

5. Errichtung der Kaverne

5.1. Eigenschaften des Steinsalzes

Steinsalz in ausreichender Mächtigkeit und Festigkeit ist die Voraussetzung für das Anlegen einer Kaverne. Das Salz im Gebirgsverband ist sowohl für flüssige als auch für gasförmige Stoffe undurchlässig, also ideal für Speichierzwecke.

Die Löslichkeit von Steinsalz (NaCl) ist nur in geringem Maße von der Temperatur des Lösungsmittels (Wasser) abhängig, bei 0°C werden in 100 Gewichtsteilen H_2O 35,5 Teile NaCl und bei 100°C 39,6 Teile NaCl gelöst. Die Löslichkeit von zwischengelagerten Schichten (KCl - Kaliumchlorid, MgCl_2 - Magnesiumchlorid, Anhydrit) ist gegenüber Steinsalz verschieden, so daß beim Aussolen dieser Schichten Auskesselungen oder Verengungen in der Kaverne auftreten.

Salzgestein, das in reiner Form ansteht, ist ideal für den Aussolprozeß, jedoch ist der Solbetrieb auch noch bei über 30% Verunreinigungen im Salz durchführbar. Diese Verunreinigungen werden beim Aussolen im Kavernensumpf abgelagert oder bei sehr feiner Verteilung mit der Sole ausgetragen. Dann empfiehlt es sich, die Sole vor dem Weitertransport durch ein Absetzbecken zu leiten. Je größer der Anteil an nichtlöslichen Stoffen ist (Kernanalyse), um so größer muß der Kavernensumpf eingeplant werden.

Steinsalz ist unter gebirgsmechanischen Verhältnissen ein plastisches, also fließfähiges Gestein. Bei Druckentlastung tritt eine Volumenverringerng der Kaverne ein, sie konvergiert. Die Verformung ist zeit-, temperatur- und druckabhängig.

Die einachsige Druckfestigkeit von Steinsalz beträgt bis 400 kp cm^{-2} . Diese Angabe (Kernuntersuchung) ist für die Festlegung der Schweben erforderlich.

Die Dichte des Steinsalzes schwankt je nach Verunreinigungsgrad zwischen $2,15$ bis $2,25 \text{ g cm}^{-3}$.

Die maximal zu erhaltende Soledichte ist abhängig von der Temperatur, bei 20°C beträgt sie $d_s = 1,205 \text{ g cm}^{-3}$ bei einem Salzgehalt von $323,8 \text{ g l}^{-1}$. Von Dünnssole wird bei $d_s = 1,172 \text{ g cm}^{-3} = 271,1 \text{ g l}^{-1}$ oder 25 Masse-% NaCl und von Voll-

sole bei $d_s = 1,2 \text{ g cm}^{-3} = 316,7 \text{ g l}^{-1}$ oder 26,4 Masse-% gesprochen.

Steinsalz besitzt eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit von etwa $3 \text{ bis } 7 \text{ W m}^{-1} \text{ grad}^{-1}$, deren Kenntnis in Zusammenhang mit der Gebirgstemperatur für den Speicherbetrieb (Erwärmung des Speichergutes in Abhängigkeit von der Kavernengröße und Lagerzeit) von Bedeutung ist.

Mit zunehmender Temperatur, z. B. von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ auf $100 \text{ }^\circ\text{C}$, steigen die Viskosität = Plastizität η_{pl} um das 10fache, die Elastizität E bzw. der Verformungsmodul um das 3- bis 4fache und auch die Fließgrenze τ_0 um das 3- bis 4fache.

5.2. Einhaltung der Schweben

Unter Schweben versteht man das unverritzte Salzgebirge unter- und oberhalb der Kaverne, die für die dauerhafte Standsicherheit der Kaverne notwendig sind. Die Mindestschwebenmächtigkeit wird, wie auch die seitlichen Sicherheitspfeiler zu benachbarten Kavernen, für die Kavernen in der DDR im Institut für Bergbausicherheit Leipzig an Hand der Festigkeitswerte des Salzes berechnet. Sie sind bei der Anlage der Kavernen aus Gründen der Bergbausicherheit unbedingt einzuhalten.

Die Mächtigkeit der Schweben ist eine Funktion des Kavernendurchmessers D , der Teufe H , der Dichte des Deckgebirges d_G , des minimalen Innendruckes p_0 , der Druckfestigkeit und der Dichte des Steinsalzes d_s . Der gewählte Sicherheitskoeffizient hängt ab von der geplanten Standzeit der Kaverne und den Betriebsdrücken. Er beträgt z. B. für die Hangendschwebe für geringe Standzeiten (Wochen bis Monate) = 2, für lange Standzeiten (Jahrzehnte) = 3; für die Schwebe im Liegenden der Kaverne, wozu auch das mit den unlöslichen Bestandteilen des Salzes aufgefüllte Volumen des Kavernensumpfes zu zählen ist, wird kein zusätzlicher Sicherheitskoeffizient berücksichtigt. Formelmäßig wird das Verhältnis Schwebenhöhe h : Durchmesser der Kaverne D berechnet. Die Schwebenhöhe h ist um so größer, je geringer der Restdruck in der Kaverne p_0 und je größer der Durchmesser ist. Um vertretbare Schwebemächtigkeiten zu er-

halten, wird man die Form und den Restdruck beim Speicherbetrieb (20 bis 30 kp cm^{-2}) unter gebirgsmechanischen Aspekten festlegen müssen.

5.3. : Anforderungen an die Kaverne

Die Erkundungs- bzw. Kavernenbohrung bringt die Entscheidung, ob eine Kaverne auf dem Salzstock oder Salzkissen angelegt werden kann. Es müssen dafür folgende ober- und untertägige Voraussetzungen erfüllt sein:

- solfähiges, standfestes Salzgestein mit ausreichender Festigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung
- Möglichkeit zur kontinuierlichen Gewinnung großer Frischwassermengen über den gesamten Solzeitraum und ebensolche zur schadlosen Beseitigung der anfallenden Sole
- günstige Lage des Speichers zum Verbraucher oder Erzeuger,
- eine dem Betriebsdruck und der -temperatur angemessene Teufenlage der Salzlagerstätte

Diese Kriterien gelten sowohl für die Planung von Flüssigkeits- als auch für Gaskavernen.

5.4. Gas- und Flüssigkeitskavernen

Flüssige und gasförmige Kohlenwasserstoffe haben unterschiedliche Viskositäten, Dichten und Kompressibilitäten. Wegen der geringen Viskosität und der hohen Drücke des Gases sind an die Dichtheit der Kavernen eines Gasspeichers höhere Anforderungen zu stellen.

Flüssigkeitskavernen werden beim Speicherbetrieb üblicherweise durch Verdrängung des Speichergutes durch Sole oder Wasser entleert. Kavernendruck und der wirksame Gebirgsdruck bleiben annähernd konstant.

Die Entnahme aus Gaskavernen erfolgt in der Regel durch Expansion des Gases. Der dem Gebirgsdruck entgegenwirkende Innendruck in der Kaverne ändert sich laufend mit jeder Einspeisung oder Entnahme. Diese Druckschwankungen gehen mit einer Tempe-

raturänderung einher, die sich beide negativ auf die Standsicherheit der Kaverne auswirken.

Die günstigste Form, die gebirgsmechanisch diesen veränderten Bedingungen am besten Rechnung trägt, ist eine Kugel. Die Spannungsverteilung an kugelförmigen Kavernen ist optimal, die Konvergenz am geringsten.

Konvergenz (Hohlraumschrumpfung) ist die Folge der plastischen Verformung des Salzes, sie nimmt mit steigender Temperatur und zunehmender Teufe (Druckbelastung) zu.

Das Konvergieren von Kavernen ist ein sehr langsam verlaufender Vorgang, bei dem Auswirkungen auf die Oberfläche so gering sind, daß auch in ungünstigen Fällen keine Gefährdung von Bauwerken zu befürchten ist.

Für die Berechnung der Standsicherheit von Kavernen sind drei Verfahren bekannt:

1. Festigkeitsversuche an Prüfkörpern aus Salz im Labor
2. Berechnung der Spannungsumlagerungszonen um die Kaverne
3. Berechnung nach Ähnlichkeitskriterien, d. h. Vergleich mit Kavernen gleicher Größe und ähnlicher Betriebsbedingungen, die über längere Zeiträume sicher betrieben werden.

Die für Gasspeicher geeignete Kugelform läßt sich soltechnisch jedoch sehr schwierig realisieren.

Für Flüssigkeitskavernen eignet sich eine Tropfen-, Birnen- oder Zylinderform. Vom soltechnischen Standpunkt lassen sich schlanke, hohe Kavernen mit einer großen Salzoberfläche, an der sich der Lösungsprozeß vollzieht, schneller und mit geringerem Gesamtbedarf an Wasser herstellen.

Bezüglich der Teufenlage von Kavernen bestehen ebenfalls Grenzen. Je tiefer die Kaverne angelegt wird, um so mehr Gas kann gespeichert werden und um so höher wird das Verhältnis von Aktivgas zu Kissengas. Unter Kissengas ist die zur Aufrechterhaltung des Rest- oder Mindestdruckes in der Kaverne verbleibende Gasmenge zu verstehen.

Es ist wirtschaftlich nicht optimal, Kavernen möglichst tief anzulegen und dann mit einem hohen Betriebsdruck zu betreiben. Mit zunehmender Teufe steigen die Investitionen und Kosten für die Errichtung und den Betrieb der Kaverne (Ausrü-

stung, Energie). Die Konvergenz steigt mit zunehmender Teufe, so daß im Laufe der Zeit mit einem größeren Verlust an nutzbarem Hohlraum gerechnet werden muß.

Die Aufteilung eines Speichervolumens einer tiefgelegenen Kaverne mit einem Betriebsdruck von 150 kp cm^{-2} , einem Nutzvolumen von $600\,000 \text{ m}^3$ und einer Speicherkapazität von 90 Mio m^3 (N) Gas auf drei kleinere und höher gelegene Kavernen zu je $300\,000 \text{ m}^3$ Nutzvolumen und 100 kp cm^{-2} und ebenfalls 90 Mio m^3 (N) Speicherkapazität ist letztlich wirtschaftlicher, da technologisch besser beherrschbar und mit einem wesentlich geringeren technisch-geologischen Risiko behaftet.

6. Soltechnik

6.1. Prinzip des Aussoles

Die Herstellung von Kavernen erfolgt durch gezieltes Aussolen von Salzablagerungen mittels Süßwasser an den Kontaktflächen Wasser/Salzgestein. Die dabei anfallende aufkonzentrierte Sole unterschiedlicher Konzentration wird nach über Tage gefördert. Die zu erzielende Konzentration der Sole hängt ab von der Durchsatzmenge und damit der Verweilzeit in der Kaverne und der Kavernengröße. Im Anfangsstadium, wo bei geringem Kavernenvolumen nur eine kleine Kontaktfläche Salz/Wasser vorhanden ist, kann trotz geringer Durchsatzmenge ($20 \text{ bis } 60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) nur eine geringe Aufsatzung ($100 \text{ bis } 150 \text{ g l}^{-1}$) erzielt werden. Zum Aussolen eines Hohlraumes von 1 m^3 werden anfänglich $25 \text{ bis } 30 \text{ m}^3$ Frischwasser benötigt, der durchschnittliche Wasserbedarf beträgt rund 10 m^3 für 1 m^3 Hohlraum (für Planungszwecke), bei voll ausgesalzener Sole sinkt dieser Wert auf $7 \text{ bis } 8 \text{ m}^3$ Wasser für 1 m^3 Hohlraum.

Der Aussolvorgang kann nach verschiedenen Verfahren erfolgen. Je nachdem, ob das Wasser in die innere oder zentrale Rohrtour eingepumpt wird und der Solerücklauf über den Ringraum zwischen innerem und äußerem Solstrang erfolgt (direktes Solen oder Gegenrichtung) oder umgekehrt, das Wasser über den Ringraum in die Kaverne und die Sole über den Steigraum

des inneren Solstranges nach über Tage gelangt, wird vom direkten oder indirekten (Normalrichtung) Solverfahren gesprochen. Beide Verfahren werden beim Solen einer Kaverne auch kombiniert und mit unterschiedlicher Technologie angewandt.

Die Begrenzung des Solvorganges nach oben wird bei allen Solverfahren durch den Einsatz eines Sperrmediums gewährleistet, so daß eine bestimmte Hohlraumform gezielt hergestellt werden kann und ein Hinterspülen des Rohrschuhs der Produktionsrohrtour auf jeden Fall ausgeschlossen wird.

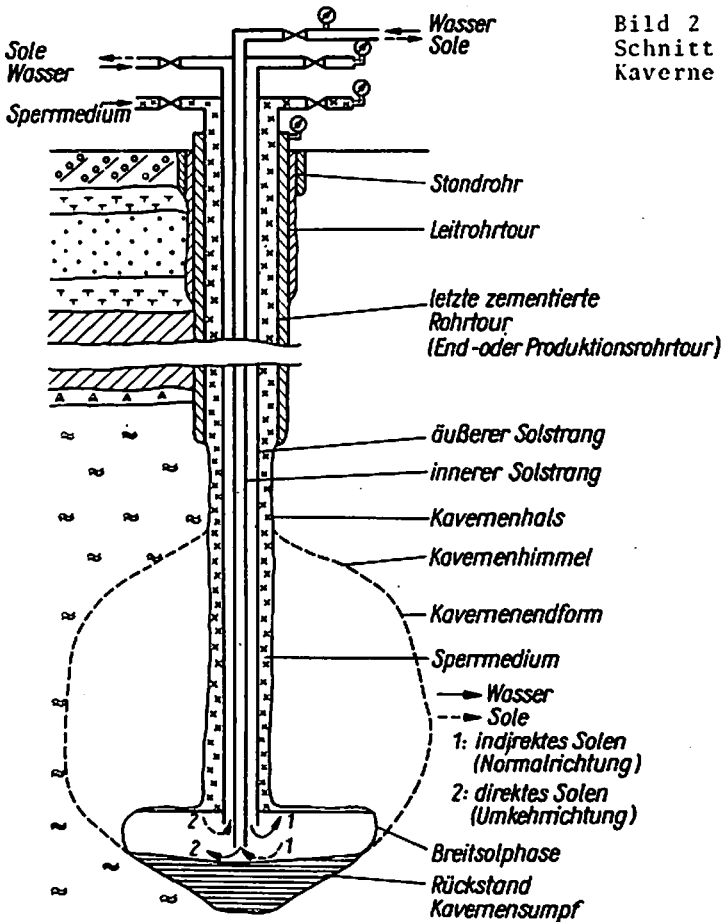


Bild 2
Schnitt durch eine Kaverne

Das Sperrmedium muß sich dem Salz gegenüber neutral verhalten und muß leichter als Wasser bzw. Sole sein. Es befindet sich im Ringraum zwischen dem äußeren Solstrang und der zementierten Produktionsrohrtour. Als Sperrmedium kommen Gase (Luft, Stickstoff, Erdgas) oder Flüssigkeiten (Diesel, Öl, Gasolin, Propan, Benzin) zum Einsatz.

6.2. Begriffsbestimmung

Anhand von Bild 2 wird zum besseren Verständnis ein Überblick über die beim Solen wiederkehrenden Bezeichnungen gegeben. Der Kavernenhals ist der Bereich von der Oberkante der Kaverne bis zum Rohrschuh der Produktionsrohrtour, der nicht ausgesolt werden darf. Sein Kaliber entspricht dem Bohrwerkzeugdurchmesser.

Unter dem geometrischen Volumen ist der gesamte soltechnisch hergestellte Hohlraum zu verstehen, einschließlich des im Kavernensumpf abgelagerten Rückstandes. Das freie oder Nettovolumen ist die Differenz von geometrischen und Rückstandsvolumen. Das Nutzvolumen einer Kaverne ist das mit Speichergut gefüllte Volumen.

$$V_{\text{geometrisch}} = V_{\text{frei}} + V_{\text{Rückstand}}$$

Die Kavernenherstellung erfolgt je nach Solverfahren in mehreren Etappen. Die erste ist die Breitsolphase, in der der unterste Hohlraum, der den insgesamt anfallenden Rückstand aufnehmen soll, gesolt wird. Es schließen sich eine oder mehrere Hochsolphasen an. In der letzten Solphase, der Endsolphase, wird durch entsprechende Manipulationen mit dem Sperrmedium der obere Abschluß der Kaverne, der Himmel, gestaltet.

6.3. Planung des Solprozesses

Variable Größen, mit denen der Solprozeß beeinflusst und gesteuert werden kann, sind:

- Einbauteufen der Solstränge
- Stand des Sperrmediums und
- Durchsatzmenge des Wassers

6.3.1. Breitsolphase

In der ersten Soletappe, der Breitsolphase, wird der unterste, gering mächtige, aber dem Enddurchmesser der Kaverne fast entsprechende Hohlraum gesolt.

Die Wasserdurchsatzmenge in der Breitsolphase ist gering, um ein höheres Aufsalzen der Sole zu erreichen. Gespült wird während der Anfahrphase in direkter Richtung. Damit wird erreicht, daß der tiefgelegene, 2 bis 3 m über der Bohrlochsohle postierte Rohrschuh des inneren Solstranges freigespült wird und ein Hohlraum geschaffen wird, der zur Aufnahme des Rückstandes dient. Die Dauer der Anfahrphase mit der direkten Solrichtung beträgt 2 bis 5 Wochen.

Bei Solunterbrechung und plötzlicher Änderung des Solregimes sowie bei Umkehr der Solrichtung zum Sperrmediumnachweis (Öl) kann es zum Zusammenrutschen des "V-förmig" abgelagerten Rückstandes (Flankenwinkel 30 bis 35 °) und zur Verstopfung des eventuell bereits im Rückstand befindlichen inneren Solstrangs kommen.

In der Regel beträgt das Volumen der Breitsolphase 10 bis 15% vom geplanten Gesamtvolumen.

Bei $V_{\text{geometr.}} = 100\ 000\ \text{m}^3$ müssen also in der Breitsolphase 10 000 bis 15 000 m^3 gesolt werden. Bei Volumen dieser Größenordnung wird es nicht zu umgehen sein, die Breitsolphase selbst in zwei Etappen zu solen, weil die Höhe des Rückstandes (bei 10% verunreinigtem Salz sind es 1000 bis 1500 m^3) we weit über den Rohrschuh des zentralen Solstranges reichen würde. Der Solprozeß wird also unterbrochen und die zentrale Rohrtour um einige Meter angehoben. Der Rohrschuh des äußeren Solstranges und der Stand des Sperrmediums werden dabei nicht verändert.

Der Abstand zwischen dem Rohrschuh beider Solstränge soll 10 bis 15 m nicht unterschreiten.

Ist das geplante Volumen der Breitsolphase nach der Dokumentation erreicht, wird die Form der Kaverne geophysikalisch vermessen. Dazu muß der innere Solstrang, weil ein gleichzeitiges Anheben und Ausbauen beider Solstränge nicht möglich ist, vollständig ausgebaut und der äußere um einige Meter bis über die derzeitige Kavernenoberkante angehoben werden. Zuvor wird das Sperrmedium aus der Kaverne abgelassen, die Kaverne wird entspannt.

Nach Auswertung der Hohlraumform der Kaverne kann die nächste Soletappe beginnen, indem die Solstränge und das Sperrmedium auf eine neue Teufe eingestellt werden.

Während die Breitsolphase bei allen Solverfahren prinzipiell übereinstimmt, erfolgt der weitere Solprozeß nach verschiedenen Technologien.

6.3.2. Solverfahren: Scheibensolung

6.3.2.1. Scheibensolung von unten nach oben

Das scheibenweise Solen der Kaverne erfolgt in der gleichen Art wie das Aussolen der Breitsolphase. Die Solstränge werden jeweils um eine zuvor festgelegte Höhe (etwa 20 bis 40 m) gezogen und auf diese Weise von unten nach oben Scheibe um Scheibe ausgesolt, wobei der Abstand der beiden Rohrschuhe konstant bleibt.

Das Sperrmedium befindet sich am oder kurz über dem Rohrschuh des äußeren Solstranges. Es ist sowohl die direkte als auch die indirekte Solrichtung möglich.

Als Orientierungswert für die Soldauer einer Scheibe nimmt man einen mittleren Durchmesserzuwachs je Tag von 0,2 m an. Zum Solen eines Durchmessers von 10 m werden dann 50 Tage benötigt, unter der Voraussetzung, daß voll ausgesalzene Sole gefördert wird. Ist der projektierte Durchmesser erreicht, werden die beiden Solstränge wieder um die nächste Scheibenhöhe emporgezogen.

Die Kavernenwandung ist bei gleicher Soldauer jeder Scheibe wegen der unterschiedlichen Lösungsgeschwindigkeit und der schwankenden Durchsatzmenge und Temperatur nicht gleichför-

mig ausgebildet. Es bestehen deshalb berechtigte Bedenken, daß vorspringende Absätze in der Kavernenwandung während der Entleerungsphase beim Erstbefüllen der Kaverne mit Gas abbrechen und Schäden am Entleerungsstrang verursachen bzw. beim Speicherbetrieb das eingebrachte Abdeckmedium durchschlagen. Ein offensichtlicher Nachteil dieses Solverfahrens besteht in der diskontinuierlichen Arbeitsweise. In periodischen Abständen müssen die Solstränge angehoben werden. Über die gesamte Soldauer wird also eine Anlage zum Ziehen der Solstränge gebunden. Kennt man aus der Kernanalyse und der geophysikalischen Vermessung das genaue Salzprofil und seine Eigenschaften, wie Dichte, Anteil und Verteilung unlöslicher Bestandteile und anderer Salze, sowie unterschiedliche Lösungsgeschwindigkeit über der Kavernenteufe, so ist selbst bei stark inhomogenem Salzprofil die Realisierung der geplanten Kavernenform soltechnisch möglich.

Über das Ausmaß der Lösungsgeschwindigkeit von Kalisalzen, insbesondere des Carnallits, das im Kaliflöz Staßfurt anzutreffen ist, liegen nur wenige soltechnische Erfahrungen vor. Die Lösungsgeschwindigkeit des Carnallits hängt von den strömungsdynamischen Verhältnissen in der Kaverne sowie vom $MgCl_2$ -Gehalt der Sole ab. Die Lösung des $MgCl_2$ aus dem Doppelsalz Carnallit erfolgt bis zur völligen $MgCl_2$ -Sättigung, d. h., auch bei Stillstand des Solbetriebes wird aus dem Carnallitgestein das Carnallitmineral selektiv herausgelöst, und es kommt zur Taschen- und Fingerbildung.

Der selektive Lösungsfortschritt von Carnallitgestein gegenüber Steinsalz wird mit dem 3- bis 4fachen eingeschätzt. In einem stark vereinfachten Beispiel (Bild 3) wurden Gesteinszonen gleicher Lösungsgeschwindigkeit ausgewählt, die in einer Scheibe gesolt werden. Bei der angenommenen Lösungsgeschwindigkeitsverteilung über der Teufe wird in fünf Abschnitten gesolt, bei denen Salz gleicher Löslichkeit ansteht.

Die geplante zylinderförmige, nach oben verjüngte Kaverne wird durch verschieden lange Solzeit der Scheiben je nach der zu erwartenden Lösegeschwindigkeit realisiert.

Höhe	Scheibe	Lösungs- geschwin- digkeit	Salz + An- teile an Unlöslichem	geplanter Kavernen- durchmesser	Solzeit
m	-	md ⁻¹	%	m	d
10	I	0,25	NaCl + 10	16	16 : 0,25 = 64
35	II	0,20	NaCl + 15	20	20 : 0,20 = 100
15	III	0,40	NaCl + Kali	20	20 : 0,40 = 50
30	IV	0,25	NaCl + 10	16	16 : 0,25 = 64
10	V	0,15	NaCl + 20	12	12 : 0,15 = 80
100	I-V				358

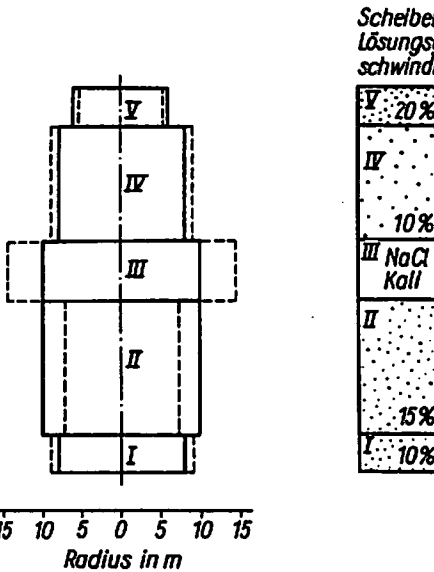


Bild 3
Solverfahren:
Scheibensolen

— Kavernenform
bei Wahl der
Solzeit gemäß
Salzlöslich-
keit
- - - - Kavernenform
bei konstan-
ter Solzeit
von 72 Tagen
je Scheibe

So schematisch vereinfacht, wie im Bild 3 dargestellt, ist die Planung des Solprozesses in der Praxis nicht. Allein zur vollständigen Erfassung der prozentualen Salzanteile und ihrer Lösungsgeschwindigkeit sind komplexe geophysikalische Messungen erforderlich, die mittels EDV (Solsimulator) ausgewertet werden.

Welche Auswirkungen bezüglich der Formgestaltung der Kaverne das scheibenweise Solen ohne Kenntnis der unterschiedlichen Lösungsgeschwindigkeiten des Salzes hat, ist ebenfalls aus Bild 3 zu erkennen. Die gesamte Solzeit beträgt 358 Tage, teilt man diese Zeit in 5 gleich lange Solintervalle von

72 Tagen, ergibt sich eine andere, ungünstigere Kavernenform (---Linie). In der Tat ist in der Praxis die ungleichförmige Ausbildung der Kavernenwandung ein entscheidender Nachteil des Scheibensolens, der sich havariegefährdend beim weiteren Solbetrieb auswirkt. Abbrechende Schollen aus den Seitenwänden können den Solstrang mechanisch zerstören und abschlagen. Abhilfe kann durch den Einsatz von elastischen Kunststoffrohren unterhalb des Sperrmediums geschaffen werden, die wiederum den Nachteil geringer Außendruckfestigkeit aufweisen und bei Verstopfungen sofort einbeulen.

6.3.2.2. Scheibensolung von oben nach unten

Das Verfahren des Scheibensolens ist auch von oben nach unten möglich. Voraussetzung dafür ist jedoch absolut reines Salz, weil Ablagerungen von unlöslichen Bestandteilen, die sich am Boden sedimentieren, dann die Lösung des Salzes verhindern würden.

Der Bedarf an Sperrmedium ist sehr hoch, da der obere geschaffene Hohlraum vollständig damit auszufüllen ist.

6.3.2.3. Scheibensolung kombiniert

Die kombinierte Anwendung des scheibenweisen Solverfahrens ist wie folgt denkbar:

- Breitsolphase → direkt oder indirekt
- scheibenweises Hochsolen → direkt oder indirekt
- letzte Scheibe und Himmel → von oben nach unten gesolt

Mit dieser Methode läßt sich ein gebirgsmechanisch günstiger oberer Abschluß der Kaverne herstellen, indem kontinuierlich mehr Sperrmedium hinzugegeben wird, als der Volumenzuwachs durch den Solprozeß am Kavernenhimmel beträgt.

Die Folge ist, daß der Spiegel Sperrmedium - Sole langsam von oben nach unten abgesenkt und dadurch die gewünschte Formbildung realisiert wird.

6.3.2.4. Indirektes und direktes Scheibensolen

Mit der bereits erwähnten direkten oder indirekten Fahrweise lassen sich im Prinzip dieselben Kavernenkonfigurationen erzielen.

Direkt gesolt wird grundsätzlich zu Beginn der Solararbeiten, der Anfahrphase, um ein Einsedimentieren des Solstranges zu verhindern. Besonders bei großem Anteil unlöslicher Bestandteile in den Salzsichten (über 10 bis 15%) ist dies von Bedeutung. Das direkte Solen dauert gegenüber dem indirekten Verfahren unter gleichen Bedingungen etwa 15 bis 20% länger. Das hat seine Ursache im Vermischungsprozeß des von unten nach oben aufsteigenden Süßwassers mit der auf Grund der Schwerkraft nach unten sinkenden spezifisch schwereren Sole.

Beim indirekten Solverfahren fließt das aus dem Ringraum zwischen den Solsträngen austretende Süßwasser an der Kavernenwandung abwärts und löst dabei das Salz auf. Die Strömung ist also nicht der natürlichen Fließrichtung entgegengesetzt. Mit dieser Solrichtung lassen sich höhere Konzentrationen erreichen.

Durch die kürzere Soldauer beim indirekten Solen sinken die Energie- und zeitabhängigen Kosten beim Solen, so daß diese Fahrweise ökonomischer ist.

Technologisch besser zu beherrschen - auch in Anbetracht der Kontrolle des Sperrmediumspiegels - ist das direkte Solverfahren. Eine Kombination beider Solrichtungen ist die aus den USA bekannte "Rückspülmethode".

Bei diesem Verfahren wird im Wechsel direkt und indirekt gespült. Es wird damit erreicht, daß die während des direkten Spülens im Kavernensumpf angesammelten unlöslichen Bestandteile beim anschließenden Umstellen auf die indirekte Fahrweise nach über Tage ausgespült werden. Das Verfahren ist bei niedrigen Gehalten von unlöslichen Bestandteilen im Salz anwendbar.

Selbstverständlich sind bei dieser Methode Vorrichtungen zur Reinigung der Sole, bevor diese in obertägigen Leitungssystemen abtransportiert wird, vorzusehen.

6.3.3. Solverfahren der angenäherten Rohrstände

Das Solverfahren der angenäherten Rohrstände, das in der sowjetischen Literatur publiziert wird und in der Sowjetunion und in der DDR bereits praktiziert worden ist, arbeitet nach einem anderen Prinzip.

Im Gegensatz zum Scheibensolen wird das Sperrmedium nicht in Rohrschuhnähe des äußeren Solstranges, sondern gleich an der geplanten Kavernenfirste eingestellt.

Im Anschluß an die Breitsolphase wird also die gesamte restliche Kavernenhöhe in einer Phase, der sogenannten Hochsolphase, gesolt.

Das aus dem Ringraum zwischen den Solsträngen, die einen minimalen Abstand von etwa 20 m aufweisen, austretende Süßwasser steigt auf Grund der Dichtedifferenz zur Sole nach oben, vermischt sich dabei an der langen aktiven Solfläche mit der abwärts fließenden Sole und löst das Salz über die ganze Kavernenhöhe. An der großen Fläche geht der Lösungsprozeß langsam und stetig vor sich. Plötzliche Durchmesserdifferenzen und Vorsprünge in der Kavernenwandung, wie sie beim Scheibensolen auftreten können, sind bei diesem Solverfahren nicht ausgeprägt. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß die Rohrstände über einen sehr langen Zeitraum nicht verändert werden müssen. Das periodische Höherziehen wie beim Scheibensolen entfällt.

Der Solprozeß wird nur für die zwischenzeitlichen Hohlraumvermessungen unterbrochen. Zum Ausbau des inneren Solstranges und zum teilweisen Ziehen des äußeren bis über den Kavernenhimmel ist der Einsatz einer transportablen Anlage (Typ T 50 oder A 50) vorgesehen, die nach Beendigung der Hohlraumvermessung und Wiedereinbau der Solstränge auf andere Objekte umgesetzt werden kann. Sind auf einem Kavernenfeld von benachbarten Kavernen bereits gewisse Erfahrungen vorhanden, kann man die Anzahl der Hohlraumvermessungen auf ein Minimum reduzieren.

Die Hohlraumentwicklung ist in den verschiedenen Phasen

- a) Anfahrphase
- b) Breitsolphase
- c) Hochsolphase mit Zwischentappen und
- d) Endsolphase im Bild 4 dargestellt.

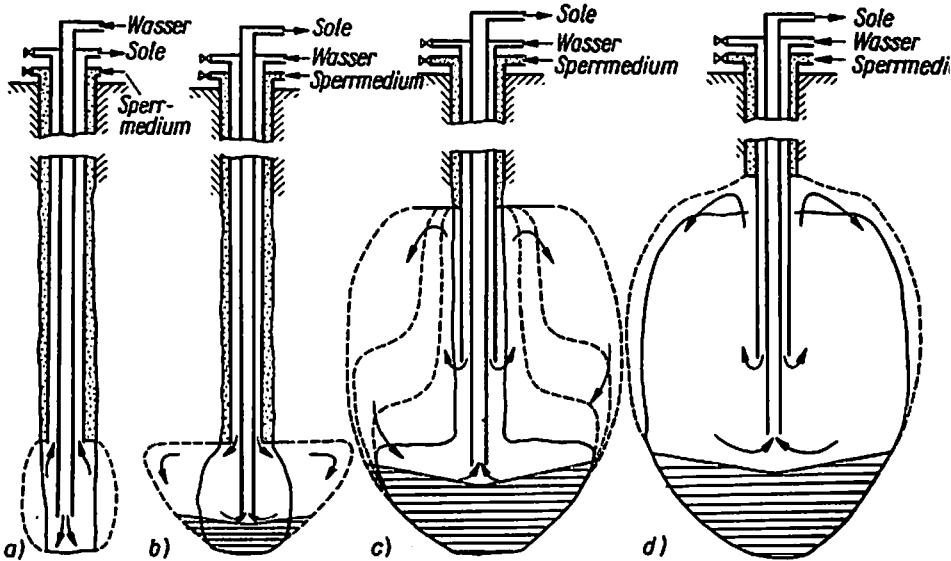


Bild 4. Solverfahren der angenäherten Rohrstände

6.3.4. Aussolen des Himmels

Wie bereits mehrfach erwähnt, ist der Ausbildung des Kavernenhimmels besondere Beachtung zu schenken.

Unter gebirgsmechanischen Aspekten ist für die Standsicherheit der Kavernen ein halbkugelartiger oberer Abschluß wünschenswert. Eine Erweiterung und ein flacher Abschluß müssen verhindert werden.

Die Form des Himmels wird in der letzten Phase, der sogenannten Endsolphase, mit Hilfe eines kontinuierlich veränderten Sperrmediumstandes gebildet.

Der Himmel kann sowohl von oben nach unten durch Zugabe von volumenmäßig mehr Sperrmedium als der Volumenzuwachs durch

das Aussolen ausmacht, als auch in umgekehrter Richtung, von unten nach oben, durch kontinuierliche Wegnahme des Sperrmediums gebildet werden. Das Schwierige bei diesem Prozeß ist die Überwachung des Sperrmediumstandes. Es besteht leicht die Gefahr, daß zuviel Sperrmedium aus der Kaverne gelassen wird und der Spiegel über den Bereich der zementierten Produktionsrohrtour angehoben wird. Ein Kubikmeter Sperrmedium bewirkt im kaliberhaltigen Kavernenhals bereits eine Veränderung des Solespiegels um 10 m (bei einem Durchmesser von 346 mm).

Insbesondere bei gasförmigen Sperrmedien, bei denen der Spiegel nicht genau eingehalten werden kann, solt man sicherheits- halber den Himmel von oben nach unten.