

ENTWICKLUNG EINES ABBAUMODELLES FOR DIE BOHRLOCH-SOLEGEWINNUNG
IM ALPINEN SALZBERGBAU

von

M. Hoscher +)

Vortrag vor der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft,
gemeinsam mit der Österreichischen Geologischen Gesellschaft
am 6. Mai 1985

1. Allgemeines

Der Anteil Österreichs an der europäischen Salzproduktion beträgt ca. 0,7 %. Ist dieser Anteil auch gering, so stellt die Solegewinnung und in weiterer Folge die Salzerzeugung in Österreich einen erheblichen Wirtschaftsfaktor dar.

Der Salzbedarf Österreichs ist in den vergangenen drei Jahrzehnten kontinuierlich angestiegen. Die jährliche Soleproduktion in den österreichischen Salzbergbau stieg von $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ im Jahre 1946 auf ca. $2,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ im Jahre 1981, wobei der Mannschaftsstand von 862 auf 285 sank (34, 35). (Die in Klammern angeführten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis.) Die österreichische Salzerzeugung 1981 belief sich auf 463.875 to. Die dafür benötigte Solemenge wurde bereits zu ca. 40 % mit Hilfe des Bohrlochsoleverfahrens erspült. Die Sole- und Salzerzeugung der Österreichischen Salinen AG sind in den Abb. 1 und 2 dargestellt.

2. Abbauverfahren in den alpinen Salzlagerstätten

2.1 Allgemeines

Die stockförmigen alpinen Salzlagerstätten werden im Stollenbau betrieben und sind sohlenweise aufgeschlossen. Der Sohlenabstand schwankt zwischen 35 - 40 m. Der Lagerstättenteil zwischen zwei Sohlen wird lokal auch als Scheibe bezeichnet.

Jede Scheibe wird in einzelne Abbaufelder eingeteilt. Der Abbau in den einzelnen Abbaufeldern erfolgt in kammerartiger Bauweise, durch Aufteilung der Abbaufelder in regelmäßige, voneinander durch Bergfesten getrennte Kavernen. Zum darüberliegenden Horizont werden Sicherheitsschweben belassen.

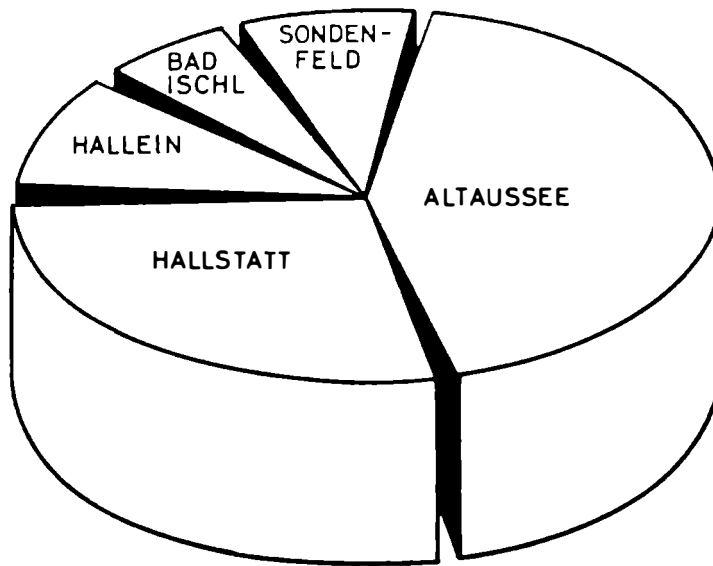
Der Abbau erfolgt generell von oben nach unten, die Aussolung der Kavernen in den einzelnen Sohlen aber von unten nach oben.

Die Wertstoffkomponente Natriumchlorid muß mittels Wasser aus dem Gebirgsverband gelöst werden, wobei gleichzeitig eine Trennung von den unlöslichen, tauben Bestandteilen erfolgt. Dies stellt eine besondere Art der Gewinnung dar, welche man auch als Aussolverfahren bezeichnet (15, 32).

Das Aussolverfahren kann in zwei Arten betrieben werden:

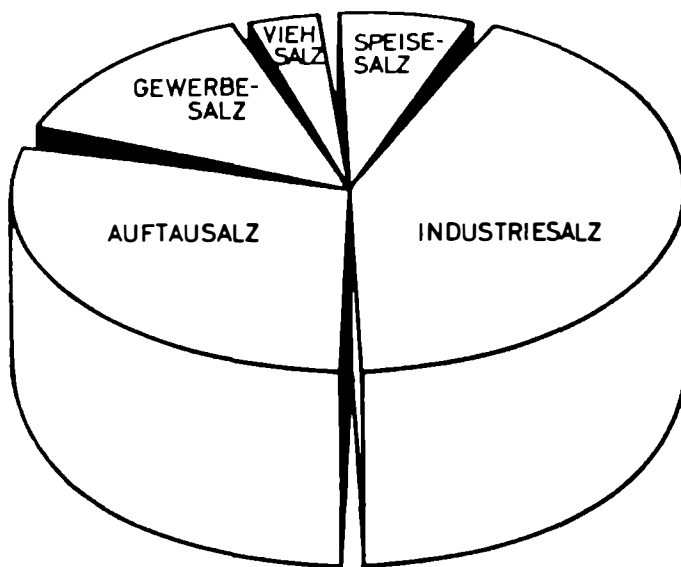
- drucklos (Normalwerksanlagen, Tiefenwerksanlagen),
- unter Druck (Bohrlochsonden, Bohrspülverfahren).

+) Anschrift des Verfassers:
Dipl.Ing. Dr. M. Hoscher
Österreichische Salinen AG
Salzbergbau Hallstatt

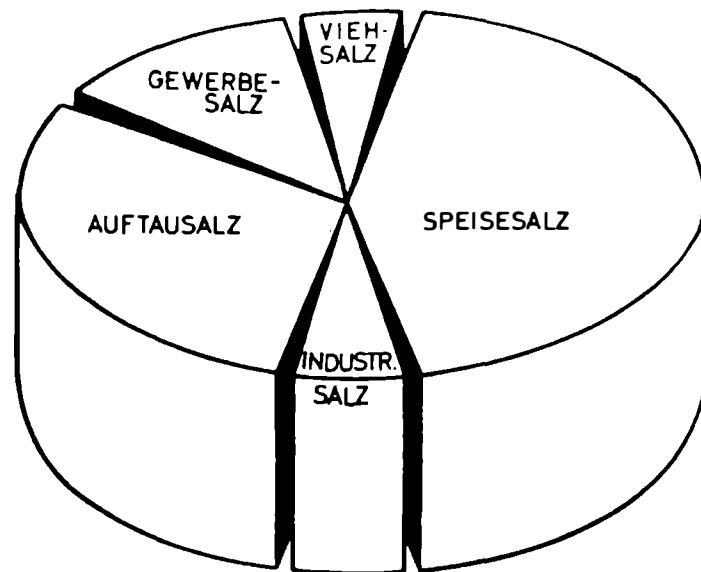


ALTAUSSEE	873 787 m ³	40 %
HALLSTATT	637 486	29 %
HALLEIN	169 645	8 %
BAD ISCHL	145 317	7 %
SONDENFELD	<u>356 480</u>	<u>16 %</u>
	2 182 715 m ³	100 %

ABB. 1 SOLEERZEUGUNG DER SALZBERGBAUE DER ÖSAG
IM JAHRE 1984.



MENGENBEZOGEN



ERLÖSBEZOGEN

SPEISESALZ	11 %	44 494 to	40.5 %
INDUSTRIESALZ	41 %	171 497 to	10.0 %
AUFTAUSALZ	28 %	113 059 to	26.0 %
GEWERBESALZ	14 %	55 602 to	15.0 %
VIEHSALZ	6 %	<u>26 028 to</u>	8.5 %
(Dazu kommen noch 565 582 m ³ Rohsole)		410 680 to	(Plus Erlös aus Industriesole)

ABB. 2: MENGEN- UND ERLÖSBEZOGENER SALZABSATZ IN ÖSTERREICH IM JAHRE 1984

2.2 Wichtige Kenngrößen der Abbauverfahren

Das folgende Kapitel gibt in kurzer Form einen Überblick über die wichtigsten Kenngrößen der Abbauverfahren in alpinen Lagerstätten. Diese Kenngrößen beziehen sich gemäß Abb. 3 vor allem auf das Normalwerksverfahren, Tiefenwerksverfahren und Bohrlochsoleverfahren. Es sei darauf verwiesen, daß es sich bei der Bezeichnung der Kenngrößen um eine Terminologie des österreichischen Salzbergbaues handelt!

Bei dem in Kap. 2.4 dargestellten Bohrspülverfahren sind aber noch zusätzliche Kenngrößen, vor allem in Hinblick auf die mineralogische Beschaffenheit der wasserunlöslichen Bestandteile des Haselgebirges und der Feststoffausförderung wichtig. Darauf soll jedoch nicht näher eingegangen werden, da dieses Verfahren nur der Vollständigkeit wegen erwähnt wird.

Die wichtigsten Kenngrößen sind:

-) Versudmaß H [m]

-) Laugleistung L [m³/1000 m²h]

2.3 Normalwerksverfahren, Tiefenwerksverfahren

Die Abbauhöhe (Versudmaß) von Normalwerksanlagen entspricht dem Vertikalabstand zweier Sohlen abzüglich der Sicherheitsschweben.

Bei Tiefenwerksanlagen erfolgt die Aussolung über mehrere Horizonte (in der Regel über drei Sohlen), aber wiederum unter Beachtung der notwendigen Sicherheitsschweben.

Bei den beiden Abbaumethoden werden zuerst ein Blindschacht (Pütte) abgeteuft und am Fuße ein Initialhohlraum, je nach Salzgehalt des zu verlaugenden Abbaukörpers von unterschiedlicher Größe (320 - 1.500 m³), ausgesprengt. Bei Normalwerksanlagen kann als Zugang zur Abbaukammer bzw. zum Initialhohlraum statt des Blindschachtes auch ein Schrägbau (Ankehrschurf) zur Auffahrung gelangen. Nach der Installation aller Einbauten (Filterkasten, Zuleitung, Ableitung, Pumpenkasten, Pumpe, Steuer- und Meßeinrichtungen) ist eine Werksanlage betriebsbereit. Im Anschluß daran beginnt die Aussolung. Die Abb. 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Normal- und Tiefenwerkes.

Die einzelnen Abbaukammern (Werksräume) stellen idealisiert einen Kegelstumpf bzw. Zylinder dar und weisen einen Selbstversatz (Laist = unlösliche Bestandteile) auf. Die freitragenden Deckenflächen (Himmelsflächen) haben einen maximalen Durchmesser $d = 80$ m, die freien Kammerhöhen (Höhe der Werksräume) sind vom jeweiligen Salzgehalt des Haselgebirges abhängig.

2.4 Bohrspülverfahren

Dieses Verfahren ist ausschließlich auf den Salzbergbau Berchtesgaden beschränkt. Der Unterschied zu den in Kap. 2.3 beschriebenen Verfahren besteht darin, daß keine bergmännische Vorrichtung des Aussolungskörpers erfolgt. Für die Herstellung des Initialhohlraumes gelangt ein bohr- und spültechnisches Verfahren zur Anwendung.

Angestrebt wird in einem vorgegebenen Teufenbereich von - 125 m bis - 100 m dieerspülung eines trichterförmigen Initialhohlraumes von ca. 3.000 - 5.000 m³ unlöslichen Rückstände füllen das trichterförmig erweiterte Bohrloch auf. Es erfolgt sodann wieder die Ausförderung des Rückstandsmaterials mit der Lufthebebohranlage.

Nacherspülung des geplanten Initialhohlraumes wird die Lufthebebohranlage abgebaut und die Kaverne wie eine Tiefenwerksanlage (vgl. Kap. 2.3) weiterausgesolt.

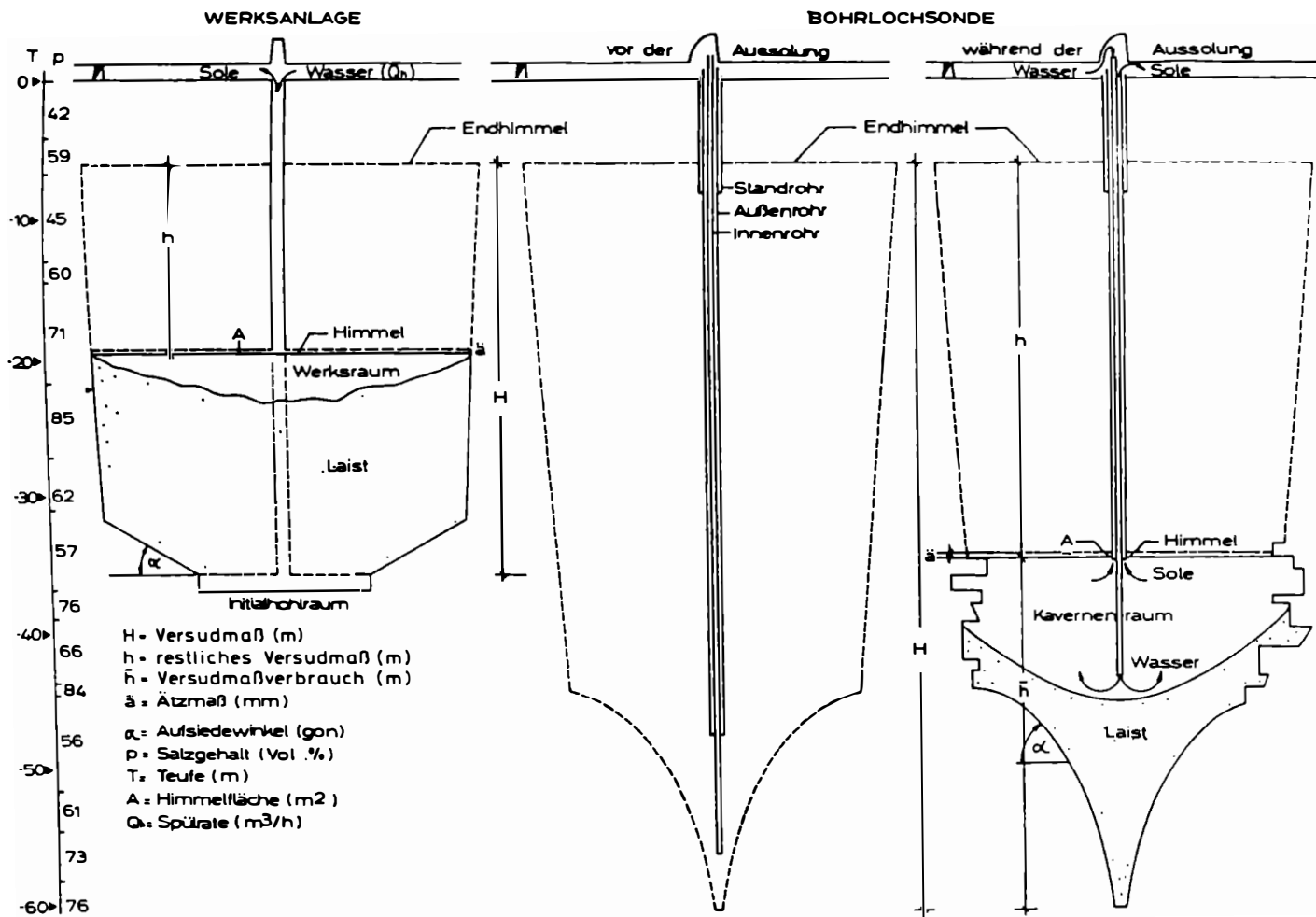


ABB. 3: DARSTELLUNG WICHTIGER KENNGRÖSSEN BEI DER AUSSOLUNG.

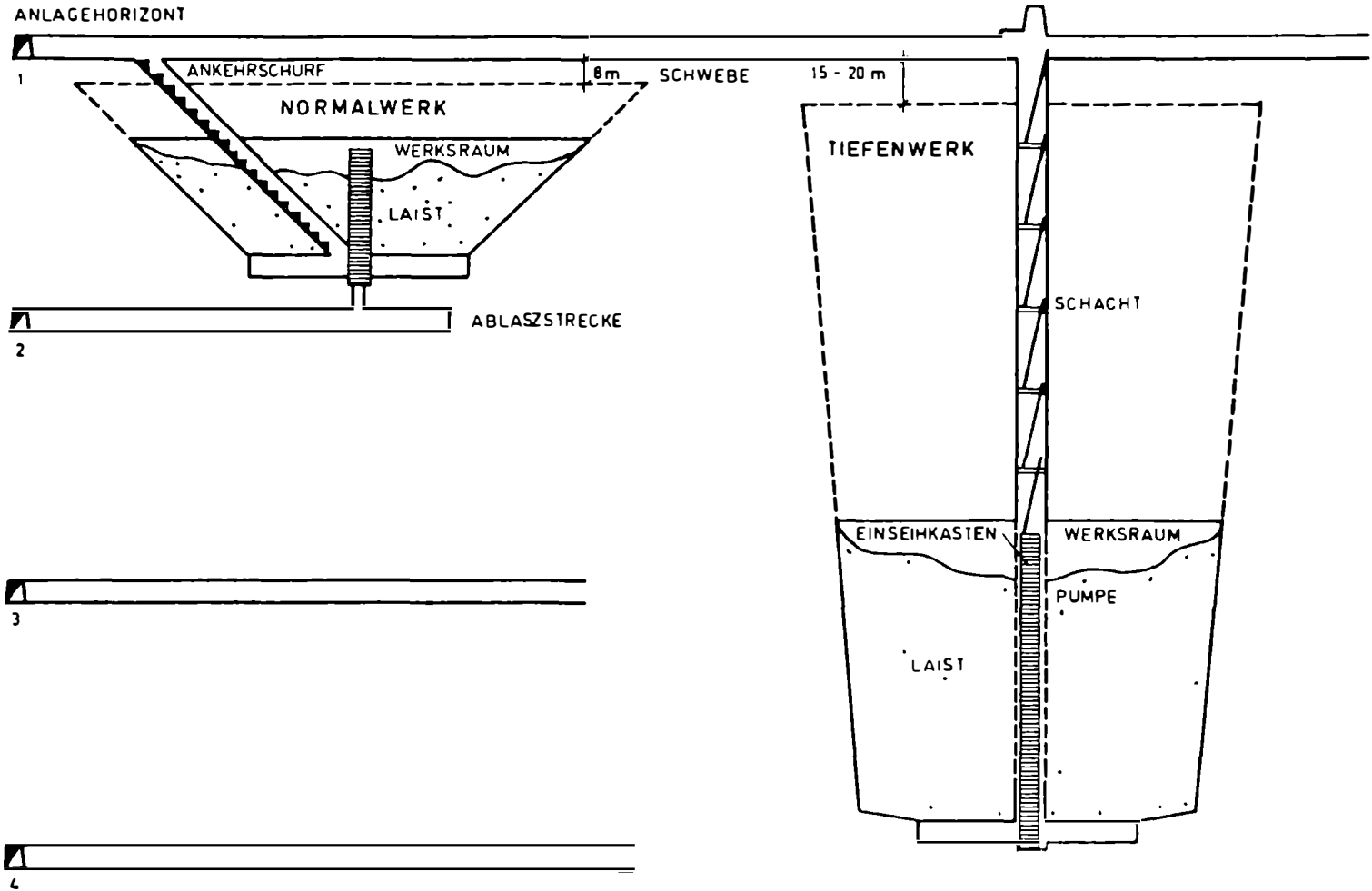


ABB.4: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINES NORMAL - U TIEFENWERKES

2.5 Bohrlochsoleverfahren

Die Abbauhöhe bei diesem Verfahren erstreckt sich in der Regel über mehrere Sohlen. Durch lagerstättenbedingte Einflüsse bzw. durch einen schon vorgegebenen Zuschchnitt eines Abbaufeldes kann sich die Abbauhöhe aber reduzieren.

Der grundlegende Unterschied zu den drucklosen Aussolverfahren besteht einerseits darin, daß zu Beginn der Aussolung kein Initialhohlraum zur Verfügung steht und andererseits in der verstärkten Anwendung der lösungsbeschleunigenden Komponenten Diffusion sowie Strömung und somit in der Erzielung einer größeren Leistungsfähigkeit.

Eine genaue Darstellung des Prinzipes der Bohrlochsolegewinnung erfolgt in Kap. 3 und 4.

3. Gegenwärtiger Stand der Bohrlochsolegewinnung aus internationaler Sicht

3.1 Steinsalzproduktion und Salzreviere

Die Hauptproduzenten von Steinsalz sind die USA, China, UdSSR, BRD, Großbritannien, Kanada, Frankreich, Mexiko, Italien, Rumänien, Australien, Polen und Indien. Die Salzproduktion im Jahre 1978 belief sich in den genannten Staaten auf $134,588 \cdot 10^6$ to ($148,388 \cdot 10^6$ short tons). Dies entspricht ca. 82 % der Welt-Salzproduktion 1978, welche $163,718 \cdot 10^6$ to ($180,505 \cdot 10^6$ short tons) betrug. Die Welt-Salzproduktion kann aus Tab. 1 entnommen werden (3).

Die wichtigsten europäischen Salzreviere sind das Norddeutsche Hauptbecken, Niederrheinische Becken, Oberrheinische Becken, Hessisch-Thüringische Becken, der Südwestdeutsche Salzbezirk, das Bromberger Becken, der Westgalizische und Ostgalizische Salzbezirk, sowie die Salzreviere im westlichen Vorland des Urals und des Karpatenvorlandes. Weitere wichtige Salzreviere liegen in Italien und Spanien (Ebrobecken). Von Bedeutung sind auch die Salzlagerstätten Englands, vor allem in Cheshire und Durham (22, 25, 31).

In den erwähnten Salzrevieren wird die Gewinnung von Sole durch Bohrlochsonden bereits seit einigen Jahrzehnten mit Erfolg angewandt. Eine große Verbreitung hat das Bohrlochsoleverfahren in den USA erfahren. In Europa wird der Bedarf an Sole beispielsweise in den Niederlanden, Dänemark, Norddeutschland und der Schweiz bereits zu 100 % aus Bohrlochsonden gedeckt.

3.2 Obertagebohrlochsonden

3.21 Allgemeines

Das Bohrlochsoleverfahren wird weltweit fast ausschließlich von über Tage aus angewandt und nur in beschränktem Umfang auch unter Tage (z.B. Österreich, Polen).

Das Bohrlochsoleverfahren weist grundsätzlich folgenden Ablauf auf:

- Transport des Lösungsmittels zum aufzulösenden Wertstoff,
- Lösung der Wertstoffkomponente,
- Ausförderung der Rohsole.

Das Lösungsmittel wird über Bohrlöcher, welche verrohrt sind, in das zu lösende Gestein eingebracht. Je nach Anzahl der Bohrlöcher unterscheidet man folgende Gewinnungssysteme:

- Einzelsonden (single well systems),
- Reihensonden (gallery well systems).

Einzelsonden können generell nach folgenden Betriebsmethoden geführt werden:

- Oberwassereinführung (top annular injection),
- Unterwassereinführung (bottom injection),
- Trump'sche Methode (trump method with air or hydrocarbonian pad) (36, 37),
- Unterwassereinführung im Ringraum, mit geringem Abstand der Rohrschuhe (bottom annular injection) (8, 9, 19, 30).

Die einzelnen Betriebsmethoden sind aus Abb. 5 zu ersehen.

STEINSALZPRODUKTION 1978

in 10³ short tons

<u>NORDAMERIKA</u>		<u>AFRIKA</u>	
USA	42.869	Ägypten	832
Kanada	7.112	Südafrika	540
Mexiko	6.212	Tunesien	469
Bahamas	1.800	Südwestafrika	250
Übrige	714	Sierra Leone	200
	<hr/>	Übrige	773
Summe	58.707		
	=====	Summe	3.064
 <u>SÜDAMERIKA</u>		 <u>ASIEN</u>	
Brasilien	3.006	China	21.536
Argentinien	1.059	Indien	4.828
Kolumbien	828	Japan	1.183
Peru	540	Türkei	1.024
Chile	434	Bangladesh	866
Venezuela	174	Iran	772
	<hr/>	Pakistan	705
Summe	6.041	Indonesien	700
	=====	Übrige	3.420
		Summe	35.034
			=====
 <u>EUROPA</u>		 <u>OZEANIEN</u>	
UdSSR	15.980	Australien	5.142
BRD	13.953	Neuseeland	72
Großbritannien	8.058		
Frankreich	7.193	Summe	5.214
Italien	5.436		=====
Rumänien	5.224		
Polen	4.845		
Niederlande	3.240		
DDR	3.021		
Spanien	2.750		
<u>Österreich</u>	<u>527</u>		
Übrige	2.218		
	<hr/>		
Summe	72.445	GESAMTWELTPRODUKTION	180.505
	=====		=====

Tab. 1 Weltsteinsalzproduktion 1978 (3)

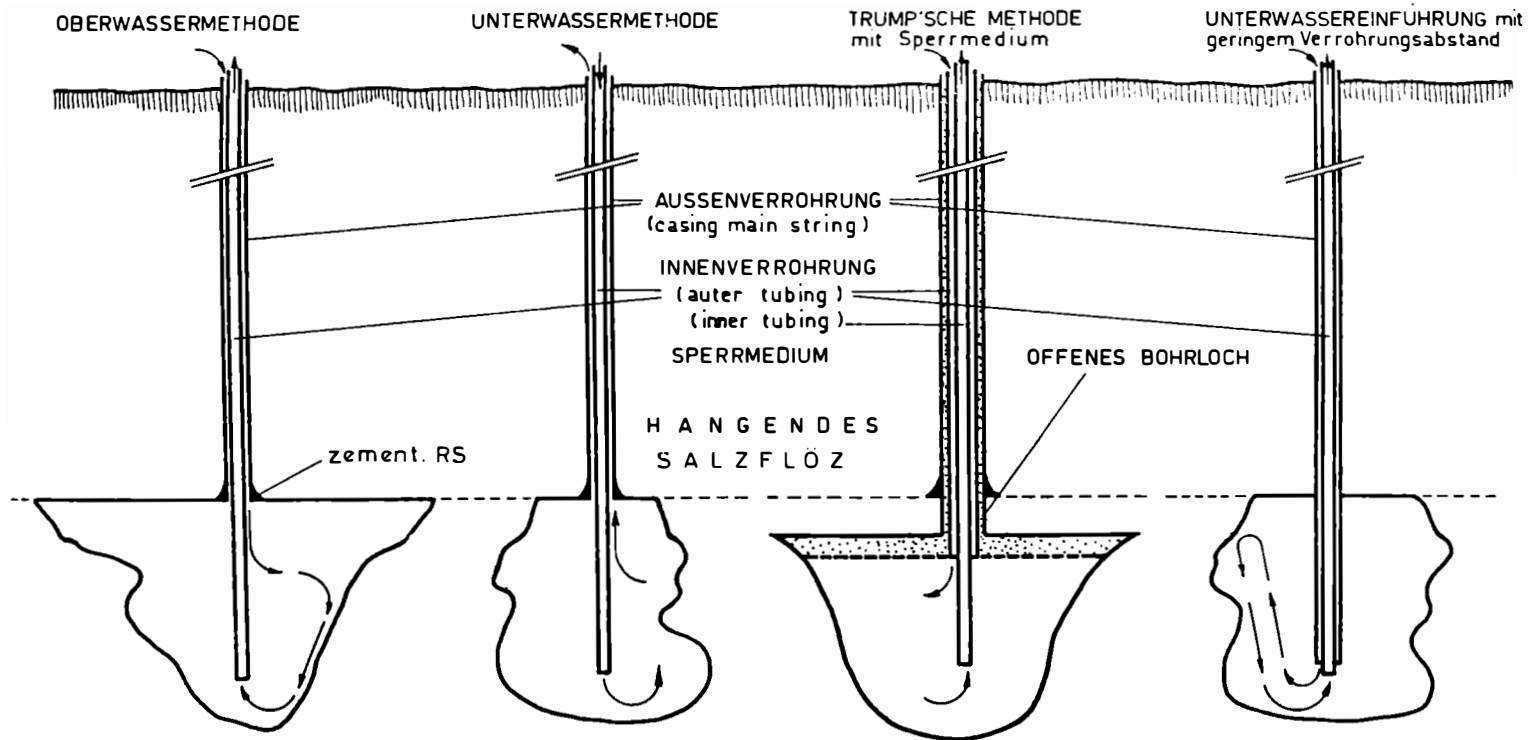


ABB. 5: BETRIEBSMETHODEN FÜR OBERTAGEBOHRLOCHSONDEN (EINZELSONDEN)

3.22 Einzelsonden (single-well systems)

3.22.1 Oberwassereinführung (top annular injection)

Die Produktionsbohrung besteht aus einem zementierten Standrohr (siehe Abb. 6) und einer ebenfalls zementierten und nicht beweglichen Außenverrohrung (casing), in die eine frei hängende Innenverrohrung (tubing) eingebracht wird. Diese endet etwas oberhalb der Untergrenze des Salzlagers bzw. Salzflözes (siehe Abb. 6). Die Lösungsmittelaufgabe (Wasser) erfolgt durch den Ringraum der beiden Verrohrungen. Manchmal ist es zu Beginn der Aussolung kurzzeitig notwendig, die Innenverrohrung mit Lösungsmittel zu beaufschlagen, um einen gewissen Hohlraum am tiefsten Punkt für eine bessere Aufnahme von unlöslichen Rückständen zu schaffen (18, 30, 33).

Der prinzipielle Vorteil einer solchen Bohrlochsonde ist die Einfachheit und die Möglichkeit, in kürzester Zeit vollgrädige Sole zu gewinnen.

Die Nachteile wiederum sind:

- Ablagerung unlöslicher Rückstände um die Abzugsverrohrung, Verstopfungsgefahr, höhere Stillstandszeiten;
- durch Laugung am Hangenden des Salzlagers bzw. Flözes Gefahr des Hereinbrechens von Gesteinspartien aus dem Hangenden und damit verbundener Beschädigung der Innenverrohrung;
- relativ große Abbauverluste im mittleren und untersten Bereich durch primäre Aussolung im obersten Bereich;
- geringe Lebensdauer.

Weiters ist zu erwähnen, daß die Abbauverluste im mittleren und unteren Bereich der Bohrlochsonde noch dadurch verstärkt werden, daß sich dort einerseits die unlöslichen Bestandteile ablagern und Teile der Lösungsflächen wie ein Sperrmedium (blanket) überziehen, andererseits gesättigte Sole am tiefsten Punkt abgezogen wird und dort somit fast keine Verlaugung mehr stattfindet.

3.22.2 Unterwassereinführung (bottom injection)

Die Verrohrung erfolgt nach demselben Prinzip wie bei der Oberwassereinführung, jedoch wird die Innenrohrkolonne mit dem Lösungsmittel beaufschlagt und die Sole durch den Ringraum der beiden Verrohrungen abgezogen. Aus der Abb. 6 ist das Prinzip der Unterwassereinführung zu ersehen (4, 18, 33).

Die Vorteile dieser Betriebsmethode sind:

- gleichmäßige Kavernenentwicklung,
- weniger Stillstandszeiten für Sondenbehandlung, da die unlöslichen Rückstände im Aussolungstiefsten genügend Sedimentationsmöglichkeit vorfinden,
- größeres Ausbringen, geringere Abbauverluste im Bohrlochtiefsten.

Jedoch sind die Durchsatzleistungen geringer als bei der Oberwassereinführung, da das Lösungsmittel nach Eintritt in die Kaverne im Bereich der Innenverrohrung hochsteigt. Dadurch kommt es zur Ausbildung eines "schlauch- bis birnenförmigen" Hohlraumes mit einer kleinen Deckenfläche und somit einer geringeren Laugfläche. Die mögliche Durchsatzleistung hängt aber wiederum sehr stark von der zur Verfügung stehenden Laugfläche ab.

3.22.3 Trump'sche Methode (trump method with air or hydrocarbonian pad)

Kommt bei der Aussolung von Salz ein Sperrmedium (Gas, Öl) zur Verwendung, um eine Kontrolle bezüglich Lösungsvorgang (Kavernenentwicklung) zu erhalten, so spricht man von der Trump'schen Methode. Die Hauptaufgabe des Sperrmediums (blanket) besteht in einem Schutz der oberen Salzsichten vor Verlaugung. Somit ist es möglich, eine Horizontalentwicklung zu forcieren.

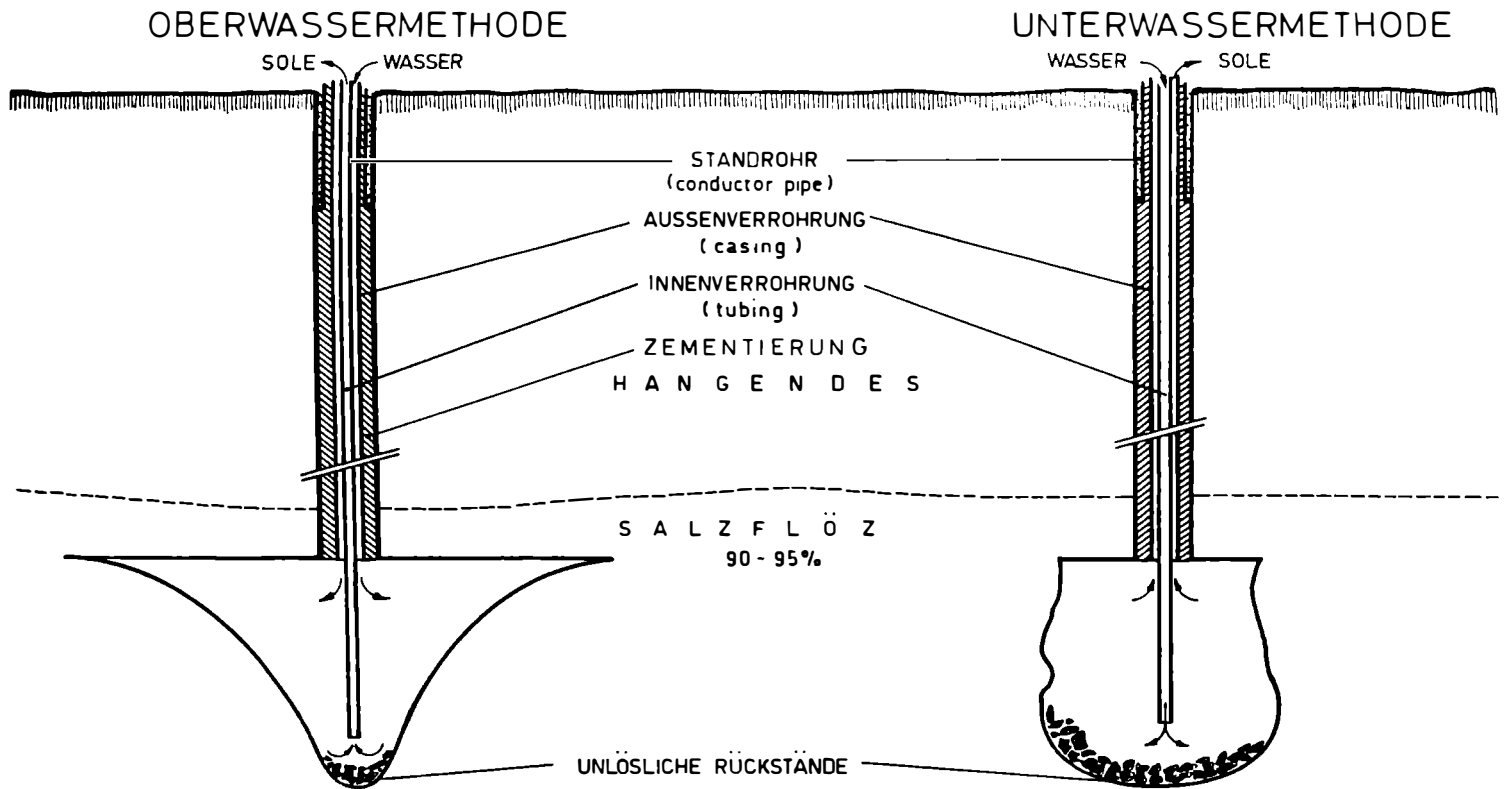


ABB. 6: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER OBERWASSER-UND UNTERSASSEREINFÜHRUNG

Das Prinzip einer Aussolung nach der Trump'schen Methode ist aus Abb. 7 zu ersehen (36, 37).

Bei dieser Methode kann sowohl die Oberwasser- als auch die Unterwassereinführung oder eine Kombination beider (midpoint-injection) angewandt werden.

Bei richtiger Handhabung des Sperrmediums wird das Salzflöz in Form einzelner Scheiben ausgesolt. Der Abstand der beiden Verrohrungsenden (Wasseraufgabe, Soleabzug) ist vor allem eine Funktion der gewünschten Grädigkeit der Sole. Bei einem gegebenen Salzgehalt des Gebirges hängt die Grädigkeit wesentlich von der Durchsatzmenge und der zur Verfügung stehenden Laugfläche bzw. Größe (Ausbildung) der Kaverne ab. Je größer der Abstand der Verrohrungsenden ist, umso größer ist auch die Verlaugungsfläche. Damit ist es möglich, entweder höhere Durchsatzmengen zu erzielen oder die Grädigkeit zu beeinflussen.

Bei den Obertagebohrlochsonden gelangt meist Öl als Sperrmedium zum Einsatz. Öl hat gegenüber Gas (Druckluft) den Vorteil, daß Sonden mit geringeren Betriebsdrücken betrieben werden können und ein gewisser Korrosionsschutz im Vergleich zu Druckluft gegeben ist. Auch andere Gase (Kohlendioxid, Stickstoff) fanden teilweise als Sperrmedium Anwendung, haben sich jedoch wirtschaftlich nicht bewährt. Die Trump'sche Methode gelangt heute immer mehr zur Anwendung.

Die Vorteile der Trump'schen Methode sind:

- Möglichkeit einer gelenkten Aussolung,
- exakte Aussolung von vorgegebenen Kavernenformen,
- das Lösungsmittel kann als Oberwasser, Unterwasser oder midpoint-Wasser aufgegeben werden,
- hoher Ausnutzungsgrad im Bohrlochtiefsten.

3.22.4 Unterwassereinführung im Ringraum, mit geringem Abstand der Rohrschuhe (bottom annular injection)

Eine schematische Darstellung dieser Betriebsmethode kann aus Abb. 5 ersehen werden.

Diese Art der Aussolung hat gegenüber den vorgenannten Methoden folgende Nachteile:

- Gefahr der Zerstörung der Außenverrohrung einschließlich der mitgeführten Innenverrohrung bei Nachfall aus der Kavernendecke, da der gesamte Verrohrungsstrang in den offenen Kavernenraum bis knapp über die Sohle der unlöslichen Rückstände reicht,
- erhöhte Verstopfungsgefahr, da der Raum für die Aufnahme der unlöslichen Bestandteile äußerst beschränkt ist.

3.23 Reihensonden (gallery systems)

Der Hauptanteil des durch Bohrlochsonden gewonnenen Steinsalzes stammt aus Reihensonden. Diese Aussolungsart wird vor allem in Kanada und in den USA bevorzugt.

3.23.1 Prinzip der Reihensonden

Durch eine beabsichtigte Vereinigung bzw. Verschneidung von zwei oder mehreren Einzelsonden entstehen Reihensonden. Das Ziel dieser Vereinigung bzw. Verschneidung ist es, so rasch als möglich eine große Verlaugungsfläche zu schaffen (2, 9, 30). Diese Verschneidung kann auf zwei Arten herbeigeführt werden:

- natürliche Verschneidung,
- hydraulisches Aufbrechen des Gebirges zwischen zwei Bohrlochsonden.

Bei der natürlichen Verschneidung wird zuerst versucht, zwei oder mehrere Sondenkavernen zu entwickeln. Nach einer entsprechenden Horizontalentwicklung kommt es durch Verschneidung der einzelnen Kavernen zu einer einzigen großen Kaverne (9, 21).

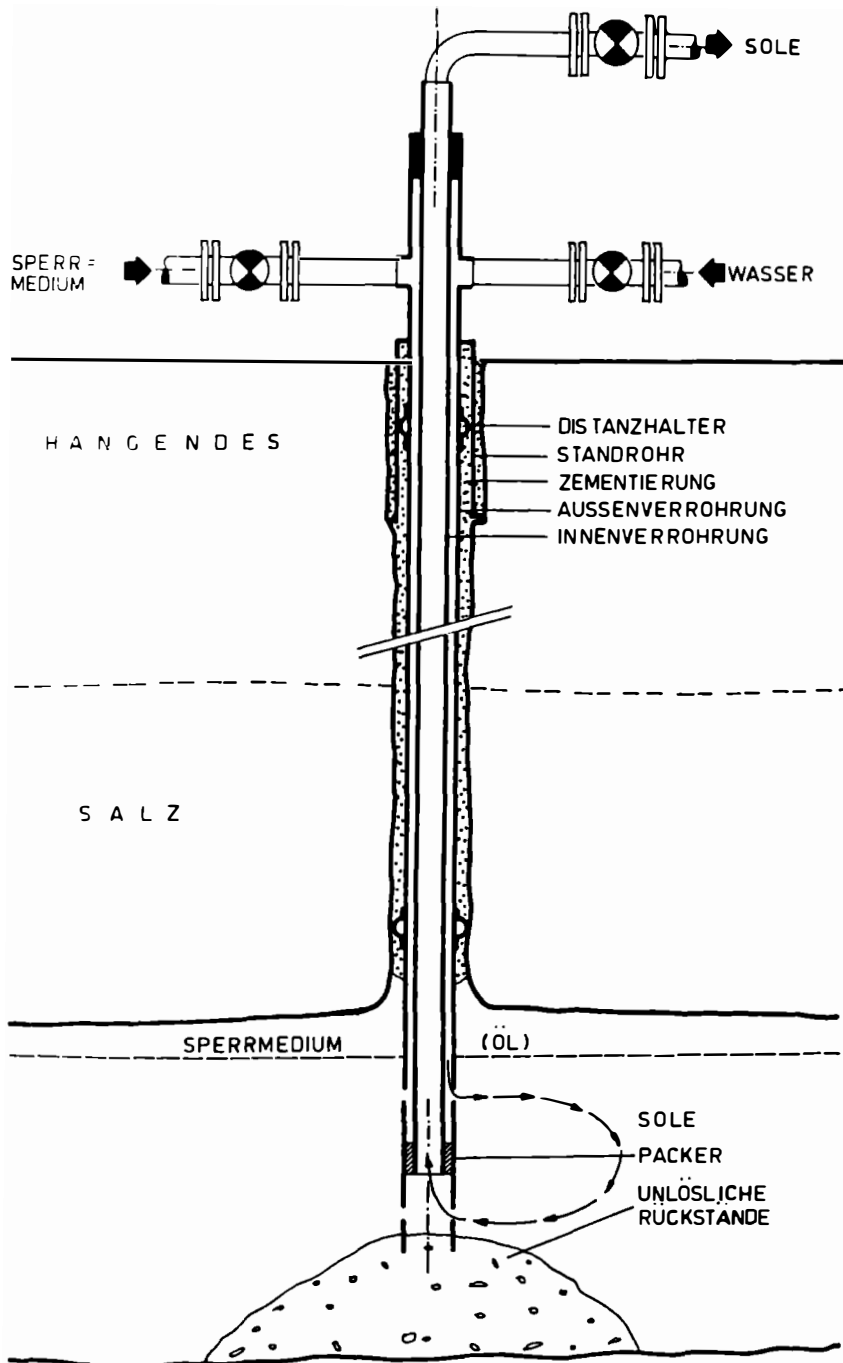


ABB. 7: OBERWASSEREINFÜHRUNG MIT ANWEN-
DUNG VON ÖL ALS SPERRMEDIUM (TRUMP'SCHE M.)

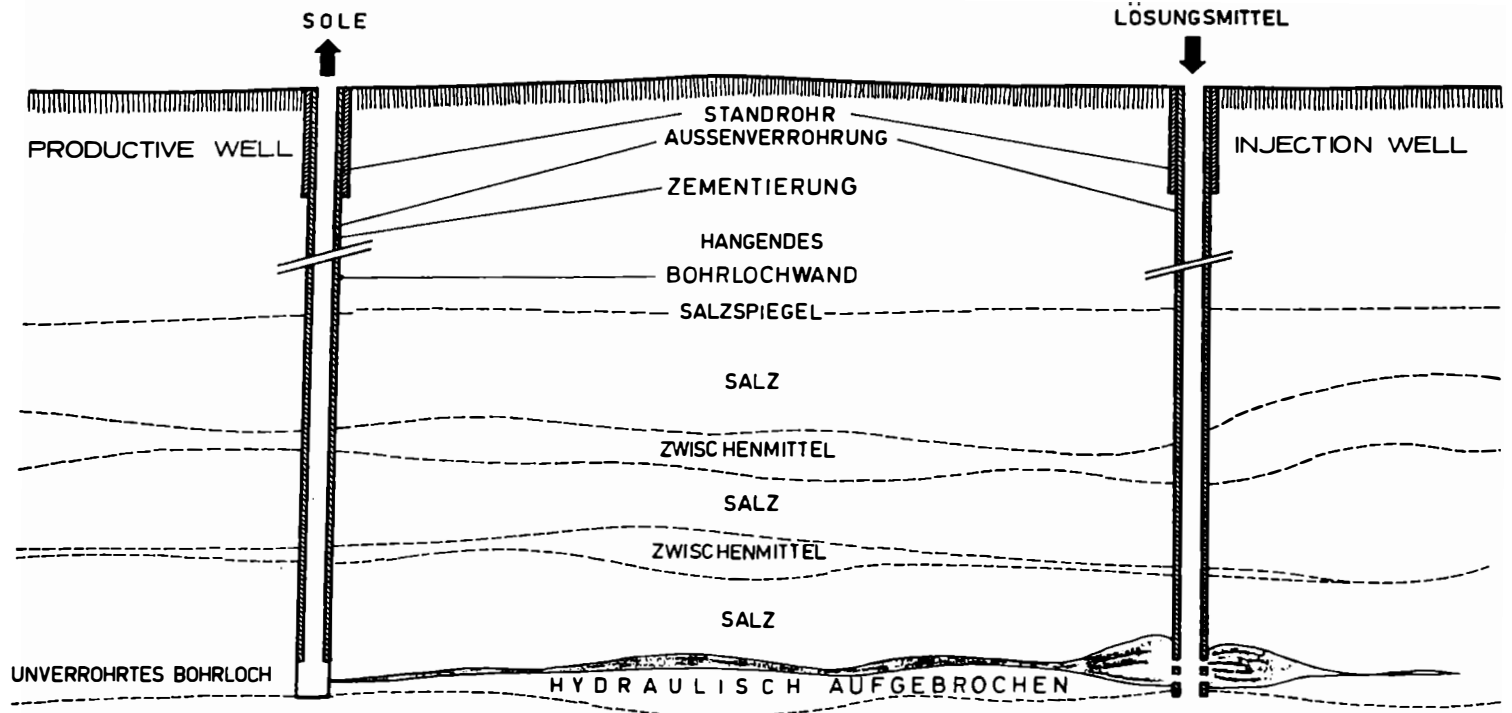


ABB.8: REIHENSONDE IN GERING MÄCHTIGEN SALZFLÖZEN
 UNTERWASSEREINFÜHRUNG NACH HYDRAULISCHEM AUFBRECHEN

Um eine möglichst rasche Verschneidung der einzelnen Sonden zu einer Reihensonde herbeizuführen, gelangt hauptsächlich das hydraulische Aufbrechen des Gebirges (hydraulic fracturing) zur Anwendung.

In Abb. 8 ist eine Reihensonde mit Unterwassereinführung nach dem durchgeführten hydraulischen Aufbrechen dargestellt. Das Prinzip des hydraulischen Aufbrechens des Gebirges wird in Kap. 3.23.3 vorgestellt.

Nach erfolgter Verschneidung wird bei einer oder auch mehreren Sonden (injection wells) das Lösungsmittel aufgegeben und die Sole über eine weitere Sonde (productive well) ausgebracht. Meistens werden Reihensonden in Form von Doppelsonden (twins) angelegt. Dies kann aus Abb. 8 ersehen werden.

Der Abstand zweier zu vereinigender Sonden hängt hauptsächlich von den Lagerstättenverhältnissen, Oberflächenverhältnissen (Bebauung, Senkungserscheinungen usw.), der geplanten Soleproduktion und der Tragfähigkeit des Haupthangenden ab. Ein gängiger Bohrlochabstand in den USA und Kanada beträgt ca. 150 m (500 ft).

3.23.2 Aussolungsmethoden

Bei Reihensonden werden ebenso wie bei Einzelsonden die Oberwassereinführung, die Unterwassereinführung (s. Abb. 5) oder die Trumpf'sche Methode angewandt. Diese Aussolungsmethoden wurden bereits in den vorherigen Kapiteln beschrieben.

3.23.3 Hydraulisches Aufbrechen des Gebirges

Das hydraulische Aufbrechen des Gebirges ist ein Verfahren, das darauf abzielt, vor Aussohlungsbeginn die Permeabilität des anstehenden Salzgebirges im Sondentiefsten zwischen zwei oder mehreren Reihensonden zu erhöhen, d.h. eine größere anfängliche Verlaugungsfläche zu schaffen. Dazu wird in das Bohrloch das Lösungsmittel unter Hochdruck eingepumpt, um so ein Aufreißen der Salzsichten entlang der geplanten Kavernensohle herbeizuführen. Dadurch soll ein "Lösungskanal" zwischen zwei Sonden geschaffen werden (21, 23, 29).

Der Vorgang des hydraulischen Aufbrechens gliedert sich in drei Phasen:

- Einleitung des Aufbrechvorganges (initiation),
- Fortpflanzung (propagation),
- Herstellung der Verbindung zwischen zwei Sonden (connection).

Im Anschluß daran erfolgt der eigentliche Aussolungsvorgang (28).

Eine schematische Darstellung eines hydraulischen Aufbrechvorganges ist aus Abb. 9 zu ersehen.

Der richtige Ansatzpunkt für das hydraulische Aufbrechen ist von großer Bedeutung. Das hydraulische Aufbrechen wird meist in reinsten und ungestörten Salzsichten vollzogen, um so den Einfluß von unlöslichen Bestandteilen und Störungen, welche die Bruch- bzw. Lösungsrichtung stark beeinflussen können, weitestgehend auszuschalten (1, 20).

Das hydraulische Aufbrechen des Salzgebirges eignet sich gut bei der Aussolung geringmächtiger Salzflöze bzw. Salzlager mit großer Horizontaler Streckung, um eine möglichst rasche Verschneidung einzelner Sonden zu einer Reihensonde herbeizuführen. Vorteil gegenüber der natürlichen Verschneidung ist der Zeitfaktor, nachteilig ist ein erhöhter Aufwand an maschineller Ausrüstung.

3.3 Kavernenvermessung

3.31 Allgemeines

Die Kontrolle der Kavernenentwicklung ist beim Bohrlochsondenbetrieb von großer Bedeutung.

Die Aussoolkavernen können nach zwei Methoden vermessen werden:

- indirekte Vermessung (außerhalb der Kaverne),
- direkte Vermessung (in der Kaverne).

Eine Darstellung beider Vermessungsmethoden ist aus Abb. 10 zu ersehen.

3.32 Indirekte Vermessung

Bei der indirekten Vermessung gelangt die Seismik zur Anwendung. In Anlehnung an seismische Messungen in der Erdölindustrie gelang es, ein Verfahren zur Vermessung von Aussoolkavernen zu entwickeln (6, 7).

Gewisse anfängliche Schwierigkeiten bezüglich Interpretation der Meßergebnisse, verursacht durch die großen Teufenlagen (500 m - 2000 m) der Kavernen, konnten überwunden werden. Der Nachteil dieser Vermessungsmethode besteht darin, daß nur die Geometrie der Kaverne erfaßt wird und keine Aufschlüsse über das "Innenleben" (unlösliche Bestandteile, Einlagerungen usw.) gewonnen werden können. Bei Kavernengrößen bis zu 200 m Durchmesser kann eine Genauigkeit von ± 10 m - 20 m erzielt werden. Die Kosten für eine einmalige Kavernenvermessung betragen ca. \$ 600 - \$ 6.000 pro Kaverne, was hauptsächlich von der Teufe der Kaverne abhängig ist (18).

3.33 Direkte Vermessung

Die Bohrlochsonden werden drucklos gemacht und der Sondenkopf demontiert. Zuerst wird mit einer Meßsonde die Oberflächenbeschaffenheit der Verrohrung kontrolliert und die Feststellung der Befahrbarkeit (Muffen, Rohrschuh) durchgeführt (casing-collar-log) (18, 39). Eine weitere Messung gibt Aufschluß über den Temperaturverlauf im Bohrloch und in der Sole (temperaturelog). Danach wird die Meßsonde in die mit Sole gefüllte Kaverne eingefahren und die eigentliche Vermessung nach dem Echo-Log-Verfahren durchgeführt.

Die Meßsonde arbeitet dabei auf akustischer Basis und besteht im wesentlichen aus einem Sender- und Empfängerteil. Ein gebündelter akustischer Impuls (Ultraschall) wird ausgesandt, an den Kavernengrenzen reflektiert und vom Empfängerteil der Meßsonde wiederum registriert. Aus der gemessenen Laufzeit und der Geschwindigkeit des Ultraschalles im Meßmedium wird die Entfernung der reflektierenden Flächen (Kavernenulme) ermittelt (5, 24, 40).

Es kann in allen räumlichen Richtungen gemessen werden. Nach dieser Methode können Entfernungen bis zu 150 m gemessen werden. Ebenso sind Aussagen über den Innenaufbau der Kaverne möglich.

Horizontalschnitte verschiedener Höhenlagen und Vertikalschnitte ergeben ein genaues Bild der Kavernengeometrie. In Abb. 11 ist ein solches Vermessungsergebnis dargestellt.

Ebenso können Aussagen über das "Innenleben" (Einlagerungen, unlösliche Rückstände, eventuelle Verbrüche usw.) getroffen werden.

4. Bohrlochsolegewinnung in Österreich

4.1 Mengenmäßige Entwicklung

4.11 Allgemeines

Im Jahre 1958 wurde das Bohrlochsolegewinnungsverfahren in einem Pilot-Versuch erstmals erprobt. Diese erste Erprobung in einer alpinen Salzlagerstätte fand im Salzbergbau Altaussee am Steinberg-Horizont statt. Der Pilot-Versuch und die noch folgenden Versuche verliefen sehr erfolgversprechend, sodaß man beschloß, weitere Kleinsonden anzulegen. Diese hatten eine durchschnittliche Abbauhöhe von 30 m - 35 m. Mit der Inbetriebnahme der Bohrlochsonde F V am 15.12.1971 im Fer-

REIHENSONDE

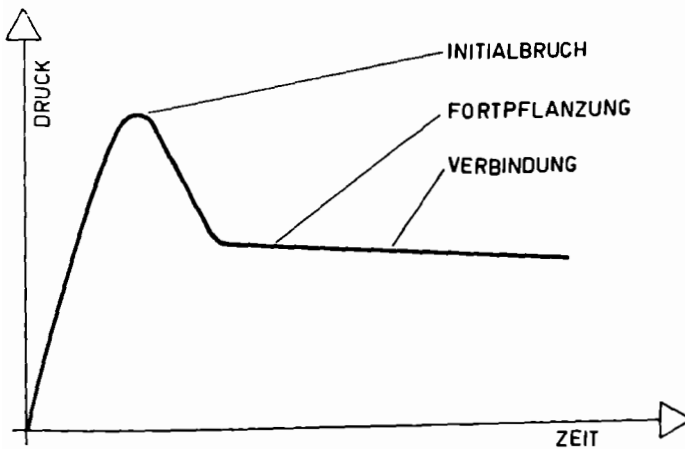
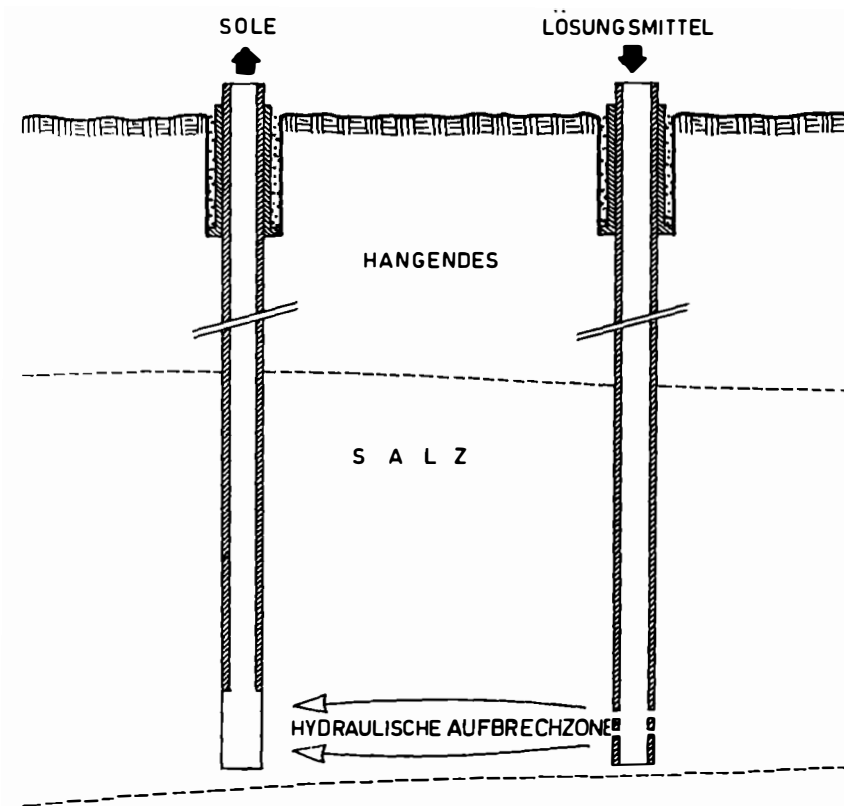
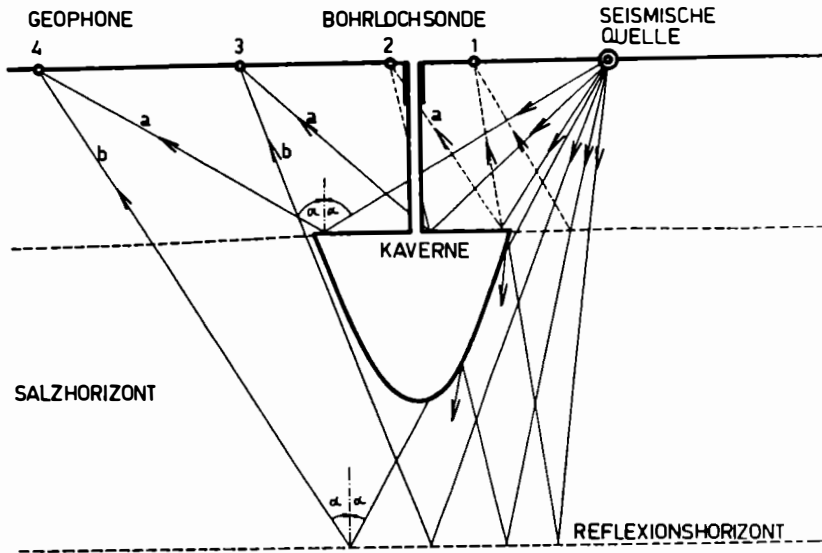


ABB. 9: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINES HYDRAULISCHEN AUFBRECHVORGANGES

INDIREKTE VERMESSUNG :



DIREKTE VERMESSUNG

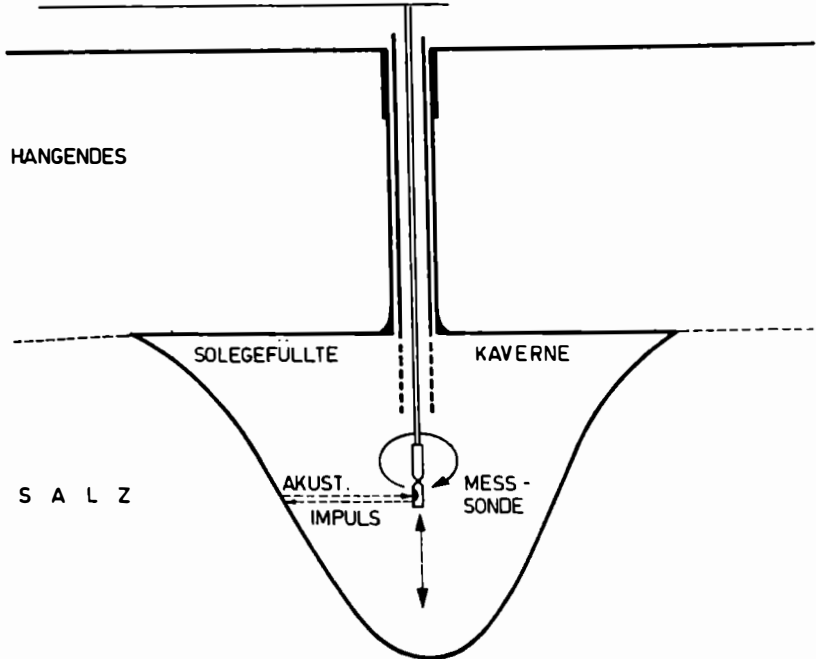


ABB.10:SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINER DIREK-
TEN UND INDIREKTEN KAVERNENVERMESSUNG

ECHOSONDE

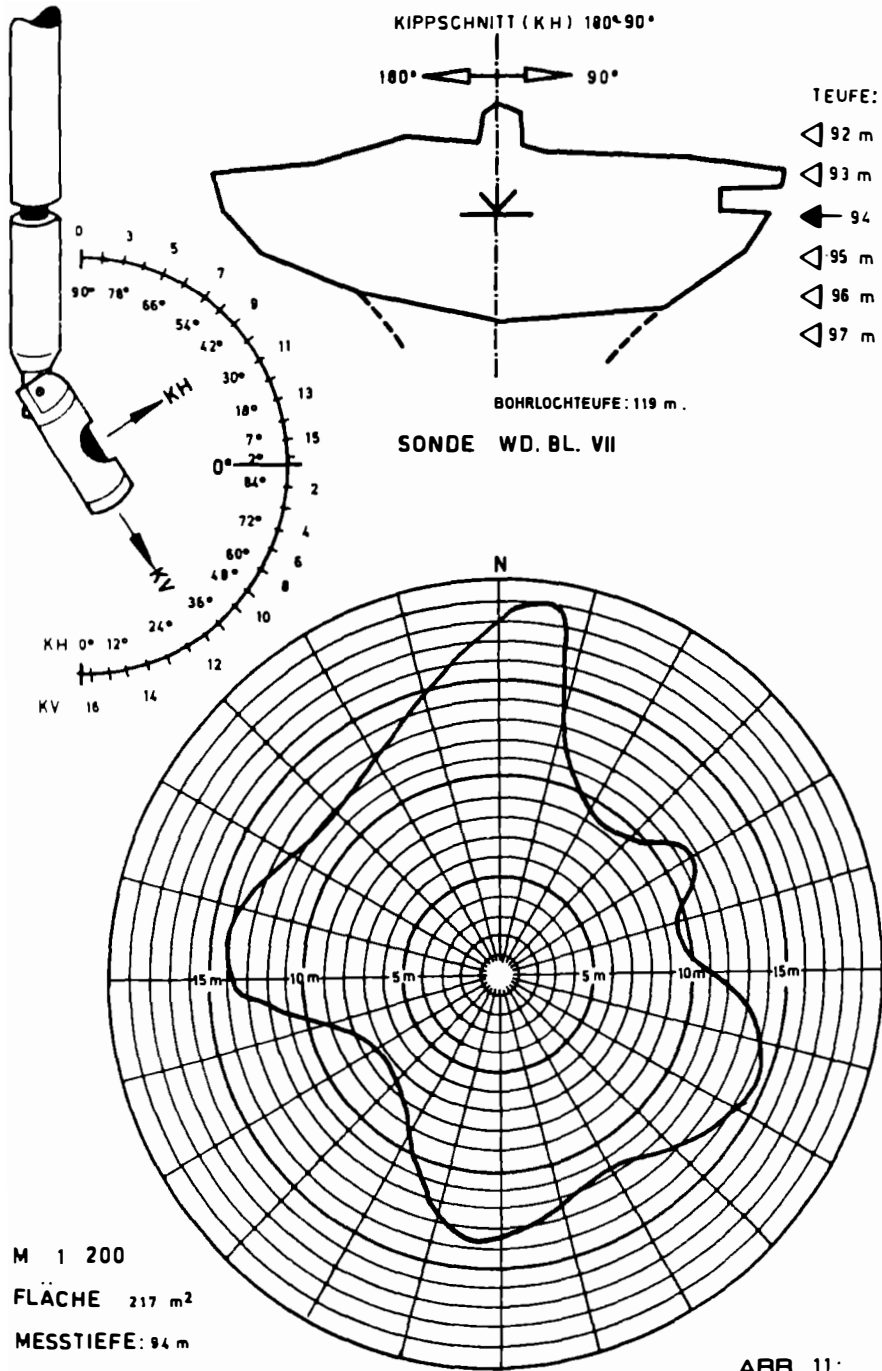


ABB. 11:
ECHO-LOG-VERMESSUNG (SONARVERMESSUNG).

dinandberg-Horizont des Salzbergbaues Altaussee kann die endgültige Einführung des Bohrlochsolegewinnungsverfahrens unter Tage datiert werden. Die erste Ober-tagebohrlochsonde BJ 1 ging im Jahre 1967 in Bad Ischl in Betrieb.

Das neue Gewinnungsverfahren gelangte in weiterer Folge immer mehr zur Anwendung. Die Abb. 12 zeigt, daß im Jahre 1981 bereits 20 Bohrlochsonden betrieben wurden.

4.12 Anteil der Bohrlochsole am Gesamtsoleaufkommen

Der Anteil der Bohrlochsole am Gesamtsoleaufkommen der ÖSAG konnte im Zeitraum 1967 - 1981 auf ca. 40 % gesteigert werden. In Abb. 13 ist dies graphisch dargestellt.

Das Ausbringen an vollgrädiger Rohsole ($\rho = 320 \text{ kg/m}^3$) konnte von 8.888 m^3 im Jahre 1967 auf 834.488 m^3 im Jahre 1981 angehoben werden. Bis 1981 wurden insgesamt $5.274.056 \text{ m}^3$ vollgrädige Bohrlochsole gewonnen. Dies entspricht einer Salzauflösung von $1.687.698 \text{ t}$ Salz.

Die Abb. 14 zeigt die Aufteilung der gewonnenen Bohrlochsole auf die einzelnen Salzbergbaue.

4.2 Gebirgsmechanik

4.2.1 Allgemeines

In den folgenden Kapiteln soll als Information ein Überblick über die wesentlichsten gebirgsmechanischen Überlegungen und Gutachten bezüglich Bohrlochsolegewinnung in den alpinen Salzlagerstätten Österreichs gegeben werden. Vom Verfasser selbst werden dazu keine weiteren Überlegungen angestellt.

Bei dem Bohrlochsolegewinnungsverfahren handelt es sich um ein kammerartiges Abbauverfahren. In den jeweiligen Abbaufeldern werden Kavernen erspült, welche durch Bergfesten voneinander getrennt sind. Zur Sicherung der darüberliegenden Horizonte bzw. der Oberfläche werden Schweben belassen. Aus dieser Art des Abbauverfahrens ergibt sich zwangsweise die Notwendigkeit der Dimensionierung von Gebirgsfesten bzw. Sicherheitsschweben.

Bei der Dimensionierung kann man von Gedankenmodellen ausgehen, empirisch vorgehen oder man kombiniert die beiden Möglichkeiten.

Zu den Gedankenmodellen zählt man die Berechnungsverfahren, da sie von einer Modellvorstellung über das Gebirge (Eigenschaften, Verhalten usw.) ausgehen. Als empirische Bemessung wäre die Dimensionierung nach vorliegenden Erfahrungen und aufgrund von Modellversuchen zu bezeichnen. In diesem Rahmen wären Überwachungs-messungen (in-situ-Messungen) und Untersuchungen an Probe- oder Prüfkörpern zu nennen, ebenso wie spannungsoptische Modellversuche und Simulationsversuche.

4.2.2 Gebirgsmechanische Gutachten und Expertisen

Es muß eingangs erwähnt werden, daß eine für alle alpinen Salzbergbaue einheitliche bzw. uneingeschränkt gültige Festen- und Schwebendimensionierung nicht möglich war. Der Faciesunterschied der einzelnen Salzlagerstätten und in weiterer Folge die große petrographische Differenzierung der einzelnen Salzgebirgsarten führte dazu, daß für jeden Salzbergbau die Dimensionierung gesondert durchgeführt werden mußte. Außer den lagerstättenbedingten Einflußgrößen mußten zusätzlich die Art der geplanten Kavernenführung (Einzelsonde, Reihensonde), Oberflächengegebenheiten (Bebauung usw.) sowie bei Untertagebohrlochsonden das Vorhandensein anderer Grubenbaue beachtet werden.

4.2.2.1 Untertagebohrlochsonden

Zur Frage der Festendimensionierung liegen neben umfangreichen unternehmensinternen Berechnungen auch mehrere Gutachten für die Salzbergbaue Altaussee und Hallstatt vor (12, 38). Diese sollen hier überblicksmäßig dargestellt werden.

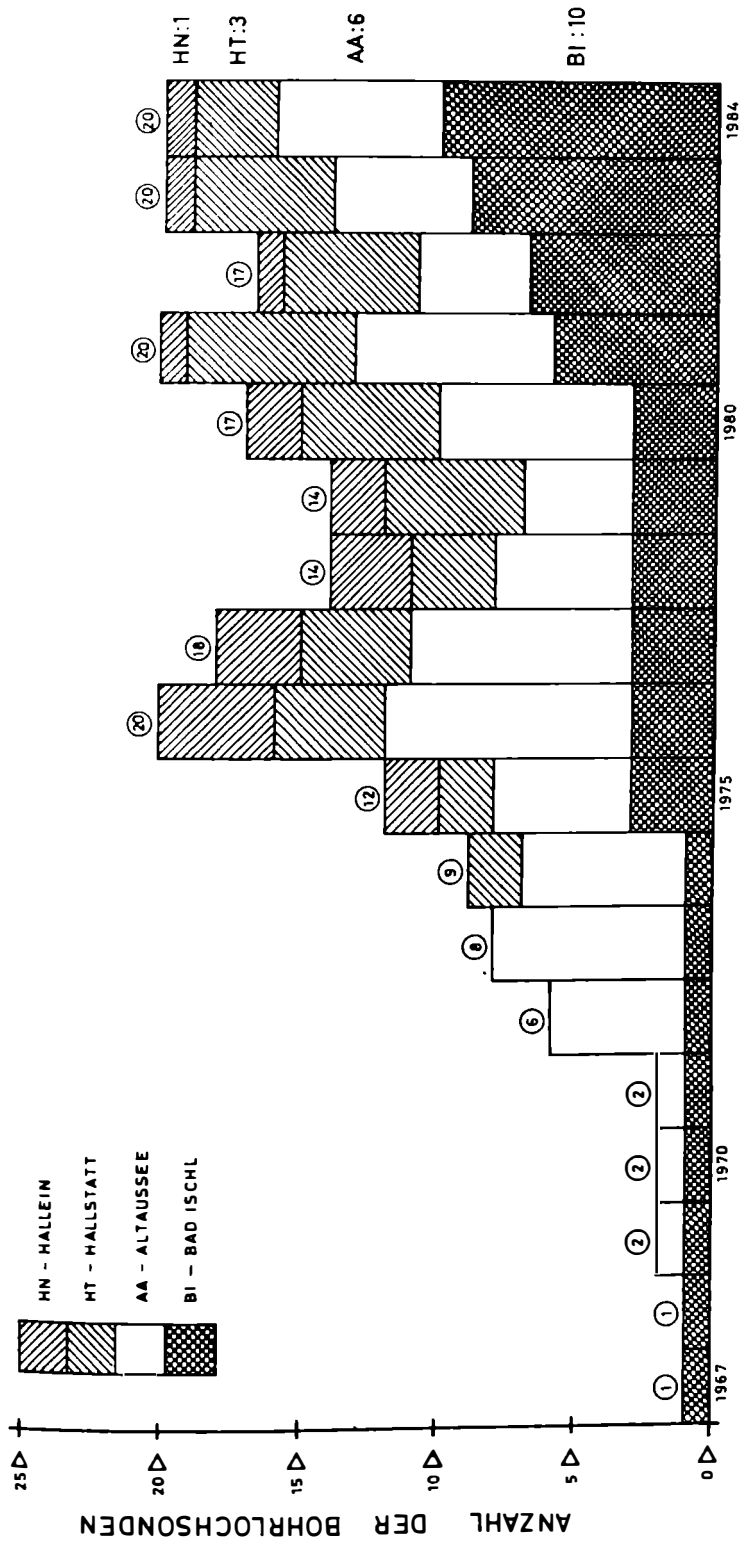


ABB. 12: ZAHLENMÄSSIGE ENTWICKLUNG DER BOHRLOCHSONDEN 1967 - 1984

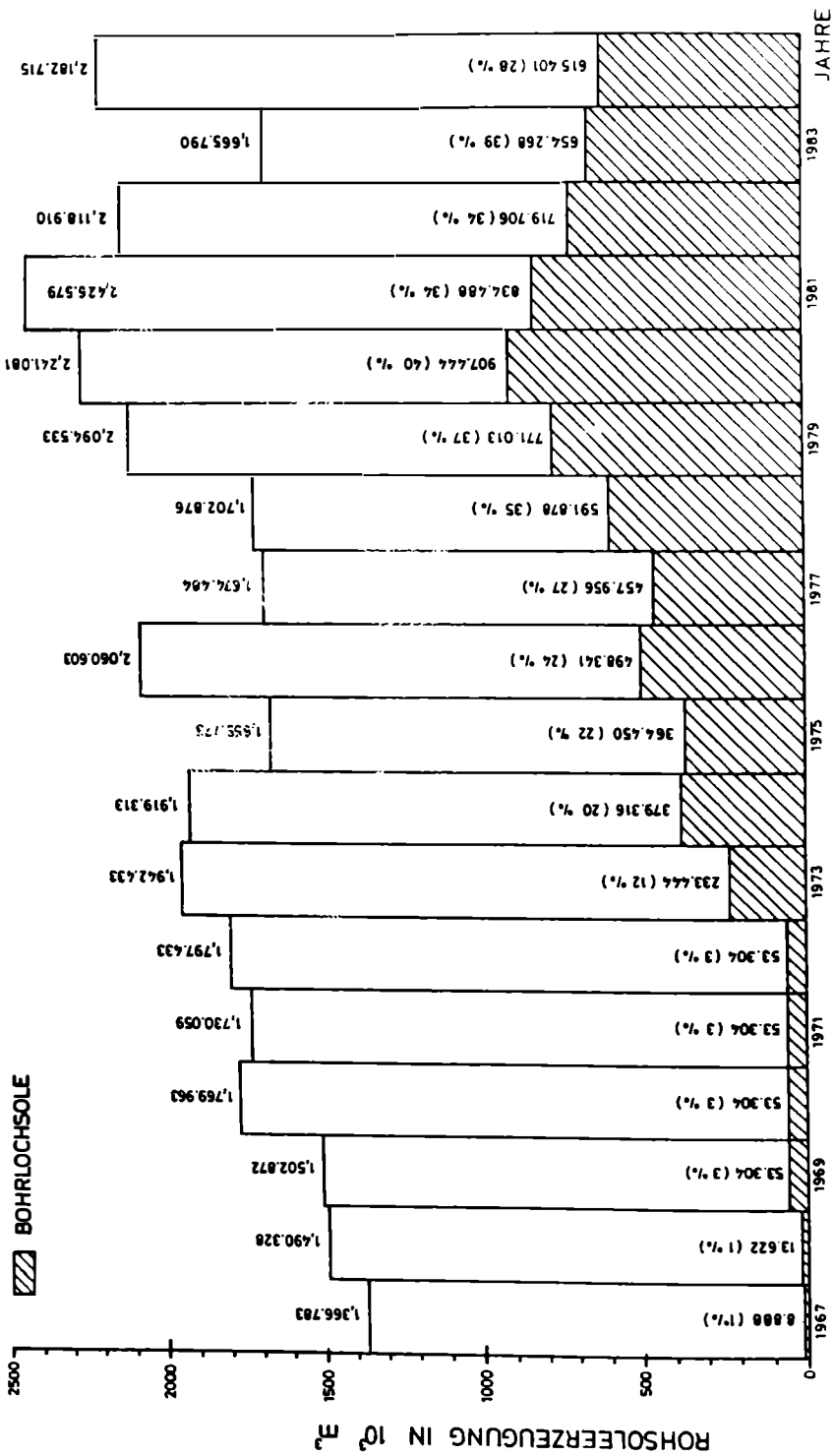


ABB. 13. ANTEIL DER BOHRLOCHSOLE AM GESAMTAUFKOMMEN 1967 - 1984. DER OSAG

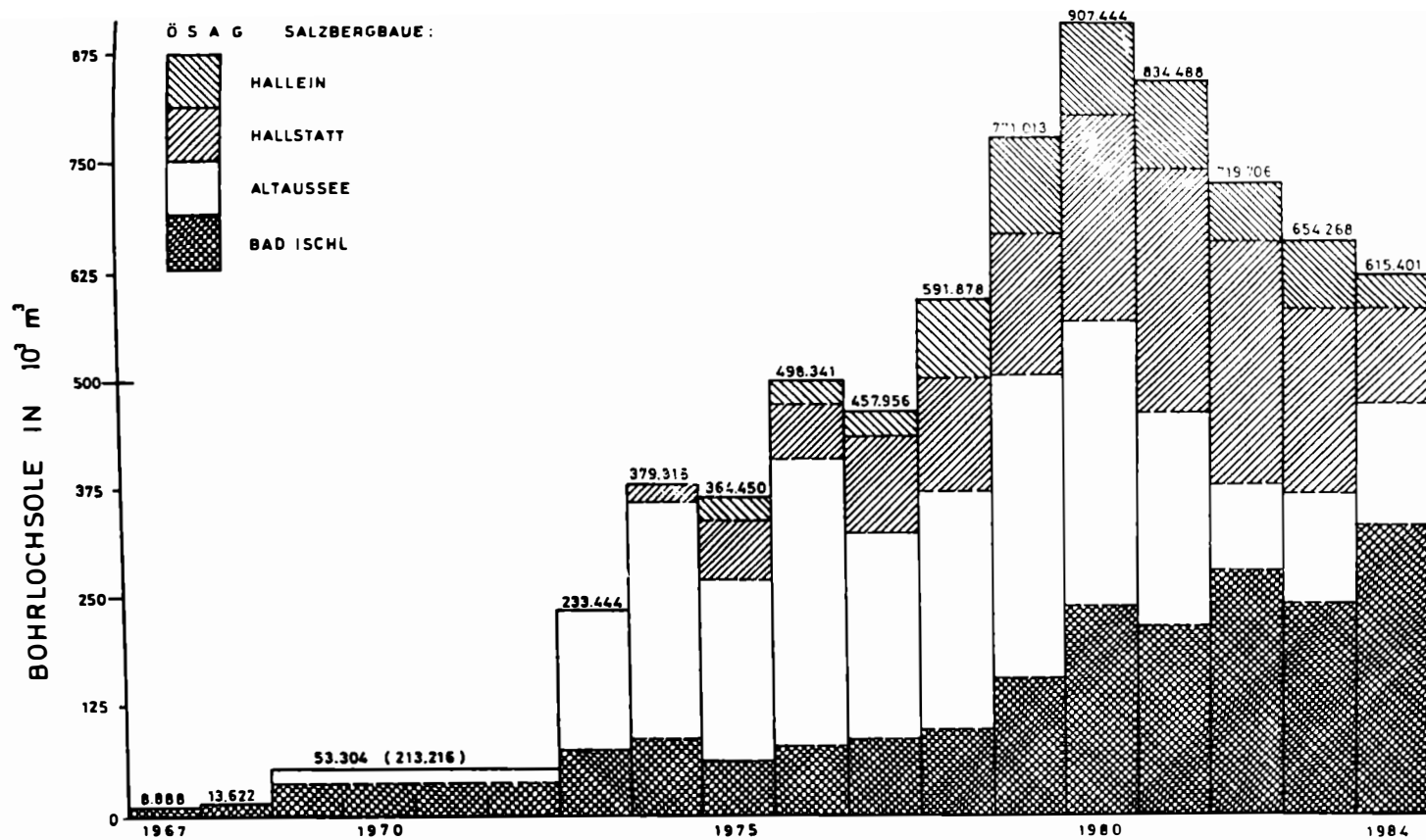


ABB. 14: MENGENMÄSSIGE ENTWICKLUNG DER BOHRLOCHSOLE 1967 - 1984

Salzbergbau Altaussee

Für die Bohrlochsonden (Reihensonden) erstellte das Zivilingenieurbüro Weber/Salzburg ein "Gutachten über die Pfeilerbemessung für die Bohrlochwerker im Westfeld des Franzberg des Salzbergbaues Altaussee" (38). Es wurden darin die in Abb. 15 gezeigten Kavernendimensionen und die Art der Anlage überprüft. Als Berechnungsgrundlagen dienten bewußt folgende ungünstigste Bedingungen:

- kein Selbstversatz (Laist) in den einzelnen Kavernen,
- überhöhte Oberlagerung,
- äußerst geringe zulässige Druckbelastungen.

Das Gutachten ergab, daß die in Abb. 15 dargestellte Kavernenform und die Art der Anlage im Salzbergbau Altaussee möglich ist.

Salzbergbau Hallstatt

Feder verfaßte ein "Gutachten über die Standsicherheit der Pfeiler und Schweben der Bohrlochwerker des Salzbergbaues Hallstatt (12). Es wurde darin untersucht, ob die in Abb. 16 dargestellte Anlage von Einzelsonden möglich bzw. zulässig ist. Auch in diesem Gutachten wurde wiederum von den ungünstigsten Umständen ausgegangen. Das Gutachten bestätigte auch in diesem Falle die Planungsannahmen.

Aber auch Gutachten von der Bergbau-Forschungs-GmbH und des Steinkohlenbergbauvereines in Essen-Kray über die Dimensionierung von Kavernen in alpinen Salzlagernstätten konnten wesentlich zur Lösung der gebirgsmechanischen Fragen beitragen (10, 11).

4.22.2 Obertagebohrlochsonden

Für das Obertagesondenfeld Bad Ischl wurden Gutachten zur Kavernendimensionierung neben unternehmenseigenen Berechnungen durchgeführt (16). Feder und Schaubberger befaßten sich in diesen Expertisen mit der Frage der "Standsicherheit der Pfeiler und Schweben der Bohrlochwerker des Salzbergbaues Bad Ischl" und mit der Frage der "Beschaffenheit und des gebirgsmechanischen Verhaltens des bei der Haselgebirgsverlaugung verbleibenden Rückstandes (Laist)" (13, 14, 26).

In Abb. 17 ist die Anordnung und Dimensionierung der einzelnen Kavernen dargestellt.

Die Aussohlung erfolgt grundsätzlich nur durch Einzelsonden, deren Enddurchmesser 100 m und die Gesamthöhe ca. 220 beträgt. Die zwischen den einzelnen Kavernen verbleibenden Bergfesten mit einer Mindeststärke von 50 m wurden als ausreichend angesehen.

Zwischen der endgültigen Kavernendecke und dem Hangenden muß eine tragende Haselgebirgsschwebe erhalten bleiben. Die endgültige Dimensionierung dieser Sicherheitsschwebe wird bis zum Jahre 1985 durchgeführt werden.

Zur Erfassung von etwaigen Oberflächenbeeinträchtigungen wird ein Feinnivellament über dem Obertagesondenfeld durchgeführt.

5. Untertagebohrlochsonden

5.1 Allgemeines

Zur Erkundung des Gebirges wird zuerst mit einer vollhydraulischen Drehbohrmaschine eine Kernbohrung mit 66 mm Durchmesser abgestoßen, unter Beachtung einer optimalen Kernaussbeute.

Anschließend erfolgt die Erstellung eines Salzgehaltsdiagrammes auf der Basis folgender Auswertungen:

- visuelle Begutachtung der Bohrkerne,
- Laboranalysen,
- Einordnung des Bohrprofiles in eine räumlich größeren geologischen und petrographischen Zusammenhang.

SCHNITT A - A

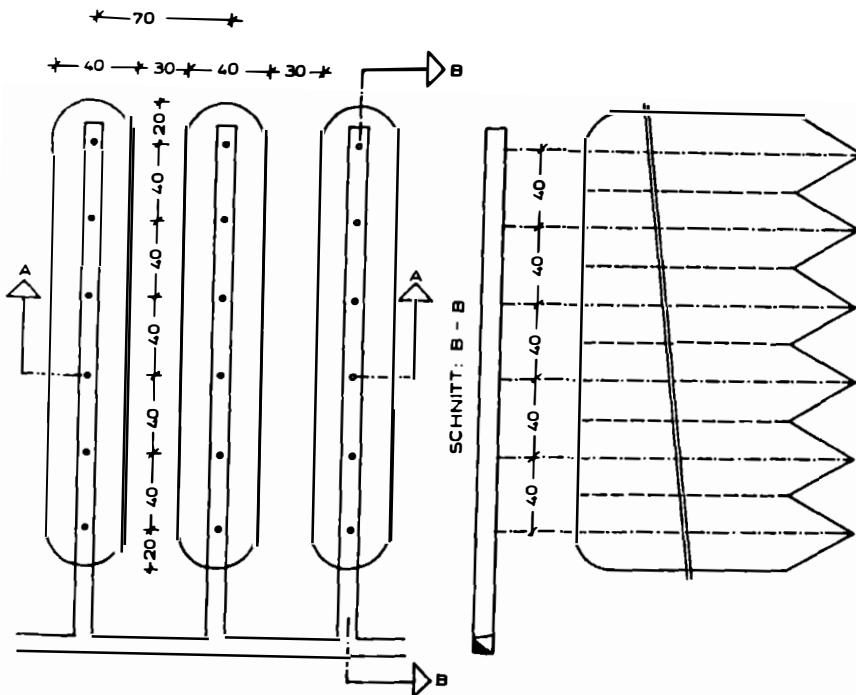
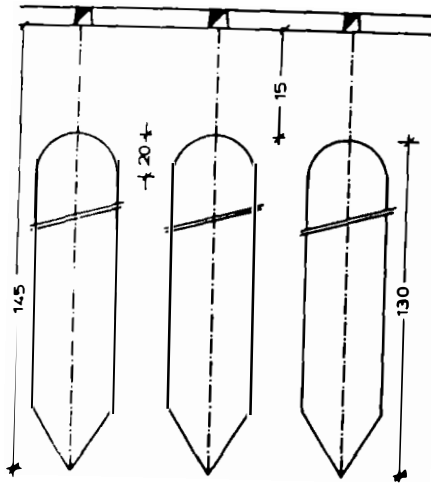


ABB. 15: DIMENSIONIERUNG UND ART DER ANLAGE DER REIHENSONDEN DES SALZBERGBAUES ALTAUSSEE.

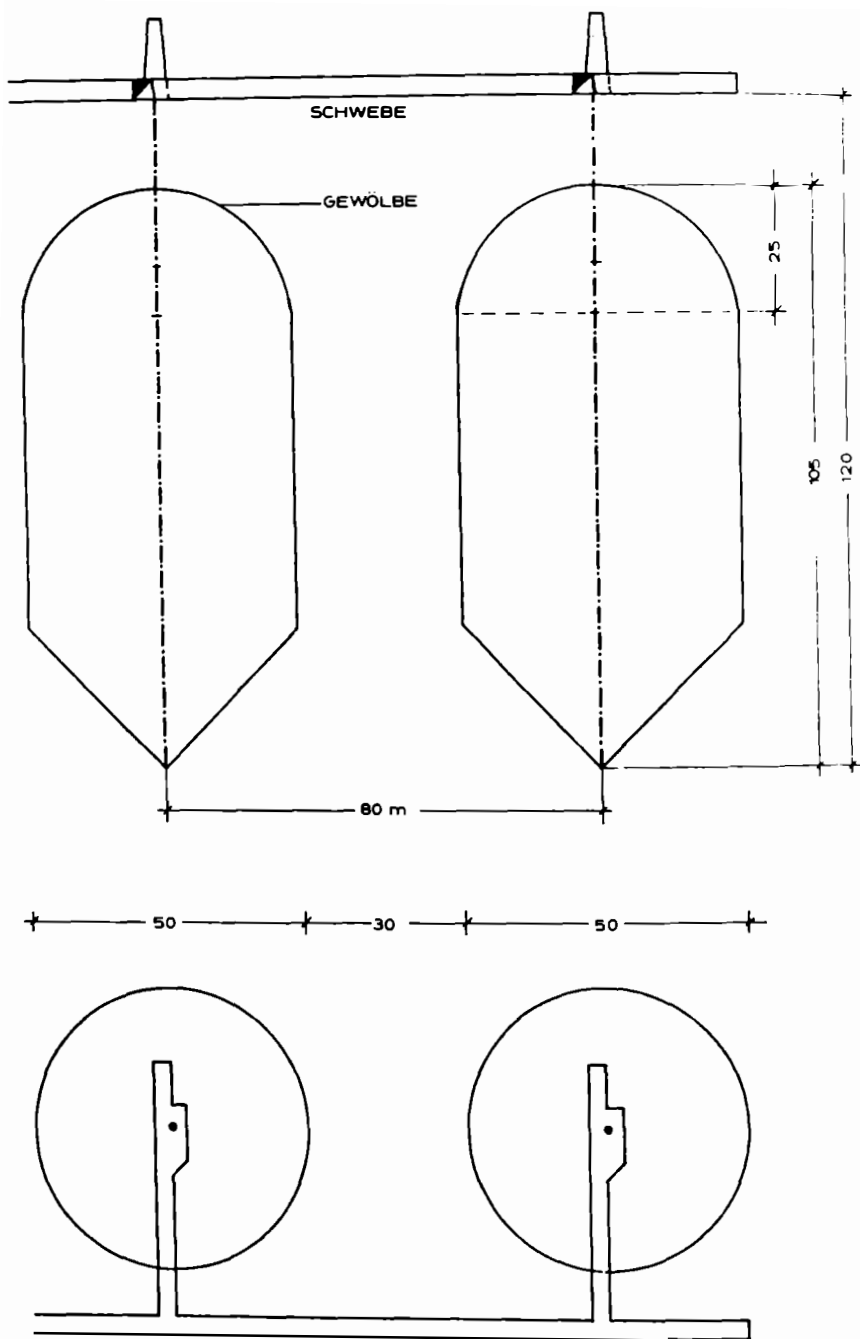


ABB. 16: DIMENSIONIERUNG UND ART DER ANLAGE DER EINZELSONDEN DES SALZBERGBAUES HALLSTATT.

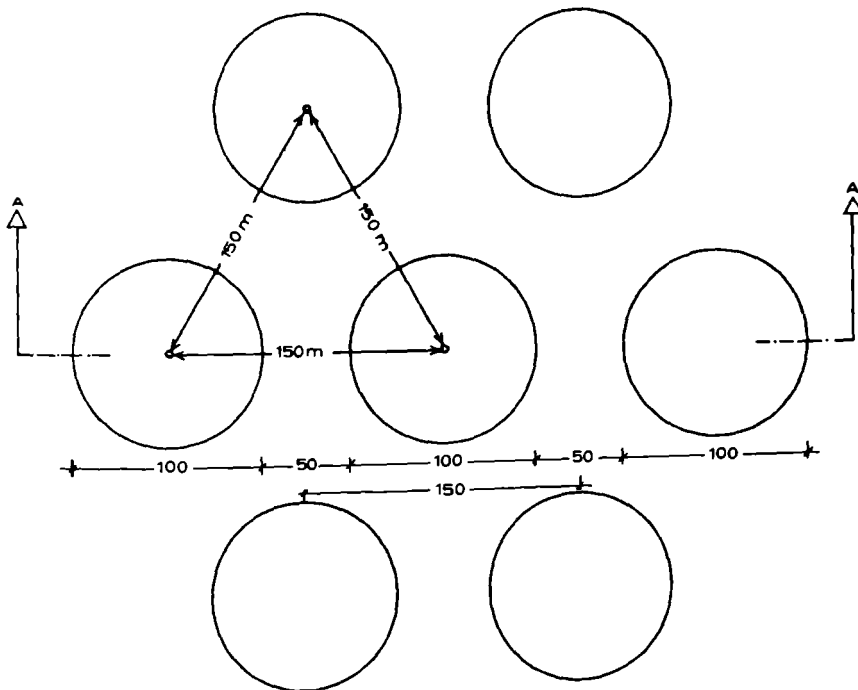
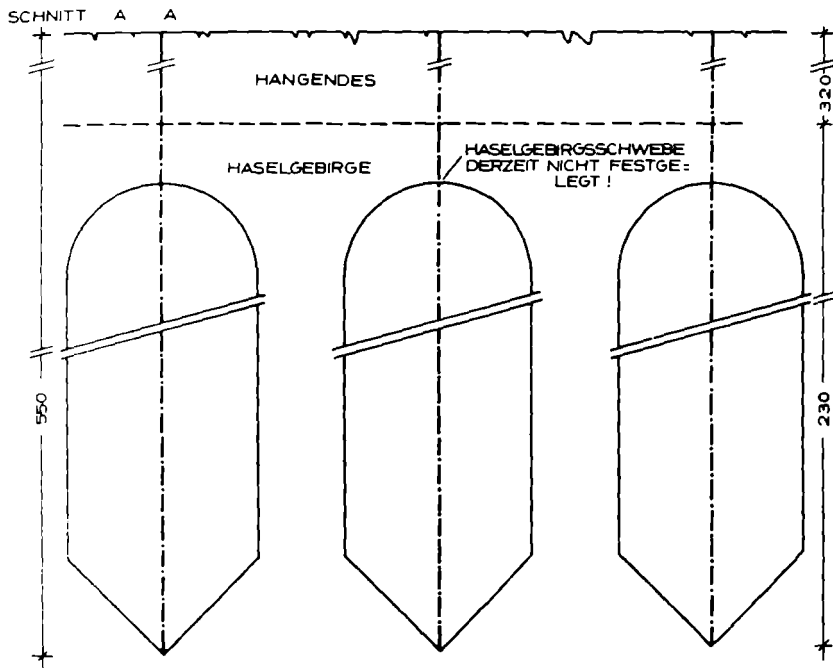


ABB. 17: ANORDNUNG UND DIMENSIONIERUNG DER BOHR-
SONDEN IM OBERTAGESONDENFELD BAD ISCHL.

Horizontweise Kartierungen der alpinen Salzlagerstätten durch O. Schaubberger liegen vor. Somit ist es möglich, die Bohrprofile geologisch und petrographisch einzuordnen. Beispielsweise können größere nichtlösliche Einlagerungen (Anhydrite, Tone usw.) im zukünftigen Kavernenraum lokalisiert und Feststellungen getroffen werden, ob die Anlage einer Kaverne grundsätzlich möglich ist.

Mit Hilfe derartiger Diagramme wird die Eignung des zu verlaugenden Gebirgskörpers für dieses Gewinnungsverfahren überprüft. Die Abb. 18 zeigt beispielhaft ein solches Salzgehaltsdiagramm.

5.2 Vorrichtung und Herrichtung

Nach festgestellter Eignung erfolgt die Erweiterung der Kernbohrung mittels eines Stufenmeißels auf 220 mm Durchmesser. Die Anlagenteufe beträgt bis zu 140 m unter dem jeweiligen Streckenniveau. Im oberen Bohrlochabschnitt zementiert man ein Standrohr mit 194 mm Durchmesser ein. Der Ringraum zwischen Standrohr und Bohrlochwand erhält eine Zementierung, wobei ein Spezialzement unter Zugabe von Natriumchlorid und vollgrädiger Sole zur Anwendung gelangt. Im Anschluß daran erfolgt das Einbringen der Außen- und Innenrohrkolonne mit einem Durchmesser von 133 mm bzw. 70 mm. Das Rohrende der Innenrohrkolonne wird tiefer gesetzt. Beide Rohrkolonnen sind beweglich ausgeführt. Das Verrohrungsschema kann aus Abb. 19 entnommen werden.

Der Abstand der beiden Rohrkolonnen zwischen den Verrohrungsenden stellt den für die erste Spülphase freigegebenen Gebirgskörper dar.

Nach durchgeführter Installation des Sondenkopfes, der Wasserzuleitung, der Soleableitung, des Druckluftanschlusses, der Manometer für Luft-, Sole sowie Wasserdruckanzeige und der Spannschlösser für die Anhebung der Rohrkolonnen ist die Bohrlochsonde betriebsbereit.

5.3 Aussolung

Die Aussolung gliedert sich in drei Phasen:

- Entwicklungsphase,
- Vollphase,
- Endphase.

Die Entwicklungsphase umfaßt den Bereich vom Beginn der Aussolung bis zum Erreichen der zulässigen horizontalen Aussolungsgrenzen. In diesem Betriebsstadium strebt man möglichst flache Aufsiedewinkel an.

Die Vollphase stellt den anschließenden Aussolungsvorgang bis zum Ansatz der Gewölbebildung dar. Die Aussolung hat so zu erfolgen, daß senkrechte Aufsiedewinkel erzielt werden. Eine Überschreitung der zulässigen horizontalen Aussolungsgrenzen ist zu vermeiden.

In der Endphase wird die Aussolung unter Berücksichtigung einer Gewölbebildung im Kavernenhöchsten durchgeführt.

5.4 Zentralüberwachung, Grädigkeitsmessung

Mit Hilfe der Überwachungsanlagen konnten die wichtigsten Betriebsdaten der Bohrlochsonden, sowohl wasser- als auch soleseitig und die Betriebsdaten der Hauptsole- und Wasserleitungen zentral erfaßt werden.

Die Betriebserfahrungen mit den Zentralüberwachungsanlagen waren sehr zufriedenstellend. Für den praktischen Betrieb ergaben sich folgende Vorteile:

- zentrale Übersicht über Sole- und Wassergebarung bei allen wichtigen produktiven Betriebspunkten und dem Hauptleitungssystem zu jeder Zeit,
- kontinuierliche und objektive Meßdaten, da die Erfassung dieser von der individuellen Messung und Kontrolle durch den Wässerer unabhängig ist,
- Einsparung von Wässerungspersonal.

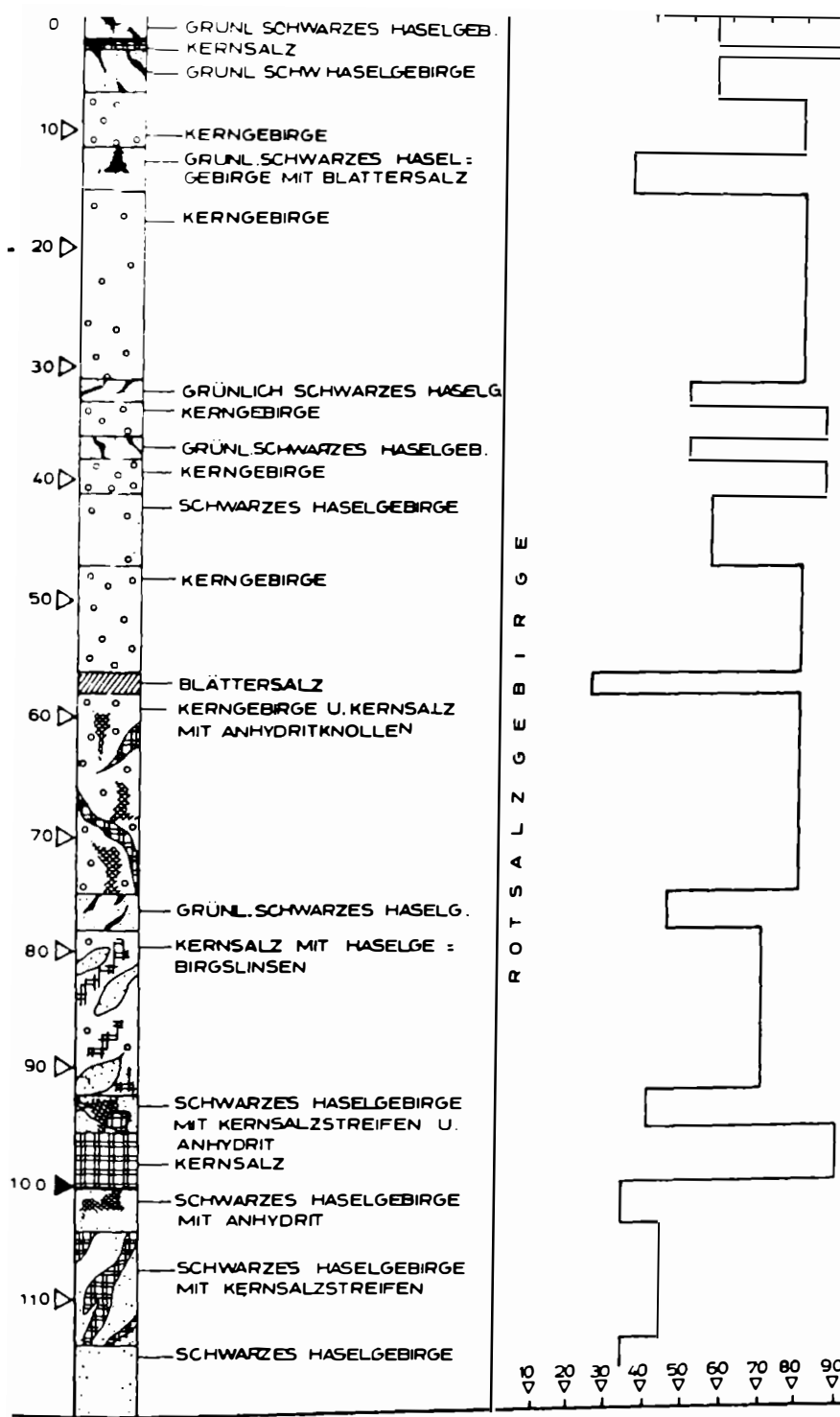
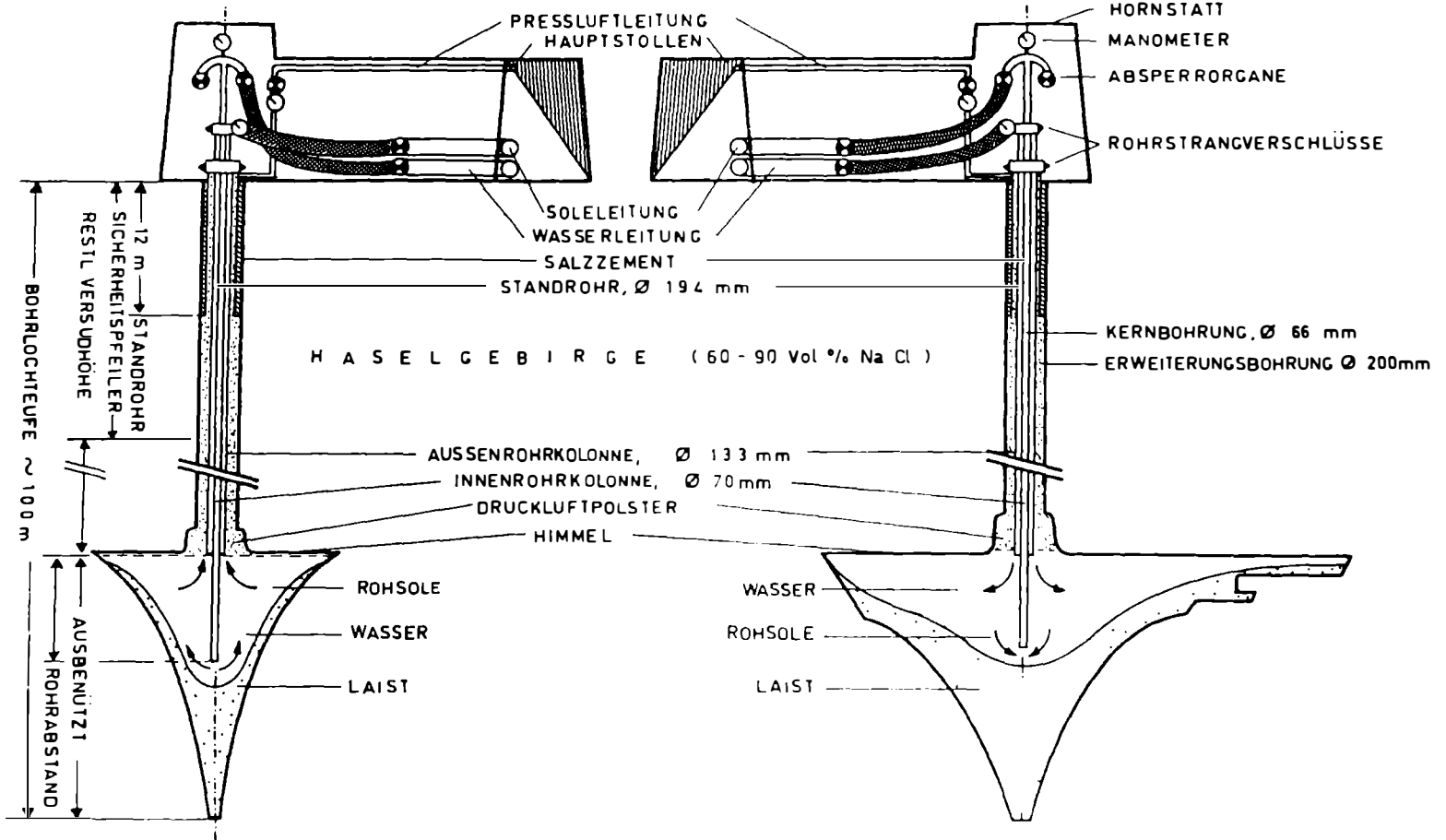


ABB. 18: SALZGEHALTSDIAGRAMM.

UNTERWASSEREINFÜHRUNG

OBERWASSEREINFÜHRUNG:



Mit der Erfassung der wichtigsten Meßdaten, sowohl wasser- als auch soleseitig, konnten Abweichungen vom Sollzustand sofort festgestellt und dieser wiederum in kürzester Zeit hergestellt werden. Die exakte und rasche Anzeige von Sollwertabweichungen gab die Möglichkeit einer schnellen und effizienten Korrektur. Dies ist bei der gegebenen Vielzahl von Abbaubetriebspunkten unumgänglich notwendig.

Die Grädigkeitsmessung im Salzbergbau Altaussee hat sich ebenfalls bestens bewährt. Der geringe Nachteil der Salzverkrustung des U-Rohres wird durch Spülung mit reinem Wasser in definierten Zeitabständen behoben. Da während der Reinigungsspülung die Grädigkeit der, in die Saline Ebensee/Steinkogel abzugebenden Rohsole konventionell bestimmt werden muß, wäre die Errichtung einer By-pass-Schaltung (zweite Grädigkeitsmeßstation) zweckmäßig.

Auch die Grädigkeitsmessung im Salzbergbau Hallstatt hat sich bis dato bestens bewährt.

Durch die Errichtung der Zentralüberwachungsanlagen in den obengenannten Betrieben konnten ca. je 5 " der Belegschaft eingespart werden. Dies ist von entscheidender Bedeutung, da der Personalaufwand ca. 66 % (ohne Fremdleistungen) der Solgestehungskosten beträgt. Es ist somit ein deutlicher Nutzeffekt gegeben.

5.5 Kavernenvermessung

Die echometrische Vermessung der Kavernen führte im allgemeinen zu guten Ergebnissen. Eine sorgfältige Auswertung und Interpretation der Meßergebnisse ist allerdings von großer Bedeutung. Beispielsweise treten bei der Vermessung in Kavernen mit geringen freien Höhen verzerrte Reflexionen des Ultraschalles auf, die eine exakte Distanzbestimmung erschweren. Dies wurde unter anderem bei der Reihensonde WD I/V/VII des Salzbergbaues Hallein festgestellt. Auch bei der Erfassung von Anhydriteinlagerungen bedarf es einer sehr sorgfältigen Messung und Interpretation der Meßergebnisse.

Ferner zeigten die betrieblichen Erfahrungen, daß das Zeitintervall zwischen zwei echometrischen Vermessungen im derzeitigen Ausmaß von zwei Jahren den betrieblichen Anforderungen zur geometrischen Kontrolle des Kavernenraumes genügt.

Vergleiche zwischen echometrischer und konventioneller Vermessung (Theodolit, Kompaß), bezüglich Vermessungsgenauigkeit, wurden im Salzbergbau Altaussee durchgeführt. Es konnte festgestellt werden, daß die Echolog-Vermessung hinsichtlich der benötigten Genauigkeit den herkömmlichen Vermessungsmethoden entspricht.

Dieser Sachverhalt konnte vor allem bei der Bohrlochsonde WD II des Salzbergbaues Hallein festgestellt werden. Nach störungsbedingter Stilllegung der genannten Sonde wurde ein Schacht zur Kaverne abgeteuft und eine Theodolitvermessung durchgeführt, welche die Ergebnisse der echometrischen Vermessung bestätigte. Diesbezügliche Untersuchungen sollten aber noch bei einigen in nächster Zeit fertig ausgesolten Bohrlochsonden durchgeführt werden, um weitere Vergleichsdaten zu erhalten.

Bezüglich der zweijährigen Vermessungsintervalle wurde festgestellt, daß diese bei entsprechender Planung der Aussolung ausreichend sind. International werden meist größere Vermessungsintervalle gehandhabt.

6. Zusammenfassende Analyse der Betriebsergebnisse

Bei der Analyse der Betriebsergebnisse 1967 - 1981 ergeben sich im wesentlichen zwei noch zu lösende Problemkreise:

- Einhaltung flacher Aufsiedewinkel in der Entwicklungsphase,
- Einhaltung vorgegebener Kavernengeometrien.

Die beiden Probleme entstanden durch das Fehlen einer umfassenden Aussolungsplanung vor Betriebsbeginn der Bohrlochsonden und durch mangelnde begleitende Kon-

trollen während des Ausollungsvorganges. Nach Untersuchungen des Verfassers bestand für keine Bohrlochsonde der Österreichischen Salinen AG eine umfassende Ausollungsplanung.

Deshalb soll in dieser Arbeit ein, in seiner Grundgesamtheit für alle alpinen Haselgebirgslagerstätten gültiges Ausollungsmodell erarbeitet werden. Die diesbezüglichen Überlegungen finden sich in Kap. 7.

Dieses Ausollungsmodell sei als erster Schritt in Richtung einer zukünftigen rechnergestützten Betriebsführung von Bohrlochsonden bzw. einer späteren Automatisierung der Bohrlochsologewinnung zu sehen. Als Grundlage dafür können die Daten der bereits vorhandenen Zentralüberwachungsanlagen herangezogen werden. Computerunterstützte Bohrlochsologewinnung aus Reinstsalzlagerstätten gelangt bereits seit einigen Jahren zur Anwendung. Davon konnte sich der Verfasser unter anderem bei dem im Oktober 1982 in Manchester/England abgehaltenen Meeting des "Solution Mining Research Institute, Inc." überzeugen (27).

7. Ausollungsmodell für Bohrlochsonden in alpinen Salzlagerstätten

7.1 Allgemeines

Die vom Verfasser durchgeführten Aufnahmen in den österreichischen Salzbergbauen zeigten, daß die Steuerung des Ausollungsvorganges bei der Bohrlochsologewinnung bislang weitestgehend empirisch betrieben wurde. Hierbei erfolgte die Kontrolle des Ausollungsvorganges hauptsächlich auf der Basis des angetroffenen Ist-Zustandes der Kavernen, unter Nachrechnung der eingeleiteten betrieblichen Maßnahmen. Eine vorplanende Steuerung der Ausollung erfolgte nur in Einzelfällen.

Die in den vorstehenden Abschnitten dargelegten Ausführungen haben verdeutlicht, daß jedoch für eine sichere und wirtschaftliche Führung von Bohrlochsonden eine umfassende Planung des gesamten Ausollungsverlaufes erforderlich ist. Dazu erscheint es zweckmäßig, ein Ausollungsmodell für Bohrlochsonden zu entwickeln, das in seiner Grundgesamtheit alle für den Ausollungsvorgang maßgeblichen Parameter umfaßt und auf die besonderen Verhältnisse der alpinen Salzlagerstätten Anwendung finden kann.

Das Ausollungsmodell hat grundsätzlich die Aufgabe, Planungsdaten bzw. Kontrolldaten in Hinblick auf eine sichere und wirtschaftliche Ausollung zu liefern. Das Ausollungsmodell muß den gesamten Bereich, von mineralogisch-petrographischen Untersuchungen ausgehend, bis zur Festlegung der Spülraten und der ~~Ätz~~Maßvorgaben erfassen.

Im einzelnen müssen folgende Punkte beinhaltet sein:

- MINERALOGISCH-PETROGRAPHISCHE VORUNTERSUCHUNGEN

<u>Kernbohrungen:</u>	Salzgebirgsart, Gesteinstypus, (Salzgehalt);
<u>Laboranalysen:</u>	Salzgehalt, Gehalt und Art der unlöslichen Bestandteile;

- SALZGEHALTSDIAGRAMM

Überprüfung der Eignung für Bohrlochsologewinnung,
teufenmäßige Bestimmung des Ausollungsbeginnes;

- GEOMETRIE DES AUSSOLLUNGSKÖRPERS

<u>Sondentypus:</u>	Einzelsonde, Reihensonde;
---------------------	------------------------------

Geometrie: Aufsiedewinkel,
Volumen des Aussoalkörpers,
Entwicklungsphase,
Vollphase,
Endphase;

- ABBAUTECHNISCHE KENNGRÖSSEN

Wertstoffkomponente: Salzinhalt,
Soleausbringen;

Nichtwertstoffkomponente: Auflockerungsfaktor,
Volumen der unlöslichen Rückstände
(Laistvolumen),
Teufe der Laistsohle;

Kavernenentwicklung: freies Volumen,
durchschnittliche freie Höhe,
Deckenfläche (Laugfläche),
Verfüllungsgrad;

- AUSSÖLUNG

Betriebsmethoden,
Sperrmedium,
Spülraten,
Ätzmaß,
Betriebszeit- Aussölungsdauer.

In den folgenden Kapiteln werden die obengenannten Punkte für eine Modellsonde (Einzelsonde) näher dargestellt.

7.2 Mineralogisch-petrographische Voruntersuchungen, Salzgehaltsdiagramm

Diese Voruntersuchungen dienen zur qualitativen und quantitativen Bestimmung des auszusolenden Gebirgskörpers. Für diese Untersuchungen sind Kernbohrungen und Laboranalysen notwendig, um folgende Ergebnisse zu erhalten:

- Salzgebirgsart,
- Gesteinstypus,
- Salzgehalt der Bohrkerne,
- Gehalt und Art der unlöslichen Bestandteile.

Sehr wesentlich für den praktischen Aussölungsbetrieb ist die Feststellung der Art der unlöslichen Bestandteile. Je nach fazieller und stratigraphischer Ausbildung der alpinen Haselgebirgslagerstätten sind unlösliche Wässerungsrückstände verschiedenartig. Bei äußerst durchlässigen Wässerungsrückständen in Form eines anhydritischen Laistes ist es, wie das Beispiel der Bohrlochsonden des Ober-tagesondenfeldes Bad Ischl zeigt, möglich, Bohrlochsonden in einem Haselgebirge mit niedrigem Salzgehalt ($p = 50 \text{ Vol.}\% - 60 \text{ Vol.}\%$) zu entwickeln. Diese Art des Laistes stellt aber in den bekannten Teilen der alpinen Haselgebirgslagerstätten eher die Ausnahme dar und konnte in dieser extremen Form bis dato nur im Ober-tagesondenfeld Bad Ischl festgestellt werden.

Aus den Ergebnissen der Kernbohrungen und Laboranalysen wird ein Salzgehaltsdiagramm erstellt, welches aus Abb. 18 zu ersehen ist. An Hand dieses Diagrammes kann nun die Überprüfung der Eignung des Gebirges für das Bohrlochsoleverfahren durchgeführt und bei Eignung der Aussölungsbeginn teufenmäßig bestimmt werden. Auf ein entsprechendes Salzgehaltsdiagramm bauen alle weiteren Schritte des Aussölungsmodelles auf.

Im Salzgehaltsdiagramm der Abb. 18 kann festgestellt werden, daß der Teufenbereich $T = - 100 \text{ m}$ bis $T = - 115 \text{ m}$ für Bohrlochsolegewinnung ungeeignet ist. Der Bereich $T = - 100 \text{ m}$ bis $T = - 15 \text{ m}$ weist einen durchschnittlichen Salzgehalt $p 71 \text{ Vol.}\%$ auf und eignet sich für Bohrlochsolegewinnung.

7.3 Geometrie des Aussolungskörpers

Wie bereits in Kap. 5 erwähnt, werden in den Salzbergbauen der Österreichischen Salinen AG sowohl Einzelsonden als auch Reihensonden betrieben.

Jeder Aussolvorgang erfolgt in der Entwicklungsphase nach dem Prinzip einer Einzelsonde. Nach der Entwicklungsphase besteht die Möglichkeit, mehrere Einzelsonden zu einer Reihensonde zu vereinigen. Dies erfolgt in den alpinen Salzlagern durch natürliche Verschneidung. Das hydraulische Aufbrechen des Gebirges zwischen zwei Sonden gelangt wegen der Lagerstättengegebenheiten nicht zur Anwendung.

Die Reihensonden haben gegenüber den Einzelsonden prinzipiell zwei wesentliche Vorteile: bessere Lagerstättenausnutzung und größere Leistungsfähigkeit. Nachteilig wirkt sich der Umstand aus, daß gemäß den betrieblichen Erfahrungen Reihensonden aussolungstechnisch schwieriger zu steuern sind. Die Anlage von Reihensonden ist nur dort möglich, wo große ungestörte Abbaufelder zur Verfügung stehen.

Einzelsonden haben wiederum den großen Vorteil, daß auch die Aussolung kleinerer Abbaufelder bzw. Restpfeiler durchführbar ist. Ebenso ist die Aussolung von "inhomogenen" Lagerstättenbereichen mit größeren unlöslichen Einlagerungen mit Einzelsonden leichter durchzuführen.

Wegen der Besonderheiten der alpinen Salzlagern müssen für jeden einzelnen Abbaubereich gesonderte Überlegungen bezüglich der Wahl des Sondentypus angestellt werden.

Die Einzelsonde wird für das in Kap. 7 beschriebene Aussolungsmodell als Hauptverfahren betrachtet, ist aber gleichzeitig auch als Grundmodell für Reihensonden anzusehen.

Geometrisch gesehen gliedert sich eine Bohrlochsonde in drei Abschnitte:

- Kegel (Entwicklungsphase),
- Zylinder (Vollphase),
- Halbkugel (Endphase).

Die Entwicklungsphase umfaßt den Teufenbereich vom Beginn der Aussolung bis zum Erreichen der zulässigen horizontalen Aussolungsgrenzen. Ein möglichst flacher Aufsiedewinkel ist anzustreben, um eine gute Gebirgsausnutzung im Aussolungstiefsten zu erzielen. Der mögliche Aufsiedewinkel in der Entwicklungsphase hängt vor allem vom Salzgehalt bzw. vom Gehalt der unlöslichen Verlaugungsrückstände des Haselgebirges und der daraus resultierenden freien Kavernenhöhe ab. Je höher der Salzgehalt ist, desto flachere Aufsiedewinkel sind möglich.

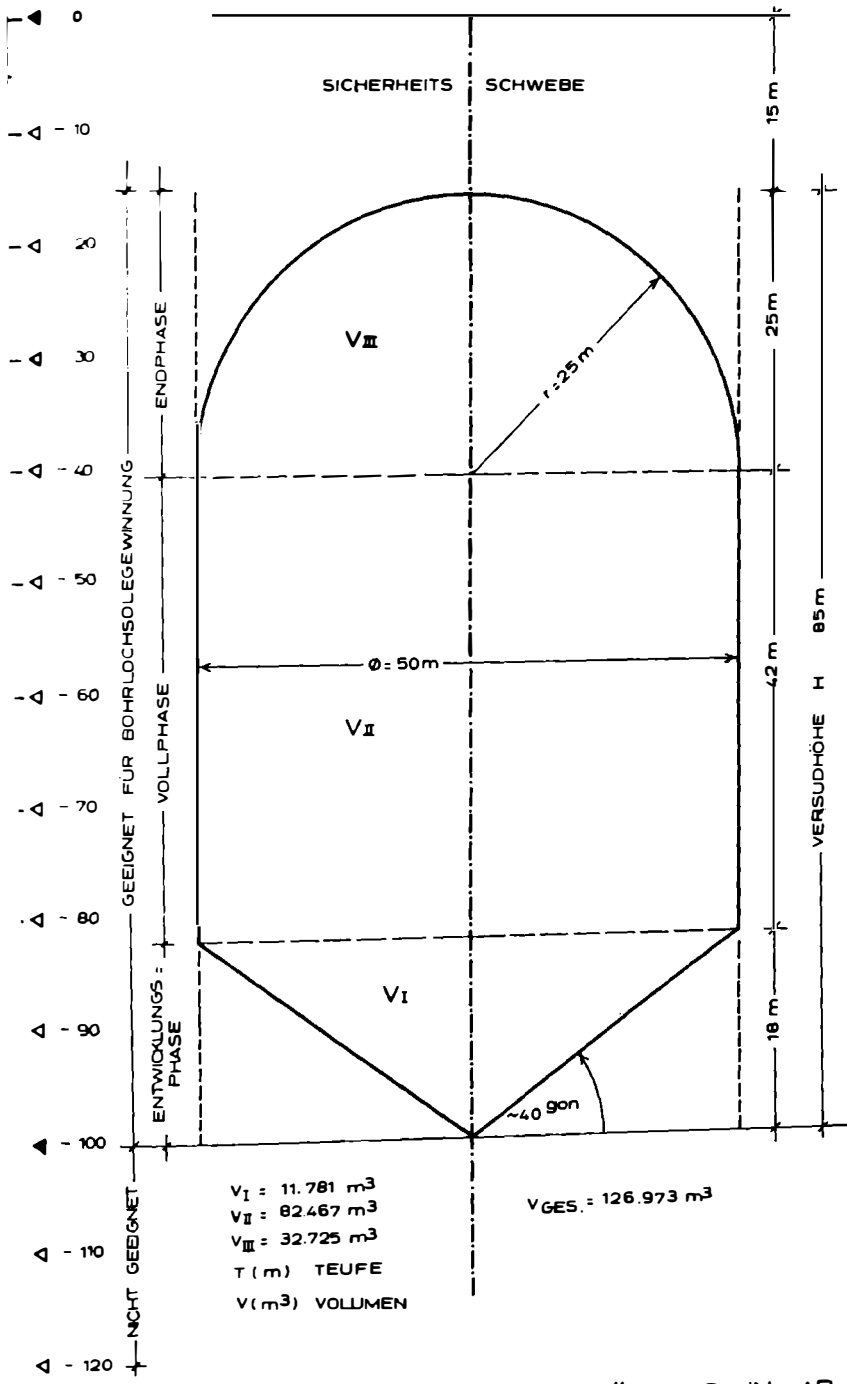
Die Vollphase stellt den anschließenden Teufenbereich bis zum Ansatz der Gewölbbildung dar. Der optimale Aufsiedewinkel in der Vollphase beträgt $\alpha = 100$ gon.

Die Endphase ist jener Teufenbereich, in dem die Gewölbbildung vollzogen wird. In dieser Phase ändern sich die Aufsiedewinkel ständig.

Für die Modellsonde können die geometrischen Verhältnisse aus Abb. 20 entnommen werden. Auf Grund des Salzgehaltes und der freien Kavernenhöhe im untersten Aussolungsbereich wird für die Entwicklungsphase ein Aufsiedewinkel $\alpha \sim 40$ angesetzt. Wie in Kap. 7.4 gezeigt wird, ist es durchaus möglich, diesen flachen Aufsiedewinkel zu erzielen. Die Aussolungstechnik dazu wird in Kap. 7.4 behandelt.

7.4 Aussolungsparameter

Nach Festlegung der geometrischen Verhältnisse erfolgt die Berechnung des Salzinhalt des Aussolungskörpers. Daraus kann unter Zugrundelegung der Grädigkeit der Rohsole ($\rho = 320 \text{ kg/m}^3$) das Soleausbringen ermittelt werden. Man geht dabei so vor, daß man den Aussolungskörper entsprechend den teufenbezogenen Salzgehalten in einzelne Scheiben zerlegt und den Salzinhalt bzw. das Soleausbringen berechnet.



3B. 20. GEOMETRIE DES AUSSOLUNGSKÖRPERS IN ABHÄNGIGKEIT VOM SALZGEHALT.

Es ergibt sich für die Modellsonde mit einer Versudhöhe $H = 85$ m, einem Verlaugungsvolumen $V = 126.973$ m³, und einem durchschnittlichen Salzgehalt $p = 71,4$ Vol.% ein Salzinhalt $P = 199.371$ t und ein praktisches Soleausbringen $Spr = 575.433$ m³.

Alle im Kapitel 2.2 angeführten Kenngrößen werden sodann als Sollwerte für den gesamten Aussolungsprozeß berechnet und etwaige Abweichungen im Zuge der Aussolung analysiert sowie entsprechend korrigiert.

7.5 Kontrollmöglichkeiten

Eine begleitende Kontrolle der Aussolung ist unumgänglich notwendig, um Sollwertabweichungen sofort feststellen und Korrekturmaßnahmen einleiten zu können.

Maßnahmen der begleitenden Kontrolle sind:

- Führung von täglich, monatlich und jährlich zu erstellenden Betriebsdatenblätter,
- echometrische Kavernenvermessungen,
- volumetrische Kavernenvermessungen.

Die echometrischen Kavernenvermessungen, welche in Kap. 5.5 bereits beschrieben wurden, sind in Zweijahresintervallen durchzuführen. Diese Zeitabstände sind ausreichend, wenn der Aussolung eine exakte Planung vorausgegangen ist und eine laufende Kontrolle der Aussolung durchgeführt wird.

Weiters ist die Möglichkeit gegeben, zwischenzeitlich volumetrische Vermessungen durchzuführen. Bei dieser Vermessungsart werden die in der Kaverne befindliche Sole durch Luft ausgepreßt und in die leere Kaverne genau gemessenen Flüssigkeitsmengen (vollgrädige Sole) eingebracht. Das jeweilige Flüssigkeitsniveau wird gemessen und aus der Niveaudifferenz kann die horizontale Fläche der Kaverne berechnet werden.

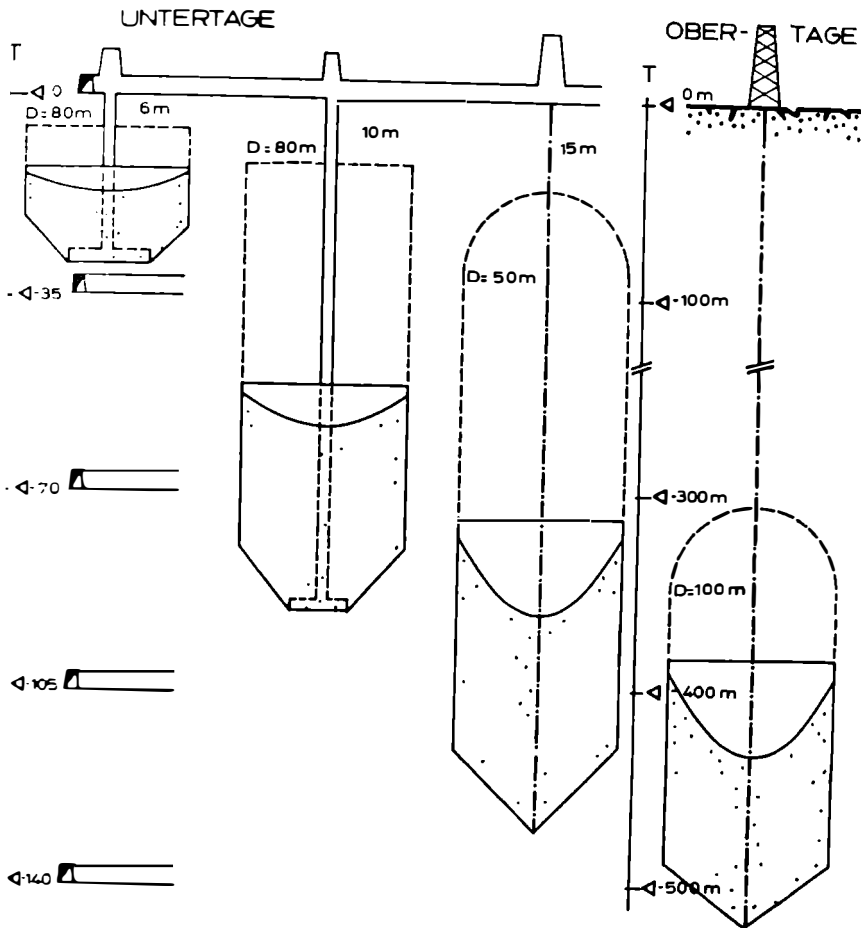
9. Vergleich zwischen dem Bohrlochsoleverfahren und dem Tiefenwerks- bzw. Normalwerksverfahren in Hinblick auf einige wirtschaftliche Parameter

Die Betriebsergebnisse im Zeitraum 1967 - 1984 mit dem Bohrlochsoleverfahren zeigen, daß dieses Verfahren herkömmlichen Normalwerks- und Tiefenwerksverfahren sowohl in leistungsmäßiger als auch in wirtschaftlicher Hinsicht überlegen ist. In Abb. 21 sind die einzelnen Verfahren vergleichend gegenübergestellt.

Die Vorrichtungszeit eines Normalwerkes beträgt $t = x$ (20-22 Monate) und die Vorrichtungskosten belaufen sich auf $K = y$. Mit einem Normalwerk wird eine Abbauhöhe von $H_A = 20$ m - 25 m aufgeschlossen. Die Vorrichtungszeit eines Tiefenwerkes mit einer Abbauhöhe von $H_A = 80$ m beträgt $t = 1,5 x$ und die Vorrichtungskosten belaufen sich auf $K = 1,5 y$. Bezieht man nun die Vorrichtungskosten auf die anzuheffende Solemenge (Soleausbeute), so ist gemäß Abb. 21 zu ersehen, daß die Belastung der Solegestehungspreise durch die Vorrichtung beim Tiefenwerksverfahren wesentlich geringer ist als beim Normalwerksverfahren. Beim Tiefenwerksverfahren entfällt außerdem die Auffahrung und Erhaltung von zwei Zwischenhorizonten. Die beim Normalwerksverfahren gegebenen Sicherheitsschweben der einzelnen Zwischenhorizonte können beim Tiefenwerksverfahren mitverlaugt werden.

Die jährlichen Produktionsraten eines Normalwerkes betragen 20.000 m³ - 30.000 m³, die eines Tiefenwerkes ca. 50.000 m³ - 70.000 m³. Es ist somit auch eine größere Leistungsfähigkeit gegeben.

Im Jahre 1981 betrug der Anteil der aus Normalwerksanlagen gewonnenen Rohsole am Gesamtsoleaufkommen der ÖSAG ($2,4 \cdot 10^6$ m³) nur noch 345.000 m³ (14 %). Die zukünftige Tendenz für das Normalwerksverfahren ist sinkend. Den größten Anteil an der 1981 produzierten Gesamtsolemenge nimmt die Rohsole aus Tiefenwerksanlagen ein. Der Anteil belief sich auf ca. $1.145.000$ m³ (48 %) und die weitere Tendenz ist steigend.



	NORMALWERK	TIEFENWERK	UNERTAGESONDE	OBERTAGESONDE
ABBAUHÖHE	20 - 25 m	50 - 80 m	100 - 140 m	230 - 300 m
VORRICHTUNGSZEIT	$t \cdot x$	$t = 1,5 \cdot x$	$t = 0,2 \cdot x$	$t = 0,2 \cdot x$
VORRICHT. KOSTEN	$K = y$	$K = 1,5 \cdot y$	$K = 0,3 \cdot y$	$K = 1,5 \cdot y$
SOLEAUSBEUTE	0,2 - 0,4 Mio. m ³	0,7 - 1,0 Mio. m ³	0,6 - 0,8 Mio. m ³	1,5 - 2,0 Mio. m ³
SOLEPROD. / JAHR	0,02 - 0,03 Mio. m ³	0,05 - 0,07 Mio. m ³	0,07 - 0,1 Mio. m ³	0,09 - 0,15 Mio. m ³
BETRIEBSZEIT	10 - 15 Jahre	20 Jahre	8 - 10 Jahre	15 - 18 Jahre
SOLEPRODUKTION DER ÖSAG 1981: ~2,4 Mio. m ³ = 100 %				
PRODUKTION 1981	3.450.000 m ³	1.145.000 m ³	680.000 m ³	230.000 m ³
PROZENTE	14	48	28	10
TENDENZ	↓	↑	↑↑	↑↑

BB. 21 VERGLEICH DER GEWINNUNGSVERFAHREN FÜR ROHSOLE FÜR DAS JAHR 1981

Den beiden bereits genannten untertägigen Gewinnungsverfahren steht das Bohrlochsoleverfahren gegenüber. Wie aus Abb. 21 ersehen werden kann, ist dieses Verfahren den obgenannten Verfahren sowohl leistungs- als auch kostenmäßig weitaus überlegen. Die schon für das Tiefenwerksverfahren genannten Vorteile gegenüber dem Normalwerksverfahren kommen bei der Bohrlochsolegewinnung in noch größerem Umfange zur Geltung.

Um eine Abbauhöhe $H_A = 100 \text{ m} - 140 \text{ m}$ aufzuschließen, benötigt man nur eine Vorrichtungszeit $t = 0,2 \text{ x}$. Die Vorrichtungskosten einer untertägigen Bohrlochsonde betragen $K = 0,3 \text{ y}$, also nur ein Drittel der Kosten eines Normalwerkes.

Außerdem entfällt die Auffahrung von drei Zwischenhorizonten, und die Erhaltung dieser Horizonte.

Ein wesentlicher Vorteil liegt auch in der raschen Verfügbarkeit von Rohsole, gegeben durch die kurze Vorrichtungszeit und die Möglichkeit, schon nach ca. 1,5 Jahren ab Inbetriebnahme kontinuierlich vollgrädige Rohsole gewinnen zu können.

Ein weiterer entscheidender Vorteil einer Bohrlochsonde besteht in ihrer großen Leistungsfähigkeit. Es können jährliche Produktionsraten von 70.000 m^3 bis 100.000 m^3 erzielt werden. Durch die hohe Abbaugeschwindigkeit bei Bohrlochsonden ist es möglich, das investierte Kapital in kürzester Zeit in Form der Wertstoffkomponente zurückzugewinnen als bei Normal- bzw. Tiefenwerksanlagen. Die Summe aller Vorteile, in Verbindung mit der zentralen Überwachung der untertägigen Bohrlochsonden, äußert sich in wesentlich geringeren Solegestehungskosten gegenüber dem Normalwerks- bzw. Tiefenwerksverfahren.

Im Jahre 1981 konnten ca. 680.000 m^3 Bohrlochsole aus Untertagebohrlochsonden gewonnen werden. Dies entspricht einem Anteil von ca. 28 % an der Gesamtsoleproduktion 1981. Wie die Abb. 21 gemäß den Pfeilrichtungen in der Zeile "Tendenz" zeigt, ist der Anwendungsumfang dieses Gewinnungsverfahrens stark steigend. Die Einführung einer entsprechenden Automatisierung der Bohrlochsolegewinnung auf der Grundlage von Aussolungsprogrammen läßt erwarten, daß die bereits vorhandene Wirtschaftlichkeit dieses Gewinnungsverfahrens noch gesteigert werden kann.

Das Bohrlochsoleverfahren gelangt in Österreich aber auch in vermehrtem Maße obertägig zur Anwendung. Auch für die Obertagesonden zeigt die Abb. 21 die hohe Wirtschaftlichkeit dieses Gewinnungsverfahrens. So betragen beispielsweise die Solegestehungskosten im Obertagesondenfeld Bad Ischl nur ca. 30 % der Gesamtsolegestehungskosten der Österreichischen Salinen AG im Jahre 1980.

Im Jahre 1981 wurden bereits 230.000 m^3 Rohsole, oder ca. 10 % der Gesamtjahresproduktion aus den Obertagesonden gewonnen. Der Anwendungsumfang dieses Gewinnungsverfahrens muß stark steigen. Die Solegestehungskosten des Obertagesondenfeldes Bad Ischl müssen zukünftig durch eine weitere Erhöhung der jährlichen Produktion und durch die Automatisierung der Solegewinnung optimiert werden.

Mittelfristig bis langfristig gesehen, ist nur durch eine verstärkte und verbesserte Anwendung des Bohrlochsoleverfahrens die Solegewinnung in Österreich wirtschaftlich durchzuführen. Eine dem Salzmonopolgesetz entsprechende wirtschaftliche und marktgerechte Versorgung Österreichs mit dem Rohstoff Natriumchlorid erfordert in Zukunft unbedingt die Bereitstellung kostengünstiger Rohsole.

Literatur

- (1) AUGHENBAUGH, B.N. u. PULLEN, M.W.: Directional Hydrofracturing - Fact or Fiction. Third Symposium on Salt - Northern Ohio Geological Society, 1970, Vol. 2, pp. 393-403.
- (2) BAYS, C.A., PETERS, W.C. u. PULLEN, W.: Solution Extraction of Salt Using Wells Connected by Hydraulic Fracturing. Trans. SME/AIME, Vol. 217, 1960, pp. 266-267.
- (3) Bureau of Mines: Salt. Reprint from Bulletin 671, p.3. A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1980 Edition, United States Department of the Interior.
- (4) BUTLER, C.A., Jr.: Design of Wells to Supply Salt to Chemical Plants. Petroleum Engineering, 1949, pp. 40-48.
- (5) CALDWELL, J.W. u. STRABALA, J.M.: Application of Modern Well Logging Methods to Salt Solution Cavities. Third Symposium on Salt - Northern Ohio Geological Society, 1970, Vol. 2, pp. 341-352.
- (6) COOK, J.C.: Seismic Delineation of Solution Cavities. Second Symposium on Salt - Northern Ohio Geological Society, Cleveland 1966, Vol. 2, pp. 131-139.
- (7) COOK, J.C.: Yes, We Can Locate Solution Cavity Boundaries. Fourth Symposium on Salt - Northern Ohio Geological Society, 1974, Vol. 2, pp. 33-39.
- (8) DAVIS, J.G. u. SHOCK, D.A.: Solution Mining of Thin Bedded Potash. Trans. SME/AIME, Vol. 247, 1970, pp. 93-96; Mining Engineering, Vol. 22, No 7, 1970, p. 106.
- (9) DREYER, W.: Underground Storage of Oil and Gas in Salt Deposits and Other Non-Hard rocks. Geology of Petroleum Vol. 4. Halsted Press New York, Wiley Ltd. Chichester 1982.
- (10) EVERLING, G.: Ober die Bemessung der Bergfesten und Pfeiler bei den Werksanlagen des Salzbergbaues Hallstatt. Unveröffentlichtes Gutachten, Bergbau-Forschungs GmbH-Essen, 1971.
- (11) EVERLING, G.: Verätzungshöhe im Solebergbau. Unveröffentlichter Untersuchungsbericht des Steinkohlenbergbauvereines Essen für das Salzbergwerk Berchtesgaden, 1965.
- (12) FEDER, G.: Ober die Standsicherheit der Pfeiler und Schweben der Bohrlochwerker des Salzbergbaues Hallstatt. Unveröffentlichtes Gutachten, 1978.
- (13) FEDER, G.: Ober die Standsicherheit der Pfeiler und Schweben der Bohrlochwerker des Salzbergbaues Bad Ischl. Unveröffentlichtes Gutachten, 1979.
- (14) FEDER, G.: Sicherheit der Pfeiler und Schweben des Bohrloch-Salzbergbaues Bad Ischl. Unveröffentlichtes abschließendes Gutachten nach Vorliegen der erbetenen Stellungnahme des mit dem örtlichen Gebirge vertrauten Geologen sowie des Bergbaubetriebes, 1980.
- (15) FRITZSCHE, C.H.: Bergbaukunde - 2. Band. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1962.
- (16) HAMPEL, F.: Standfestigkeitsnachweis des Deckengebirges über den Sonden BJ 1, 2 und 3 im Sondenfeld Bad Ischl. Unveröffentlichte Studie, ÖSAG, 1978.

- (17) HICKS, B.: Special Logging Techniques of Underground Storage and Solution Mining Wells. Fourth Symposium on Salt Northern Ohio Geological Society, 1974, Vol. 2, pp. 93-100.
- (18) HUSBAND, W.H.W. u. OZSAHNIN, S.: The Solution Mining Method of Potash Production. Proceedings Saskatchewan Industrial Exposition and Mineral Symp., 1967, Saskatchewan Dept. of Ind. and Commerce, Regina, pp. 234-237.
- (19) Interstate Oil Compact Commission: Production and Disposal of Oil Field Brines in the United States and Canada. Research Comitee 1960.
- (20) JACOBY, Ch.H.: Effect of Geology on the Hydraulic Fracturing of Salt. Second Symposium on Salt - Northern Ohio Geological Society, Cleveland 1966, Vol. 2, pp. 311-320.
- (21) KELLER, H.: Methods of Joining Two or More Wells for Brine Production. Fourth Symposium on Salt Northern Ohio Geological Society, 1974, Vol. 2, pp. 211-218.
- (22) KOHN, R. u. DELLWIG, L.F.: Salt Deposits of Permian, Triassic and Tertiary Age in W-Germany. In: Sedimentology of Parts of Central Europe, Guidebook, 8th Int. Sediment. Cong. 1971, pp. 303-326.
- (23) MANKER, E.A.: Hydraulic Fracturing in Salt and Potash Formation. Third Symopodium on Salt - Northern Ohio Geological Society, 1970, Vol. 2, pp. 439-444.
- (24) NOLTE, E. u. WIRCZEYKO, E.: Problems Occuring During Sonar Logging of Storage Caverns. Fifth Symposium on Salt, Hamburg 1980, Vol. 2, pp. 77-80.
- (25) PETRASCHECK, W.E.: Lagerstättenlehre. Springer-Verlag, Wien 1961.
- (26) SCHAUBERGER, O.: Ober die Beschaffenheit und das gebirgsmechanische Verhalten des bei der Haselgebirgsverlaugung verbleibenden Rückstandes (Laist). Unveröffentlichtes Gutachten, 1980.
- (27) SCHEEPSTRA, H.K. u. STEENGE, W.D.E.: Modelling of Multi-Component Salt Solution Mining. Meeting Paper, Autumm Meeting 1982 - SMRI, Manchester/England.
- (28) SCHONFELDT, H. u. FAIRHURST, C.: Open Hole Hydraulic Fracturing. Third Symposium on Salt - Northern Ohio Geological Society, 1970, Vol. 2, pp. 404-409.
- (29) SHOCK, D.A.: Use of Hydraulic Fracturing to Make a Horizontal Storage Cavity in Salt. Second Symposium on Salt - Northern Ohio Geological Society, Cleveland 1966, Vol. 2, pp. 406-411.
- (30) SME: SME-Mining Engineering Handbook, Vol. 2, Editor Ivan A. Given AIME, New York 1973.
- (31) SMIRNOV, V.I.: Geologie der Lagerstätten mineralischer Rohstoffe. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1970.
- (32) SPACKELER, G.: Lehrbuch des Kali- und Steinsalzbergbaues 1957, S. 240-263: "Der alpine Salzsolebergbau" von H. Mayerhofer. W. Knapp Verlag, Halle 1957.
- (33) STREIT, P. u. GOMM, H.: Solution Mining Technique in the Brinefield of Schweizerhalle and Ridburg. Meeting Paper. Autumm Meeting 1982 - SMRI, Manchester; England.

- (34) THOMANEK, K.: Salzgewinnung in Österreich. Vortrag, Symposium on Salt - Northern Ohio Geological Society, Hamburg 1980.
- (35) THOMANEK, K.: Salz in Österreich - Unternehmensstrategie der Österreichischen Salinen AG. BHM, 127. Jg. (1982), H. 10, S. 381-389.
- (36) TRUMP, E.N.: Increasing Brine Output from Salt Beds. Chemical and Metallurgical Engineering, 1943, Vol. 43, No. 7.
- (37) TRUMP, E.N.: Mining Soluble Salines by Wells. Trans. AIME, Vol. 129, 1938, pp. 405-422.
- (38) WEBER, H.: Pfeilerbemessung für die Bohrlochwerker im Westfeld des Franzberges des Salzbergbaues Altaussee. Unveröffentlichtes Gutachten, 1971.
- (39) WIRCZEYKO, E.: Derzeitiger Stand geophysikalischer Methoden zur Lagerstättenerforschung. BHM, 109. Jg. (1964), H. 8, S. 266-267.
- (40) WIRCZEYKO, E.: Shape Determination in Gas Storage Caverns. Meeting Paper. Autumn Meeting 1982 - SMRI, Manchester/England.