

10. Überwachung des Solprozesses

10.1. Meßgrößen

Der Solprozeß und die Hohlraumentwicklung werden über Tage durch die genaue Messung und Dokumentation der stündlichen Wasserdurchsatzmenge, des Soleaustrags, der Solekonzentration,

der Sperrmediumzugabe und der Drücke an den Ringräumen und dem Steigraum des Solkopfes. (Wasser, Sole, Sperrmedium) überwacht.

- Wassermenge

Die Messung erfolgt über Zähluhr bzw. Durchflußmengenmesser in $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ und in $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$.

- Solemenge

Zur Ermittlung der ausgetragenen Salzmenge wird die Solemenge in $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ und in $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ gemessen. Ist z. B. beim Solen mit einem gasförmigen Sperrmedium die Durchflußmengenmessung wegen des Zweiphasenstroms (Gasentlösung aus der Sole) nicht möglich, wird zur Berechnung der Solemenge die Wassermenge herangezogen.

Die Solemenge ist um 2 bis 4% geringer als die eingepumpte Wassermenge, da der entstandene Hohlraum mit Sole gefüllt bleibt.

- Solekonzentration

Die Konzentration der Sole wird aus der Soledichte nach Tabellen bestimmt. Die Soledichte wird mit einem Aräometer im zeitlichen Abstand von 1 bis 2 Stunden und eine Mischprobe aus jeder genommenen Probe im Labor gemessen. Dabei ist zu beachten, daß die Sole immer bei der gleichen Temperatur gemessen wird (ständige Erwärmung auf 20°C), um temperaturbedingte Dichteschwankungen auszuschließen. Die geforderte Genauigkeit beträgt $0,003 \text{ kg dm}^{-3}$.

- zugegebene Sperrmediummenge

Zur Konstanthaltung des Sperrmediumspiegels muß stets so viel Sperrmedium zudosiert werden, wie der seitliche Volumenzuwachs der Kaverne ausmacht. Diese Menge im voraus zu bestimmen ist schwierig. In der Praxis erhält man Anhaltswerte, nach denen man sich in etwa richten kann und die durch Einmessung des Spiegels kontrolliert werden.

10.2. Ermittlung des täglichen Hohlraumzuwachses

Aus der täglichen Gesamtsole- bzw. Wassermenge und der durchschnittlichen Solekonzentration (Salzlast) wird die ausgetragene Salzmenge C berechnet:

$$G = Q_{\text{Sole}} C_{\text{mittel}} \quad \text{bzw.} \quad (15)$$

$$G = 0,96 - 0,98 Q_{\text{Wasser}} C_{\text{mittel}} \quad (16)$$

Das freie Volumen wird daraus berechnet:

$$V_{\text{frei}} = \frac{G}{d_{\text{Salz}} - (0,7 \text{ bis } 0,8) C_{\text{mittel}}} \quad (17)$$

$d_{\text{Salz}} = 2,15 \text{ bis } 2,25 \text{ g cm}^{-3}$, aus den Salzkernen der Bohrung bestimmt

$(0,7 \text{ bis } 0,8) \cdot C_{\text{mittel}} = \text{Volumen, das mit Sole gefüllt bleibt und nicht durch die Solemengenmessung über Tage erfaßt wird}$

Gesamtvolumen:

Für die Bestimmung des Gesamtvolumens muß der unlösliche Rückstand mit erfaßt werden.

$$V_{\text{ges}} = 1,00 \text{ bis } 1,20 V_{\text{frei}} \quad (18)$$

Die Beziehungen Gl. (15) bis Gl. (18) werden zu einer Formel zusammengefaßt:

$$V_{\text{ges}} = \frac{Q_{\text{Sole}} C_{\text{mittel}} \cdot (1,00 \text{ bis } 1,20)}{d_{\text{Salz}} - (0,7 \text{ bis } 0,8) C_{\text{mittel}}} \quad (19)$$

die alle Werte, die zur Berechnung des Volumens notwendig sind, enthält.

Die Summe der täglich gesolten Volumina ergibt dann bei Solende den Gesamthohlraum der Kaverne, der durch die echometrische Vermessung zu bestätigen ist.

10.3. Messung der Drücke am Sondenkopf

Die Funktion des Sperrmediumkopfdruckes als Mittel zur Überwachung des Solespiegels wurde bereits erwähnt. Veränderungen des Kopfdruckes bei konstantem Wasserdurchsatz deuten immer auf eine Verschiebung des Solespiegels hin, der dann durch Zugabe oder Wegnahme von Sperrmedium wieder eingestellt wird. Der Kopfdruck der Sole und des Wassers wird ebenfalls in kurzen Abständen kontrolliert und im Sondenbuch dokumentiert. Bei konstanter Wassermenge stellen sich auch konstante Drücke ein, die mit Feinmeßmanometer bis auf $0,1 \text{ kp cm}^{-2}$ gemessen werden. Plötzliche Druckveränderungen haben immer eine technologische Ursache und sind ein Anzeichen für defekte Solstränge, Rohrbrisse oder eine drohende Verstopfungsfahr.

10.4. Sedimentation des Rückstandes, Verstopfung des Solstranges

Die Verstopfung der Solgarnitur ist eine häufige Komplikation, die zumeist beim Solbeginn auftreten kann. Obwohl in der ersten Etappe der Breitsolphase direkt gesolt wird, kommt es nur zum geringen Austrag der unlöslichen Bestandteile, da die Aufstiegeschwindigkeit der Sole geringer als die Sinkgeschwindigkeit des Rückstandes ist.

Aufstiegeschwindigkeit bei $Q_{\text{Wasser}} = 100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$:

Kavernendurchmesser in m	Aufstiegeschwindigkeit in cm s^{-1}
0,2	88,5
1,0	3,5
2,0	0,9
4,0	0,2
6,0	0,1

Das anfängliche Volumen der Kavernenbohrung von der Bohrlochsohle bis zum 2 bis 4 m darüber postierten Rohrschuh des inneren Solstranges beträgt nur $0,2$ bis $0,4 \text{ m}^3$, das sich bei 10

bis 15% verunreinigtem Salz innerhalb kurzer Zeit (8 bis 12 d) mit unlöslichem Rückstand füllt.

Die Sedimentation hängt ab von der Korngröße des Unlöslichen. Je nach Feinheit rechnet man mit einem Auflockerungsfaktor von $K_A = 1,2$ bis $2,0$. Das bedeutet, daß nach Aussolung von 10 m^3 Salz mit einem 12%igen Anteil von unlöslichen Bestandteilen bereits

$$V_{\text{Rest}} = 0,12 \cdot 10 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ m}^3$$

Rückstand anfällt, der sich zu etwa 90% an der Kavernensohle sedimentiert und zu etwa 10% ausgetragen wird.

Mit zunehmendem Kavernenvolumen und steigender Höhe des Rückstandes verringert sich der Auflockerungsfaktor, d. h., der Schlamm verdichtet sich.

Ober die Form des abgelagerten Rückstandes, ob kegelig oder mit gleichmäßigen Flankenwinkeln, bestehen unterschiedliche Auffassungen, wobei die Solrichtung (direkt oder indirekt) eine Rolle spielt.

Der Flanken- oder Schüttwinkel wird mit 30 bis 35° angenommen. Obersteigt die Höhe des Rückstandes den Rohrschuh des zentralen Solstranges, wird bei ununterbrochenem und konstantem Wasserdurchsatz der Kopfdruck des Wassers langsam ansteigen und zunehmend Schlamm ausgetragen werden. Dieses Alarmsignal muß man beachten und den Solstrang höherziehen.

Bei plötzlicher Änderung des Solregimes oder bei Stillstand besteht die Gefahr, daß der labile Schüttkegel zusammenfällt und den Rohrschuh des zentralen Solstranges zuschüttet. Der Kopfdruck steigt wasserseitig und fällt solesseitig plötzlich ab, der Solprozeß wird unterbrochen. Wird der Solstrang nach sofortiger Umkehr der Spülrichtung von indirekt auf direkt nicht frei, muß mit einem Fracaggregat und maximalem Druck versucht werden, Umlauf zu spülen. Wird der Solstrang auch bei nachfolgenden Zugversuchen nicht frei, ist er im unteren Teil zu torpedieren und abzuwerfen.

Um diese Art Havarie zu vermeiden, ist speziell in der Anfangsphase des Solens erhöhte Aufmerksamkeit und gewissenhafte Beobachtung der Meßgrößen erforderlich.

Bei planmäßiger Unterbrechung des Solprozesses soll die Wassermenge stetig über einen längeren Zeitraum (1 bis 2 Tage) vermindert werden.

10.5. Dauer der Solararbeiten

Die gesamte Solzeit bis zum Erreichen des geplanten Hohlraumes ist eine Funktion der Wassermenge und der Solekonzentration.

Um hohe Konzentrationen zu erzielen, sind große aktive Lösungsflächen - also hohe Kavernen - oder aber eine geringe Schüttungsmenge notwendig. Zum effektiven Solen gibt es ein Optimum, bei dem mit hoher Schüttungsmenge auch eine ausreichend hohe Konzentration erzielt werden kann. Insbesondere nach der Breitsolphase ist dieses Problem jedoch von untergeordneter Bedeutung, da die maximale Schüttungsmenge dann von anderen Faktoren begrenzt wird.

Die Wasserbereitstellung, die Pumpenausrüstung und die Möglichkeiten der Solebeseitigung begrenzen die Höhe der Wasserdurchsatzmenge. Von nicht zu unterschätzendem Einfluß ist der quadratisch mit der Wassermenge steigende hydraulische Druckverlust in den übertägigen Leitungen und dem Solstrang.

Zusammenfassend ist zum Wasserdurchsatz in Abhängigkeit der technischen Voraussetzungen zu sagen:

- maximale Wassermenge Q_W ist abhängig von der zulässigen Strömungsgeschwindigkeit in der Solgarnitur = 5 m s^{-1} . Wird dieser Wert überschritten, kann es zum Vibrieren der Rohre und zum Durchspülen der Gewinde kommen.
- maximale Wassermenge ist abhängig von den zulässigen Drücken der Pumpen, der Leitungen und der Bohrung (Rohrschuhbereich der Produktionsrohrtour)
- maximale Wassermenge ist abhängig von der Wasserbereitstellung und dem Soleabstoß

In der Regel wird ein Solbetrieb mit maximalem Wasserdurchsatz nicht praktiziert, weil es ökonomisch unzweckmäßig ist. Unter Beachtung des Fertigstellungstermins für die Kaverne

wird das Optimum der Spülrate durch die Kosten der Wasserzuführung, die zeitabhängigen Kosten für den laufenden Solbetrieb (Abschreibung, Löhne) und durch die Kosten für den Soleabstoß bestimmt.

Neben der reinen Solzeit gibt man die technologische Solzeit an, die mögliche Stillstände, Ausfallzeiten, Rohrzieharbeiten und Hohlraumvermessungen berücksichtigt.

Für Kavernen der Größenordnung 50 000 bis 200 000 m³, die mit 8 5/8" x 5 3/4" Solsträngen ausgerüstet sind, beträgt der übliche Wasserdurchsatz je nach Teufenlage der Kaverne und der übertägigen Ausrüstung 50 bis 120 m³ h⁻¹, für Großkavernen liegt er bei 80 bis 150 m³ h⁻¹.

Für zwei Kavernen mit 280 000 und 500 000 m³ Nutzvolumen werden die mit verschiedenen Spülraten erreichbaren Solzeiten wie folgt angegeben:

Daten der Kavernen:

Solstränge 9 5/8" und 7"

direktes Solverfahren in zwei Scheiben von unten nach oben
1150 bis 1350 m und 650 bis 1150 m

Gesamthöhe: 500 m

Form: rotationssymmetrischer Zylinder

10% Anhydrit im Steinsalz

Q _w in m ³ h ⁻¹	280 000 m ³		500 000 m ³	
	technische Solzeit in Monaten	Q _w ges. in Mio m ³	technische Solzeit in Monaten	Q _w ges. in Mio m ³
100	41	2,65	67	4,4
200	22	2,8	35	4,6
300	16	3,0	24	4,82
400	12	3,2	19	5,0
500	10	3,34	16	5,3
600	9	3,5	14	5,46

Die optimale Spülrate liegt bei 200 bis 350 m³ h⁻¹.

Für eine 250 000-m³-Kaverne mit 8 5/8 x 5 3/4"-Solsträngen sind beim Verfahren der angenäherten Rohrstände folgende Solzeiten in Abhängigkeit der Wassermenge zu erreichen:

Q_w in m ³ h ⁻¹	reine Solzeit in Monaten	technische Solzeit in Monaten
150	18,2	21,5
120	21,4	25,8
100	24,5	29,4
80	29,1	35,0
50	48,1	56,0
40	57,5	69,0