

SALZSUCHE IM OBERÖSTERREICHISCHEN SALZKAMMERGUT

EXPLORATION FOR SALT IN THE UPPER AUSTRIAN SALZKAMMERGUT

Rainier Arndt⁽¹⁾ und Michael Mayr⁽²⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Die alpinen Salzlagerstätten liegen im Bereich von Überschiebungsbahnen und Deckenstirnen in den Nördlichen Kalkalpen mit einem Schwerpunkt in deren Mittelabschnitt, dem Salzkammergut (siehe Fig. 1). Das alpine Salzgebirge – mit dem lokalen Namen „Haselgebirge“ bezeichnet – ist eine sedimentär und tektonisch entstandene Brekzie aus Salz, Tonstein, Anhydrit, selten Dolomit und Sandstein (in Bereichen mit Wasserzutritt tritt auch Gips auf). Der Salzgehalt der Salzvorkommen schwankt zwischen wenigen und 100 Vol.%, der der wirtschaftlich genutzten Lagerstätten liegt im groben Durchschnitt zwischen 50 und 65 Vol.%.

Die Explorationsgeophysik bedient sich zur Eingrenzung salzhaltiger Gebiete der preiswerten Methode der Schweremessungen. Die geringe Dichte von Salz (aber auch die geringe Dichte anderer Gesteine, z. B. von Sanden) bildet sich als negatives Bouguer-Signal ab. Die Vieldeutigkeit von Schwereanomalien – besonders in der kleinräumigen alpinen Tektonik – birgt aber bei alleiniger Betrachtung dieser die Gefahr, dass mächtige Quartärfüllungen in alpinen Tälern als Salzlagerstätte fehlinterpretiert werden. Durch den nachgeschalteten Einsatz einer hochauflösenden Seismik – hierbei zeichnet sich salzführendes Haselgebirge durch eine mittelhohe Formationsgeschwindigkeit ab – lassen sich diese interpretativen Vieldeutigkeiten jedoch einschränken. Im Jahre 1999 wurde erstmals eine hochauflösende, profilgebundene 2-D Seismik mit Vibratoren (5 m Geophonabstand, 5 m Anregungspunktabstand, 100-fache Überdeckung) zur indirekten Aufsuchung von alpinen Salzvorkommen in Österreich durchgeführt.

Die für den ostalpinen Salzbergbau optimierte Prospektions- und Explorationsstrategie besteht aus einem Stufenplan (Geologisches Konzept, geologische Kartierung, profilgebundene Gravimetrie, flächengebundene Gravimetrie, 2-D Seismik, Bohrprogramm), der budgetären Aufwand streng mit Informationsgewinn koppelt.

ABSTRACT

The geological position of the mineable alpine salt-deposits is associated with the Permo-Scythian successions of the "Hallstätter Zone" in the Northern Calcareous Alps. During Jurassic and alpidic tectonics the initial successions partly slid across others, were overthrust, tectonized and, finally merged with adjoining strata together. The salt-bearing pay-zones are addressed as sediments in a saliniferous depositional environment altered by tectonization processes.

Between 1998 and 2001 several gravity surveys (area covered approx. 80 km²) had been conducted to identify new mineable salt deposits in the Salzkammergut district. However, the ambiguity of potential field methods, the low density contrasts in the prospective areas, and the problem of accurate terrain corrections in an Alpine topography disallow to use gravity results solely for drilling decisions. Relatively inexpensive gravity surveys are used as initial pre-scouting tools for subsequent 2-D Vib-seismic surveys. The geological model derived from gravity serves as design constraint of high resolution seismics (here: 5 m geophone spacing, vibration point interval 5 m, fold of cover ≈100 times, mixed seismic sources as buggy mounted Vibroseis units and dynamite). Data processing and interpretation had strongly been controlled by known geology and by available institutional experience of the mine. Finally, a pay-zone had been identified and future drilling schemes had been laid out accordingly. It can be summarised that a combination of (i) an intensified geological mapping accompanied by (ii) initial coarse gravity pilot-surveys followed up by (iii) high resolution seismics is a financial and methodological sound tool to accomplish exploration goals for the Austrian salt-industry.

¹⁾ Dipl. Geophysiker Dr. rer. nat. Rainier Arndt, Geophysiker an der Geologischen Bundesanstalt (TRF), Postfach 127, A-1031 Wien, Austria (Tel.: +43-1-712 56 74 373, +43-664-1820 400; e-mail: geophysik@chello.at);

²⁾ Mag. rer. nat. Michael Mayr, Salinen Austria AG, Salzbergbau, 8992 Altaussee 139, Austria (Tel.: +43-6132-200 2521; Fax: +43-6132-200 4520, e-mail: Michael.Mayr@salinen.com).

I. EINFÜHRUNG

Die regionale Bezeichnung „Salzkammergut“ weist schon auf die lange Tradition des Salzbergbaus in der gesamten Region hin. Heute noch sind die Betriebsstandorte um Hallstatt, Bad Ischl und Altaussee aktiv (Göttinger, Weber 1997). Die Salinen Austria AG förderte 2003 an diesen Betriebsstandorten ca. 3 Millionen m³ vollgrädiger Sole. Zur Zeit sind bei der Salinen Austria 315 Arbeitsplätze. Die Öffnung des Salzmarktes durch den Beitritt Österreichs in die EU hat die Salinen Austria AG zu einem größeren Explorationsprogramm stimuliert.

Für den Bergbau bietet die Geophysik Möglichkeiten, die Arbeiten des Montangeologen und des Bergmannes in der Phase der Erkundung zu unterstützen (Cocker et al. 1997). Die technischen Entwicklungen zum Aufsuchen von Industriemineralien haben in den letzten Jahren eine enorme Beschleunigung aber auch Spezialisierung erfahren (Nabighian, Asten 2002; Roth 1997). So können durch höherwertige geophysikalische Instrumente, verbesserte Software und durch komplexere Interpretationen zukünftige Salzlagerstätten effizienter gesucht werden.

In vergangener Zeit konnte der Geologe allein das gesamte Explorationsprogramm implementieren – nach der Begehung und Kartierung kam normalerweise die Planung und Durchführung kleinerer geophysikalischer Kampagnen. Durch die enormen methodischen Entwicklungen in der angewandten Geophysik sind Einzelaktivitäten im Bergbau jedoch nicht mehr zeitgemäß. Heute haben sich z.B. österreichische und internationale Subunternehmen auf die Durchführung der Geländearbeiten, auf das Prozessing der Daten und auf die Visualisierung der Ergebnisse spezialisiert.

Der vorgelegte Artikel zeigt die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Montangeologen, Geophysiker und externen Subunternehmern bei der Aufsuchung von Salzlagerstätten.

II. GEOLOGIE

Die Salzlagerstätten des Salzkammerguts sind an das sogenannte „Haselgebirge“ gebunden und liegen im Mittelabschnitt der Nördlichen Kalkalpen. Die Sedimente der Nördlichen Kalkalpen weisen ein permisches bis alttertiäres Alter auf. Mesozoische Karbonatgesteine herrschen vor, aber auch klastische Sedimente sind in einigen stratigraphischen Horizonten häufig anzutreffen. Die Sedimente der Nördlichen Kalkalpen verloren während der alpinen Orogenese ihren ehemaligen Erdkrusten-Sockel. Im Oberjura beginnende und bis ins Tertiär reichende tektonische Ereignisse der Faltung und Überschiebung erzeugten einen komplexen Deckenstapel, welcher im Norden mit tektonischer Grenze auf dem Rhenodanubischen Flysch und im Süden – ebenfalls mit tektonischer Grenzfläche – auf der Grauwackenzone ruht. Die Nördlichen Kalkalpen sind in folgende drei großtektonische Einheiten gegliedert: die tiefste und zugleich nördlichste und frontale tektonische Einheit bildet das Bajuvarikum, darüber folgt das Tirolikum, auf welchem letzteren die höchste tektonische Einheit, das Juvavikum, ruht. Die letztgenannte großtektonische Einheit beherbergt innerhalb der „Hallstätter Zone“ die Salzlagerstätten des Salzkammerguts.

Das Juvavikum ist in zwei große Bereiche verschiedener Faziesentwicklung gegliedert: einerseits der Dachsteinkalk-Fazies mit vorwiegend Dachsteinkalken und den im Liegenden davon auftretenden Wettersteindolomiten, welche im Flachwasser und in Riffbereichen sedimentiert worden sind, andererseits der Hallstätter Zone, welche eine Beckenfazies mit grauen Kalken, Mergeln und Tonen, aber im Bereich von Schwellen auch bunte Kalke aufweist. Im Bereich des Salzkammerguts ist die Dachsteinkalk-Fazies in der Dachsteindecke anzutreffen. Letztere bildet u.a. mit dem Dachstein, dem Grimming und dem Katergebirge den mächtigen und an seinen Rändern meist schroffen Gebirgsstock der Kalkhochalpen des Salzkammerguts. Die Hallstätter Zone mit der Hallstätter Beckenfazies zeigt sich im Gelände wenig dominant. Erkennbar sind nur die Auswirkungen des plastischen, permischen bis untertriassischen Salzgebirges, des sogenannten „Haselgebirges“ und seiner Verwitterungsgesteine, dem bergmännisch so genannten „Ausgelaugten“: das Haselgebirge bedingt mit dem Ausgelaugten in einigen Bereichen des Salzkammerguts eine „Bewegungslandschaft“, erkennbar an einer unruhigen, kleinhügelig zerstückelten, zumeist bewaldeten alpinen Topografie, teilweise durchbrochen von steilen Felswänden.

Die erwähnten steilen Felswände innerhalb der Bewegungslandschaften im Bereich der Hallstätter Zone sind zumeist aus Kalken des Oberjura, seltener aus bunten Hallstätter Kalken aufgebaut. Jede der drei altbekannten Salzlagerstätten des Salzkammerguts trägt einen Gebirgsstock aus Oberjurakalk als Reste der sogenannten „neoautochtonen Bedeckung“ (s.u.): Die Altausseer Salzlagerstätte trägt den Gebirgsstock des Sandling, die Hallstätter Salzlagerstätte ist zu einem großen Teil vom Oberjurakalk-Massiv des Plassens bedeckt und am Ischler Salzberg liegen die Oberjurakalke der Zwerchwand und des Hohen Rosenkogels. Auch der Jainzen bei Bad Ischl ist aus Oberjurakalk aufgebaut und liegt über dem Nordausläufer des Trauntaler Salzlagere, welches letztere erst in den Sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts entdeckt worden ist und vornehmlich zwischen

Bad Ischl und der Ortschaft Lauffen südlich von Bad Ischl liegt. Erst am Ende des zwanzigsten Jahrhunderts wurde die Ischltaler Salzlagerstätte zwischen Bad Ischl und Strobl durch eine Bohrung nachgewiesen und geophysikalisch eingegrenzt; sie trägt die Oberjurakalke des Ischler Kalvarienberges und möglicherweise auch die des Bürgelsteins bei Strobl.

Die tektonische Entwicklung des Salzkammerguts stellen sich die Autoren vorwiegend gemäß Mandl (1999a, 1999b) und in Anlehnung an Schäffer (1982), Tollmann (1985) und unter Berücksichtigung von Gawlick (2000a, 2000b, 2000c) – stark vereinfacht dargestellt – folgendermaßen vor: Bis zum tiefen Oberjura wurden die Sedimente der Nördlichen Kalkalpen am Nordrand der Tethys im Bereich eines passiven Kontinentalrandes zwischen dem variszisch (herzynisch) konsolidierten Kontinent Pangäa und dem Ozeanboden der Tethys abgelagert. Das spätere Tirolikum wurde dabei zum größten Teil nördlich, die spätere Hallstätter Zone südlich der Karbonatplattform mit Riffen in Dachsteinkalkfazies, der späteren Dachsteindecke, abgelagert. Beginnend im tiefen Oberjura kam es gleichzeitig mit der Öffnung des penninischen Ozeans zu einer tektonischen Einengung im Bereich des passiven Kontinentalrandes zwischen Pangäa und Tethys. Infolge dessen kam es zu einer Gleittektonik, wobei Schollen der Hallstätter Zone in nördliche Richtung in ein Radiolarit-Becken einglitten, welches sich über Teilen der späteren Dachsteindecke und über Teilen des späteren Tirolikums gebildet hatte. Das dadurch entstandene Relief und die damit entstandene geologische Situation wurde dann im Oberjura durch Kalke und später in der Unterkreide durch Mergel, Brekzien und Sandsteine zusedimentiert. Während der alpinen Orogenese wurde dann u.a. die Dachsteindecke mit den Radiolariten, den darin eingebetteten Hallstätter Gleitschollen und der „neoautochtonen“ Bedeckung durch Oberjurakalke und den Sedimenten der Unterkreide auf das Tirolikum aufgeschoben, welches letztere ebenfalls z. T. durch Radiolarite mit darin eingebetteten Hallstätter Gleitschollen und darüber abgelagerten Oberjurakalken und Unterkreidesedimenten bedeckt war.

Während die Hallstätter Salzlagerstätte einen Teil einer in ein Radiolaritbecken über der späteren Dachsteindecke eingeglittenen Hallstätter Gleitscholle darstellt, stellen die Altausseer und die Ischler Salzlagerstätte, wie das Trauntaler und das Ischltaler Salzlager, Teile von im Bereich der Stirn und der stirnnahen Bereiche einer Hallstätter Gleitscholle tektonisch akkumuliertem Haselgebirge dar, wobei diese letztere Gleitscholle in ein auf dem späteren Tirolikum liegenden Abschnitt eines Radiolaritbeckens eingeglitten und ebenfalls von Oberjurakalken und Unterkreidesedimenten bedeckt worden ist („Stirntypus“ nach Medwenitsch (1949). In Abbildung 1 ist eine tektonische Karte der Dachsteindecke und der in ihrem Bereich und ihrer Umgebung liegenden Hallstätter Gleitschollen dokumentiert, in Abbildung 2 ist ein schematischer Schnitt durch die alpinen Salzlagerstätten gezeigt.

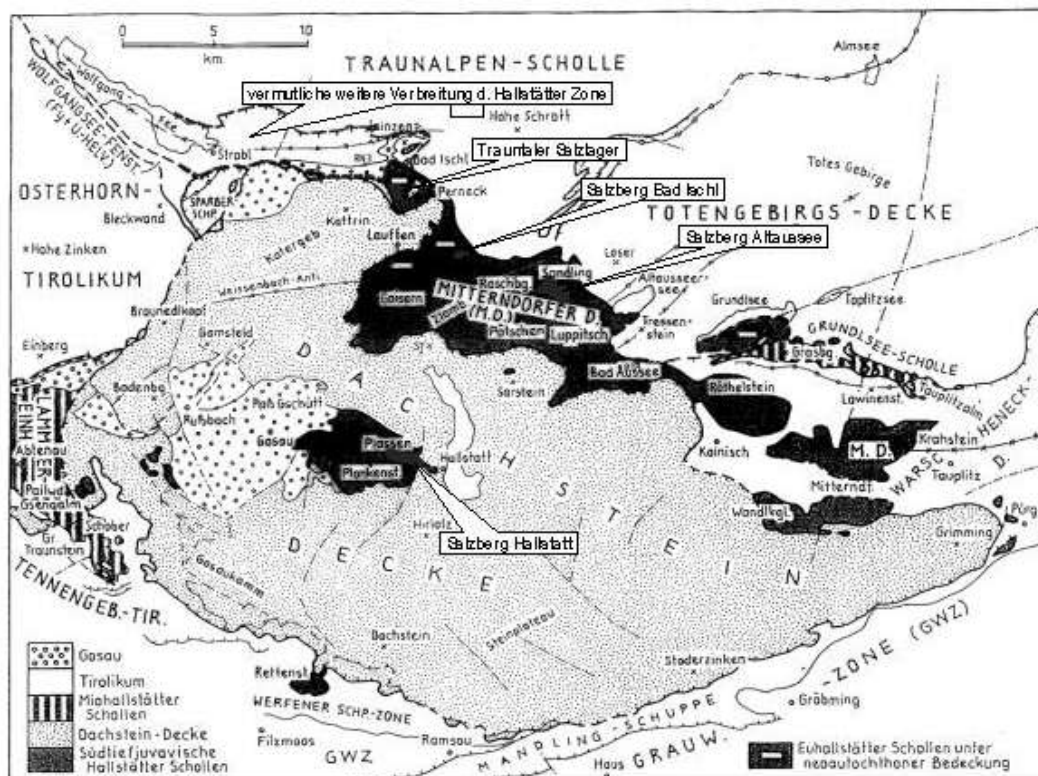
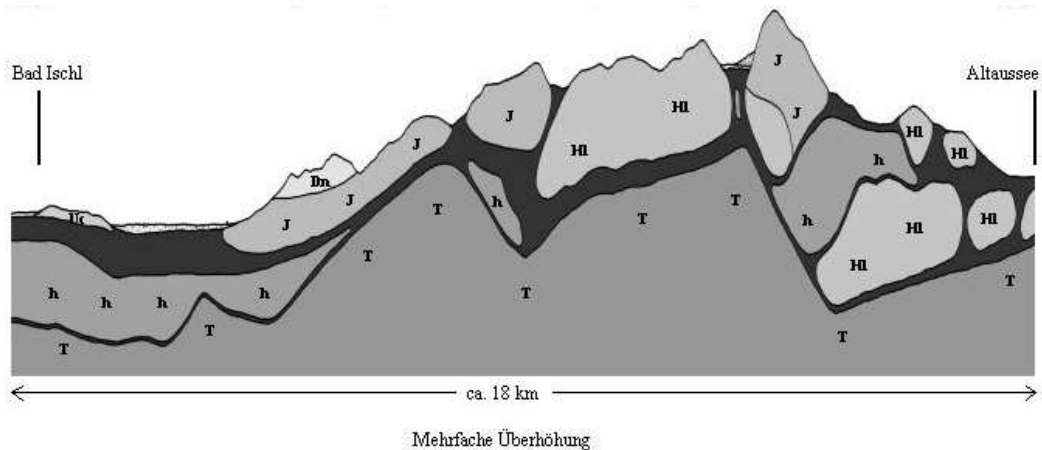


Abb. 1: Tektonische Skizze der Dachsteindecke nach Tollmann (1985), verändert



Geologische Einheiten

Allgemein

□	Quartär
■	Oberkreide
■	Oberer Jurassische Kalke

Hallstätter Zone

■	Kalke in Hallstätter Fazies
■	„Ausgelaugtes“
■	Haselgebirge

Dachsteindecke

■	Dachsteindecke mit vorwiegend triassischen Dolomiten
Tirolikum	
■	Tirolikum mit vorwiegend triassischen Kalken und Dolomiten

Abb. 2: Geologischer Schnitt durch die alpinen Salzlagerstätten von WNW (links) nach ESE (rechts)

III. AUFSUCHUNGSSTRATEGIE

Die folgende Strategie zur Aufsuchung von Salzlagerstätten wird von der Salinen Austria AG betrieben:

- **Phase 1 – Geologisches Detailkonzept:** Der Montangeologe entwirft ein geologisches Modell, welches externe/neue Publikationen und Diplomarbeiten, sogenannte „open file documents“ wie z.B. (Schäffer 1982; Plöching 1982) und interne Firmenaufzeichnungen (Auffahrungsberichte, Bohrlochinformation, Gewinnungsberichte) berücksichtigt. Die geologischen Detailkartierungen der Geologischen Bundesanstalt Wien werden integriert. Dieses Konzept wird den kaufmännischen Entscheidungsträgern vorgestellt und eine Eingangsfinanzierung zur Ausreifung der vorgestellten Idee wird beantragt;
- **Phase 2 – Profilgebundene Schweremessungen:** Bedingt durch den Kontrast der Gesteinsparameter wurde aus der Palette der angewandten Geophysik die Gravimetrie als ökonomisch beste Methode herausgesucht. Mittels der internen Markscheiderabteilung werden Profile mit einer groben Schwere-stationsverteilung senkrecht zum Streichen möglicher Hoffigkeitsgebiete festgelegt und schließlich mittels Gravimeter vermessen. Die Profillängen liegen im Bereich bis zu 1 km und die Gesamtstationsanzahl im Bereich von 20 bis 50 Punkten. Werden negative Restanomalien, sogenannte Bouguer-Anomalien, mit einer Signalstärke von -1 mGal festgestellt, gilt die Pilot-Kampagne als erfolgreich. Die Ergebnisse werden dann dem kaufmännischen Bereich mit der Bitte um weitere finanzielle Zuwendungen vorgestellt. Der Zeitrahmen für eine solche gravimetrische Kleinkampagne kann mit einigen Wochen beschrieben werden;
- **Phase 3 – Flächige Schweremessungen:** Im Falle einer erfolgreichen Pilotkampagne wird eine weiterführende Gravimetrie im Zielgebiet initiiert. Mit einem maximalen Stationsabstand von 500 bis 1000 m werden insgesamt 100 bis 250 Punkte vermessen. Eine solche Kampagne ist innerhalb weniger Monate durchgeführt und interpretiert. Bestätigt die flächige Vermessung das Vorhandensein von negativen Schwereanomalien, wird eine 2-D Seismik geplant. Durch den Verschnitt der Schwerekarte mit vorliegenden geologischen Erkenntnissen sowie praktischen Überlegungen können die seismischen Profile und deren Feldparameter (Zieltiefe, Geophonabstand, seismische Quelle etc.) festgelegt werden. Zu den praktischen Überlegungen gehören z.B. die Minimierung der Flurschäden, Ansprüche der Tourismusindustrie, Berücksichtigung der Tragfähigkeiten von Straßenbrücken etc. nach diesem „Pre-Scouting“ werden Einladungen zur Anbotslegung an die entsprechenden geophysikalischen Firmen verschickt. Die rücklaufenden Angebote werden nach dem Prinzip des Bestbieters gereiht und den kaufmännischen Entscheidungsträgern vorgelegt; Diese Projektphase nimmt einen Zeitrahmen von einigen Monaten in Anspruch;

- **Phase 4 – Hochauflösende 2-D Seismik:** Nach einer positiven Entscheidung durch die Geschäftsführung wird der Subunternehmer für die seismische Vermessung ausgewählt und der Auftrag erteilt. Während der eigentlichen Geländearbeiten werden die theoretischen Feldparameter (Evans 1997) den situativen Herausforderungen (Unterschleifen von gesperrten Flächen, operative Tagesleistung im Einklang mit der Verkehrsverordnung etc.) angepasst. Als Endergebnis stehen die prozessierten seismischen Sektionen, welche zusammen mit den Ergebnissen aus Schwerevermessung und dem Befund der geologischen Kartierung in ein widerspruchsfreies Lagerstättenmodell überführt werden. In letzter Stelle der Explorationsstrategie steht die Auswahl eines Bohrprogrammes.

Der modulare Charakter der Explorationsstrategie erlaubt eine Abbruchentscheidung nach jeder Phase. Abbildung 3 zeigt eine schematische Darstellung der sich verzahnenden Phasen der ausgewählten Explorationsstrategie. Die alleinige Interpretation einer Schwerekampagne könnte zu Fehlbohrungen führen – denn Potentialfeldverfahren sind mit dem Problem der Vieldeutigkeit behaftet. So würde ein sehr tiefer großer Körper das gleiche Schweresignal an der Oberfläche erzeugen wie ein flach ausgeprägter und oberflächennaher Körper. In Abbildung 4 wird dieses Problem der Vieldeutigkeit veranschaulicht. In der Geophysik müssen deshalb Doppeldeutigkeiten bei der Interpretation durch die geschickte Kombination komplementärer Methoden verhindert werden.

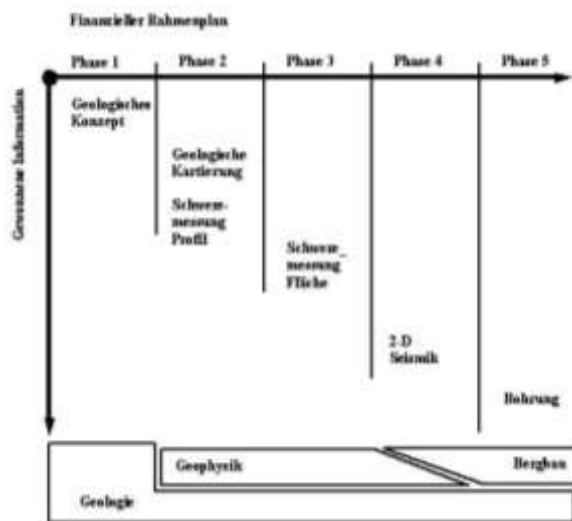


Abb. 3: Schematische Darstellung der Explorationsstrategie der Salinen Austria

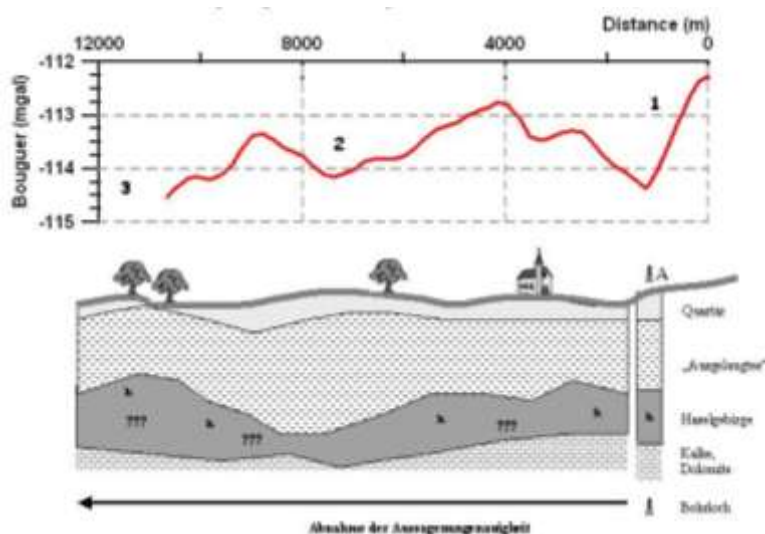


Abb. 4: Beispiel für die Vieldeutigkeit von Schweredaten

IV. FALLBEISPIEL ISCHLTAL

Im Jahre 1998 wurde östlich von St. Wolfgang eine flächenhafte Schweremessung durchgeführt. Hierbei wurden 210 Stationen im Tal- und Talflankenbereich der Ischl vermessen, cf. Abbildung 5. Die überstrichene Fläche betrug ca. 55 km². Zusammen mit den Ergebnissen einer bereits vorhandenen Landesaufnahme und bekannten Bohrprofilen konnte ein angepasstes Lagerstättenmodell für das Ischltal konzipiert werden. Anschließend wurde zur Bestätigung eine hochauflösende 2-D Seismik durchgeführt. Die Aufnahmeparameter sind in Tabelle 2 aufgelistet. Als seismische Quelle kam ein schwerer Vibrator, cf. Abbildung 6, zum Einsatz.

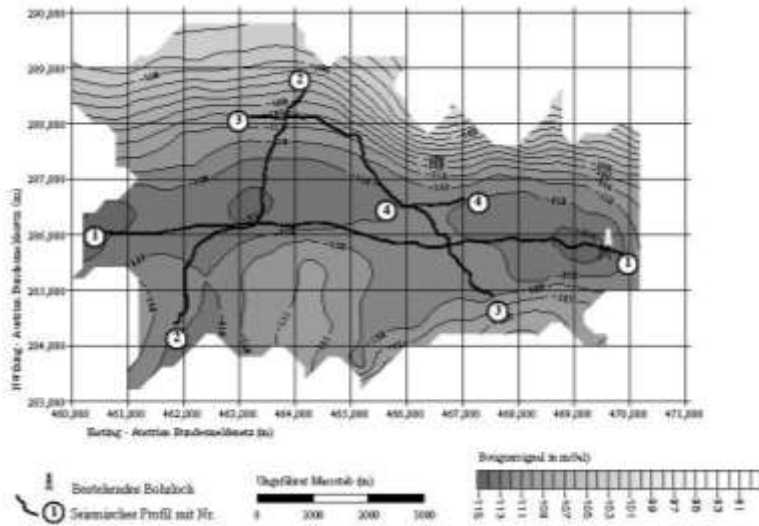


Abb. 5: Schwerekarte (Bouguer) des Ischltals

V. ERGEBNISSE

Aus der Bouguer-Karte der Schwerekampagne von 1998 konnte im Ischltal ein talbegleitender Schweretrog nachgewiesen werden. Um Interpretationsfehler durch eine Vieldeutigkeit von Potentialdaten auszuschließen, wurde diese Bouguer-Karte als Planungsgrundlage für eine hochauflösende 2-D Seismik herangezogen. Insgesamt wurden vier seismische Profile geplant und durch Ortsbegehung bestätigt. Mittels eines schweren Vibrators wurden direkt anschließend 34 Produktionskilometer geschossen. Aus den seismischen Sektionen (Geschwindigkeitsverteilung, Geschwindigkeitsgradienten, Phaeneigenschaften) und der Schwerekarte konnten zwei Hoffnungsfelder für die Salinen Austria bestimmt werden (Abb. 6).



Abb. 6: Bei der hochauflösenden 2-D Seismik im Ischltal eingesetzter Vibrator

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Auch bei alpinen Salzlagerstätten hat sich eine Kombination aus Schweremessung und Seismik als bestes geophysikalisches Werkzeug für den Bergbaugeologen bei der Aufsuche von alpinen Salzlagerstätten erwiesen. Durch eine modulare Explorationsstrategie wird ein solches Programm auch den stringenten Ansprüchen der Ökonomen gerecht.

VII. ANHANG 1: TABELLEN

Tab. 1: Dichten und Geschwindigkeiten der vorkommenden geologischen Einheiten

Rock (Local Name)	kg m ⁻³	m s ⁻¹
Dachsteinkalk	2.69	≈ 6000
Hauptdolomit	2.76	up to 7000
Plassenkalk	2.69	
Plattenkalk	2.70	
Sandstein	2.56	≈ 800 – 3200
Gosaukonglomerat	2.69	
Gaultflysch	2.66	
Haselgebirge	2.2 to 2.4	≈ 4000 – 5500
Ausgelaugtes		≈ 3000
Steinsalz	2.16	≈ 4500

**Tab. 2:
Seismische Feldparameter für die Kampagne 1999**

Seismischer Parameter	Beschreibung / Daten
Typus der seismischen Vermessung	2D Reflektionsseismik
Zieltiefe, Horchzeit	1000m, 1s
Quelle / "Mixed Source"	Vibroseis Methode / Sprengung
Technische Beschreibung des Vibrators	Model AHV 4 362 der Fa. Input/Output mit Pelton II Elektronik und 61, 800 lbs Andruckspitze
Gesamtlänge der Profile	34 Km
Teillänge der Einzelprofile	4; 10, 8, 4 and 12 Km
Abstand der Geophone	5m
Abstand Schusspunkt	5m
Anzahl der Geophone pro Station	6, "bunched around the peg"
Aktive Kanäle	240
Überdeckung	50+

VIII. ANHANG 2: LITERATUR

- Cocker J., Urosevic M., Evans B. 1997. A High Resolution Seismic Survey To Assist In Mine Planning. In: Gubins A. G. (Ed.) 1997. Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, Planning - Paper #60, 473-476.
- Evans J. B. 1997. A Handbook For Seismic Data Acquisition In Exploration – Geophysical Monograph Series 7, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 1-305.
- Gawlick H.-J. 2000a. Paläogeographie der Ober-Trias Karbonatplattform in den Nördlichen Kalkalpen. Exkursionsführer SEDIMENT 2000, Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr. **44**, 45-95, Wien.
- Gawlick H.-J. unter Mitwirkung v. Diersche V. 2000b. Die Radiolaritbecken in den Nördlichen Kalkalpen (hoher Mittel-Jura, Ober-Jura). Exkursionsführer SEDIMENT 2000, Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr. **44**, 97-156, Wien.
- Gawlick H.-J. 2000c. Zur Geologie zwischen Hallstätter See und Traunsee. Mitt. Ent. Arb.gem. Salzkammergut **3**, 22-33, Gmunden.
- Götzinger M. A., Weber L. 1997. Evaporitbezirk Salzkammergut i. w. S. In: Weber L. (Hrsg.) 1997. Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Archiv für Lagerstättenforschung **19**, Geologische Bundesanstalt, 1-607, Wien.
- Mandl G. W. 1999a. Geology of the central and eastern sector of the Northern Calcareous Alps (NCA). In: FOREGS '99 Vienna – Austria. Unveröff. Field Trip Guide, GBA, Wien.
- Mandl G. W. 1999b. Geological overview of the „Juvavic“ Realm. In: FOREGS '99 Vienna – Austria. Unveröff. Field Trip Guide, GBA, Wien.
- Medwenitsch W. 1949. Der geologische Aufbau des Salzkammergutes im Raume Ischl – Hallstatt – Aussee. Berg u. Hüttenm. Mh. **94. Jg.**, H. 3, 42–46, Leoben.
- Nabighian M. N., Asten M. W. 2002. Metalliferous mining geophysics – State of the art in the last decade of the 20th century and the beginning of the new millennium. Geophysics **67/3**, 964-978, Tulsa.
- Plöschinger B. 1982. Geologische Karte der Republik Österreich mit Erläuterungen, Blatt 95 / St. Wolfgang im Salzkammergut, 1 : 50.000, Geologische Bundesanstalt Wien.
- Roth J. 1997. Ground Geophysics: Advances and Outlook. In: Gubins A. G. (Hrsg.) 1997. Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, 9-12.
- Schäffer G. 1982. Geologische Karte der Republik Österreich, Blatt 96 / Bad Ischl, 1 : 50.000, Geologische Bundesanstalt Wien.
- Tollmann A. 1985. Geologie von Österreich Bd. 2, Verlag Franz Deuticke, Wien