

12. Arbeiten nach Beendigung des Solens

12.1. Abfahren der Kaverne

Ist laut Dokumentation das geplante Hohlraumvolumen erreicht, wird der Solprozeß eingestellt. Das planmäßige Abfahren der Kaverne erfolgt, auch bei den zwischenzeitlichen Hohlraumvermessungen, nicht plötzlich, sondern allmählich. Bei Förderung nur teilgesättigter Sole wird die Wassermenge bereits in den letzten Soltagen herabgesetzt, um ein höheres Aufkonzentrieren der Sole zu bewirken. Anschließend wird das Sperrmedium abgelassen, und die Sole steigt in der Kaverne bis über Tage.

Wäre die Sole nicht voll ausgesalzen, käme es im Bereich des Kavernenhalses und des Rohrschuhs der Produktionsrohrtour zu Nachsolerscheinungen, die auf jeden Fall ausgeschlossen werden müssen.

Ist die Kaverne in indirekter Fahrweise gesolt worden, kehrt man in den letzten Tagen vor Solende die Richtung um, so daß garantiert kein Frischwasser in den Kavernenhals gelangen kann. Im Anschluß daran werden die beiden Solstränge ausgebaut und die Hohlraumendvermessung sowie eine Kalibermessung im Kavernenhals durchgeführt.

12.2. Abdrücken der Kaverne

Beim Abdrücken der offenen Kaverne wirken wesentlich mehr und intensivere Störgrößen als bei der Dichtheitsprüfung der Kavernenbohrung. Die negativen Einflüsse auf das Meßergebnis haben sich durch das riesige Volumen gegenüber dem zulässigen Volumenverlust bei der Dichtheitsprüfung vervielfacht.

Die Konvergenz der Kaverne wirkt etwaigen Leckverlusten entgegen. Temperatureinflüsse - Erwärmung der Sole in der Kaverne auf die Gebirgstemperatur - führen ebenfalls zu einem Ausdehnen des Volumens, wohingegen Nachsoleffekte, temperatur- und konzentrationsabhängig, eine Volumenvergrößerung bewirken. Der gleiche Effekt zeigt sich beim Abdrücken mit einem gasförmigen Prüfmedium durch die physikalische Lösung des Gases in der Sole am Kontakt. Der am Sondenkopf abzulesende Druckabfall bzw. das erforderliche Nachpumpen von Gas würde eine Leckstelle vortäuschen.

Beim Abdrücken der gesamten Kaverne müssen zwangsläufig andere Dichtheitskriterien gefunden werden als beim Abdrücken der Kavernenbohrung.

Geht man davon aus, daß das Salzgebirge absolut dicht ist und damit automatisch auch die Kaverne, können Undichtheiten nur an der Rohrtour und am zementierten Ringraum auftreten. Die Wahrscheinlichkeit ist jedoch gering, daß ein zuvor als dicht ausgewiesenes System während des Solens undicht wird.

Es erhebt sich die Frage, inwieweit angesichts der vielen Störfaktoren beim Abdrücken der Kaverne sowie des technologischen Aufwandes eine Dichtheitsprüfung nach Solende überhaupt noch zweckmäßig ist.

12.3. Bilanzmethode

Die Bilanzmethode beruht auf der volumetrischen Messung eines bis an die Kavernenoberkante eingepumpten Prüfmediums (gasförmig oder flüssig), der Druckbeaufschlagung über einen gewissen Zeitraum und der Volumenbestimmung nach der Wiederausspeisung. Aus dem Vergleich des eingebrachten und wieder ausgespeisten Volumens kann unter Berücksichtigung des Meßfehlers und anderer Störfaktoren (p- und t-Bedingungen, Benetzungsverluste) auf die Dichtheit der Kaverne geschlossen werden. Diese Methode ist relativ aufwendig und mit großen Fehlern behaftet.

12.4. Niveaumethode

12.4.1. Niveaumethode bei Isolierung der Kaverne

Zur Ausschaltung der unter Abschnitt 12.2. genannten Störfaktoren kann man die Kaverne durch Setzen eines Stopfens und einer Zementbrücke im Kavernenhals isolieren. An einer kaliberhaltigen Stelle im Kavernenhals wird ein Stopfen (Quellstopfen mit Kies verkeilt, Gummistopfen) gesetzt, der verhindert, daß der Zement in die Kaverne fließt.

Ist Öl oder Diesel als Sperrmedium verwendet worden, muß zur einwandfreien Bindung des Zementes am Gebirge der Kavernenhals unterschritten und damit der Ölfilm entfernt werden.

Nach der Zementerhärtung und dem Abtasten des Zementkopfes kann die Dichtheitsprüfung durch Druckbeaufschlagung mit Speichergut oder Sole über die gesamte Rohrtour und bei gasförmigen Speicher- und Prüfmedien durch Druckbeaufschlagung des abgepackten Raumes unterhalb des Rohrschuhs gemäß Abschnitt 4.4.2. durchgeführt werden. Stopfen und Zementbrücke müssen nach erfolgreicher Dichtheitskontrolle aufgebohrt werden.

12.4.2. Niveaumethode bei offener Kaverne

Das zuvor beschriebene Abdruckverfahren stellt an die Kaverne bestimmte Voraussetzungen, wie einen ausreichend langen und kaliberhaltigen Kavernenhals und die Unbedenklichkeit des Bohrens in der Produktionsrohrtour, welche nicht immer gegeben sind. Eine Oberprüfung einer Kaverne mit kurzem Kavernenhals (50 m) muß ohne Isolierung unter dem Rohrschuh der Produktionsrohrtour erfolgen.

12.4.2.1. Niveaumethode bei offener Kaverne mit flüssigem Abdruckmedium

Zur Überprüfung einer Kaverne mit einem flüssigen Prüfmedium, das dem verwendeten Sperrmedium entspricht (Öl, Diesel), sind folgende Arbeitsgänge notwendig:

- Kalibermessung im Kavernenhals
- Einbringen des Prüfmediums bis an die Unterkante des Kavernenhalses
- Einpumpen von radioaktiven Kugeln, die am Kontakt zur Sole schwimmen
- Druckbeaufschlagung des Solesteigraumes bis zum festgelegten Prüfdruck
- Einmessen des Sole-Prüfmedium-Kontaktes mittels Gammasonde über einen Lubrikator (Genauigkeit ± 5 cm)
- tägliche Kontrolle des Druckverhaltens

Es werden der Kopfdruck, die Druckdifferenz auflaufend, die erforderliche Sole-Nachpumpmenge bzw. -Ablasmenge zur Erreichung der Druckkonstanz täglich registriert und graphisch aufgetragen (s. Bild 6).

Bei einem dichten System ist über 10 bis 14 Tage ein Druckabfall, anschließend eine Konstanz und eine Druckerhöhung infolge der Temperatur- und Konvergenzerscheinungen in der Kaverne zu beobachten. Zum Abschluß der Dichtheitsprüfung erfolgt eine erneute Spiegeleinmessung. Die Konstanz des Spiegels ist das Kriterium für die Dichtheit der Kaverne.

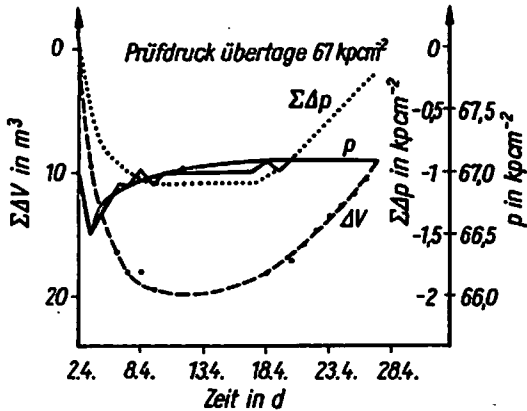


Bild 6
Prinzipische Kurvenverläufe beim Abdrücken einer dichten Kaverne mit Sohle

Die Ergebnisse der Dichtheitsprüfung nach der Niveaumethode bei offener Kaverne bedürfen der fachgerechten Interpretation, da die Besonderheiten der Kaverne (Volumen, Teufe, Stillstandszeit u. a.) das Abdrückergebnis beeinflussen. Aus diesem Grund können auch keine allgemein gültigen präzisen Dichtheitskriterien bei der Methode formuliert werden.

12.4.2.2. Niveaumethode bei offener Kaverne mit gasförmigem Abdrückmedium

Nach Installation der zum Betreiben notwendigen Solesteigleitung wird der Ringraum Solesteigleitung/Produktionsrohrtour solange mit Druckluft beaufschlagt, bis der Kontakt Luft - Sole sich unterhalb des Rohrschuhs der Produktionsrohrtour befindet und dort mittels NG-Messung nachgewiesen wird. Während des Prüfzeitraumes werden die Druckschwankungen am Sondenkopf mittels Feinmeß- und Differenzdruckmanometer schreibend registriert sowie der Anstieg oder Abfall des Sole-Luft-Spiegels im Ringraum mit der NG-Sonde aufgezeichnet. Mit der Messung zweier Zustandsgrößen - Druck und Volumen - werden bei Kenntnis der Temperatur die während des Prüfzeitraumes wirkenden Einflüsse auf die Luftmenge eliminiert. Mit der Veränderung einer Zustandsgröße (Volumen) geht eine dem allgemeinen Gesetz der Zustandsänderungen für Gase folgende Veränderung der zweiten Größe (Druck) einher.

Tabelle zu Bild 6

Tag (1974)	Druck in kp m ⁻²	Δp in kp cm ⁻²	$\Sigma \Delta p$ in kp cm ⁻²	ΔV in m ³	$\Sigma \Delta V$ in m ³
2.4.	67,0	-	-	-	-
3.4.	66,5	-0,5	-0,5	-9,4	-9,4
4.4.	66,7	-0,3	-0,8	-4,3	-13,7
5.4.	66,9	-0,1	-0,9	-2,7	-16,4
6.4.	66,9	-0,1	-1,0	-1,7	-18,1
7.4.	67,0	-	-1,0	-	-18,1
8.4.	66,9	-0,1	-1,1	-1,4	-19,5
9.4.	67,0	0	-1,1	0	-19,5
10.4.	67,0	0	-1,1	0	-19,5
11.4.	67,0	0	-1,1	0	-19,5
12.4.	67,0	0	-1,1	0	-19,5
13.4.	67,0	0	-1,1	0	-19,5
14.4.	67,0	0	-1,1	0	-19,5
15.4.	67,0	0	-1,1	0	-19,5
16.4.	67,0	0	-1,1	0	-19,5
17.4.	67,0	0	-1,1	0	-19,5
18.4.	67,1	+0,1	-1,0	+1,4	-18,1
19.4.	67,0	0	-1,0	0	-18,1
20.4.	67,1	+0,1	-0,9	+1,0	-17,1
21.4.	67,1	+0,1	-0,8	+1,3	-15,8
22.4.	67,1	+0,1	-0,7	+1,1	-14,7
23.4.	67,1	+0,1	-0,6	+1,2	-13,5
24.4.	67,1	+0,1	-0,5	+0,9	-12,6
25.4.	67,1	+0,1	-0,4	+0,9	-11,7
26.4.	67,1	+0,1	-0,3	+1,2	-10,5
27.4.	67,1	+0,1	-0,2	+1,0	- 9,5

Δp - Druckabfall
 + Druckanstieg
 ΔV - Nachpumpmenge
 + Ablassmenge

} zur Konstanthaltung des Druckes

Die Masse der eingebrachten Luft bleibt dabei konstant und verändert sich nur bei Undichtheiten der Rohrtour oder des zementierten Ringraumes und durch Inlösungen in die Sole.

Letzteres ist rechnerisch bestimmbar und von unbedeutendem Einfluß.

Aus dem Vergleich der Anfangs- und Endwerte der p- und V-Messung ist die Größe der Leckverluste zu bestimmen.

Die Dichtheitsprüfung erfolgt nach einer Beruhigungs- und Temperatenausgleichszeit (zweimaliges Einmessen des Kontaktes) sowie nach der Dichtheitskontrolle der obertägigen Aus-

rüstung mit dem Lecksuchgerät (Einbringen von Fridonagas) über einen Zeitraum von mehreren Tagen.

Der Prüfdruck muß dem späteren Betriebsdruck entsprechen bzw. kann unter Beachtung des zulässigen Druckgradienten vom Salz am Rohrschuh, der zementierten Produktionsrohrtour höher gewählt werden.

Bezüglich der Festlegung eines zulässigen Volumenverlustes gilt das im Abschnitt 12.4.2.1. Gesagte.

Bei erwiesener Undichtheit der Kaverne folgen Arbeiten zur Lokalisierung des Lecks und anschließend komplizierte Behaltungsarbeiten zur Abdichtung, die im Prinzip den im Abschnitt 4.4.5. beschriebenen gleichen, wobei die Kaverne zuvor durch eine Zementbrücke oder einen Packer zu isolieren ist.

13. Uminstallation zum Speicherbetrieb

13.1. Kavernen für Flüssigprodukte

Für den Speicherbetrieb werden Flüssigkeitskavernen nicht mit einer Schutzrohrtour versehen, da die auftretenden Druckschwankungen gering sind und für die Dichtheit des Zementmantels keine Gefährdung darstellen.

Die Installation zum Speicherbetrieb beschränkt sich hierbei auf das Einbringen und Abfangen im Kolonnenkopf eines Förderstranges, der bis zu 2 bis 4 m über den Kavernensumpf reicht. Die Ein- und Ausspeisung des Speicherproduktes erfolgt im Ringraum Produktionsrohrtour/Förderstrang, die Soleein- und -ausspeisung über den Steigraum des Förderstranges

Für die mitunter vom Betreiber geforderten hohen Ausspeiseraten wird als Produktionsrohrtour eine 11 3/4" bis 13 3/4"- und als Soleförderstrang eine 6 5/8" bis 8 5/8"-Rohrtour benötigt, damit die zulässige Aufstiegs geschwindigkeit bzw. die hydraulischen Druckverluste eingehalten werden.

13.2. Kavernen zur Gasspeicherung

Beim Betrieb von Gaskavernenspeichern treten Druckschwankungen bei der Einspeisung und Abförderung im Bereich von 10 bis 150 kp cm^{-2} (je nach Teufenlage) auf, die voll auf die zementierte Produktionsrohrtour wirken. Eine Anzahl von Gaskavernen wird gefahren, ohne daß die Produktionsrohrtour vor diesen Druckbeanspruchungen geschützt wird. Für eine lange Funktionsfähigkeit der Gaskavernen (man geht allgemein von einer Lebensdauer bis zu 30 Jahren aus) ist es jedoch von Vorteil, wenn die Produktionsrohrtour durch eine weitere, die Schutzrohrtour, isoliert wird.

Zwar bedeutet die Installation einer Schutzrohrtour eine Verringerung des Förderquerschnittes, die jedoch bezüglich der Realisierung einer hohen Förderrate beim Ausspeisen (Abdecken des Spitzenbedarfs über kurze Zeiträume) keinen großen Nachteil mit sich bringt.

Der wirksame Korrosionsschutz der Produktionsrohrtour durch Einbringen einer Ringraumschutzflüssigkeit und die Möglichkeit des Auswechslens der Schutzrohrtour sind weitere Vorteile, die das komplizierte - bereits beschriebene - Verfahren des Einbaus mit Teilzementation gerechtfertigt erscheinen lassen. Die Prüfung auf Dichtheit des zementierten Teilringraumes erfolgt wiederum durch Abpackerung, Leerliften, Druckbeaufschlagung mit Luft und Messung des Druckabfalls in der gleichen Technologie wie beim Überprüfen des Ringraumes der zementierten Produktionsrohrtour mit Luft.

Ober die Notwendigkeit des Einbaus einer Schutzrohrtour und deren Absetztechnologie (Packer oder Teilzementation) muß bereits bei der Festlegung der Bohrlochkonstruktion der Kavernenbohrung Klarheit bestehen, da für die Teilzementation die erforderliche Bohrlochstrecke eingeplant werden muß. Steht nach Beendigung der Solararbeiten diese Strecke nicht mehr zur Verfügung (Kaverne zu hoch gesolt oder Auskesselungen im Kavernenhals durch Nichteinhalten der Soltechnologie), muß die Schutzrohrtour mittels Packer im Pohrschuhbereich der Produktionsrohrtour abgesetzt werden. Die Folge wäre, daß der Speicher nicht mit dem geplanten Betriebsdruck gefahren wer-

den kann, was wiederum eine Verminderung der Speicherkapazität bedeutet.

Das soll zahlenmäßig an einem Beispiel erläutert werden:

geplant sind:

- Rohrschuh-Produktionsrohrtour 700 m, zementiert von 700 bis 0 m
- Rohrschuh-Schutzrohrtour 800 m, zementiert von 800 bis 700 m
- zulässiger Druckgradient des Salzes am Rohrschuh der Produktionsrohrtour: $1,8 \text{ kp cm}^{-2} \cdot 10 \text{ m}$, daraus ergibt sich ein maximaler Druck am Rohrschuh beim Speicherbetrieb von

$$P_{Rs.} = 800 \cdot 1,8 \cdot 0,1 = 144 \text{ kp cm}^{-2}$$

Bei einem Nutzvolumen von $150\,000 \text{ m}^3$ ergibt das eine Speicherkapazität ohne Berücksichtigung des Realgasfaktors von $150\,000 \text{ m}^3 \cdot 144 \text{ kp cm}^{-2} = 21,6 \text{ Mio m}^3 \text{ (N)}$.

Können nun aus technologischen Gründen der Einbau und die Zementation der Schutzrohrtour von 700 bis 800 m nicht realisiert werden, muß diese im Rohrschuhbereich der Produktionsrohrtour mittels Packer installiert werden. Dann ergeben sich folgende Verhältnisse:

- maximaler Druck am Rohrschuh

$$P_{Rs.} = 700 \cdot 1,8 \cdot 0,1 = 126 \text{ kp cm}^{-2}$$

- Speicherkapazität

$$150\,000 \text{ m}^3 \cdot 126 \text{ kp cm}^{-2} = 18,9 \text{ Mio m}^3 \text{ (N)}$$

Es ist also ein effektiver Verlust an Speichervolumen von $2,7 \text{ Mio m}^3 \text{ (N)}$ oder 12,5% zu verzeichnen.

Will man diesen ausgleichen, kann das a) durch Erhöhung des Betriebsdruckes (begrenzt durch den zulässigen Druckgradienten des Salzes) oder b) durch Vergrößerung des Kavernenvolumens auf $171\,000 \text{ m}^3$, soweit es die gebirgsmechanischen Verhältnisse zulassen, erfolgen. Das wiederum hat eine Verlängerung der Solzeit und Terminverschiebung der Nachfolgearbeiten zur Folge. Die o. g. Fakten unterstreichen die Notwen-

digkeit einer verantwortungsvollen Planung des komplexen Bohr-, Sol- und Uminstallationsprozesses, da technologische Fehler in der ersten Etappe große Auswirkungen auf die folgenden Etappen haben.

Nach abgeschlossener Dichtheitsprüfung der Schutzrohrtour erfolgt der Einbau eines Entleerungsstranges bis zu 2 bis 4 m über dem Kavernensumpf.

13.3. Kavernen zur Äthylen-speicherung

Zum Betreiben einer Äthylenkaverne sind drei Stränge erforderlich (z. B. 8 5/8", 6 5/8", 2,5"), die teleskopartig frei ineinander gehängt sind und im Sondenkopf, gegeneinander abgedichtet, abgefangen werden.

Die Einspeisung und Ausspeisung des Äthylens erfolgt im äußersten Ringraum (Produktionsrohrtour - 8 5/8"), der nächst folgende wird mit Dünnssole gefüllt (8 5/8" - 6 5/8") und dient der Isolierung sowie der Druckkontrolle. Der dritte Ringraum (6 5/8" - 2,5") dient der Ein- bzw. Ausspeisung der Treibsole beim Speicherbetrieb, während der Steigraum 2,5" für die Süßwasserzudosierung bei eventuellen Auskristallisationen im Soleförderringraum vorgesehen ist.

Die Installation ließe sich vereinfachen, wenn auf den dünnssolegefüllten Sicherheitsringraum 8 5/8" - 6 5/8" verzichtet und das Überfahren des Rohrschuhs der 8 5/8"-Rohrtour bei der Äthyleneinspeisung durch andere geeignete Maßnahmen verhindert wird (Einbau von Äthylen-detektoren in den Solestrom, genaue Kenntnis der Kavernenkennlinie).