

## 7. Sperrmedium (Blanket)

Die Aufgaben des Sperrmediums wurden bereits im Abschnitt 6.1. behandelt.

Die verschiedenen Sperrmedien, ob flüssig oder gasförmig, verlangen sehr unterschiedliche Technologien für ihren Einsatz und ihre Kontrolle während des Solprozesses.

Die Wahl des Sperrmediums hängt ab vom geplanten Speicherprodukt sowie von wirtschaftlichen und technischen Faktoren, wie Beschaffbarkeit, Größe der Kaverne und Soldauer, sicherheitstechnischen u. a. Aspekten.

### 7.1. Flüssige Sperrmedien

Als flüssiges Sperrmedium finden niedrig viskose Öle, Gasolin, Diesel, VK und Flüssiggase - Propan und Butan - Anwendung.

Die obertägige Ausrüstung für das Sperrmedium Öl beschränkt sich auf Vorratsbehälter, Dosierpumpe und Entspannungsleitung.

Mit dem Solestrom ausgetragene Ölmengen werden in einem Ölabscheider abgetrennt, um zu verhindern, daß Öl unkontrolliert in den Soleabstoß gelangt und Umweltschäden verursacht. Flüssiggase erfordern eine Reihe sicherheitstechnischer Maßnahmen, wie Propan- oder Butanabscheider mit Abfackelmöglich-

keit, Explosionsschutz im Sondenbereich und Einsatz funkenfreien Werkzeugs.

Die Drücke am Sondenkopf sind gegenüber den gasförmigen Sperrmedien wegen des höheren spezifischen Gewichts geringer. Bei einer Öldichte  $d_{\text{Öl}} = 0,8 \text{ g cm}^{-3}$ , einer Sperrmediumteufe  $H_{\text{Sp.}} = 500 \text{ m}$  und einer Solvedichte  $d_{\text{Sole}} = 1,2 \text{ g cm}^{-3}$  beträgt der statische Druck für das Einstellen des Sperrmediumkontaktes bei 500 m nur  $20 \text{ kp cm}^{-2}$ .

$$P_{\text{stat}} = 0,1 H (d_{\text{Sole}} - d_{\text{Öl}})$$

$$P_{\text{stat}} = 0,1 \cdot 500 (1,2 - 0,8) = 20 \text{ kp cm}^{-2}$$

Zum statischen Druck kommen noch die hydraulischen Druckverluste beim Aufsteigen der Sole im Ring- bzw. Steigraum hinzu, so daß sich ein Kopfdruck von 25 bis  $30 \text{ kp cm}^{-2}$  (je nach Wasserdurchsatz) einstellt.

Vorteilhaft sind flüssige Sperrmedien noch bezüglich der Dichtheit der Gewindeverbindungen der Solstränge und Verflanschung des Solkopfes.

Wenn allerdings an die Reinheit der Kaverne sehr hohe Anforderungen gestellt werden, muß auf ein flüssiges Sperrmedium - soweit es nicht das Speichergut selbst ist - verzichtet werden, da immer Rückstände des Sperrmediums an der Kaverne wandung haften bleiben, die dann, wenn auch geringfügig, das Speichergut verunreinigen würden.

## 7.2. Nachweis des Kontaktes flüssiges Sperrmedium - Sole

Zur übersichtlichen Überwachung und groben Einstellung des Sperrmediumstandes eignet sich bereits die Beobachtung und Einhaltung des Kopfdruckes.

Am einfachsten gestaltet sich der Sperrmediumnachweis beim direkten Scheibensolen, wobei der Sperrmediumspiegel sich in Rohrschuhnähe des äußeren Solstranges befindet. Durch Zugabe von Sperrmedium wird der Spiegel unter den Rohrschuh abgesenkt und das Sperrmedium mit der Sole ausgetragen. Das Sperrmedium-Sole-Gemisch wird über eine gesonderte Leitung, die sogenannte Entspannungsleitung, in einen Trennbehälter geleitet.

Beim indirekten Scheibensolen erfordert der Nachweis des Sperrmediums eine kurzfristige Umstellung auf die direkte Fahrweise. Wird dabei Sperrmedium mitgefördert, befindet sich der Spiegel bereits unterhalb des Rohrschuhs. Tritt anfänglich nur reine Sole aus, muß bis zum Austrag Sperrmedium zudosiert werden. Anschließend wird wieder auf die indirekte Fahrweise umgestellt.

Beim Solverfahren der angenäherten Rohrstände ist der Nachweis des Sperrmediumkontaktes problematisch. Die Kontrolle durch Austrag des Sperrmediums mit der Sole ist nicht möglich, da sich ja das Sperrmedium weit oberhalb des Rohrschuhs befindet (Hochsolphase).

Der Nachweis mittels geophysikalischer Meßsonde, die in den zentralen Solstrang eingefahren wird, ist mit Unsicherheiten behaftet. Da durch zwei Solstränge gemessen werden muß, werden die Impulse stark gedämpft und somit die Interpretation erschwert. Deshalb entschließt man sich zu einer technologisch aufwendigen, jedoch einfachen und wirksamen Maßnahme.

Es wird bis zum gewünschten Sperrmediumspiegel, in der Regel an der geplanten Kavernenfirste, eine zusätzliche Rohrtour geringen Durchmessers in den Ringraum äußerer Solstrang/Produktionsrohrtour eingebaut und an den Muffen des Solstranges befestigt. Diese Kontrollrohrtour (Schnüffelrohrtour) ermöglicht es jederzeit, den Sperrmediumspiegel zu überwachen. Erschwerend wirkt sich die am Solstrang befestigte Kontrollrohrtour nur beim Aus- und Einbau des Solstranges (bei Hohlraumvermessungen) aus.

Die Möglichkeit der Einmessung des Sperrmediumspiegels mittels radioaktiver Kugeln, die schwerer als das Sperrmedium und leichter als die Sole sein müssen und infolgedessen am Kontakt in einem Rohr, das am äußeren Solstrang außen angebracht ist, schwimmen, bedarf noch der praktischen Anwendung. Die radioaktive Strahlung muß sicher durch beide Solstränge über längere Zeiträume meßbar sein.

Von Nachteil bei allen Verfahren zur Sperrmediumkontakt-Überwachung mittels Meßsonde ist die diskontinuierliche Möglichkeit der Kontakteinmessung.

Anfahrts- und Meßkosten sowie terminliche Abhängigkeiten gestatten zumeist nur 2 bis 3 Meßeinsätze im Monat. In der Zwischenzeit besteht nur die Möglichkeit, den Sperrmediumspiegel über die Kopfdrucküberwachung zu kontrollieren, was bei einer zwischenzeitlichen Änderung der Wassermenge wegen der sich dann verändernden hydraulischen Druckverluste mit Fehlern behaftet ist.

### 7.3. Gasförmige Sperrmedien

Unter besonderen Umständen, die die Anwendung der technologisch einfacher zu beherrschenden flüssigen Sperrmedien nicht zulassen, wird auf ein gasförmiges Sperrmedium zurückgegriffen. Es sind Luft, Stickstoff und Erdgas als Sperrmedium bekannt.

Erdgas wird im allgemeinen dann verwendet, wenn es mit genügend hohem Druck in Kavernennähe zur Verfügung steht. Gasförmige Sperrmedien werden dann angewendet, wenn an die Reinheit der Kaverne sehr hohe Anforderungen gestellt werden und das Speichergut (z. B. Äthylen) auf keinen Fall auch nur geringfügig durch Sperrmediumreste verunreinigt werden darf. Die technologischen Besonderheiten beim Solen mit einem gasförmigen Sperrmedium werden in den folgenden Abschnitten behandelt.

#### 7.3.1. Berechnung des Kopfdruckes

Der Druck am Solkopf ist bei gleicher Teufenlage des Sperrmediumkontaktes wesentlich höher als bei flüssigen Sperrmedien, da der Gegendruck infolge des Gewichts der statischen Flüssigkeitssäule fehlt.

Der Kopfdruck beim Solen mit dem Sperrmedium Luft z. B. wird nach folgenden Formeln bestimmt:

Statischer Druck der Solesäule - Gewicht der Luft + hydraulische Druckverluste im Solstrang  
(abgewandelte barometrische Höhenformel)

$$P_{\text{Kopf}} = \frac{P_{\text{Fließ}}}{\sigma_s} + P_{\text{hydr.}} \quad (3)$$

$$S = 0,03415 \frac{H}{z_m} \frac{\gamma}{T_m} \quad (4)$$

$$P_{\text{Fließ}} = P_{\text{stat.}} = d_{\text{So}} H \cdot 0,1 \quad \&5)$$

Beispiel:

H = Teufe des Spiegels = 500 m

$d_{\text{So}} = 1,2 \text{ g cm}^{-3}$

$T_{\text{mittel}} = 293 \text{ K}$

$z_{\text{mittel}} = \text{Kompressibilitätsfaktor für ideale Gase} \approx 1$

$\gamma = \text{relatives spezifisches Gewicht zu Luft} = 1$

$s = 0,0584, \quad e^s = 1,06, \quad P_{\text{Fließ}} = 60 \text{ kp cm}^{-2}$

$P_{\text{hydr.}} = 5 \text{ bis } 10 \text{ kp cm}^{-2} \quad (\text{abhängig von } Q, H, D)$

$P_{\text{Kopf}} = \frac{60}{1,06} + (5 - 10) = \frac{60 \text{ bis } 65 \text{ kp cm}^{-2}}{\text{=====}}$

Bei gleichen Teufenverhältnissen betrug der Kopfdruck mit einem flüssigen Sperrmedium nur etwa 25 bis 30  $\text{kp cm}^{-2}$  (s. Abschnitt 7.1.).

### 7.3.2. Kontrolle des Sperrmedium-Sole-Kontaktes

Eine Kontrolle des Sperrmediumspiegels bei gasförmigen Sperrmedien allein durch den Kopfdruck ist nicht möglich, da sich dieser auf Grund der Kompressibilität des Mediums bei Änderung der Temperatur, Soledichte und Wassermenge wesentlich schneller ändert als bei flüssigen Sperrmedien.

Der Nachweis durch Austrag über den Rohrschuh des äußeren Solstranges, wie beim flüssigen Sperrmedium beschrieben, ist ebenfalls nicht möglich. Im Gegenteil, es muß unbedingt verhindert werden, daß Luft oder Gas in den Solestrom kommt, da es zum Gasdurchschlag und zum plötzlichen Anstehen des hohen Gasdruckes in der Soleleitung kommt, was mit einer hohen Beanspruchung des Solkopfes und einer allgemeinen Gefährdung verbunden ist.

Besonders leicht kann es zum Gasdurchschlag kommen, wenn bei direktem Solverfahren in der Anfangsphase zuviel Sperrmedium eingepumpt wird. Das Volumen des Sperrmediums ist noch gering, und beim Einpumpen von  $1 \text{ m}^3$  Sperrmedium ist bereits eine relativ große Höhendifferenz im Solespiegel zu bemerken. Man

ist deshalb bestrebt, den Sperrmediumkontakt einige Meter über dem Rohrschuh des äußeren Solstranges zu halten.

Der Nachweis des Kontaktes bei gasförmigen Sperrmedien erfolgt mittels Neutron-Gamma- oder Gamma-Gamma-Sonde. Der Ausschlag der gezogenen Meßkurve am Kontakt ist wegen der grundsätzlich verschiedenen Dichte von Sole und Sperrmedium sehr deutlich.

Der Sperrmediumspiegel wird bei laufendem Solbetrieb eingemessen; die Messung sofort ausgewertet und anschließend bei Bedarf die Kontaktteufe durch Zugabe oder Wegnahme von Sperrmedium korrigiert. Die neue Teufe wird anschließend durch eine erneute Messung überprüft. Die Drücke am Sondenkopf werden genau registriert, da bis zur nächsten Messung (im Abstand von 1 bis 2 Wochen) das Konstanthalten des Kopfdruckes die einzige Möglichkeit zur Beibehaltung des Kontaktes an der gewünschten Teufe bedeutet.

#### 7.4. Technologische Probleme beim Solen mit dem Sperrmedium Luft

Als geeignetes gasförmiges Sperrmedium bietet sich Luft an, sie ist überall verfügbar, ungiftig und nicht brennbar. Kostenaufwendig wird dieses Sperrmedium durch die Bindung eines oder mehrerer leistungsfähiger Kompressoren über die gesamte Solzeit. Je nach Teufenlage der Kaverne ist ein unterschiedlicher Kopfdruck erforderlich, Bis etwa 650 m Teufe reicht z. B. der fahrbare sowjetische Kompressor UKP 80 mit  $80 \text{ kp cm}^{-2}$  Betriebsdruck und einer Leistung von  $8 \text{ m}^3 (\text{N}) \text{ min}^{-1}$  =  $480 \text{ m}^3 (\text{N}) \text{ h}^{-1}$  aus. Liegt die Kaverne tiefer, muß ein Kompressor mit höherem Betriebsdruck eingesetzt oder die Technologie der Luftzugabe verändert werden.

Normalerweise wird die Luft direkt dem Ringraum Produktionsrohrtour/äußerer Solstrang zugegeben. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, die Luft über eine Mischdüse fein verteilt dem in die Kaverne gerichteten Frischwasserstrom zuzugeben. Das Luftpolster wird dann nicht vom Solkopf in die Kaverne gedrückt, sondern von unten her aufgebaut. Tritt das Luft-Wasser-Gemisch aus dem Rohrschuh des Solstranges,

steigen die Luftbläschen nach oben, entlösen sich und bilden somit das Sperrmedium. Bei dieser Methode kommt man mit wesentlich geringerem Luftdruck aus ( $p_{\text{Luft}} = \text{Einspeisedruck des Wassers}$ ), jedoch dauert der Aufbau des Luftvolumens entsprechend lange.

Der tägliche Luftbedarf, der sich zusammensetzt aus

- dem Volumenzuwachs der Kaverne
- der an der Kontaktfläche Luft/Sole in Lösung gehenden Luft
- und der mit dem Solestrom wieder ausgetragenen Luftmenge

hängt ab von der Wassermenge und den Druck- und Temperaturbedingungen in der Kaverne und belüftet sich auf durchschnittlich 1200 bis 1500  $\text{m}^3 \text{ (N) d}^{-1}$ .

Nachteilig wirken sich bei diesem Verfahren die aus dem Zweiphasenstrom resultierenden hydraulischen Schläge in den Solsträngen und im Solkopf und die schwierige Konstanthaltung des Luft-Sole-Spiegels aus.

Die Solstränge werden zur Gewährleistung der technischen Gasdichtheit mit einem Dichtmittel in den Gewindeverbindungen versehen.

#### 7.5. Korrosion beim Solen mit dem Sperrmedium Luft

Gegenüber allen anderen Sperrmedien besteht beim Solen mit Luft eine erhöhte Korrosionsgefahr im Bereich des Sperrmediums. Während ein Korrodieren der Solstränge unproblematisch ist, da diese ausgewechselt werden können, besteht die Gefahr der bleibenden Schädigung der fest installierten Produktionsrohrtour. Diese zu schützen gibt es z. Z. noch keine praktikablen Möglichkeiten. Man könnte die Rohre vor dem Einbau innen mit einem Korrosionsschutzanstrich oder einer Kunststoffauskleidung versehen, jedoch werden diese bei Rohrzieharbeiten beschädigt und bieten dann eine Angriffsfläche für Lochfraß (Lokalelementbildung).

Das Einbringen eines Schutzanstriches nach Beendigung des Solens für den Speicherbetrieb setzt die vollständige Entfernung der bestehenden Rostschicht durch Säuerung oder Abbeizen voraus, was in seiner Wirksamkeit noch nicht erwiesen

ist. Effektiv erweist sich ein Korrosionszuschlag bei der Wanddickenfestlegung der Produktionsrohrtour, der mit 1 bis 2 mm je Jahr Solzeit veranschlagt werden muß. Dieser berücksichtigt flächenhafte Korrosion, nicht aber lokalen Lochfraß.

Die gefährliche Sauerstoffkorrosion könnte man ausschließen, wenn als Sperrmedium hochreiner Stickstoff verwendet wird. Es muß allerdings garantiert sein, daß der Stickstoff absolut frei von Sauerstoff ist, da Sauerstoff in geringen Konzentrationen weitaus korrosiver ist (Lochfraß), als wenn er im Oberschuß vorliegt (flächenhafte Korrosion). Hemmend auf den Korrosionsprozeß wirkt die Bildung von Oxidhydrat bei Sauerstoffüberschuß.

Während des Speicherbetriebes kann die Korrosion der zementierten Produktionsrohrtour durch Katodenschutz vermindert werden. Wird in Gaskavernen eine teilzementierte Schutzrohrtour eingebaut, schützt man die Produktionsrohrtour durch Einbringen einer korrosionshemmenden Ringraumschutzflüssigkeit. Die Anwendung der gasförmigen Sperrmedien, insbesondere der Luft, bringt also eine Fülle technologischer Probleme mit sich, die es geraten erscheinen lassen, nur in Sonderfällen (Reinheit der Kaverne), bei kleinen und hochgelegenen Kavernen (Drücke, Solzeit) darauf zurückzugreifen.