

Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beim Abbau der alpinen Salzlagerstätten

Peter Ambatiello

*BHS-Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke AG
Salzbergwerk Berchtesgaden, D-8240, Berchtesgaden*

ZUSAMMENFASSUNG

Die alpinen Salzlagerstätten, in der Fachliteratur auch als alpines Salinar bezeichnet, unterscheiden sich in ihrer geologischen Ausbildung grundsätzlich von Salzlagern kristalliner Struktur. Das Salz liegt als Gemenge von Steinsalz, Nebensalzen (untergeordnet), Ton, Mergel, Anhydrit, Polyhalit und anderen Komponenten vor. Der verwertbare Anteil in dem salzführenden pseudokonglomeratischen Mischgestein beträgt durchschnittlich 50%. Diese Lagerstättencharakteristik erfordert die Anwendung des nassen Abbaues in Verbindung mit einem speziellen Vorrichtungungsverfahren zur Erstellung der notwendigen Reaktions- bzw. Initialhohlräume. Die bisherige arbeits- und materialkostenintensive bergmännische Erstellung der Initialhohlräume durch Schächte und Kammern wurde durch ein bohr- und spültechnisches Verfahren bei gleichzeitiger Vergrößerung der Abbauhöhe von 30 m auf 100 m ersetzt. Die Vorrichtung des Abbaublockes erfolgt nunmehr durch Niederbringen eines Bohrloches von 670 mm Ø im Lufthebebohrverfahren bis—125 m unter Streckensohle. Im Teufenbereich von—125 bis—100 m wird mit intermittierender Betriebsweise spültechnisch ein trichterförmiger Initialhohlraum von 30 m Durchmesser und einer mittleren freien Höhe von 5–7 m entsprechend einem Volumen von ca. 3500 bis 5000 m³ durch Herauslösen des Salzes aus dem Gebirgsverband und hydraulischer Förderung der hierbei anfallenden unlöslichen Komponenten erstellt. Gegenüber der bisherigen bergmännischen Vorrichtung wird bei einem verfahrenstechnischen Rationalisierungserfolg von 22,2% die 3-fache Mineralmenge aufgeschlossen. Gleichzeitig konnten die Aufschlußkosten je t Mineral um 58,8% gesenkt werden.

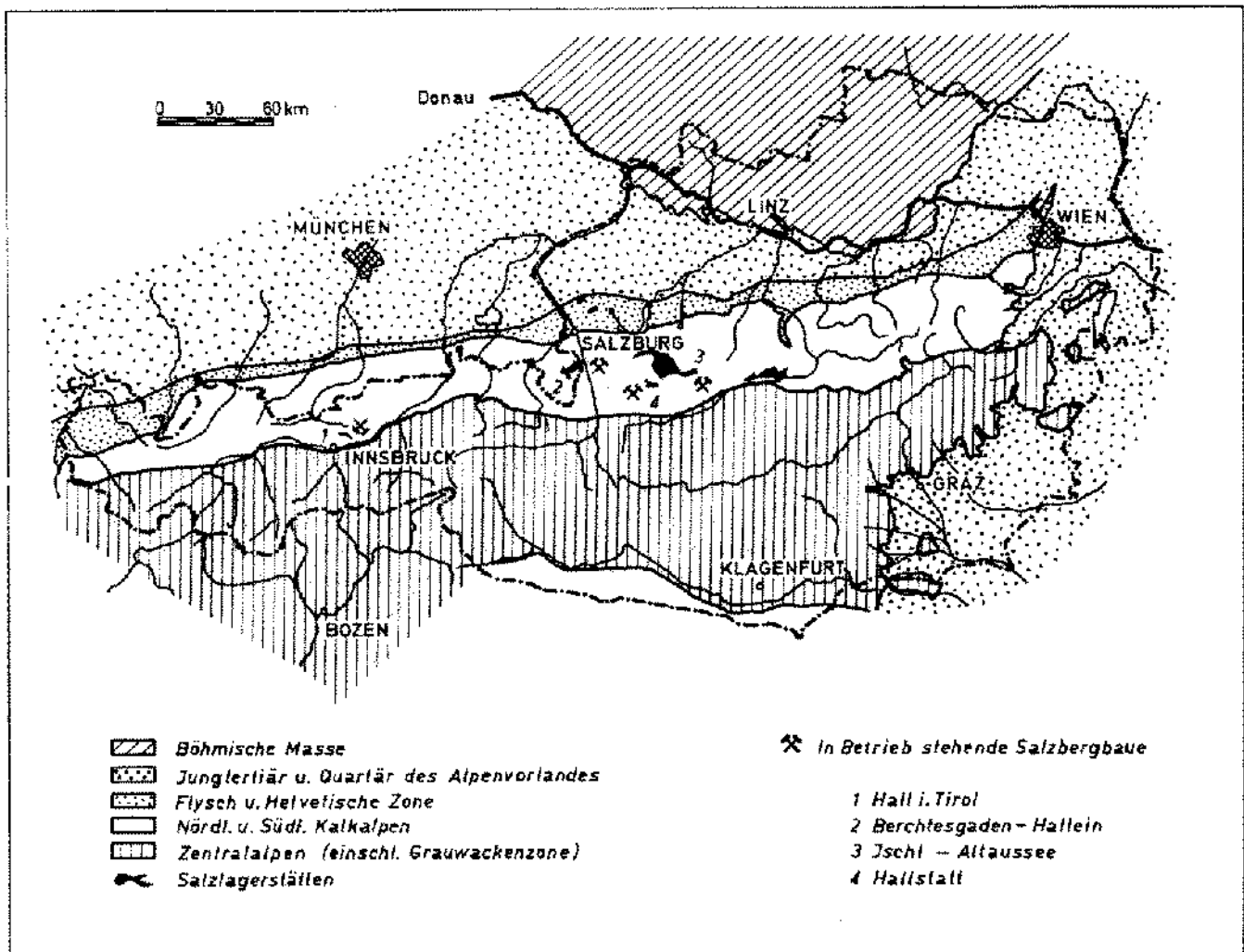
GEOLOGIE

Das Salzbergwerk Berchtesgaden baut auf einer permotriadischen Lagerstätte, die zum alpinen Salinar gehört. Es handelt sich hier um eine schmale salzführende Zone der nördlichen Kalkalpen (Fig. 1), die von Hall in Tirol im Westen bis nahe Wien im Osten reicht. Dieser salzführende Gesteinszug bildet nach O. Schauburger (1953), eine Kette von nicht miteinander verbundenen Steinsalz- und Gipsaufbrüchen. Die am besten entwickelten Salzvorkommen liegen im mittleren Bereich der ost-west streichenden Salinarzone zwischen Berchtesgaden in der BRD und Altaussee in Österreich.

Das in seiner heutigen Form vorliegende salzführende Gestein ist unter dem Sammelbegriff "Haselgebirge" in die geologische Fachsprache eingegangen. Nach O. Schaubur-

ger (1953), der in einer Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten die Grundlagen für die Kartierung des alpinen Haselgebirges gelegt hat, "stellt das Haselgebirge im engeren Sinne eine spezielle Gesteinsausbildung innerhalb des alpinen Salzgebirges dar, nämlich ein pseudokonglomeratisches Mischgestein, bestehend aus einer Grundmasse von feinst miteinander vermengtem Steinsalz und Ton, in der verschieden große und gleich- oder verschiedenartige, eckige bis kantengerundete Salztonbrocken, fallweise auch Anhydrit, Polyhalit- und Sandsteinknauern, als Einsprenglinge in scheinbar regelloser Anordnung dicht gepackt liegen."

Der NaCl-Anteil in diesem Gemenge von Steinsalz, Nebensalzen (die allerdings untergeordnet), Ton, Mergel, Anhydrit, Polyhalit und anderen Komponenten beträgt im Salzvorkommen von Berchtesgaden durchschnittlich 50%.



Figur 1. Alpine Salzvorkommen (nach O. Schauberg).

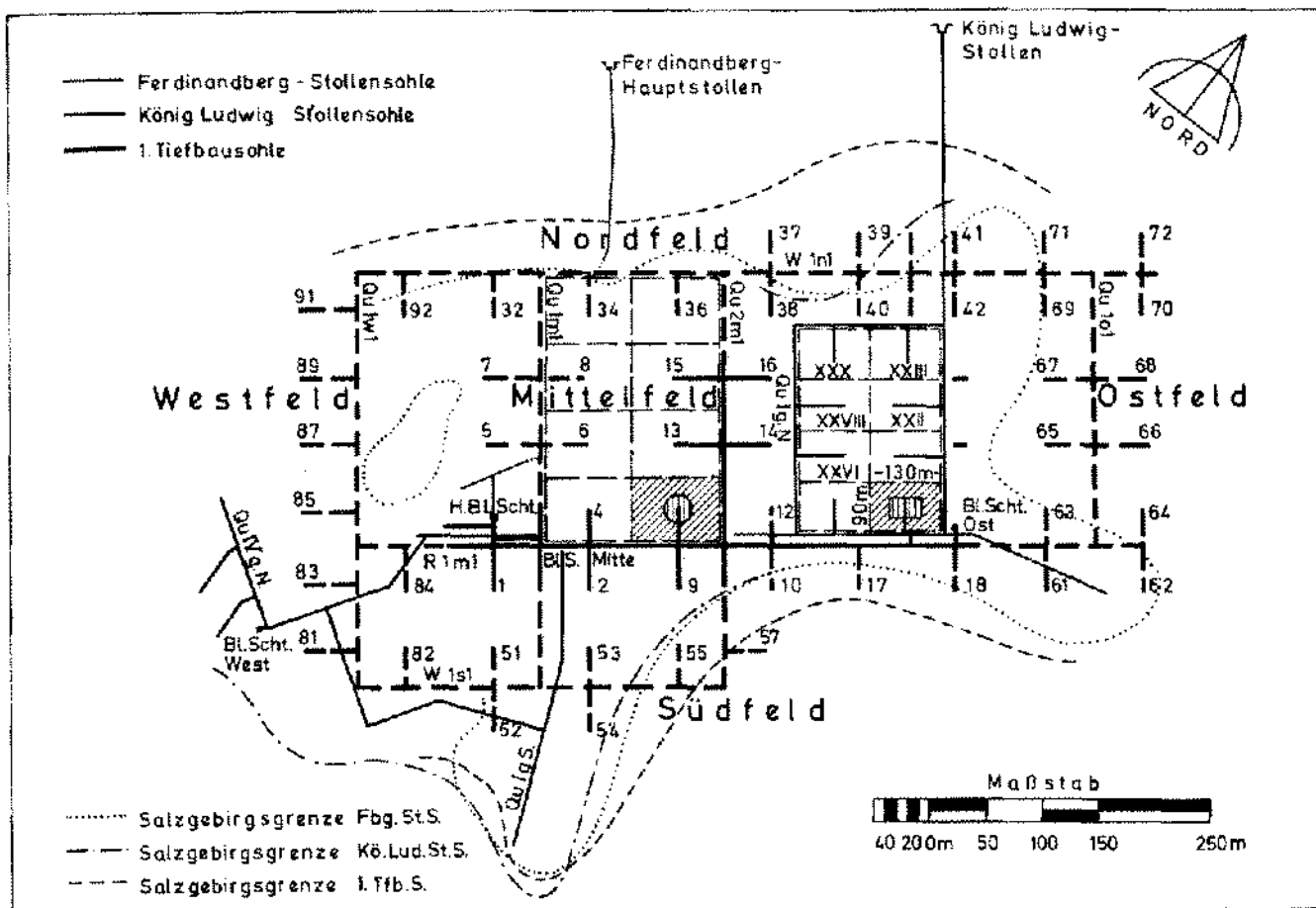
ABBAUVERFAHREN

Die oben beschriebene Charakteristik des alpinen Salinars, die insbesondere durch die heterogene Ausbildung und das in fein verteilter Form vorliegende Salz gekennzeichnet ist, bestimmt auch das Abbaufverfahren. Es wird der "nasse Abbau" in Form des im alpinen Salzbergbau verbreiteten Sinkwerksbaues angewendet.

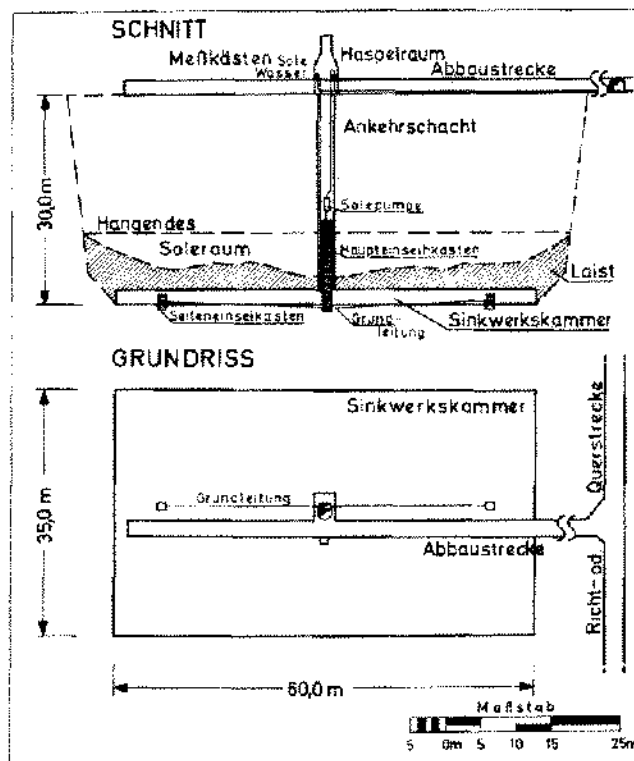
Voraussetzung für den Abbau bzw. die Gewinnung auf nassem Wege ist das Vorhandensein von Initial- bzw. Reaktionshöhlräumen, in denen die Herauslösung des Salzes mittels Süßwasser aus dem Gebirgsverband und Überführung in eine konzentrierte Salzlösung (Soie) bei gleichzeitiger Absetzung der während des Lösungsvorganges anfallenden wasserunlöslichen Bestandteile, die unter dem Sammelbegriff "Laist" zusammengefaßt werden, in den vorher erstellten Hohlräumen erfolgen kann.

BERGMÄNNISCHES VORRICHTUNGSVERFAHREN

Die Vorbereitung zum Abbau bzw. zur Gewinnung erfolgt durch die bergmännische Auffahrung von sogenannten Sinkwerkskammern, sie entsprechen den oben erwähnten Initial- bzw. Reaktionshöhlräumen. Der bis 1973 gültige Abbauabschnitt (Fig. 2) teilte eine Bausohle in einzelne Bauabschnitte oder Abbaufelder von 380×270 m ein, in denen jeweils 8 Gewinnungsbetriebspunkte (Sinkwerkskammern) angelegt wurden. Jedem Gewinnungsbetriebspunkt wurde ein Abbaublock mit den Abmessungen $L = 130$ m, $B = 90$ m und $H = 30$ m zugeordnet. Die Vorrichtung eines Abbaublockes, in deren Verlauf der Initialhöhlraum (Sinkwerkskammer) angelegt wird, erfolgte bis dahin in der Weise (Fig. 3), daß ausgehend von einer Richt- oder Querstrecke eine Abbaustrecke, die sogenannte Ankehr-



Figur 2. Salzbergwerk Berchtesgaden, Abbaufeldeinteilung.



Figur 3. Salzbergwerk Berchtesgaden, Vorrichtung einer Sinkwerkskammer.

schachtricht, bis in den Mittelpunkt des für den Abbau vorgesehenen Blockes auf dem jeweiligen Niveau der Bausohle vorgetrieben wurde. Im Zentrum des Abbaublockes wurde dann entsprechend der vorgegebenen Bauhöhe ein 30 m tiefer Schacht mit einem Durchmesser von 2,20 m abgeteuft, von dem aus der Initialhohlraum, eine Kammer von 35×60 m Grundfläche und 2 m Höhe bergmännisch in Bohr- und Sprengarbeit aufgeföhren wurde.

Mit diesen Vorrichtungsmaßnahmen war der Block für den Abbau bzw. die Gewinnung vorbereitet. Durch Füllen der Kammer (Initialhohlraum) mit Süßwasser wird das Salz aus dem Gebirgsverband, d.h. an den Stößen und am Hangenden, herausgelöst, während gleichzeitig die unlöslichen Bestandteile wie Ton, Anhydrit, Polyhalit und andere Komponenten (Laist) zu Boden sinken. Mit diesem Vorgang ist eine Volumenvergrößerung des Initialhohlraumes und eine Vergrößerung der Hangendfläche verbunden. Der Abbau schreitet kontinuierlich bei einer später im Regelfall vorgegebenen Hangendfläche von 3000–3500 m² täglich um 1 cm nach oben fort, dies entspricht einer Lebensdauer für den Gewinnungsbetriebspunkt von ca. 10 Jahren. Gewonnen werden in diesem Zeitraum aus dem beschriebenen Abbaublock bei einem durchschnittlichen NaCl-Gehalt im Gebirge von 50% ca. 300 000 m³ vollgesättigte Sole. Der Ausnützungsgrad der Lagerstätte liegt damit bei rund 18%.

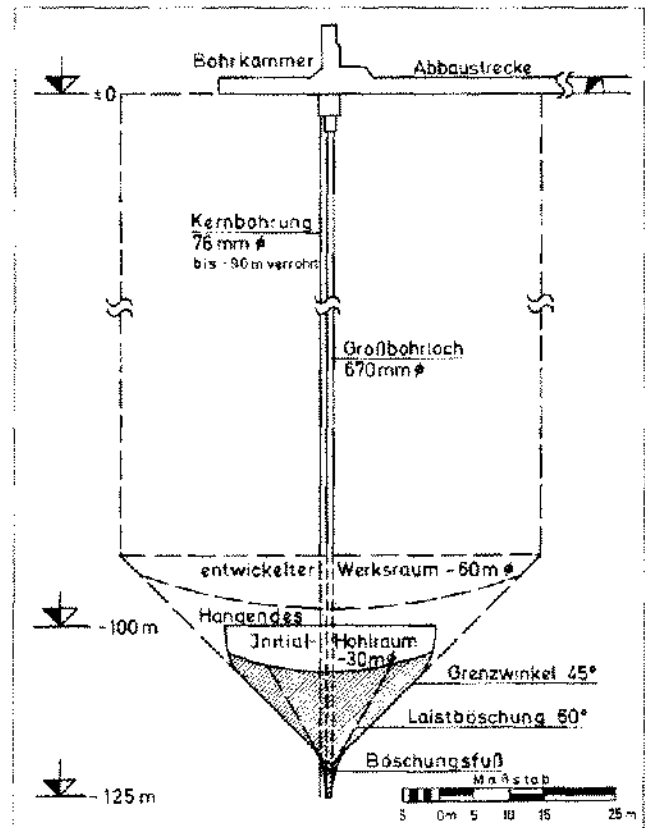
KOMBINIERTES BOHR- UND SPÜLTECHNISCHES VORRICHTUNGSVERFAHREN

Mit dem langsamen Auslaufen der derzeitigen Hauptabbausohle und dem im Jahre 1973 eingeleiteten Aufschluß der ersten Tiefbausohle sowie dem damit verbundenen Übergang in den Tiefbau wurde das vorher beschriebene arbeits- und materialkostenintensive ausschließlich bergmännische Vorrichtungsverfahren durch ein kombiniertes bohr- und spültechnisches Verfahren ersetzt. Die Umstellung des Grubenbetriebes auf das kombinierte Vorrichtungsverfahren und die Vergrößerung der bisherigen Abbauhöhe von 30 m auf 100 m machte auch die Anpassung des Abbauzchnittes an die neuen Verhältnisse notwendig. Jedem Gewinnungsbetriebspunkt wird nunmehr ein Abbaublock mit den Abmessungen $L = 160$ m, $B = 120$ m und $H = 120$ m zugeordnet. Damit ergibt sich für das einzelne Abbau Feld mit 8 Gewinnungsbetriebspunkten eine Größe von $L = 480$ m und $B = 320$ m (Fig. 2).

Der Aufschluß bzw. die Vorrichtung eines Abbaublockes gliedert sich in folgende Verfahrensgänge (Fig. 4).

1.0 Bergmännischer Teil

- 1.1 Aufföhren der Abbaustrecke (Ankehrschachtricht)
- 1.2 Aufföhren der Bohrkammer



Figur 4. Salzbergwerk Berchtesgaden, Vorrichtung eines Initialhohlraumes mit dem Bohr- und Spülverfahren.

2.0 Bohrtechnischer Teil

- 2.1 Niederbringung einer Kernbohrung
- 2.2 Niederbringung einer Großlochbohrung

3.0 Spültechnischer Teil

Erspülung eines trichterförmigen Initialhohlraumes durch Herauslösen des Salzes aus dem Gebirgsverband und hydraulische Förderung der hierbei anfallenden unlöslichen Komponenten.

Analog dem bisherigen Vorrichtungsverfahren wird der Abbaublock bausöhlig durch eine Abbaustrecke (Ankehrschachtricht) mit einem Querschnitt von $2,4 \times 2,2$ m aufgeschlossen. An die Aufföhren der Abbaustrecke schließt sich die Aufföhren der Bohrkammer bzw. des Maschinenraumes an. Die Bohrkammer (Maschinenraum) hat eine Größe von 180 m². Sie dient zunächst zur Aufstellung der Bohranlagen einschließlich der dazugehörigen Einrichtungen und später zur Installation der Meß- und Kontrolleinrichtungen für den Gewinnungsbetrieb.

Zur qualitativen und geologischen Untersuchung des Abbaublockes wird eine Kernbohrung von 76 mm AØ (Kern-Ø = 46 mm) im Seilkernbohrverfahren bis auf eine Tiefe von -125 m unter Streckensohle ca. 2,5 m neben

dem geplanten Ansatzpunkt für die Großlochbohrung niedergestoßen. Während bei der rein bergmännischen Vorrichtung des Initialhohlraumes die genauere Kenntnis der mineralogisch-petrographischen Zusammensetzung des Salzgebirges untergeordnete Bedeutung hat—lediglich die Bauwürdigkeit des für den Abbau vorgesehenen Lagerstättenteiles muß gegeben sein—ist für die optimale Anwendung des Bohr- und Spültechnischen Vorrichtungsverfahrens die genauere Kenntnis der inneren Struktur, d.h. der mineralogisch-petrographischen Zusammensetzung des Salzgebirges und das Verhalten der an ihr beteiligten Bestandteile von grundlegender Bedeutung.

Auch können aus den Untersuchungsbohrergebnissen Schlüsse gezogen werden, wo gegebenenfalls mit technischen Schwierigkeiten z.B. infolge größerer Einlagerungen wie Anhydrit, Gips, Polyhalit usw. während der Hohlraumerstellung zu rechnen ist.

Das als Kernbohrung niedergebrachte Bohrloch wird bis—90 m unter Streckensohle verbohrt und während der Hohlraumerstellung sowie später bei der Gewinnung als Sonden- und Meßbohrloch für die Überwachung der Hohlraumform benutzt.

Wie in Fig. 4 dargestellt ist, erfolgt der saigere Aufschluß des Abbaublockes durch die Niederbringung eines Großbohrloches mit 670 mm Ø bis auf eine Teufe von —125 m unter Bausohlenniveau. Für die Niederbringung der Bohrung kommt eine Lufthebebohranlage mit 55 kW Antriebsleistung, Flanschbohrgestänge von 150 mm lichter Weite und ein Meißel bestückt mit 5 auswechselbaren Rollen zum Einsatz. Als Spülungsmedium wird Sole verwendet, die ständig frei von Bohrklein gehalten werden muß. Dies ist deshalb notwendig, da der starke Tonanteil in der Lagerstätte innerhalb kürzester Zeit zur totalen Versteifung der Spülung und dadurch zur Lahmlegung der Bohrarbeit führt. Aus diesem Grunde wird das Bohrklein einschließlich der Spülung über ein Wuchtsieb geleitet, wo die Korngrößen über 16 mm abgeschieden werden. Den Kornanteil unter 16 mm einschließlich Spülung pumpt eine Kanalradpumpe in ein Schlammabsetzbecken (aufgelassene Sinkwerkskammer). Die sich hier klärende Solespülung wird mit einer vierstufigen Kreiselpumpe dem Bohrtriebspunkt als frisches Spülungsmedium wieder zugeleitet und dem Bohrloch zugesetzt.

Bei ständig wechselnden Druckfestigkeiten des Salzgebirges von 340–880 kp/cm² beträgt der durchschnittliche Bohrfortschritt einschließlich aller Nebenzeiten bei einem maximalen Bohrandruck von 10–11 t 0,7 m/h. Der durchschnittlich maximal erreichte Bohrfortschritt liegt bei 0,92 m/h.

Die Ermittlung der Druckfestigkeit des heterogen aufgebauten Haselgebirges, dessen Qualität, wie eingangs berichtet, durch eine Vielzahl von Faktoren, wie NaCl-Gehalt und verschiedene unlösliche Komponenten, gekennzeichnet ist, wurde an würfelförmigen Prüfkörpern, die auf einer Presse lufttrocken bis zum Bruch belastet wurden, ermittelt.

Da das Haselgebirge an der Bohrlochsohle durch das Spülungsmedium durchfeuchtet wird, wurde dieser Einfluß in Bezug auf die Druckfestigkeit gleichfalls untersucht, um entsprechende Erkenntnisse für den Bohrbetrieb zu gewinnen. Die Untersuchungen zeigten jedoch, daß die in Sole gelagerten Salzgebirgsprüfkörper erst nach mehrstündiger Lagerung durch Zerfall bzw. Aufweichung der tonigen Bestandteile stark an Festigkeit verloren. Andere Prüfkörper, die im wesentlichen aus Anhydrit und reinem Steinsalz bestanden, nahmen keine Sole auf. Die Festigkeit blieb praktisch unverändert. Für den Bohrbetrieb kann daher der Einfluß der Durchfeuchtung vernachlässigt werden. Damit ist während der Niederbringung der Großlochbohrung allgemein mit wechselnden Druckfestigkeiten von 340–880 kp/cm² zu rechnen und die Bohrarbeit entsprechend darauf einzustellen.

Nach Abschluß der saigeren Vorrichtungsmaßnahme beginnt die spültechnische Herstellung des Initialhohlraumes. Für dessen Anlage steht der Teufenbereich von —125 m bis—100 m unter Streckensohle zur Verfügung. In intermittierender Betriebsweise, d.h. durch Füllen des leergepumpten Bohrloches mit Süßwasser und anschließender Leerförderung des unlöslichen Rückstandes wird eine langsame trichterförmige Erweiterung des Bohrloches erreicht.

Angestrebt wird in dem vorgegebenen Teufenbereich die Erstellung eines trichterförmigen Hohlraumes von rund 3000–5000 m³ Inhalt bei einem Durchmesser von ca. 30 m, einer Fläche von ca. 700 m² am Hangenden und einer mittleren freien Höhe von 5–7 m. Diese ist wesentliche Voraussetzung für die Erweiterung der Hangendfläche auf die für das nasse Gewinnungsverfahren nach Art des alpinen Sinkwerksbaues notwendige Größe von 3000–3500 m².

Bei dererspülung des Initialhohlraumes kommt es also in der Anfangsphase darauf an, den bei der Erweiterung des Bohrloches anfallenden wasserunlöslichen Rückstand aus Ton, Anhydrit, Gips usw. (Laist) sofort nach Entstehung herauszufördern. Nur so ist gewährleistet, daß eine Hohlraumentwicklung in die Breite stattfindet. Große Bedeutung ist daher den Eigenschaften des Laistes beizumessen. Eingehende Untersuchungen über den Kornaufbau und die mineralogische Zusammensetzung des Laistes haben zu dem Ergebnis geführt, daß die an der Zusammensetzung des Haselgebirges beteiligten Salztone sich nicht nur in der Farbe, sondern auch in ihren Eigenschaften bzw. in den Eigenschaften ihrer Sedimente unterscheiden.

Der Kornaufbau kann durch folgende Mittelwerte gekennzeichnet werden:

Tonanteil	<0,002 mm	13%
Schluffkorn	0,002–0,06 mm	26%
Sandkorn	0,06–2,00 mm	56%
Kieskorn	>2,00 mm	5%
		100%

Die Minerale der Tonfraktion $<0,002$ mm sind Illit, Chlorit und Kaolinit. Eisenoxyd ist örtlich in wechselnden Mengen vorhanden.

In den Schluff- und Sandfraktionen kommen folgende Minerale vor: Glimmer, Quarz, Dolomit, Kalzit, Anhydrit und Gips.

Die Kiesfraktion >2 mm besteht im grauschwarzen Salzton aus Tonsteinen, kristallinen Schiefern und Anhydritaggregaten, im roten Salzton aus Anhydrit- und Quarzaggregaten.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß 95% des Laistes auf Aggregate aus Ton und Feinschluff entfallen, die im Kornaufbau von Feinschluff bis zur Kiesfraktion reichen; auch die Sandfraktionen bestehen ausschließlich aus Aggregaten. Als Kittsubstanz fungieren Anhydrit, Gips, Carbonate und Kieselsäure.

Die am meisten verbreitete Laistart im Berchtesgadener Vorkommen, die sich überwiegend aus schwarzgrauem und nur untergeordnet aus rötlichem Salzton zusammensetzt, entspricht in ihrem Verhalten mehr dem eines Sandes bzw. schluffig verunreinigten Sandes, als dem eines Tones. Rasche Wasserabgabe, rasches Absetzen, verhältnismäßig dichte Lagerung des Sedimentes und hohe Reibung, infolge der tonig-schluffigen Verunreinigungen, kennzeichnen diese Art des Rückstandes und führen zu dem raschen Zustandekommen einer die Teilchen verklebenden Kohäsion. Die durch Laborversuche ermittelten Werte für die innere Reibung schwanken von $\rho = 27,5^\circ - 31,5^\circ$. Sie stimmen mit den in einer leeren Sinkwerkskammer gemessenen natürlichen Laistböschungswinkeln von durchschnittlich $20^\circ - 25^\circ$ in etwa überein.

Die dazugehörigen Kohäsionswerte liegen zwischen $0,18 \text{ kp/cm}^2$ und $0,32 \text{ kp/cm}^2$, wobei der Minimalwert von $0,18 \text{ kp/cm}^2$ eine Ausnahme darstellt. Unter Vernachlässigung des untersten Wertes ergibt sich ein durchschnittlicher Kohäsionswert von $0,295 \text{ kp/cm}^2$.

Erstrebenswert wäre hiernach, die Raumentwicklung unter dem natürlichen Böschungswinkel von $20^\circ - 25^\circ$ vorzunehmen. Aus Versuchen in situ ist bekannt, daß diese Werte nur mit sehr großem Zeitaufwand zu erreichen sind. Für das Bohr- und spültechnische Verfahren ist jedoch diese Methode wirtschaftlich nicht vertretbar.

In weiteren Großversuchen in situ wurde ermittelt, daß der Laist auf einer Gleitfläche von 45° noch "rutscht." Bei der Initialhohlraumentwicklung wird durch verfahrenstechnische Maßnahmen, insbesondere durch entsprechend gesteuerten Füllvorgang, ein Anschneiden der Bohrlochwand unter 45° erreicht, d.h. während der Füllung des Bohrloches mit Süßwasser erweitert sich dieses unter einem Grenzwinkel (Aufsiedewinkel) von 45° , wobei NaCl in Lösung geht

und der unlösliche Rückstand das trichterförmig erweiterte Bohrloch auffüllt. Hieran schließt sich die Ausförderung des Rückstandsmaterials mit der Lufthebebohranlage an. Bei diesem Vorgang wird mit der Gestänge- und Meißel-einheit bis auf Bohrlochsohle langsam heruntergebohrt und gleichzeitig das hereinböschende Laistmaterial erfaßt und gefördert. Infolge der hohen Kohäsion des Materials bleiben die Laistböschungen bei 60° stehen. Dieser Wert entspricht der aufgrund der Scherfestigkeitswerte ermittelten theoretischen Böschungsneigung von $55^\circ - 60^\circ$ bei spültechnisch erstellten Initialhohlräumen. Durch ständige Erzeugung einer Turbulenz mit einer dem Meißel nachgeschalteten Quirl- oder Flügelstange und hydromechanische Beanspruchung im Bohrlochtiefsten wird eine Zerstörung des Böschungsfußes und Nachrutschen des sich im Bereich von 45° bis 60° angesammelten Laistes erreicht.

Zur vollständigen Leerförderung des auf der Gleitfläche lagernden Laistes wird der Ringraum durch einen Drehpre-venter abgeschlossen und das Bohrloch sowie der Initialhohlraum durch Hereindrücken von Druckluft in den Ringraum und Absenken des Flüssigkeitsspiegels bei ständigem Drehen sowie Auf- und Abfahren der Bohreinheit bis zum Bohrlochtiefsten leergefördert. Die Absenkung des Flüssigkeitsspiegels bewirkt zusätzlich eine Entwässerung des auf der Gleitfläche verbliebenen Laistmaterials und damit sein Nachrutschen zum Bohrlochtiefsten. Durch die beschriebene Maßnahme ist eine fast vollständige Ausförderung des Laistes aus dem bis dahin entwickelten Hohlraum erreichbar.

Die dargestellte Verfahrensweise wiederholt sich im Teufenbereich von—125 bis—100 m vielfach und solange bis der angestrebte Initialhohlraum entsprechend der Qualität des jeweils anstehenden Haselgebirges von rund 3500–5000 m³ erstellt ist.

WIRTSCHAFTLICHKEIT

Mit der Einführung des kombinierten Bohr- und spültechnischen Vorrichtungsverfahrens wurde eine Senkung des Arbeitsaufwandes gegenüber der rein bergmännischen Vorrichtung und damit ein verfahrenstechnischer Rationalisierungserfolg von 22,2% erzielt. Durch die Vergrößerung der Abbauhöhe von 30 m auf 100 m wird der dreifache Mineralvorrat aufgeschlossen. Dadurch konnten die Aufschlußkosten je t Mineral um 58,8% gesenkt werden.

LITERATUR

Schauberger, O. Zur Genese des alpinen Haselgebirges. Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, Jg. 1953. Bd. 105.