. Turnusgemäße echometrische Vollvermessung der Kaverne S 42.
12. Einbau/Funktionskontrolle USAV und Rückbau der Sperrstrecke zur Begasung.

3.4 Genehmigung und Überwachung

Für das Vorhaben hat das Energieversorgungsunternehmen NUON Epe Gasspeicher GmbH einen bergrechtlichen Sonderbetriebsplan bei der Bezirksregierung Arnsberg als zuständige Bergbehörde in NRW zur Zulassung vorgelegt. Wesentliche Bestandteile des Betriebsplans waren eine detaillierte Arbeitsablaufbeschreibung, die Auswahl geeigneter Fachfirmen für die technische Ausführung sowie die Überwachung der Sicherheit und die Nachweise und Zertifikate über die Rechtskonformität der verwendeten Betriebsmittel. Darüber hinaus wurden drei Sachverständigengutachten eingeholt:

- Baugrunduntersuchung und Gründung für die Standsicherheit des Work-Over-Gerüsts.

- Bewertung des Tragverhaltens und der Dichteigenschaften des Gebirges im Bereich des Kavernendachs und des aufgeweiteten Halses.
- Artenschutzprüfung (ASP) gemäß Bundesnaturschutzgesetz.

Die Betriebsplanzulassung sah ergänzend vor, dass 1.) eine umfassende Abnahmeprüfung der zusammengebauten Gashochdruckschleuse vorgenommen wird, 2.) eine ökologische Baubegleitung eingerichtet wird und 3.) ein Statusbericht nach Durchführung der Arbeiten vorzulegen ist, in dem auch die wiederhergestellte Betriebssicherheit nachgewiesen wird.

4. Ausblick

Der Kavernenspeicher in Epe wird seit Ende der siebziger Jahre aktiv als Untergrundspeicher für natürliches Erdgas genutzt und wird bis heute kontinuierlich durch Hinzunahme weiterer Kavernen vergrößert. Daraus lässt sich ableiten, dass sich auch die Anzahl an Konditionierungsmanövern erhöhen wird. In den letzten fünf Jahren wurden im Feld Epe 8 Kavernenhalskonditionierungen vorgenommen. Ein Zusammenhang zwischen der Notwendigkeit einer Halskonditionierung und dem Alter der Bohrung an sich bzw. deren Nutzungsdauer als Gasförderbohrung, ist gegenwärtig nicht eindeutig erklärbar. Auch liegen unter den bisher durchgeführten Konditionierungen keine Wiederholungsfälle vor. Einer tatsächlich herannahenden bzw. eintretenden Kavernenhalsverengung im aktiven Gasspeicherbetrieb kann weder technisch noch organisatorisch entgegengewirkt werden.

Erkannt wird die Notwendigkeit einer Kavernenhalskonditionierung meistens im Zuge der fristgemäßen Hohlraumvermessung, woraus dann im Bedarfsfall eine zeitliche Verschiebung der Messung resultiert. Die zeitliche Verschiebung wird dadurch noch ausgedehnt, als dass die Verfügbarkeit von CT-Anlagen wegen des Spezialisierungsgrades eingeschränkt ist. Auch können solche aufwendigen Manöver wegen des Beitrags des Gasspeichers zur Versorgungssicherheit nicht zu jedem Zeitpunkt vorgenommen werden. Ferner ist ein saisonal eher in den Sommermonaten anzutreffendes niedriges Kavernendruckniveau aus sicherheitlichen Erwägungen für die Durchführung von Konditionierungen

zu bevorzugen. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund einer empfindlichen Ökologie im Raum Epe kann die Durchführung zur Vermeidung von Störwirkungen in bestimmten Zeiträumen (z. B. Brutvogelzeiten) auch unzulässig sein.

Die vorgenannten Einschränkungen können Anlass für eine Planungsoptimierung von Kavernenhalskonditionierungen im Feld Epe sein. Das Ziel wäre ein verbessertes Zeitmanagement der einschränkenden Faktoren. Optimierungsansätze können hier eine breit aufgestellte Artenschutzbetrachtung, präventiv und seriell ausgerichtete Maßnahmen zur Überprüfung von Halszuständen und ein unternehmensübergreifendes Dokumentationssystem sein.

Text: Gregor Mergen, Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW