

# Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars

Von OTHMAR SCHAUBERGER\*)

Mit 18 Tabellen

## Inhalt

|   |     |
|---|-----|
| 1. Einleitung   | 217 |
| 1.1. Begriff und Umfang des ostalpinen Salinars   | 218 |
| 1.2. Übersicht der bisherigen Aufschlüsse durch Bergbau und Bohrungen   | 218 |
| 1.3. Chronik der geologischen Erforschungsgeschichte des ostalpinen Salinars                                  | 219 |
| 2. Mineral- und Gesteinsbestand des ostalpinen Salinars   | 223 |
| 2.1. Die chemischen Präzipitatsgesteine   | 224 |
| 2.1.1. Das Steinsalz  | 224 |
| 2.1.2. Die sulfatischen und chloridischen Begleitsalze  | 227 |
| 2.1.3. Die Spurenelemente   | 228 |
| 2.2. Die klastischen Bestandteile der ostalpinen Salzlagerstätten   | 229 |
| 2.2.1. Die Salztone   | 229 |
| 2.2.2. Die Salzsandsteine   | 229 |
| 2.3. Die semi- und nichtsalinaren Begleitminerale und -gesteine der ostalpinen Salzlagerstätten               | 230 |
| 2.3.1. Semisalinare Begleitminerale   | 230 |
| 2.3.2. Nichtsalinare Begleitminerale und -gesteine  | 231 |
| 2.4. Selbstsolen, Mineralwässer und Gase  | 232 |
| 2.4.1. Selbstsolen  | 232 |
| 2.4.2. Mineralwässer  | 232 |
| 2.4.3. Gase   | 232 |
| 3. Die Stratigraphie der ostalpinen Salzlagerstätten  | 234 |
| 3.1. Die Salzgesteinstypen  | 234 |
| 3.1.1. Die Kernsalzzüge   | 234 |
| 3.1.2. Das Kerngebirge  | 234 |
| 3.1.3. Das Haselgebirge   | 234 |
| 3.1.4. Das Blättersalzgebirge   | 235 |
| 3.1.5. Das anhydritische Tonrümmergebirge   | 235 |
| 3.2. Die Salzgebirgsarten   | 235 |
| 3.3. Ablauf und Alter der alpinsalinaren Sedimentation  | 235 |
| 3.3.1. Bestimmung des Eindunstungsgrades durch den Bromtest   | 235 |
| 3.3.2. Bildungsvorgänge der Salzgebirgsarten  | 238 |
| 3.3.3. Das Alter der ostalpinen Salzlagerstätten  | 239 |
| 4. Die chemische und morphologische Umbildung der ostalpinen Salzlagerstätten durch Metamorphose und Tektonik | 241 |
| 4.1. Die Faktoren der Umbildung   | 241 |
| 4.2. Die Sekundärausbildungen der ostalpinen Salzgesteine   | 241 |
| 4.2.1. Sekundärausbildungen des Steinsalzes   | 241 |
| 4.2.2. Sekundärausbildungen des Anhydrites  | 242 |
| 4.2.3. Sekundärausbildungen der übrigen Begleitsalze  | 242 |
| 4.2.4. Bildungen der posthumer Lösungsmetamorphose  | 244 |
| 4.2. Die Dynamometamorphose des ostalpinen Salinars   | 244 |
| 4.3.1. Der Salzaufstieg   | 244 |
| 4.3.2. Erscheinungen der Fließtektonik  | 245 |
| 4.3.3. Erscheinungen der Bruchtektonik  | 246 |
| 5. Verzeichnis der Schriften über die ostalpinen Salzlagerstätten   | 246 |
| 5.1. Abkürzungen häufig vorkommender Zeitschriftentitel   | 246 |
| 5.2. Thematisch und chronologisch gegliedertes Verzeichnis  | 246 |

## 1. Einleitung

Mit der vorliegenden Arbeit wird eine möglichst vollständige Darstellung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars nach dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse gegeben.

Sie stützt sich im wesentlichen auf die von 1945 bis 1966 von der „Geologischen Forschungsstelle der Österreichischen Salinen“ durchgeführte Lagerstättenkartierung der österreichischen Salzbergbaue und auf die Ergebnisse der zwischen 1965 und 1970 außerhalb der Salzberge durchgeführten Schurfb Bohrungen auf Salz.

Allen meinen damaligen Mitarbeitern, im besonderen aber den Herren Bruno Unterberger und Johann Egger

\*) Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Dr. mont. h. c. OTHMAR SCHAUBERGER, Wirerstraße 10/1, A-4820 Bad Ischl.

(† 1968) sei an dieser Stelle dankend gedacht. Sie haben sich bei der oft unter schwierigen Bedingungen durchgeführten Kartierung und bei der Ausarbeitung der Lagerstättenkarten hervorragend bewährt.

Ebenso danke ich meinem Freund Prof. Dr. Robert Kühn (Wilhelmsfeld), der mit einer Reihe von unentgeltlichen mineralogischen Untersuchungen einen wichtigen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet hat.

### 1.1. Begriff und Umfang des ostalpinen Salinars

Das ostalpine Salinar umfaßt alle in den Nördlichen Kalkalpen zwischen Innsbruck und Wien auftretenden Vorkommen chloridischer und sulfatischer Salze und die mit ihnen in genetischem Verband stehenden karbonatischen und pelitischen Sedimente von nicht jüngerem als untertriassischem Alter.

In der rund 350 km (Luftlinie) langen und bis zu 35 km breiten Zone ihres Vorkommens zwischen Hall in Tirol und Heiligenkreuz bei Wien treten die salinaren Bildungen nicht als geschlossener Zug, sondern in einzelnen, zumeist an tektonische Grenzen gebundenen Aufbrüchen zu Tage. Diese bestehen entweder i. d. H. aus Steinsalz (Salzberge) oder aus Gips, bzw. Anhydrit allein (Gipsstöcke).

Unsere Darstellung befaßt sich nur mit jenen Lagerstätten des ostalpinen Salinars, die als Hauptmineral Steinsalz führen.

In den Tab. 1 und 2 sind die Salzlagerstätten verzeichnet, welche durch Bergbau oder Bohrungen bis heute (1985) aufgeschlossen wurden.

### 1.2. Chronik der geologischen Erforschungsgeschichte des ostalpinen Salinars

Der Vollständigkeit halber seien auch die schon vor mehreren Jahrhunderten verlassenen Salzbergbaue im Tuval bei Hallein, Michelhallbach am Südfuß des Sandling (O.Ö.) und Hall bei Admont (Stmk.) erwähnt.

In keinem der alpinen Salzbergbaue wurde bisher das Liegende aufgeschlossen, ausgenommen im Salzbergbau Dürrnberg/Hallein, aber auch hier nicht im Muldentiefsten.

Der Salzberg von Altaussee ist der einzige, dessen Grenzen nach allen Seiten bekannt sind, und der Salzbergbau von Berchtesgaden der bis jetzt einzige, in dem bereits unter der Talsohle (521 m ü. NN) abgebaut wird.

Die im ostalpinen Salinar 1966 auf Salz angesetzte bisher tiefste, aber nicht fündig gewordene ist jene von Steeg am Hallstättersee mit 1.330 m Endteufe. Dagegen hat eine von der ÖMV im Jahre 1983 in Vordersee (Ld. Salzburg) auf Öl oder Gas angesetzte Tiefbohrung von 2.890 – 3.704 m salzarmes „Haselgebirge“ durchörtert.

Tabelle 1: Übersicht der Salzbergbaue.

| Salzbergbau       | Höchster und tiefster Stollen über NN | Mittlere Länge Breite der Lagerstätte in m |        | Flächeninhalt des größten Betriebshorizontes in m <sup>2</sup> | Größte Aufschlußteufe der Stollen (St), Schächte (S) und Bohrungen (B) |              | Betriebszeit           |
|-------------------|---------------------------------------|--|--------|--|--|--------------|------------------------|
|                   |                                       | Länge                                      | Breite |  | St   | S + B        |                        |
| Hall in Tirol     | 1.635<br>1.334                        | 1.600                                      | 870    | 980.000  | St<br>250  | S + B<br>440 | ca. 900 – 1967         |
| Berchtesgaden     | 630<br>521                            | 1.850                                      | 1.050  | 1,140.000  | St<br>150  | S + B<br>230 | 1517 bis heute         |
| Dürrnberg/Hallein | 895<br>448                            | 2.000                                      | 800    | 1,540.000  | St<br>300  | B<br>460     | 800 v. Chr. bis heute  |
| Hallstatt         | 1.219<br>512                          | 2.100                                      | 670    | 900.000  | St<br>650  | S            | 1000 v. Chr. bis heute |
| Ischl             | 1.003<br>503                          | 1.100                                      | 450    | 240.000  | St<br>500  | B<br>160     | 1563 bis heute         |
| Altaussee         | 1.150<br>738                          | 1.450                                      | 800    | 1,050.000  | St<br>270  | S + B        | ca. 800 bis heute      |

Tabelle 2: Übersicht der (fündig gewordenen) Salzbohrungen außerhalb der Salzbergbaue.

|       | Jahr | Ort  | Endteufe  | m unter NN | Mächtigkeit des salzführenden Salinars (in m) | Anmerkungen   |
|-------|------|--|-----------|------------|---|---|
| BJ-1  | 1965 | Trauntal südlich Bad Ischl <sup>1</sup>    | 1.241 m   | – 766      | 265   | ab 545 m Teufe Neokommargel und Malmkalk als tektonisch Liegendes |
|       | 1965 | Windischgarsten                            | 903 m     | – 302      | 248   |   |
| REI-1 | 1968 | Bad Reichenhall im Saalachtal <sup>2</sup> | 675,8 m   | – 173,5    | 317,8   | Das Liegende der Salzformation wurde nicht erbohrt                |
| REI-4 | 1968 | Bad Reichenhall im Saalachtal <sup>2</sup> | 1.200,4 m | – 737,1    | 743,4   |   |

<sup>1</sup>) In diesem durch die Bohrung von 1965 aufgeschlossenen neuen „Traunthaler Salzlager“ wurden bis heute (1985) weitere 10 Produktionsbohrungen und 2 Aufschlußbohrungen abgestoßen und eine Bohrlochsolegewinnung eingerichtet.

<sup>2</sup>) Außer den beiden angeführten Bohrungen wurden von der Bayerischen Berg-, Hütten- u. Salzwerke-AG im Talbecken von Reichenhall in den Jahren 1968–1972 weitere 7 Bohrungen abgestoßen, aus denen „Selbstsole“ (d. i. durch natürliche Auslaugung des Salzgebirges gebildete Sole) gepumpt wird.

### 1.3. Chronik der geologischen Erforschungsgeschichte des ostalpinen Salinars

Der ungleichmäßig verteilte und in einigen Salzbergen (z. B. Hall in Tirol) besonders niedrige Salzgehalt veranlaßte den alpinen Salzbergmann schon frühzeitig, sich mit den geologischen Verhältnissen der Lagerstätte näher zu befassen. So enthalten die bis auf das Jahr 1555 zurückreichenden „Bergbeschreibungen“ des Haller Salzberges bereits detaillierte Angaben über die Gebirgsbeschaffenheit. Die Profilzeichnungen von Johann WÜRTEMBERGER (1771) und Severin HOLZHAMMER (1775) stellen die ersten Ansätze dar, sich von den Lagerungsverhältnissen des Salzberges ein Bild zu machen und dürften zu den überhaupt ältesten Darstellungen ihrer Art gehören. Daran schließen sich 1824 die „Petrographischen Karten über die Bergabteilungen des Salzlagers zu Hall in Tirol“, die bereits als die Vorläufer der heutigen Lagerstättenkarten betrachtet werden können.

Etwas anfangs des 19. Jahrhunderts setzte die fachgeologische Erforschung der Ostalpen und damit auch des ostalpinen Salinars ein, erhielt aber erst durch die im Jahre 1849 erfolgte Gründung der K. K. Geologischen Reichsanstalt den entscheidenden Impuls. Die seitherige Entwicklung der Anschauungen über Entstehung, Gliederung und Alterseinstufung des ostalpinen Salinars soll im folgenden dargestellt werden.

Etwas bis zum Jahre 1860 beschränkten sich die mit der Geologie der nördlichen Ostalpen befaßten Autoren auf eine mehr oder minder genaue Beschreibung der salinaren Mineral- und Gesteinsvorkommen, äußerten sich aber auch schon zur Altersfrage. So stufte L. v. BUCH 1802 das Haselgebirge zwischen Zechstein und Werfener Sandstein ein und auch W. BUCKLAND vermutete schon 1821 seine Zugehörigkeit zum Zechstein. 1828 stellt LILL v. LILIENBACH den Hallstätter Salzberg in die „untere Gruppe“, den Salzberg Dürrnberg/Hallein dagegen in die „obere Gruppe des Alpenkalkes“.

1853 vertraten F. v. HAUER, A. MILLER v. HAUFENFELS und D. STUR die Ansicht, daß die Salzberge an die Basis der Werfener Schichten zu stellen seien. Bei D. STUR heißt es wörtlich:

„Bei Hall (nördl. Admont) aber ... kann man sich bis zur Gewißheit überzeugen, daß die salzigen Gipsmergel den tiefsten Schichten des bunten Sandsteines eingelagert sind und daß der vom Steinsalz getrennt auftretende Gips viel jünger ist als die Steinsalz-Ablagerungen.“

Als einer der ersten Alpengeologen äußerte sich D. STUR auch zur Frage der alpinen Salzstockbildung:

„Überdies scheint an allen bis jetzt bekannten Orten die Erweiterung der Salzmasse in der Tiefe dafür zu sprechen, daß sie an diesen Orten nicht als normal eingelagert, sondern von unten heraufgekommen – vielleicht durch den Druck der überlagernden Alpenkalkmasse dazu gezwungen – zu betrachten ist.“

Schon vorher (1852) hatte sich Fr. v. ALBERTI in seiner „Hallurgischen Geologie“ die Erhebung stockförmiger Salzmassen durch chemische Prozesse in Verbindung mit plutonischen Bewegungen“ herbeigeführt gedacht.

1861 vertritt QUENSTEDT eine Schichtfolge (von unten nach oben): Buntsandstein mit Salz – Grödener Sandstein – Werfener Schiefer – Gutensteiner Kalk, C. W. v. GÜMBEL dagegen die Folge: Melaphyr – Buntsandstein – Haselgebirge, wobei er letzteres in „primäres“ und „regeneriertes“ Haselgebirge unterteilt, ohne diese beiden Ausbildungen näher zu charakterisieren.

1869 unternimmt E. v. MOJSSISOVICS den ersten, auf den Salzberg Altaussee bezogenen Gliederungsversuch, indem er das dortige Salzgebirge in eine „obere Anhydrit-Region“ und eine „untere Polyhalit-Region“ unterteilt, also in der umgekehrten Reihenfolge der primären Abscheidung. Er betrachtet das Haselgebirge als eine ursprünglich in seichten Lagunen entstandene Wechsellagerung von Anhydrit, Mergel und Steinsalz, die durch die Alpenfaltung zu einer Brekzie zerstückelt und miteinander verknüpft wurden. E. v. MOJSSISOVICS erscheint somit als der erste Vertreter der Auffassung des Haselgebirges als tektonische Brekzie. Er stellte das alpine Salz anfänglich in die obere Trias (Nor), revidierte aber später diese Auffassung im Sinne einer Einstufung in die Werfener Schichten. Zur gleichen Zeit unterscheidet E. v. SUSS im alpinen Salinar 2 „Salzniveaus“, deren unteres in die Werfener Schichten zu stellen sei.

In den folgenden drei Jahrzehnten (bis 1901) beschäftigte sich hauptsächlich der Montanist und Fachexperte für den österreichischen Salzbergbau AUGUST AIGNER in mehreren Abhandlungen mit der Geologie der ostalpinen Salzlagerstätten. Er unterscheidet folgende Salzgesteinsausbildungen:

- Ton mit Salz (jetzt: Blättersalzgebirge),
- Armes Haselgebirge,
- Reiches, rötliches Haselgebirge und
- Steinsalz, Kristallin, massig oder als Augensalz ausgebildet.

Die Entstehung und Umformung der alpinen Salzlagerstätten soll sich nach AIGNER in folgenden Phasen vollzogen haben:

1. Ablagerung im Triasmeer innerhalb der Werfener Schichten nach der normalen Ausscheidungsfolge
2. Einschwemmung von Salzgeröllen aus zerstörten Primärlagern, Bildung der Augensalzschiechten,
3. Störungen während und unmittelbar nach der Sedimentation, sekundäre Bildungen (Polyhalit etc.).
4. Versenkung in größere Tiefe, Überlagerung durch Zlambachschiechten und Kalke,
5. Melaphyr-Eruptionen,
6. Aufstieg der Salzlager an Überschiebungen und Brüchen der Hangenddecken bei gleichzeitigen weiteren sekundären Prozessen (z. B. Faserbildung) innerhalb der Salzlager.

1901 charakterisiert AIGNER das Haselgebirge als ein „... Chaos von Gemengteilen, in welches dasselbe aus seiner ursprünglichen horizontalen Ablagerung durch Erdschütterungen und Druck zerkleinert, geschüttelt und gepreßt wurde ...“, schließt sich also der tektonischen Auffassung an. AIGNER war übrigens der erste, der durch die Anfertigung von etwa 300 Lagerungsskizzen (Ulmenbilder) in den Salzbergen von Altaussee und Hallstatt die ursprünglichen stratigraphischen Zusammenhänge zu klären versuchte, um sie

„... mit den aufzunehmenden Ulmenbildern anderer Salzberge allmählich zu einem verständnisvollen Ganzen zu gestalten.“

Er mußte aber feststellen,

„... daß die Resultate dieser bisherigen Studien allerdings noch gering seien und nur längere und allgemeine Beobachtungen durch kundige Augen hier von ausschlaggebendem Erfolg sein könnten“.

1903 bemerkte E. KITTL in seinem „Exkursionsführer durch das Salzkammergut“, daß die Einteilung des Salzgebirges nach Regionen durch E. v. MOJSSISOVICS nicht deutlich nachweisbar sei. Die Salzablagerung hat

in der unteren Trias begonnen – in Hallstatt bilden die Werfener Schichten das Liegende des Salzlagers – und reichte in einzelnen Fällen vielleicht bis zur norischen Stufe.

Im gleichen Jahr definierte E. KOHLER das Haselgebirge von Berchtesgaden als einen in einer küstennahen limnischen Salzpfanne entstandenen Salzpelit. Die Kernstriche seien aber erst sekundär durch ein Art von Lateralsekretion aus dem Haselgebirge entstanden.

1912 machte F. MAYER in seiner mineralogisch und petrographisch sehr ausführlichen Beschreibung des Berchtesgadener Salzberges keinen Versuch einer Gliederung des Salzgebirges, sondern bezeichnet nur den Salzton, den Anhydrit und das Steinsalz als Hauptbestandteile, die in verschiedenen Mischungen auftreten. Die ursprüngliche sedimentäre Schichtfolge sei durch tektonische Vorgänge in eine Brekzie verwandelt, durch eruptive Einwirkung (Schlammvulkane) hochgepreßt und dabei zum Teil umkristallisiert worden. MAYER hält es für möglich, daß das primäre Salzlager dem Oberperm angehört.

Auch G. GEYER kommt 1914 in seiner Arbeit über die Aufschlüsse des Bosrucktunnels zur Ansicht, daß das alpine Salinar wahrscheinlich unter den Werfener Schichten einzustufen sei.

1922 unterteilt F. BEYSCHLAG das Salzgebirge von Berchtesgaden in Haselgebirge und Geschichtetes Salzgebirge (Kernsalz). Er beschreibt das Haselgebirge als

„... eine Brekzie oder noch öfter ein Konglomerat, dessen Gerölle ganz unregelmäßig in einem festgewordenen Tonbrei schwimmen. Das Material des Haselgebirges stammt aus der tektonischen Zertrümmerung der spröden Schichtglieder des geschichteten Salzgebirges.“

1929 faßt auch J. KÜHNEL in einer Arbeit über die Stellung des Berchtesgadener Salzberges im nordalpinen Deckengebäude das Haselgebirge als eine tektonische Brekzie auf:

„Das Salz und der Salzton, aus denen das Haselgebirge hervorging, wurden wohl ursprünglich schichtig und in Wechsellagerung miteinander abgelagert. Die Abscherung der juvavischen Massen erfolgte in diesem Horizont. Im weiteren Verlauf des Überschiebungsvorganges kam es zu einer weitgehenden Verschleifung der Salz- und Haselmassen.“

Bezüglich der Altersstellung des alpinen Salinars vertrat KÜHNEL die Auffassung, daß das Haselgebirge in die tiefere Abteilung und die Werfener Schichten in die höhere Abteilung der skythischen Stufe einzuordnen seien.

Aber bereits zwei Jahre vorher (1927) haben E. SEIDL und R. PLANK auf Grund der Grubenaufnahmen des letzteren die alpinen Salzlagerstätten unter einem ganz neuen Gesichtspunkt betrachtet, indem sie dieselben mit den deutschen Zechsteinsalzlagerstätten parallelisieren: sie seien ebenfalls

„... in Älteres Steinsalz, Hauptanhydrit, Grauer Salzton, Jüngere Steinsalz- und Kalihorizonte zu gliedern. Das Haselgebirge ist ein tektonisch entstandenes Mischgestein aus plastischer Salz- oder Ton-Grundmasse und Trümmerbestandteilen spröderer Gesteine, wobei nicht nur der Hauptanhydrit und der Graue Salzton, sondern auch die hangenden Werfener Schiefer in die Haselgebirgsbildung einbezogen wurden.“

Je nach der Art des von den aus der Tiefe aufströmenden Muttersalzmassen (des Älteren und jüngeren Steinsalzes) aufgearbeiteten Materials konnten verschiedene Haselgebirgsarten entstehen.

Nach SEIDL und PLANK unterteufte das alpine Perm-salzlager wie ein Teppich die Nördlichen Kalkalpen und wurde zwischen den Kalkgroßschollen an Störungszo-

nen in Form von Salzstöcken hochgepreßt. Mit dieser Auffassung der alpinen Salzstöcke als autochthone Diapire geriet SEIDL in Widerspruch zur Deckenlehre der Alpentektoniker, die schon damals die alpinen Salzstöcke als wurzellose, durch die Deckenschübe transportierte und auf jüngere Schichten aufgeschobene salinare Massen betrachteten.

1929 pflichtete L. KOBER im Gegensatz zu E. SPENGLER u. a. der Annahme SEIDL's eines permischen Alters des Alpensalzes bei und schloß sich auch der Auffassung einer tektonischen Bildung des Haselgebirges an.

1931 gelangte O. SCHAUBERGER auf Grund einer Teilaufnahme im Hallstätter Salzberg vorerst zu folgenden Ergebnissen: Das alpine Salzgebirge besteht aus einer ursprünglichen Wechsellagerung von Kernsalz (d. i. primärgeschichtetes Steinsalz), Tone und Tonmergel, Anhydrit und Haselgebirgsschichten. Letztere lassen sich je nach Vorherrschen einer bestimmten Salztonart unterteilen in Graues, Grünes und Schwarzes Haselgebirge. Diese aus einer primären Wechsellagerung von schmalen Salz-, Ton- und Anhydritlagen bestehenden Schichten wurden durch den Faltungsdruck zerbrochen und im Verlauf des Salzaufstieges fließtektonisch zu „Haselgebirge“ vermischt.

1938 haben E. FULDA und F. LOTZE in ihren Lehrbüchern der Salzlagerstätten die von O. SCHAUBERGER gegebene petrographische Beschreibung des alpinen Salzgebirges im Wesentlichen übernommen, beide halten jedoch – unter Ablehnung des Gliederungsversuches von E. SEIDL –

„... angesichts der außerordentlich starken tektonischen Durchmischung der Salzgesteine eine stratigraphische Gliederung des Alpensalzes in eine Altersfolge von charakteristischen Schichten für ein außerordentlich schwieriges, ja geradezu unmögliches Unterfangen.“

In der Altersfrage des alpinen Salinars folgten die beiden Autoren der noch vorherrschenden Lehrmeinung, daß die alpine Salzlager in die Zone der oberen Werfener Schichten einzureihen seien, doch weist FULDA darauf hin, daß das Alter des Alpensalzes noch keinesfalls feststeht,

„... weil es für die Altersbestimmung noch keine paläontologischen Anhaltspunkte gibt.“

Während hinsichtlich des Entstehungsvorganges des Haselgebirges LOTZE sich der herrschenden Anschauung anschließt, daß es sich dabei um eine aus einer primären Wechsellagerung von Ton- und Salzschieben infolge starker tektonischer Durchbewegung entstandene Brekzie, also um einen Tektonit handle, weist erstmalig FULDA auf die Möglichkeit einer sedimentären Entstehung des Haselgebirges hin, die am besten mit der Großflutentheorie von M. WILFARTH zu erklären sei: Im Verlauf der damals viel stärkeren Gezeiten seien durch periodische Überflutungen vom Meere her die klastischen Sedimente höhergelegener Küstengebiete aufgearbeitet, in die auch während der Ebbe mit Salzlauge gefüllte Senken verfrachtet und dort zugleich mit dem Salz in Form von Brocken und Tontrübe wieder sedimentiert worden.

1949 unterscheidet O. SCHAUBERGER auf Grund der 1940 im Rahmen der Geologischen Forschungsstelle der Österreichischen Salinen begonnenen Detailkartierung der alpinen Salzlagerstätten verschiedene Salzgesteinstypen und erweitert die Unterteilung des Haselgebirges in graues, grünlichgraues, grünes, schwarzes und buntes Haselgebirge, wobei jede dieser Haselgebirgsarten eine bestimmte Salztonart als Hauptkomponente führt.

Das Haselgebirge als solches wird nach wie vor als eine aus einer primären Wechselfolge von salinaren und klastischen Gesteinen durch fließtektonische Umformung hervorgegangene Brekzie aufgefaßt.

Einen entscheidenden Fortschritt bedeutet die zufolge der Kartierungsergebnisse nunmehr möglich gewordene stratigraphische Aufgliederung des alpinen Salzgebirges in verschiedene Salzgebirgsarten, wobei es aber noch nicht feststeht, wie weit es sich bei diesen Schichtkomplexen um eine tatsächliche Altersfolge oder um annähernd gleichzeitige Faziesausbildungen handelt. Wichtig ist auch der erstmalige Nachweis von Leitschichten (wie z. B. Tuffithorizonten) in dem bisher für schichtungslos gehaltenen Haselgebirge.

Die erste Stellungnahme zu den Untersuchungsergebnissen O. SCHAUBERGERs erfolgte im gleichen Jahr durch W. MEDWENITSCH. Er versuchte eine „geologisch-stratigraphische Gliederung der Haselgebirgszone“ an Hand der Salztone u. zw. bilde das Liegende die Zone des schwarzen Salztone, der mit den ebenfalls bitumenreichen Bellerophon-Schichten des Obersten Perm zu parallelisieren sei. Darüber folge der grüne Salztone mit Salzbänken und als Abschluß nach oben der rote Salztone als Umlagerungsprodukt der Werfener Schichten. Die Salzbildung hätte demnach vom obersten Perm bis in das Skyth gedauert. Das Haselgebirge sei als das Endprodukt der tektonischen Aufarbeitung einer primären Wechsellagerung von Anhydrit, Ton und Salz zu betrachten.

1952 äußerte W. HEISSEL hinsichtlich der Alterseinstufung der alpinen Salzlager die von allen bisherigen Annahmen stark abweichende Meinung, daß nur die Salzlagerstätte von Hall in Tirol als untertriadisch einzustufen sei, allen übrigen aber zufolge ihres engen Kontaktes mit den Liasfleckenmergeln ein rhätisch-liasisches Alter zuzuschreiben sei.

1953 veröffentlichte W. KLAUS die ersten Untersuchungsergebnisse über den Sporenhalt des alpinen Salzgebirges, auf den schon 1947 W. PETRASCHECK hingewiesen hatte. W. KLAUS stellte fest, daß die Sporengesellschaft des oberen deutschen Zechstein auch in den Bellerophon-Schichten und in Teilen des alpinen Salzgebirges auftritt, daß aber die typischen Zechsteinsporen in den Werfener Schichten bis auf wenige Prozent zurückgehen. Das Gesamtbild der Sporenführung ergibt daher:

„... die Werfener Tonschiefer und Sandsteine liegen stratigraphisch über dem Salzgebirge, dieses ist aber nicht völlig einheitlichen Entstehungsalters. Die Sedimentation dürfte im oberen Perm begonnen haben und sich bis zum unteren Skyth hinziehen.“

1955/57 kommt O. SCHAUBERGER auf Grund neuer Kartierungsergebnisse zu weiteren Schlußfolgerungen:

1. Die Reihe der alpinsalinaren Gesteinstypen ist zu ergänzen durch Sulfat-, Karbonat-, und Silikatgesteine als akzessorische Bestandteile des Salzgebirges.
2. Im Standardprofil des Hallstätter Salzlagers sind die Salzgebirgsarten: Grausalzgebirge, Rotsalzgebirge, Grüntongebirge, Übergangsgebirge und Buntes Salztongebirge zu unterscheiden, wobei letzteres als eine deszendente, daher jüngere Bildung anzusehen ist.
3. Das alpine Haselgebirge ist – zumindest zum Teil – eine sedimentäre Brekzie („Einschüttungsbrekzie“), die später noch fluidaltektonisch überarbeitet wurde.

4. Das Alter des alpinen Salinars ist auf Grund der palynologischen Befunde von W. KLAUS und verschiedener geologischer Beobachtungen als permotriadisch mit Stellung zwischen der quarzitischen (oberpermischen) Stufe und der tonig/kalkigen (skythischen) Stufe der Werfener Schichten anzunehmen.

1955 hat H. MAYERHOFER durch eine eingehende petrographische und strukturelle Studie des Salzgebirges des Ischler Salzstockes, der allerdings durch seine Schmalheit dem Flankendruck des Deckgebirges besonders stark ausgesetzt ist, den Eindruck gewonnen, daß aus dem heutigen Zustand der Lagerstätte eine ursprüngliche stratigraphische Abfolge nicht abgeleitet werden könne, wengleich die Existenz von Leitstraten im Haselgebirge nicht zu bestreiten sei. Das Haselgebirge sei kein aquatisches Umlagerungsprodukt, also keine sedimentäre Brekzie, sondern

„... ein durch Fließschieferung mit intrusiver Pseudoschichtbildung entstandenes Mischgestein.“

1963 hält W. MEDWENITSCH in einer neuerlichen Stellungnahme zu den Untersuchungsergebnissen O. SCHAUBERGER's „aus mehr regionalen Gesichtspunkten“ an der tektonischen Entstehung des Haselgebirges mit einem Vorherrschen fluidaltektonischer Elemente fest,

„... zumal der semiaride Faziesraum kaum das Erosionsniveau zur Bildung grobklastischer Sedimente bietet.“

Das Haselgebirge dürfte wenigstens teilweise stratigraphisch den hochpermischen Bellerophonschichten der Südalpen entsprechen und zufolge der pollenanalytischen Untersuchungen von W. KLAUS mit dem Zechstein IV parallelisierbar sein.

1964 definiert A. TOLLMANN das Haselgebirge ebenfalls als eine

„... tektonisch äußerst beanspruchte, hochmobile Brekzie aus Gips, Anhydrit und Steinsalz von ausschließlich oberpermischem Alter.“

W. KLAUS stellt zur gleichen Zeit fest, daß die Mikroflora der alpinen schwarzen Salztone den südalpinen Bellerophonschichten näher steht als dem deutschen Zechstein, jedenfalls näher dem Oberperm als dem Oberskyth.

„Jedoch führen Tone aus dem stinkdolomitischen nördlichen Grausalz von Hallstatt eine Mikroflora, die dem Oberskyth bis Basis-Anis nahesteht. Es kommen also auch jüngere Teile im Salzlager vor.“

1966 gewinnt W. SCHLAGER von dem Haselgebirgsvorkommen an der Westseite des Gosaukammes den Eindruck,

„... daß sich die stratigraphische Gliederung des Haselgebirges der Salzberge und eine tektonischer Entstehung der Brekzienstruktur gegenseitig nicht ausschließen.“

Die von ihm beobachtete Lagerung des Haselgebirges unter den bunten Werfener Schichten stimme mit der sporendiagnostischen Einstufung gut überein. Die graugrünen Quarzite seien der älteste Anteil der Werfener Schichten und älter als das Haselgebirge – oder gleich alt. Für das Alter der Gipsdolomite käme auch das Oberskyth in Frage.

1976 ergab die geologische Auswertung der in den Jahren 1968–1972 im Becken von Reichenhall niedergebrachten Bohrungen durch O. SCHAUBERGER, H. ZANKL, W. KLAUS, E. PAK und R. KÜHN; eine aus Buntem Salztongebirge, Anhydritischem Grausalzgebirge und Dolomitischem AnhydritHaselgebirge bestehende Salinentwicklung mit unverkennbar sedimentären Merkmalen, die als Reichenhaller Salzfazies der

Hallstätter und der Ausseer Salzfazies gegenübergestellt wird, aber auch im Salzberg Hall in Tirol und im Nordflügel des Hallstätter Salzberges vertreten ist.

1981 endlich wurde durch das Ergebnis einer systematischen, alle ostalpinen Salzlagerstätten betreffenden Untersuchung der Schwefelisotopenverhältnisse von Sulfatgesteinen durch E. PAK (Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Wien) die Altersfrage der

ostalpinen Salzlagerstätten dahingehend beantwortet, daß eine ältere, ins Oberperm bis Unterskyth zu stellende Phase der Salzsedimentation zu unterscheiden ist von einer jüngeren Phase, die ins Oberskyth bis Basis-Anis einzuordnen ist, jedoch nicht mehr in allen Lagerstätten zur Ausbildung gelangte.

Damit ist der gegenwärtige Stand der alpinen Salzfor- schung erreicht und wird in der folgenden Abhandlung zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht der Salzmineralien.

|                                   |  | Name (Synonyma)                           | Chemische Formel  | Kristallsystem Klasse         | Optischer Charakter<br>Brechungszahlen<br>$\alpha : \beta : \gamma$ | Härte      | Dichte [g/cm <sup>3</sup> ] | Habitus<br>Spaltbarkeit<br>Bruch   |
|-----------------------------------|--|---|---|-------------------------------|---|------------|-----------------------------|--|
| Einfache Chloride<br>des Natriums |  | Steinsalz*)<br>(Halit)                    | NaCl  | Kubisch<br>Hexakisoktaedrisch | Isotrop<br>$n = 1,5443$   | 2,3<br>2,3 | 2,168<br>2,168              | Meist würfelig, selten oktaedrisch, körnig, faserig, stalaktitisch, vollkommen spaltbar nach (100); Bruch muschelrig.  |
|                                   |  | Hydrohalit                                | NaCl·2H <sub>2</sub> O  | Monoklin<br>(unter 0°C)       |   | <1         | 1,630                       | Tafelig nach (100).  |
| d. Kaliums                        |  | Sylvin                                    | KCl   | Kubisch<br>Hexakisoktaedrisch | Isotrop   | 2,2        | 1,987                       | Meist würfelig, selten oktaedrisch, körnig, selten faserig, vollkommen spaltbar, nach (001); Bruch muschelrig.   |
| Sulfchloride                      |  | Diansit                                   | Na <sub>2</sub> MgCl <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>10</sub>  | Rhombisch<br>(Pseudokubisch)  | Nahezu optisch isotrop<br>1,488 bis 1,489                           | 2,5<br>2,5 | 2,65<br>2,65                | Neigung zu rundlichen Körnern mit vorherrschender Form (211) (Triakistetraeder).   |
|                                   |  | Kainit                                    | (KMgClSO <sub>4</sub> )·11H <sub>2</sub> O  | Monoklin                      | 1,494 : 1,506 : 1,516   | 3          | 2,13                        | Dicktafelrig nach (100), Kristalle selten, meist derb bis zuckerkörnig; vollkommen spaltbar nach (100); Bruch splitterig.                                      |
| Doppel-                           |  | Tachhydrit                                | CaMgCl <sub>6</sub> ·12H <sub>2</sub> O   | Hexagonal<br>Rhomboidrisch    | $n_o = 1,520$<br>$n_e = 1,512$                                      | 2          | 1,669                       | Kristalle selten, meist weisse Krusten oder pulverige Überzüge; vollkommen spaltbar nach (1011); Bruch uneben.   |
| Einfache Sulfate<br>des Natriums  |  | Thenardit                                 | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>   | Rhombisch                     | 1,471 : 1,477 : 1,484   | 2,7        | 2,665                       | Weißer Krusten oder pulverige Überzüge, vollkommen spaltbar nach (1011); Bruch uneben.   |
|                                   |  | Glaubersalz<br>(Mirabilit)                | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O   | Monoklin<br>Prismatisch       | 1,3940 : 1,3965 : 1,3910  | 1,5 – 2    | 1,492                       | Kurzprismatisch nach C; prismatisch bis nadelförmig in Richtung (010); dünntafelrig nach (100) oder (001); vollkommen spaltbar nach (100); Bruch muschelrig.   |
| des Kaliums                       |  | Anhydrit*)<br>(Muriazit,<br>Karstenit)    | CaSO <sub>4</sub>   | Rhombisch<br>Dipyramidal      | 1,570 : 1,575 : 1,614   | 3,8        | 2,97                        | Tafelrig-spätig, meist derbkörnig, selten faserig; vollkommen spaltbar nach (001), (010) und (001); Bruch splitterig.  |
|                                   |  | Gips*)<br>(Selenit;<br>Marienglas)        | CaSO <sub>4</sub>   | Monoklin<br>Prismatisch       | 1,521 : 1,523 : 1,530   | 1,5 – 2    | 2,32                        | Dicktafelrig nach (010), vielfach gestreckt; verzwilligt nach (100) und (001); feinkristallin, auch blät- terig, faserig, vollkommen spaltbar nach (010); zäh. |
| des Magnesiums                    |  | Kieserit                                  | MgSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O   | Monoklin<br>Prismatisch       | 1,518 : 1,513 : 1,583   | 3,7        | 2,573                       | Pyramidal mit vorherrschender (111) oder prisma- tisch nach (110) oder (110); vorw. feinkörnig, spaltbar nach (111); Bruch uneben bis splitterig.              |
|                                   |  | Allenit<br>(Pentahydrit)                  | MgSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O  | Triklin<br>Pinakoidal         | 1,482 : 1,492 : 1,493   | <1         | 1,86                        | Kristalle nur synthetisch, meist feinkörnig-pulverig, als Krusten und Ausblühungen; Spaltbarkeit schlecht; Bruch muschelrig                                    |
|                                   |  | Hexahydrit<br>(Hexahydrat)                | MgSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O  | Monoklin<br>Prismatisch       | 1,426 : 1,453 : 1,456   | ≈2         | 1,75                        | Pulvriger Beschlag oder Krusten; spaltbar gut nach (101).  |
|                                   |  | Epsomit<br>(Bittersalz,<br>Reichardt)     | MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O  | Rhombisch<br>Disphenoidisch   | 1,432 : 1,455 : 1,461   | 2,5        | 1,677                       | Gedrunge prismatisch nach C, meist körnig, auch haar- bis nadelförmig; vollkommen spaltbar nach (101); Bruch muschelrig  |
|                                   |  | Eisen-Epsomit<br>(Grünes Bitter-<br>salz) | Isomorphe Mischung von<br>MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O (91,95%) mit<br>FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O (0,28%) | Wie vor.                      | Wie vor.  | Wie vor.   | Wie vor.                    | Wie vor.   |

## 2. Mineral- und Gesteinsbestand der ostalpinen Salzlagerstätten

Die in den ostalpinen Salzlagerstätten bisher nachgewiesenen Salzminerale sind in der Tabelle 3/1, II mit ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften sowie der Art und Örtlichkeiten ihres Auftretens verzeichnet. Die physikalischen und chemischen Daten beziehen sich jeweils auf die reinste Ausbildung des Mine-

rals, die allerdings in der Natur nur ganz selten anzutreffen ist.

Bei den am Aufbau des alpine Salinars beteiligten Gesteinen sind zu unterscheiden

- 1) Die chemischen Präzipitatgesteine, das sind das Steinsalz und seine Begleitsalze,
- 2) Die klastischen Begleitgesteine, das sind Tone und Sandsteine,
- 3) Semisalinare und salzfremde Gesteine und Mineralien sowie Spurenelemente.

| Farbe<br>Glanz  | Schmelzpunkt   | Verhalten an der Luft  | Löslichkeit  | Sonstige Merkmale<br>Fl: Fluoreszenz<br>F: Flammenfärbung<br>G: Geschmack               | Art des Vorkommens in den ostalpinen Salzlagerstätten  | Ort (locus typicus) des Vorkommens in den ostalpinen Salzlagerstätten   |
|---|--|--|--|---|--|---|
| Farblos, milchig, gelb, pfirsingrot, blau, violett.                                     | 801°C  | Rein beständig, durch Gehalt an CaCl <sub>2</sub> oder NaCl <sub>2</sub> zerfließlich. | In Wasser: 26,4 %<br>In Alkohol: 0,065 %                                   | Fl: dunkelpurpur<br>F: gelb (Natrium)<br>Bei Bestrahlung gelb-violett-blaue Verfärbung. | Primär als fluidaltektonisch stark verformte Bänke (Kernzüge; sek. als Faser- u. Blättersalz usw.            | In allen Salzlagerstätten; am häufigsten in Hallstatt und Altaussee.  |
| Farblos durchsichtig; Glasglanz   | Bei 0,1°C inkongruent schmelzend u. Halitabscheidung |  |  |   |  | In Soleleitungen (Hallein).   |
| Rein farblos bis milchig gelb, rot, grau, selten bläulich; Glasglanz.                   | 773°C  | Beständig,   | In H <sub>2</sub> O: 25,6 %<br>In Alk.: 0,034 %                            | Fl: Blaubrot-flechtig<br>F: rotviolett (Kalium)<br>G: stechend salzig                   | Selten und nur sekundär in Paragenese mit anderen Salzmineralien.  | Bisher in den Salzbergen Hall- und Hall in Tirol.   |
| Gelblich durchscheinend bis durchsichtig.   | 559 ± 5°C  |  | In H <sub>2</sub> O: leicht  |   | Selten und nur sekundär in Paragenese mit anderen Salzmineralien.  | Bisher nur im Salzberg Hall in Tirol (nach GÖRGEY, 1907/09).  |
| Rein farblos-durchsichtig, grau, gelblich, rötlich, selten blau/violett; Glasglanz.     | Inkongruent 72°–75°C                                 | Ziemlich beständig (erst bei längerer Luftereinwirkung weiße Kruste).                  | Leicht wasserlöslich.  |   | Selten und nur sekundär.   | Bisher nur im Salzberg Ischl (nach MAYERHOFER, 1955).   |
| Farblos, weiß.  |  |  |  |   | Nur sekundär in Sodaeffloreszenzen und auf Spalten in allen Salzen.  | Im Salzberg Dürrnberg/Hallein und in Berchtesgaden (G. WESTNER, 1951).  |
| Farblose Kristalle.   |  | Hygroskopisch.   |  |   | Nur sekundär als Umwandlungsprodukt von Glaubersalz und in Paragenese mit Astrakanit und Vanthoffit.         | Nachgewiesen im Salzberg Dürrnberg/Hallein (W. TUFAR 1977) und im Salzberg Berchtesgaden (G. WESTNER, 1951).    |
| Farblos-durchsichtig; matter Glasglanz.   | 32,5°C   | Rasche Bildung eines mehligem Überzuges.   | In Wasser leicht löslich.  | G: salzig-bitter, kühlend   | Nur sekundär/rezent als „Haarsalz“ im Werkslaist ausblühend, in Soleleitungen unter 5°C aus Sole ausfallend. | In allen Salzbergen, vornehmlich in Altaussee.  |
| Kristallisiert farblos rosa, blauviolett; derb: opak dunkelgrau; Glas- bis Seidenglanz. | 1,450°C  | Nur bei längerer Einwirkung feuchter Luft oberflächlich ver-                           | In H <sub>2</sub> O: 0,2 % bei 45°C  | Fl.: orange bis rotviolett<br>Gibt mit Stahl Funken.                                    | Primär in bis zu 10 m mächtigen Bänken im Salzgebirge, sekundär als Muriazit kristallisiert.                 | In allen Salzbergen, vornehmlich im „Rotsalzgebirge der Salzlagerstätten von Altaussee, Hallstatt und Ischl.    |
| Farblos, durchsichtig, derb: opak, weiß, grau, rötlich                                  | Inkongruent  | Beständig.   | In Wasser schwer löslich (0,2 %).  | Fl: blaßgrün.   | Posthum im ausgelaugten und im Grenzgebirge („Finanzer“), rezent in Laugwerken.                              | In allen Salzbergen.  |
| Gelblich, violett-grau, grünlich, rötlich, durchscheinend; lebhafter Glasglanz          | Inkongruent  | Rasche Bildung eines mehligem Überzuges von Epsomit.                                   | In H <sub>2</sub> O langsam löslich unter Übergang in metastabile Hydrate. | Fl: gelb<br>G: schwach bitter   | Nur sekundär in Paragenese mit anderen Sulfaten.   | In den Salzbergen von Hallstatt, Altaussee und Dürrnberg/Hallein.   |
| Farblos durchsichtig.   |  |  |  |   | Nur sekundär in Paragenese mit anderen Sulfaten und  | Bisher nur im Salzberg Hallstatt (Schwingheimkehr), nach R. KÜHN (1956).  |
| Weiß bis gelbliche Krusten.   |  |  |  |   | Nur sekundär in Paragenese mit anderen Sulfaten oder rezent in Soleleitungen.                                | In den Salzbergen von Ischl (H. MAYERHOFER, 1955) Dürrnberg (W. TUFAR, 1977) und Berchtesgaden (WESTNER, 1951). |
| Farblos-durchsichtig bis mehlig-opak, seidiger Glas- bis Perlmutterglanz.               | Inkongruent 13–48,3°C                                | Überzieht sich an trockener Luft mit weißer Kruste.                                    | In Wasser sehr leicht löslich (34,5 %).                                    | G: laugig-bitter  | Nur sekundär nach Kieserit und Astrakanit, rezent als Haarsalz im Werkslaist.                                | In allen Salzbergen im Rotsalzgebirge.  |
| Grasgrün bis gelbgrün; matter Glasglanz.  |  | Wie vor.   | Wie vor.   | Wie vor.  | Nur sekundär in Paragenese mit Astrakanit, Löweit und Steinsalz.   | In den Salzbergen von Hallstatt, Altaussee, Ischl und Dürrnberg/Hallein als Leitmineral des Rotsalzgebirges.    |

Tabelle 3 (Fortsetzung).

|                         | Name<br>(Synonyma)       | Chemische Formel   | Kristallsystem<br>Klasse  | Optischer   | Härte                          | Dichte<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | Habitus<br>Spaltbarkeit<br>Bruch   |  |
|-------------------------|--------------------------|--|---|---|--------------------------------|--------------------------------|--|--|
|                         |                          |  |   | Charakter<br>Brechungszahlen<br>$\alpha$ : $\beta$ : $\gamma$ |                                |                                |  |  |
| Doppel-Sulfate          | v. Na u. Ca              | Glauberit  | $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{S}_i)_4)_2$   | Monoklin<br>Prismatisch                                       | 1,515 : 1,532 : 1,536          | 3,2                            | 2,85   | Tafelig nach (001), auch prismatisch nach (111), spätig, blättrig, körnig; vollkommen spaltbar nach (001); Bruch muschelrig.           |
|                         | von Na und Mg            | Vanthoffit   | $\text{Na}_6\text{Mg}(\text{SO}_4)_4$   | Monoklin  | 1,4855 : 1,4876 : 1,4893       | 3,5–3,6                        | 2,694  | In der Natur nur derb/körnig; nicht spaltbar; Bruch flachmuschelig bis splittrig.  |
|                         |                          | Astrakanit<br>(Blödeit)  | $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$   | Monoklin<br>Prismatisch                                       | 1,483 : 1,486 : 1,487          | 3,2                            | 2,232  | Kurzprismatisch nach C, dicktafelrig nach (001), meist aber derb/körnig; Spaltbarkeit undeutlich; Bruch muschelrig                     |
|                         |                          | Simonyit<br>(Eisen-Astrakanit)                                   | Isomorphe Mischung von<br>$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (78,63 %<br>und<br>$\text{Na}_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,60 %) | Monoklin<br>Prismatisch                                       | 1,4825 : 1,4855 : 1,4866       | 3,2                            | 2,23   | Wie vor.   |
|                         |                          | Löweit   | $\text{Na}_{12}\text{Mg}_7(\text{SO}_4)_{13} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$  | Hexagonal<br>Rhomboedrisch                                    | $n_o = 1,495$<br>$n_e = 1,478$ | 2,5–3                          | 2,336  | Kristalle nur synthetisch, derb (körnig-knollig); Spaltbarkeit deutlich nach (1010); Bruch muschelrig.                                 |
|                         | v. Na u. K               | Glaserit   | $\text{NaK}_3(\text{SO}_4)_2$   | Hexagonal<br>Rhomboedrisch                                    | $n_o = 1,491$<br>$n_e = 1,498$ | 2,7                            | 2,679  | Kristalle dicktafelrig nach (0001), blättrig, traubig, derb als Krusten; Spaltbarkeit gut nach (1010); Bruch uneben bis muschelrig.    |
|                         | von Ca und K             | Syngenit   | $\text{CaK}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  | Monoklin<br>Prismatisch                                       | 1,501 : 1,517 : 1,518          | 2,5                            | 2,58   | Kristalle meist dicktafelrig (100), gestreckt nach C; Zwillinge nach (100); spaltbar vollkommen nach (100) und (110); Bruch splittrig. |
|                         |                          | Görgeyit   | $\text{CaK}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  | Monoklin<br>Prismatisch                                       | 1,560 : 1,569 : 1,584          | 3,5                            | 2,77   | Kristalle tafelig nach (001), leistenförmig; spaltbar deutlich nach (100); Bruch splittrig.  |
|                         | d. Kaliums u. Magnesiums | Langbeinit   | $\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$  | Kubisch<br>Pentagon-<br>dodekaedrisch                         | Isotrop<br>$n = 1,534$         | 4,2                            | 2,828  | Nur derb (körnig bis knollig); nicht spaltbar; Bruch flachmuschelig bis splittrig  |
|                         |                          | Leonit<br>(Kaltblödeit)  | $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  | Monoklin<br>Prismatisch                                       | 1,4795 : 1,483 : 1,488         | 2,7                            | 2,201  | Spaltbarkeit nach 2 (nicht bestimmten) Richtungen; Bruch muschelrig.   |
| Schönit<br>(Pirkomerit) |                          | $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   | Monoklin<br>Prismatisch   | 1,461 : 1,463 : 1,476   | 2,6                            | 2,03                           | Kristalle kurzprismatisch nach C mit flächenreichen Formen; zumeist aber derb (pulvrige Krusten); Spaltbarkeit vollkommen nach (201); Bruch uneben.                              |  |
| Polysulfat              | Polyhalit*)              | $\text{CaK}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | Triklin<br>Pseudorhombisch  | 1,548 : 1,562 : 1,567   | 3–3,6                          | 2,775                          | Kristalle (selten) tafelig nach (010) oder (001) mit starker Verzwillingung; meist derb (körnig, stengelig-faserig); Spaltbarkeit vollkommen nach (100); Bruch muschelrig-spröde |  |

\*) Gesteinsbildend.

## 2.1. Die chemischen Präzipitatgesteine

### 2.1.1. Das Steinsalz (Hallit)

Nach Art und Zeit seiner Bildung ist primäres und sekundäres (rekristallisiertes) Steinsalz zu unterscheiden.

Als primär ist das feinkristalline bis körnige, zumeist durch tonanhydritische oder alkalisulfatische Zwischenlagen geschichtete Steinsalz (bergmännisch: Kernsalz) anzusprechen. Hierzu gehört auch das Steinsalz, welches die Grundmasse des „Kerngebirges“ und des „Haselgebirges“ bildet.

Als sekundär (verschiedener Bildungszeiten) sind das Tonwürfelsalz, das Blättersalz, das Fasersalz, das grobkristalline Kluftsalz und die in Hohlräumen frei aufgewachsenen Steinsalzkristalle anzusehen. Primäres und sekundäres Steinsalz unterscheiden

sich voneinander durch die Fluoreszenzfarben (primär: dunkel-purpur bis violett), sekundär: karminrot) und nach P. REINOLD (1965) auch durch den größeren Gehalt des sekundären Steinsalzes an Kalium, jedoch wesentlich geringeren Gehalt an Strontium.

Typische Ausbildungen des primärgeschichteten Steinsalzes sind das Liniensalz des Grüntongebirges (Hallstatt, Berchtesgaden) und das Bändersalz des Rotsalzbirges (Altaussee, Hallstatt).

#### ○ Liniensalz

Weißes bis hellgraues, randlich auch rötlich gefärbtes Steinsalz, durch Einschaltung von 2–5 mm breiten tonanhydritischen Schmutzstreifen mit gegenseitigem Abstand von 1–2 cm geschichtet. Diese regelmäßige Feinschichtung ist mit der „Warvenschichtung“ im Liniensalz des Zechstein 3 vergleich-

| Farbe<br>Glanz  | Schmelz-<br>punkt      | Verhalten<br>an der Luft   | Löslichkeit  | Sonstige Merkmale<br>Fl: Fluoreszenz<br>F: Flammenfärbung<br>G: Geschmack | Art<br>des Vorkommens<br>in den ostalpinen<br>Salzlagerstätten                       | Ort (locus typicus)<br>des Vorkommens<br>in den ostalpinen<br>Salzlagerstätten  |
|---|------------------------|--|--|---|--|---|
| Farblos-durchscheinend,<br>gelblich, braun, fleischrot;<br>fettiger Glasglanz auf<br>(001).                   | Inkongruent            | Rein beständig; sul-<br>fathaltig weißer Über-<br>zug.                     | In Wasser (20°C)<br>schwer löslich<br>unter Gipsab-                                  | G: schwach laugig   | Nur sekundär in Verwach-<br>sung mit Anhydrit, Steinsalz<br>und Polyhalit.           | Im Rotsalzgebirge aller Salz-<br>berge, vornehmlich Hallstatt,<br>Altaussee, Ischl und Dürrn-<br>berg/Hallein.                                  |
| Farblos-wasserklar; leb-<br>hafter Glas- bis Perlmutter-<br>glanz.  | 650°C                  | An feuchter Luft Bil-<br>dung eines dünnen<br>weißen Überzuges.            | In Wasser ziem-<br>lich leicht löslich.  | G: schwach bitter   | Nur sekundär, meist in Para-<br>genese mit Astrakanit, Löweit<br>Thenardit.          | Selten; im Salzberg Hallstatt<br>(fraglich), Hall i. Tirol (N. GÖR-<br>GEY, 1909), Ischl (GÖRGEY,<br>1910), Berchtesgaden (WEST-<br>NER, 1951). |
| Kristalle farblos, sonst<br>hell- bis orangegelb; glanz-<br>los.  | 700°C                  | Bildung einer weißen<br>Kruste von Bittersalz.                             | In Wasser leicht<br>löslich unter Glau-<br>bersalzbildung.                           | G: salzig-bitter  | Primär (?) als Knollen in<br>Steinsalz; sekundär in Para-<br>genese mit Löweit.      | Im Rotsalzgebirge aller Salz-<br>berge.   |
| Dunkel- bis blaugrün;<br>glanzlos.  |                        | Ziemlich beständig.  | In Wasser leicht<br>löslich.   | G: salzig-bitter  | Nur sekundär in Paragenese<br>mit Astrakanit, Löweit, Anhy-<br>drit und Steinsalz.   | Leitmineral des „Roten Bän-<br>dersalzgebirges“, vornehmlich<br>in Hallstatt und Dürrnberg/Hal-<br>lein.  |
| Orangegelb bis fleischrot,<br>selten grünlich; glanzlos.  | 730°C                  | Langsame Bildung<br>eines weißen Überzu-<br>ges; ziemlich best.            | In Wasser leicht<br>löslich.   | G: schwach bitter   | Nur sekundär; vorwiegend in<br>Verwachsung mit anderen<br>Sulfaten.                  | Fast ausschließlich im Rot-<br>salzgebirge aller Salzberge,<br>insbesondere Hallstatt.  |
| Kristalle farblos, weiß, derb<br>graublau, grünlich, rötlich<br>(durch Fe); Glas- bis Harz-                   |                        | Ziemlich beständig.  | In Wasser leicht<br>löslich (ca. 11 %)<br>unter K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -Aus- | G: schwach salzig-bitter  | Nur sekundär in Verwach-<br>sung mit Steinsalz und An-<br>hydrit.                    | Selten, bisher nur im Salzberg<br>Hall in Tirol (HIMMELBAUER,<br>und wahrscheinlich auch in<br>Hallstatt (MAYRHOFER, 1955)                      |
| Farblos, milchig, blaßgelb;<br>Glasglanz.   | Inkongruent            | Beständig.   | In Wasser inkon-<br>gruent unter<br>Gipsabscheidung.                                 | G: schwach bitter   | Nur sekundär in Verwach-<br>sung mit Sylvit, Steinsalz,<br>Glaserit und Gips.        | Selten, bisher nur im Salzberg<br>Hallstatt (N. GÖRGEY, 1914;<br>R. KÜHN, 1958) und Berchtes-<br>gaden (WESTNER, 1951).                         |
| Farblos, rötlich durch<br>Polyhaliteinschlüsse;<br>Glasglanz  | Inkongruent            | Beständig  | Wie vor.   |   | Nur sekundär in Paragenese<br>mit Glauberit-Halit                                    | Selten, bisher nur im Salzberg<br>Ischl (H. MAYERHOFER, 1953).  |
| Farblos-durchscheinend,<br>gelblich, rötlich-violett,<br>grünlichgrau; lebhafter<br>Glasglanz                 | 930°C                  | Langsame Bildung<br>eines dünnen weißen<br>Überzuges von Pirko-<br>merit.  | Im Wasser ober-<br>halb 61°C lang-<br>sam löslich.                                   | Fl: gelb<br>Beim Anschlagen rötlich nach-<br>leuchtend.                   | Nur sekundär in Paragenese<br>mit anderen Sulfaten.                                  | In allen Salzbergen mit (bise-<br>heriger) Ausnahme von Dürrn-<br>berg und Berchtesgaden.   |
|   |                        |  |  |   | Nur sekundär(?)  | In den ostalpinen Salzbergen<br>(Hallstatt?) noch nicht mit Si-<br>cherheit nachgewiesen.   |
| Farblos-weiß, gelblich,<br>grau (durch Einschlüsse);<br>Glasglanz.  | Inkongruent<br>19–46°C | Ziemlich beständig,<br>langsame Bildung<br>eines mehligten Über-<br>zuges. | Im Wasser inkon-<br>gruent löslich.  |   | Nur sekundär in Verwach-<br>sung mit Astrakanit, Glaserit<br>und Steinsalz.          | In den Salzbergen Hallstatt,<br>Ischl, Hall in Tirol und Berch-<br>tesgaden (als Zersetzungspro-<br>dukt von Langbeinit).                       |
| Kristalle wasserhell-weiß,<br>sonst fleisch- bis ziegel-<br>rot oder dunkelbraun; Sei-<br>den- bis Fettglanz. | Inkongruent            | Sehr beständig.  | In Wasser schwer<br>löslich (unter<br>Gipsabscheidung).                              |   | Nur sekundär(?) in Ver-<br>wachsung mit Anhydrit oder<br>Kluftausfüllung in Salzion. | Nur im Rotsalzgebirge der<br>ostalpinen Salzberge.  |

bar, aus der RICHTER-BERNBURG (1950) eine auf jahreszeitliche oder solarperiodische Klimaschwankungen beruhenden Sedimentationszyklus abgeleitet hat. Im alpinen Liniensalz führte aber wegen seiner zu starken fließtektonischen Verzerrung ein analoger Versuch zu keinen brauchbaren Ergebnissen.

#### ○ Bändersalz

Feinkristallines, hellrötlich bis graubraun gefärbtes Steinsalz, das durch 1–6 mm starke Lagen von schwarzem Salzion in Abständen von 5–10 cm regelmäßig gebändert ist. Häufig sind diese Bändersalzbänke mit kleinen Knollen von alkalisulfatischen Salzen in perlschnurartiger Anordnung durchsetzt. Diese sulfatische Imprägnierung kommt auch in den Analysen (Tabelle Nr. 4) deutlich zum Ausdruck. Auch das Bändersalz läßt wegen seiner besonders intensiven fließtektonischen Verformung und der zu

geringen Schichtmächtigkeiten keine eindeutigen Rückschlüsse auf den Sedimentationsrhythmus oder auf die Sedimentationsgeschwindigkeit zu.

Als „Salzaugen“ werden jene eigenartigen Steinsalz-Einkristalle bezeichnet, die manchmal sowohl dem Liniensalz wie auch dem Bändersalz schichtweise eingelagert sind. Ihre Farbe ist zumeist etwas dunkler als die der Grundmasse, ihre Form kugelig bis elipsoidischgestreckt und ihre größte Abmessung zwischen 0,5 und 30 cm variierend.

Mit der Erscheinungsform der Salzaugen und der Frage ihrer Entstehung haben sich seit A. AIGNER (1888) mehrere Autoren beschäftigt, am ausführlichsten G. WESTNER (1951) und zuletzt R. KÜHN und O. SCHAUBERGER (1959). Die letzteren Autoren kamen zu dem Schluß, daß es sich bei den Salzaugen um die mechanisch umgeformten und umgelagerten Relikte einer ur-

Tabelle 4: Steinsalz-Analysen, ausgeführt im Salinenlabor Ebensee. Die Spurenelemente wurden in diesen Analysen nicht bestimmt.

1 = Bändersalz, Salzberg Altaussee, Wk. Lobkowitz; 2 = Bändersalz, Salzberg Ischl, I. Blindhorizont; 3 = Bändersalz, Salzberg Hall i. T., Wk. Zacher; 4 = Liniensalz, Salzberg, Hallstatt, Wk. Riethaler.

| Gew.-%   | 1      | 2      | 3      | 4     |
|--|--------|--------|--------|-------|
| NaCl   | 96,63  | 97,00  | 95,96  | 97,48 |
| KCl  | 0,33   | n.b.   | n.b.   | n.b.  |
| MgCl <sub>2</sub>                                    | 0,36   | –      | –      | 0,06  |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>MgSO <sub>4</sub> | 1,25   | 0,65   | 0,60   | 0,11  |
| CaSO <sub>4</sub>                                    | 1,06   | 1,60   | 2,50   | 0,75  |
| K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                       | –      | 0,59   | 0,77   | n.b.  |
| H <sub>2</sub> O                                     | 0,32   | 0,16   | 0,17   | 0,06  |
| Unlöslich  | 0,32   | n.b.   | n.b.   | 1,17  |
| Σ  | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 99,63 |

sprünglich grobspätigen Salzart handeln müsse. Für diese Auffassung und gegen die Deutung der Salzaugen als Produkte einer Sammelkristallisation (Porphyroblasten) sprechen folgende Tatsachen:

- Der Bromgehalt der Salzaugen ist nach den Untersuchungen von R. KÜHN deutlich höher als der des umschließenden Salzes, entspricht also einem Steinsalz höheren Eindunstungsgrades (Polyhalit- bis Kieseritregion),
- Die Salzaugen zeigen im UV-Licht keine Fluoreszenz, verhalten sich also wie primäres Steinsalz,
- Das Kristallgefüge der Salzaugen ist unabhängig von dem der Grundmasse,
- Die Form der Salzaugen, ihre häufig korrodierte Oberfläche und ihre leichte Herauslösbarkeit aus der feinkörnigen Matrix deuten auf Abrollung und Anlaugung während des Transportes, geben ihnen also den Charakter von Salzgeröllen,
- Die Aufeinanderfolge von augensalzreichen und augensalzfreien Schichten in einundderselben Steinsalzbank läßt sich nicht mit „selektiver Kristalloblastese“, sondern nur mit einem sedimentären Wechsel erklären.

Demnach handelt es sich bei den Salzaugen um eine deszendente Bildung, allerdings nicht im ursprünglichen Sinn, da sie nicht aus einem chemischen, sondern vorwiegend physikalisch-mechanischen Prozeß der Auflösung und des Wiederabsatzes hervorgegangen sind.

Man könnte das Augensalz auch als eine Art von Haselgebirge betrachten, bei dem Grundmasse und Einschlüsse aus dem gleichen Material bestehen.

Die sekundären Ausbildungsformen des Steinsalzes wurden bereits von R. GÖRGEY (1912) eingehend beschrieben, so daß hier nur noch einige ergänzende Angaben hinzuzufügen sind.

Kristallsalz in Form freiaufgewachsener glasheller Würfel kommt auf Klüften im Anhydrit vor oder kristallisiert aus gipsreicher Laugwerkssole. Ein typisches Vorkommen ist das von KOEHLIN (1900) beschriebene auf der Dunajewsky-Schachtricht im Salzberg Dürrnberg/Hallein, wo eine breite Kluft im Anhydrit mit Drusen von wasserhellen, von Gipskristallen durchspießten Steinsalzwürfeln mit Kantenlängen bis zu 25 dm ausgekleidet war. Wesentlich häufiger sind grobspätige Steinsalzaggregate in randlichen Rekristallisationszonen

mächtigerer Kernsalzzüge, wie z. B. im Monsbergs Salzwerk im Salzberg Altaussee.

Tonwürfelsalz (bergmänn. auch Jod- oder Kropfsalz) kommt, wie der von GÖRGEY gegebene Name schon besagt, in Form von zumeist parallelepipedisch verzerrten Würfeln mit Kantenlänge von einigen Millimetern bis zu 5 cm im Salton eingewachsen vor. Seine vorwiegend lichtbraune Farbe hat nichts mit Jod zu tun, sondern ist durch einen geringen Gehalt an Eisenhydroxyd bedingt.

Blättersalz bildet auf den Ablöseflächen größerer Salton-Schichtbruchstücke millimeterdünne Beläge von faserigem bis feinkristallinen, in der Regel milchigweißen, selten auch bläulich bis violett gefärbtem Steinsalz von großer Reinheit (99,6 % NaCl).

Spaltensalz erfüllt die vorwiegend diagonal verlaufenden Risse und Klüfte im Salton entweder als fein- bis grobkristallines, rotbraunes Kluftsalz oder als aus stengeligen Aggregaten bestehendes, zumeist weißes oder auch orangegelbes Faseralz.

Zu den Beschreibungen des Faseralzes durch R. SCHMIDT (1912) und R. GÖRGEY (1912) ist noch hinzuzufügen, daß die Faseralzausfüllung einer Spalte im Salton in der Regel aus 2 Lagen besteht, die entweder an einer Mittelnaht aneinanderstoßen oder durch eine Schichte von körnigem Kluftsalz voneinander getrennt werden. Dabei verlaufen die Fasern der beiden Lagen manchmal in zueinander entgegengesetzten Richtungen.

Im Gegensatz zum Kluftsalz, das aus Salzlösungen, die entlang der Spalten im Salton zirkulierten, auskristallisierte, erfolgte das Wachstum des Faseralzes aus dem Salton senkrecht zum Streichen der Spalte von beiden Seiten in diese hinein, wobei sich die Steinsalzfasern durch den Kristallisationsdruck selbst den nötigen Raum schafften. Die dabei erzielten Wachstumslängen betragen zwischen 0,5 und 6 cm (über das blaue Faseralz siehe „Blausalz“).

Als rezente Ausbildung des Faseralzes ist das Haarsalz zu betrachten, welches aus dem „Laist“ (= Rückstandston der Haselgebirgsverlaugung) in aus wasserhellen feinen Fasern bestehenden Büscheln von oft beträchtlicher Länge (bis 10 cm) herauswächst. Es besteht je nach der verlaugten Salzgebirgsart entweder aus reinem Steinsalz oder aus einer Mischung desselben mit Bittersalz (Epsomit).

Nach GÖRGEY (1912) erfolgt das Wachstum des Haarsalzes derart, daß durch die einseitige Lösungszufuhr aus den Poren der Tonunterlage die einzelnen Kristallindividuen zu langgestreckten Nadeln auswachsen.

Andere rezente Steinsalzformen, die durch den Austritt von Sickersole in alte Grubenräume entstehen, sind das blumenkohlartig-geformte Sintersatz und das stalaktitenförmige Tropfsalz. Auch diese Formen hat schon GÖRGEY (1912) ausführlich beschrieben.

Das Blausalz ist, da es nur in sekundären Steinsalzvorkommen auftritt, zu diesen zu rechnen. Die blaue bis violette Färbung erscheint im grobspätigen Kristallsalz (aber nie in frei aufgewachsenen Steinsalzkristallen), ferner im Faseralz und im Blättersalz, nicht aber im Kluftsalz.

Im Kristallsalz erscheint die Blaufärbung nach PRZIBRAM (1929) entweder in Würfelform bzw. in Schichten parallel zu den Würfelflächen oder in Streifen nach den Rhombendodekaederflächen oder als unregelmäßige, kristallographisch nicht begrenzte Farbflecken, zuweilen auch mit farblosen Höfen. Die Färbung schwankt

zwischen Hellblau bis Schwarzblau, seltener ins Violette spielend.

Während die blaue Farbe im Blättersalz immer gleichmäßig verteilt ist, tritt sie im Fasersalz nur in 1–3 mm breiten und in ebensolchem Abstand von den Spaltenrändern parallel zu diesen verlaufenden Streifen auf.

In direktem genetischem Zusammenhang mit dem Blausalz steht das lichtempfindliche gelbe Steinsalz, das zuerst von O. SCHAUBERGER (1935) im Salzberg Hall i. T. aufgefunden wurde. Es kommt dort und im Salzberg Hallstatt auf Klüften im Dolomitanhydrit zusammen mit Blausalz vor. Wegen seiner großen Empfindlichkeit gegen Tages- und Kunstlicht, das schon in wenigen Stunden bis Tagen eine vollständige Entfärbung bewirkt, entzieht es sich leicht der Beobachtung.

Die prozentuelle Verteilung der Vorkommen von Blausalz auf die alpinen Salzlagerstätten auf Grund der in den letzten 30 Jahren bekanntgewordenen Fundpunkte scheint in Tab. 5 auf.

Tabelle 5: Verteilung der Blausalzvorkommen.

| Salzberg          | Blaues, violette<br>gelbes<br>Kristallsalz (40 %) | Blaues, violette<br>Faser- und<br>Blättersalz (60 %) |
|-------------------|---|--|
| Hallstatt         | 23  | 36   |
| Ischl             | 60  | 1  |
| Altausee          | 4   | 3  |
| Dürrnberg/Hallein |   | 57   |
| Berchtesgaden     | 1   | 3  |
| Hall in Tirol     | 11  | 0  |
|                   | 100   | 100  |

Da das blaue und violette Faser- und Blättersalz ausschließlich an den Salzton gebunden ist, wäre in allen tonreicheren Salzlagerstätten sein Überwiegen zu erwarten. Daß es aber im tonreichsten Salzberg von Hall i. T. überhaupt fehlt und auch im tonreichen Salzberg von Ischl nur mit einem Anteil von ca. 1 % vertreten ist, dafür ist eine Erklärung noch ausständig.

Die Verfärbung des Steinsalzes in Blau, Violett oder lichtempfindliches Gelb ist, wie Laborversuche erwiesen haben, auf natürliche radioaktive Bestrahlung zurückzuführen. Der physikalische Vorgang der Färbung durch Bestrahlung ist nach PRZIBRAM (1948) der, „daß ein Strahlungsquant von einem Chlorion absorbiert wird, wobei dieses sein überschüssiges Elektron an ein Natriumion abgibt und so dieses neutralisiert. Die Natriumatome absorbieren sichtbares Licht und geben dadurch, daß sie zu größeren kolloiden Komplexen zusammentreten, dem Salz die Blaufärbung. Die Gelbfärbung rührt von Natriumionen her, die noch irgendwie an das Gitter gebunden sind. Zwischen dieser amikroskopischen Gelbfärbung und der kolloiden Blaufärbung gibt es noch ein Übergangsstadium, eine amikroskopische Violettärfärbung durch Na-Atome, die bereits weitgehend vom Gitter befreit sind. In der Natur sind die typischen Vertreter dieser 3 Stadien das gelbe Salz von Hall i. T. und Hallstatt, das violette Salz vom Grimbergsschacht und das blaue Straßfurter Salz.

Als verursachende Strahlenquellen, die entweder im Salzton enthalten waren oder mit Lösungen zugeführt wurden, kämen nach HAHN das Blei-Isotop Radium

bzw. sein Folgeprodukt Polonium, welches seine  $\alpha$ -Strahlung in Form von Helium im Salz hinterlassen hat, oder das Kalium-Isotop  $K^{40}$  in Frage. Tatsächlich enthält das blaue Steinsalz wesentlich mehr Helium als das gewöhnliche. Der Kaliumgehalt des blauen Kristallsalzes wurde von REINOLD (1965) mit 0,1–0,36 %, jener des blauen Fasersalzes sogar mit 0,70 % bestimmt.

Bei der Wirkung des strahlenden Isotops kommt es auch auf die Dauer und die Intensität der Strahlung an, ferner auf Störungen des Kristallgitters durch Verunreinigungen und/oder durch Druck.

### 2.1.2. Die sulfatischen und chloridischen Begleitsalze

#### Anhydrit

ist nach dem Steinsalz das in den alpinen Salzlagerstätten verbreitetste, aber in den Salzgebirgsarten nicht gleichhäufige Salzgestein und -mineral.

Es ist zu unterscheiden zwischen dem primären, noch im ursprünglichen, wenn auch fragmentierten Schichtverband stehenden und dem sekundären, im Wege des Lösungsumsatzes rekristallisierten oder neugebildeten Anhydrit, der zur deutlichen Unterscheidung von der primären Form mit dem alten Mineralnamen Muriazit bezeichnet werden soll.

Der primäre Anhydrit tritt in zwei vorherrschenden Ausbildungen auf, zum einen in der dunkelgrauen, feinkristallinen, teils massig, teils schichtig entwickelten Ausbildung (Tab. 6/1,2) als charakteristischer Bestandteil des „Rotsalzgebirges“, zum anderen im wechselnden Mischungsverhältnis mit Dolomit als Dolomitanhydrit (Tab. 6/3,6) bis Anhydritdolomit (Tab. 6/4,7) mit einem bis zu 2,5 % ansteigenden Bitumengehalt (Stinkdolomit) als typischer Bestandteil des „Grausalzgebirges“. Geringere Verbreitung hat der hellgraue Kiesel-anhydrit (Tab. 6/5), der wegen seiner karstarigen Laugformen von den Bergleuten auch als „Karstein“ bezeichnet wird.

Der Muriazit kommt als Produkt der Lagerstättenmetamorphose in verschiedenen Ausbildungen vor, nämlich

- in Form farbloser bis schwarzbrauner tafeliger Kristalle in Paragenese mit anderen sulfatischen Begleitsalzen,
- als strahlige bis blättrige, weiß bis bräunlichrosa gefärbte Aggregate, die als nuß- bis faustgroße Knollen und Putzen im Haselgebirge eingelagert sind.
- als grobkristalline Kluftausfüllung im Dolomitanhydrit, von milchweißer, selten auch von blauer bis violetter Farbe, die ebenso wie bei Blausalz auf radioaktive Bestrahlung zurückzuführen ist,
- in feinfaseriger Ausbildung als 2–10 mm breite Spaltenausfüllung im Salzton oder als grobfaserige, bis 6 cm breite Bänder am Kontakt des Melaphyr mit dem Haselgebirge in Hallstatt und
- in massiger bis grobschichtiger, feinkristalliner Entwicklung als Produkt der metamorphen Rekristallisation primärgeschichteter Anhydritbänke.

Wie die Untersuchungen von H. RUSCHA (1976) ergeben haben, unterscheidet sich der Muriazit vom primären Anhydrit durch einen fast 3 mal höheren Gehalt an Strontium und zwar beträgt der SrO-Gehalt (Mittel aus je 5 Proben) im Muriazit 0,310 % gegenüber 0,108 % im Anhydrit, mit Ausnahme des am Kontakt mit dem Melaphyr von Hallstatt auftretenden Faser-muriazit-

Tabelle 6: Analysen von Anhydritgesteinen aus ostalpinen Salzlagerstätten.

| Nr. Bezeichnung  | Aus dem Salzberg | Spez. Gew. | Anhydrit CaSO <sub>4</sub> | Dolomit CaMgCO <sub>3</sub> | Kalk CaCO <sub>3</sub> | Ton Al-, Fe-Silikate | Bitumen und flüchtige Bestandteile | Wasserlösliche Salze (NaCl etc.) | Wasser %-Σ |                                |
|--|------------------|------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------|--------------------------------|
|  |                  |            |                            | Magnesit MgCO <sub>3</sub>  |                        | Kieselsäure          |                                    |                                  |            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 1 Anhydrit   | Hallstatt        | n.b.       | 97,91                      | —                           | 1,45                   | —                    | —                                  | —                                | —          | 100,0                          |
|  |                  |            |                            | —                           |                        | 0,64                 | —                                  |                                  |            |                                |
| 2 Anhydrit (Rotsalzgebirge)                            | Altaussee        | 3,03       | 90,88                      | —                           | —                      | 2,50                 | —                                  | 0,92                             | —          | 100                            |
|  |                  |            |                            | 4,95                        |                        | —                    | 0,75                               |                                  |            |                                |
| 3 Dolomitanhydrit (Nördliches Grausalzgebirge)         | Hallstatt        | 2,82       | 77,23                      | 11,09                       | —                      | 1,68                 | 1,36                               | 0,97                             | —          | 100,0                          |
|  |                  |            |                            | 8,61                        |                        | —                    | —                                  |                                  |            |                                |
| 4 Anhydritdolomit (Stinkdolomitisches Grausalzgebirge) | Hallstatt        | 2,70       | 29,18                      | 56,97                       | 8,64                   | 2,68                 | 2,48                               | 0,93                             | —          | 100,0                          |
|  |                  |            |                            | 8                           |                        | —                    | —                                  |                                  |            |                                |
| 5 Kieselanhidrit                                       | Ischl            | n.b.       | 87,65                      | 4,71                        | —                      | —                    | —                                  | 4,09                             | 2,35       | 100,0                          |
|  |                  |            |                            | —                           |                        | 1,20                 | —                                  |                                  |            |                                |
| 6 Dolomitanhydrit (Grausalzgebirge)                    | Hall/Tirol       | 2,70       | 72,52                      | 14,11                       | —                      | 4,90                 | n.b.                               | 0,25                             | —          | 100,0                          |
|  |                  |            |                            | 8,46                        |                        | —                    | n.b.                               |                                  |            |                                |
| 7 Anhydritdolomit (Grausalzgebirge)                    | Hall/Tirol       | n.b.       | 23,95                      | 62,31                       | —                      | —                    | 0,56                               | 1,37                             | 2,17       | 100,0                          |
|  |                  |            |                            | —                           |                        | 1,67                 | 7,97 (FeCO <sub>3</sub> )          |                                  |            |                                |
| 8 Muriazit   | Ischl            | n.b.       | 86,00                      | 9,00                        | 1,60                   | 3,00                 | 0,10                               | —                                | —          | 100,0                          |
|  |                  |            |                            | 0,30                        |                        | —                    | —                                  |                                  |            |                                |

n.b. = nicht bestimmt.

Die Gehalte an Kalium (K<sub>2</sub>O) und Strontium (SrO) wurden in diesen Analysen nicht bestimmt.

tes, der einen SrO-Gehalt von nur 0,022 % aufweist.

### Gips

Gips entsteht durch Hydratisierung des Anhydrites, kommt also nur dort vor, wo Wasser in die Salzlagerstätte eindringen konnte, d. i. im Bereich der Hutzone („Ausgelaugtes“) der Salzstöcke, die je nach dem Tongehalt des Salzgebirges 40–60 cm mächtig sein kann.

Der Gips der alpinen Salzlagerstätten ist also stets eine sekundäre Bildung, derb bis feinkristallin aus Anhydrit (bei Erhaltung der primären Schichtung) oder aus Muriazit hervorgegangen, aus Lösungen auf Klüften im Anhydrit auskristallisiert und rezent als drusige Überzüge auf Anhydritschollen in den Laugwerken.

Analog dem Fasersalz kommt auf Spalten im Salzton auch Fasergips vor, jedoch nur in der Grenzzone der Salzstöcke. Da diese Fasergipsadern immer die Nähe der Salzgrenze anzeigen, werden sie von den Salzbergleuten auch als „Finanzer“ (= Zöllner) bezeichnet.

Im ausgelaugten Salzton der Hutzone geben Ausfüllungspseudomorphosen von Gips nach Tonwürfelsalz einen deutlichen Hinweis auf darunter anstehendes Salzgebirge.

Von den übrigen in der Tab. 3/I,II verzeichneten Begleitsalzen spielen im Gesteinsbestand der alpinen Salzlagerstätten nur der Polyhalit und der Astrakanit als Leitminerale des „Rotsalzgebirges“ eine größere, wenn auch in der Gesamtheit untergeordnete Rolle. Auf die Bedeutung dieser „Nebensalze“ für die Meta-

morphose des alpinen Salinars wird im Kapitel 3. näher eingegangen.

### 2.1.3. Die Spurenelemente

#### Jod

konnte bisher weder im Steinsalz der alpinen Salzlagerstätten noch in den Mineralquellen, die ihren Mineralgehalt aus dem Salinar beziehen, nachgewiesen werden. Nach den Untersuchungen von J. ROEBER (1938) über den Jodgehalt der Salzlagerstätten des deutschen Zechsteins kann als Ursache der Jodfreiheit der Steinsalze ein geringer Gehalt von dreiwertigem Eisen angesehen werden, das eine katalytische Abspaltung des Jods und in der Folge dessen Verflüchtigung bewirkte. Aus weiteren Untersuchungen des genannten Autors an anhydritischen und tonigen Lagen im Steinsalz geht aber hervor, daß Jod in feinverteilten Stoffen durch adsorptive Bindung eine Anreicherung erfahren kann, insbesondere aber in bituminösen Gesteinen, also bei Anwesenheit von organischen Substanzen, durch die nachweislich die katalytische Jodabspaltung wesentlich herabgesetzt wird. Der Jodreichtum der Erdölwässer (z. B. von Bad Hall in Oberösterreich) bestätigt das. Eine Untersuchung des dafür in Betracht kommenden Stinkdolomits auf seinen Jodgehalt steht jedoch noch aus.

## Fluor

konnte ebenfalls in den alpinen Salzgesteinen bisher nicht nachgewiesen werden, obwohl in einigen Mineralwässern, die aus dem Salinar kommen, Fluorgehalte bis zu 8,6 ppm festgestellt wurden. Die in den deutschen Zechstein-Salzlagerstätten vorgenommenen Fluor-Bestimmungen haben ergeben, daß das Fluor hauptsächlich im Anhydrit (30–890 ppm), ferner im Salzton (30–300 ppm) und am wenigsten im Steinsalz (2–7 ppm) enthalten ist. In den alpinen Salzlagerstätten dürften ähnliche Fluorgehalte vorkommen.

## Brom

ist ein Bestandteil des Meerwassers (0,0065 Gew.-%) und, da es bei der Eindunstung sukzessive mit steigendem Gehalt in die sedimentierten Salze übergeht, auch in allen Salzlagerstätten rein- oder vorwiegend-ozeanischen Ursprungs enthalten.

Nach den Untersuchungen von R. KÜHN (1969) bewegen sich die Bromgehalte des alpinen Steinsalzes zwischen 0,0093 und 0,0125 Gew.-%, vereinzelt kommen aber auch Höchstwerte (bei den Salzaugen bis zu 0,0328 %) und niedrigste Werte bis zu 0,0015 % vor.

Über die Bedeutung dieser Bromgehalte für die Einordnung der alpinen Salzlagerstätten in das salinare Sedimentationsprofil wird im Abschnitt 2/3 berichtet.

## Lithium

ist nach G. W. MOORE (1960) in den Salzlagerstätten mit einem Durchschnittsgehalt von 0,02 % an die Tonkomponente gebunden. In Übereinstimmung damit ergaben Bestimmungen des Lithiumgehaltes in Salztonen von Dürrnberg/Hallein ebenfalls 0,02 %, in einem „Grünen Salzton“ sogar 0,07 Gew.-%.

Von den aus alpinen Salzlagerstätten durch Verlaugung gewonnenen Solen enthält nach Untersuchungen im Forschungsinstitut Gastein (1951) jene von Ischl 0,00027 % und jene von Hall i. T. 0,00027 % Lithium.

## Strontium

ist im Meerwasser mit 0,0008 % enthalten. Es reichert sich bei der Eindunstung bis zum Stadium der Halitabscheidung in der flüssigen Phase an und wird dann in der festen Phase abgeschieden, wobei es größtenteils in die Kristallgitter von  $\text{CaCO}_3$  und  $\text{CaSO}_4$  eingebaut wird und hier einen Teil des Calcium ersetzt. In den Abscheidungsstadien der Kalisalze befindet sich Strontium nicht mehr in Lösung.

In den primären Anhydriten der alpinen Salzlagerstätten fand S. RUSCHA (1976) Strontiumgehalte von 0,055 bis 0,185 %, das sind im Durchschnitt 0,108 Gew.-%. Die wesentlich höheren Sr-gehalte des sekundären Anhydrites (Muriazit) wurden bei der Besprechung des Anhydrites bereits erwähnt.

Da nach E. USDOWSKI (1973) Anhydrite, die weniger als 0,229 % Sr enthalten, frühdiagenetisch aus Gips, der in der halitischen Phase abgeschieden wurde, entstanden sind, muß diese Bildungsweise auch für die Anhydrite der alpinen Salzlagerstätten angenommen werden.

## Rubidium

bildet wegen seines geringen Gehaltes im Meerwasser (z. B. 0,06 mg/kg im Schwarzen Meer) keine eigenen Mineralien, sondern vertritt lediglich als Spurenelement das Kalium diadoch in den Kalimineralien. Es reichert sich während des Eindunstens in der flüssigen Phase bis zur Abscheidung von Kalisalzen an und wird zuerst in noch geringen Mengen im Polyhalit und Lang-

beinit und dann zunehmend im Sylvinit und schließlich im Carnallit zur Gänze ausgeschieden. Nach R. KÜHN (1972) enthalten die Polyhalite von Hallstatt um 0,0012 % Rubidium. Da aber primäre Polyhalite sehr viel ärmer an Rubidium sind (<0,0001 Gew.-%), läßt der relativ hohe Rb-Gehalt der Hallsätter Polyhalite vermuten, daß dort Rb-reichere Kalisalze aufgearbeitet worden sind, daher die Polyhalite der alpinen Salzlagerstätten auch aus diesem Grund als sekundär zu betrachten sind.

Ebenso sind die Langbeinite aus dem alpinen Salinar wegen ihres relativen Rb-Reichtums (0,0052 bis 0,0068 % gegenüber 0,0030 % im primären Langbeinit) als sekundär gebildet anzunehmen.

## 2.2. Die klastischen Bestandteile der ostalpinen Salzlagerstätten

### 2.2.1. Die Salztone

Unter den klastischen, ihrem Ursprung nach nichtsalinaren Bestandteilen der alpinen Salzlagerstätten nehmen die Salztone (genauer: Salzschiefertone) die erste Stelle ein, da sie mit 30–70 % an der Zusammensetzung des Haselgebirges beteiligt sind.

Die Salztone wurden, wie aus ihrer Textur hervorgeht, teils als Fragmente terrestrischer Tonablagerungen in die Salinarbecken eingeschwemmt und mit Salz (oder auch Anhydrit) zu Haselgebirge vermischt, teils als Schlammtrübe zu Tonzwischenbänken sedimentiert.

Dementsprechend weisen nach G. WESTNER (1951) die Tonfragmente aus dem Haselgebirge nur in einer dünnen Oberflächenschicht einen Salzgehalt von >1 %, im Inneren jedoch 0,0 % NaCl auf. Dagegen ergab die Untersuchung eines „sekundär“ sedimentierten Tones mit Tonwürfelsalz-Einschlüssen für das umgebende Tonmuttergestein in 4 Proben Salzgehalte von 0,4 bis 1,0 % (im Mittel 0,7 % NaCl). Bei Zurechnung des Tonwürfelsalzes zum primären Salzgehalt ergab sich ein Gesamtsalzgehalt von 2,6–5,9 % (im Mittel 4,2 % NaCl). Der primäre Salzgehalt dieses als Salzpelit anzusprechenden Tones wurde durch Diffusion als Tonwürfelsalz und (oder) als Blätter- und Fasersalz auskristallisiert.

Folgende Salztonarten, zwischen denen es auch Übergänge gibt, sind nach ihrem Habitus und ihrer Zugehörigkeit zu bestimmten Salzgebirgsarten zu unterscheiden:

#### Schwarzer Salzton

Im frischen Anbruch dunkelgrau, grubenfeucht schwarz, am Tageslicht allmählich ausbleichend, durch Oxydation öfters ins Rotbraune verfärbt. Grobgeschichtet oder auch durch anhydritische Zwischenlagen gebändert und durch deren Zunahme in Anhydrit übergehend. Öfters quer zur Schichtung durchsetzt von rotem Kluftsalz, weißem und orangegelbem Fasersalz und rotem Faserpolyhalit.

An trockener Luft zeigt er nicht selten oberflächliche Haarsalz-Ausblühungen.

#### Grüner Salzton

Frisch dunkelgrau, grubenfeucht grünlichgrau, mit charakteristischen rostgelben Anflügen auf den Ablöseflächen, jedoch ohne rotbraune Oxydationsverfärbungen. Ungeschichtet, härter als der Schwarze Salzton, muschelig bis splittrig brechend, manchmal sandig. Häufig durchwachsen mit Tonwürfelsalz und weißem,

Tabelle 7: Mittlere chemische Zusammensetzung der alpinen Salztonne.

Mittelwerte aus je 3 Analysen nach E. RUESS, 1951.

|                                      | Schwarzer Grüner Grauer<br>S a l z t o n |        |        |
|--------------------------------------|--|--------|--------|
|                                      |  |        |        |
| Spezifisches Gewicht                 | 2,74                                     | 2,78   | 2,81   |
| SiO <sub>2</sub>                     | 44,82                                    | 51,00  | 52,30  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 17,78                                    | 21,20  | 21,10  |
| MgO + CaO                            | 14,07                                    | 9,90   | 10,31  |
| K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O | 4,72                                     | 4,07   | 4,16   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO | 6,46                                     | 7,00   | 5,66   |
| FeS                                  | 1,30*)                                   | —      | 0,62*) |
| TiO <sub>2</sub>                     | —  | 0,20*) | —      |
| LiO <sub>2</sub>                     | —  | 0,07*) | —      |
| CO <sub>2</sub>                      | 5,88                                     | 1,28   | 1,00   |
| SO <sub>3</sub>                      | 2,02                                     | 1,60   | 0,78   |
| Organische Substanz<br>(Bitumen)     | 1,78*)                                   | —      | —      |
| Wasser                               | 3,42                                     | 4,26   | 5,08   |

\*) wurde nur in einer Probe bestimmt.

zuweilen auch violettblauem Blätter- und Fasersalz, nie jedoch mit Faserpolyhalit.

#### Grauer Salzton

Hellgrau, dünnblättrig, weich, fühlt sich seifig an und färbt weiß ab. Auf den Ablösflächen findet sich häufig weißes Blättersalz, zuweilen auch Tonwürfelsalz.

Im Chemismus der Salztonne bestehen keine wesentlichen Unterschiede, wie aus Tabelle 7 abzulesen ist. Immerhin unterscheidet sich der Schwarze Salzton vom Grünen und Grauen Salzton deutlich durch den geringeren Gehalt an Kieselsäure und Tonerde, der ersetzt wird durch einen höheren Gehalt an Erdalkalien und Sulfat (= Dolomit+Anhydrit) sowie durch einen ihm eigentümlichen Gehalt an FeS (Melnikowit) und an organischer Substanz, die auf den Reichtum des Schwarzen Salztons an Sporen zurückzuführen ist.

Die röntgenographische Untersuchung der alpinen Salztonne durch R. KÜHN (1938), W. SIEGL, Chr. GLÜCK (1975) u. a. ergab quarzhaltige, pelitische Glimmertone mit den Hauptbestandteilen Illit, Chlorit und Mixed-Layer (Montmorillonit etc.). Der relativ hohe Mg- und Fe-Gehalt ist nach W. SIEGL auf Biotit als ursprüngliches Glimmermineral zurückzuführen. Der Chlorit kann sich während der Sedimentation gebildet haben, möglich ist aber auch eine diagenetische Neubildung. Dem v. G. WESTNER (1951) in einem Grauen Salzton von Berchtesgaden nachgewiesenen Montmorillonit-Gehalt von nahezu 10 % entspricht das tixotrope Verhalten dieser Salztonart, das bei den anderen Salztonen nicht zu beobachten ist.

Der petrographische und der chemische Befund sprechen für eine vorwiegend fluviale Zufuhr der Salztonne aus einem gemeinsamen Erosions- bzw. Denudationsgebiet, jedoch für eine Resedimentation unter ungleichen Bedingungen in küstennahen und küstenferneren Zonen des Salinarbereiches.

In tektonischen Bewegungszonen am Kontakt mit härteren Gesteinen, vornehmlich also an den Flanken der Salzstöcke wurden die Salztonne nach druckbedingter Abwanderung des mobilen Salzes aus dem Hasel-

gebirge zu Salzglanzschiefer verpreßt, der sich von den Glanzschiefern anderer Ausgangsgesteine durch seine rotbraune Strömung unterscheidet.

#### 2.2.2. Die Salzsandsteine

Unter „Salzsandsteine“ werden solche Sandsteine verstanden, die zugleich mit dem Salz sedimentiert wurden, zum Unterschied von jenen, die aus dem ursprünglichen Hangenden oder Liegenden des Salinars stammen und erst durch die späteren tektonischen Bewegungen in das Salzgebirge eingelagert wurden.

Bei den Salzsandsteinen handelt es sich durchwegs um fein- bis feinstkörnige Quarzsandsteine von vorwiegend rötlichbrauner, seltener graugrüner oder hellgrauer Farbe, die im Salzton und im Haselgebirge bis zu 15 cm mächtige, allerdings fließtektonisch zu Brocken aufgelöste Zwischenlagen bilden.

Die von G. WOLETZ (Geol. B.-A., Wien) untersuchten Sandsteinproben zeigen im Dünnschliff „kleinste, klare, teils kantige, teils etwas abgerundete Quarzkörner, die in dichter Packung mit abgerundeten Körnern von Steinsalz oder auch Anhydrit, wenig Muskowit und Chlorit in einer trüben, isotropen Grundmasse von Steinsalz (oder seltener von Anhydrit) schwimmen.“ Man könnte also die Salzsandsteine als ein im Verlauf der salinaren Sedimentation aus detritischen Mineralen (hauptsächlich Quarz) gebildetes „Mikrohaselgebirge“ betrachten.

Die Untersuchung zahlreicher Salzsandsteinproben auf ihren Schwermineralgehalt durch G. WOLETZ (1954/58) ergab (siehe auch Tab. 8) folgendes:

Neben den mehr minder charakteristischen opaken Mineralen, das sind vornehmlich Magnetit, Ilmenit und Pyrit (MIP), Biotit und Chlorit (BC), Anhydrit und Baryt (A,B) treten in den übrigen, durchsichtigen Mineralen (dM) Zirkon (Zi) und Turmalin (Tu) immer und mit wechselnden, aber jeweils größten Prozentsätzen auf, ferner häufig aber zumeist mit weniger als 5 % Anteil Rutil (Ru), Anatas (At), Brookit (Br) und Epidot (Ep), dagegen selten und nur im Salzsandstein des Grünongebirges Apatit (Ap), und Granat (Gr) nur im Bunten Haselgebirge.

Die Schwermineralspektren der Salzsandsteine weisen auf eine Herkunft des Detritus vorwiegend aus granitischen Gesteinen (der Böhmisches Masse), zum kleineren Teil aus kristallinen Schiefer und Quarziten hin.

### 2.3. Semisalinare und nichtsalinare Begleitminerale und -gesteine der ostalpinen Salzlagerstätten

#### 2.3.1. Semisalinare Minerale

##### Magnesit

Die Vorkommen von Magnesit in den alpinen Salzlagerstätten sind nach H. LEITMAIER und W. SIEGL (1954) syngenetisch-semisalinare, d. h. während der primären Salzabscheidung metasomatisch aus Dolomit umgesetzte Bildungen, nach O. FRIEDRICH und E. SCHRÖLL (1961) jedoch epigenetisch-semisalinare, d. h. postsedimentär-diagenetische Neubildungen.

Erstere Auffassung dürfte für die altbekannten Vorkommen von Breunerit (Eisenmagnesit) und Pinolit im Anhydritdolomit des Salzberges von Hall in Tirol zutreffen, letztere eher für die Vorkommen von Magnesit in den Salztonen von Hallstatt, Ischl und Dürrnberg/Hal-

Tabelle 8: Einige charakteristische Schwermineralanalysen von Salzsandsteinen (nach G. WOLETZ, 1958).

| Salzsandstein aus dem                 | Salzberg      | opake |    | neugebildete | durchsichtige | Prozentanteile der durchsichtigen Minerale (dM) |    |    |    |    |    |       |
|---------------------------------------|---------------|-------|----|--------------|---------------|---|----|----|----|----|----|-------|
|                                       |               | MIP   | BC |              |               | A, B  | dM | Zi | Tu | Ru | At | Br Ep |
| Rotsalzgebirge                        | Hallstatt     | 82    | 1  | 11           | 6             | 64  | 33 | 1  | 2  | —  | —  | —     |
|                                       | Hall in Tirol | 56    | 1  | —            | 43            | 57  | 30 | 3  | 6  | 4  | —  | —     |
|                                       | Altaussee     | 41    | 18 | —            | 41            | 38  | 21 | 15 | 24 | 2  | —  | —     |
|                                       | Ischl         | 42    | 33 | —            | 25            | 22  | 62 | 8  | 4  | 4  | —  | —     |
| Grüntongebirge                        | Hall in Tirol | 42    | 23 | —            | 55            | 65  | 20 | —  | 5  | 2  | 8  | —     |
|                                       | Berchtesgaden | 55    | 6  | 17           | 22            | 12  | 24 | —  | 26 | —  | 38 | —     |
| Dolomitanhydritisches Grausalzgebirge | Hall in Tirol | 27    | 1  | 58           | 14            | 31  | 41 | —  | 26 | 2  | —  | —     |
| Buntes Salztongebirge                 | Hallstatt     | 32    | 13 | —            | 55            | 21  | 73 | 3  | 1  | 1  | —  | 1     |

lein sowie für die im grobkristallinen Brekzienanhydrit des Ischler Erbstollens eingebetteten feinkörnigen Magnesitaggregate Gültigkeit haben.

Nach F. MAYER (1912) kommt Magnesit vom Typus Hall auch im ausgelaugten Salzgebirge des Höllgrabens bei Berchtesgaden vor.

#### Talk

Ein bisher nicht bekanntes Vorkommen von Talk in einer alpinen Salzlagerstätte wurde von H. MAYRHOFER und O. SCHAUBERGER (1953) aus dem Hallstätter Salzberg beschrieben. Der Talk bildet dort auf den Fragmenten einer fließtektonisch-zerrissenen Schichte eines dunkelsepiabraunen Polyhalits an der Grenze des anschließenden Steinsalzes millimeterdünne silbrigweiße Überzüge. Die ausgezeichnete rechtwinkelige Spaltbarkeit der Talkaggregate senkrecht zur Basis kennzeichnet sie als Pseudomorphosen nach Steinsalz und weist darauf hin, daß sie syngenetisch mit der rekristallisierten Phase des begleitenden Halits entstanden sind. Da dieser talkführende, trotz seiner starken fluidaltektonischen Verformung sowohl im Streichen wie auch im Verflachen weithin verfolgbare Polyhalit-Brockenzug immer die Grenze zwischen zwei verschiedenen Salzgebirgsarten markiert, kommt ihm in der Hallstätter Salzlagerstätte die Bedeutung einer Leitschicht zu.

E. ZIRKL (1949) hat auch im Kontaktbereich des Melaphyr mit dem Haselgebirge feine hellgrüne Schmitzchen von Talk gefunden.

#### 2.2.2. Nichtsalinare Begleitminerale und -gesteine

##### Ged. Schwefel

kommt in Anflügen auf dem rekristallisierten massigen Anhydrit im Ischler Erbstollen vor.

##### Realgar

nach F. MAYER (1912) im Glanzschiefer des Berchtesgadener Salzberges.

##### Erze

treten im alpinen Salzgebirge in nur ganz geringen Mengen auf, vornehmlich im Salzton in Form von schmalen Adern, Anflügen und Imprägnationen.

##### Melnikowit (Einfachschwefeleisen)

ist nach W. PETRASCHECK (1947) ein charakteristischer accessorischer Bestandteil des Schwarzen Salztones.

#### Pyrit und Markasit

sind in den Salztonen, insbesondere im Grünen Salzton häufig anzutreffen.

#### Hämatit

kommt in Form ditrigonaler Blättchen ebenfalls relativ häufig vor, in Hallstatt hauptsächlich im Grünen Salzton im Kontakthof des Melaphyrs und auch in diesem selbst.

Die himbeerrote bis rötlichgelbe Farbe des Kluftsalzes beruht auf der Beimengung von Eisenglanzkrällchen oder kolloidalem Eisenoxyhydrat, wobei das Eisen aus dem angrenzenden Ton kommt.

#### Bleiglanz

wurde nach F. MAYER im Salzberg Berchtesgaden in einem „blättrigen Anhydritspat“ gefunden,

#### Zinkblende

in einem feinkörnigen Gips von Hall i. T.

#### Antimonglanz

in Begleitung von Pyrit in einem hellgrauen Mergelton an der Grenze zum Kieselanhidrit im Ischler Salzberg und auch als Begleiter der Zinkblende von Hall i. T.

#### Kupferkies und Kupferglanz

und daraus entstandener Malachit kommen relativ selten und dann überwiegend im Grünen Salzton und den ihn begleitenden Salzsandsteinen vor, so z. B.

- Malachit (aus Kupferglanz) + Eisenglanz am Rande eines Einschlusses von Grünem Blättersalzgebirge im Liniensalz (Salzberg Hallstatt),
- Kupfererzader mit Blausalz im schwärzlichgrünen Blättersalzgebirge (Salzberg Berchtesgaden),
- Mit Malachit imprägnierter Salzsandstein-Brockenzug (Salzberg Hall i. T.)

Als „Spezialität“ des Hallstätter Salzberges seien noch erwähnt der aus der Zersetzung prähistorischer Bronzeweerkzeuge hervorgegangene Atakamit (Cu-Oxychlorür).

#### Eruptivgesteine

Basische Eruptivgesteine sind zwar im alpinen Salinar (mit Einbeziehung der Gips/Anhydritstöcke) weit verbreitet, in den Salzlagerstätten jedoch nur in jenen von Hallstatt und Ischl mit Sicherheit nachgewiesen.

Das Melaphyrvorkommen im Hallstätter Salzberg wurde erstmalig 1879 von Fr. v. HAUER, dann 1884 von C. v. JOHN, am eingehendsten aber erst 1957 von E. J.

ZIRKL und O. SCHAUBERGER untersucht und beschrieben.

Der Melaphyr durchsetzt in zahlreichen Fragmenten bis zu einem Ausmaß von 30 × 55 × 80 m (Werk Possanner) den Nordflügel der Lagerstätte innerhalb des „Bunten Haselgebirges“, die von E. J. ZIRKL festgestellten thermischen Kontakterscheinungen (Frittung des Salztone) beweisen die submarine Intrusion des Melaphyrs während der salinaren Sedimentation. „Die normal-gabbroide Schmelze der glutflüssigen Plagioklas/Olivin/Augit-Mischung erfuhr während der Rekristallisation im salzausscheidenden Mutterlaugen-Milieu eine starke Umbildung zu einer hochmagnesiumhaltigen Chlorit-Kalifeldspat-Magnetit-Vergesellschaftung.“

Brockenzüge eines intensiv-grünen Tongesteins mit charakteristischer Erbsentextur, die das Bunte Haselgebirge in mehrfacher Wiederholung durchsetzen, wurden bereits 1946 von O. SCHAUBERGER als Melaphyrtuffit angesprochen und durch die Untersuchungen E. ZIRKLS (1949 und 1957) als solcher bestätigt. „Die Melaphyrkugeln (Lapilli) lassen in der blasigen Grundmasse neben Plagioklas kleinste Körnchen von Titanit, Anatas und Apatit erkennen und sind mit Steinsalz, Ton, Anhydrit, Quarz und Chloritschüppchen verkittet. Die immer gut erhaltene Oberfläche der Körner zeigt keine Spur von Abrollung, weshalb man eine verhältnismäßig ruhige Ablagerung und rasche Abdeckung durch salinare Sedimente annehmen muß.“

Der Melaphyr des Ischler Salzberges, vorher nur aus obertägigen Findlingen (von C. v. JOHN 1899 beschrieben) bekannt, wurde 1957 von O. SCHAUBERGER auch in der Salzagerstätte selbst aufgefunden. Im „Pernecker Salzstock“ des Ischler Salzberges führt ein 2–6 cm mächtiger, beiderseits von „buntem Haselgebirge“ flankierter Zug von „kieselanhydritischem Kerngebirge“ kleine Brocken und zuweilen auch bis zu 1·2 m große Blöcke von Melaphyr, daneben auch etwas Tuffit und lavendelblauen Krokydolith (nach H. MEIXNER richtiger: Magnesia-Riebeckit), der ein Endprodukt der hydrothermalen Metamorphose des Melaphyrs darstellt.

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Melaphyre von Hallstatt und Ischl.

|                                | Melaphyr von                  |                          | Tuffit von                      |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
|                                | Hallstatt<br>(E. ZIRKL, 1949) | Ischl<br>(C. JOHN, 1899) | Hallstatt<br>(P. REINOLD, 1965) |
| SiO <sub>2</sub>               | 46,55                         | 45,75                    | 29,70                           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,31                         | 15,85                    | 22,80                           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,31                          | 7,40                     | 7,54                            |
| FeO                            | 7,53                          | 5,82                     | 5,50                            |
| MnO                            | 0,14                          | 0,31                     | n.b.                            |
| CaO                            | 8,17                          | 7,20                     | 0,04                            |
| MgO                            | 7,39                          | 6,90                     | 22,25                           |
| K <sub>2</sub> O               | 1,33                          | 1,33                     | 0,01                            |
| Na <sub>2</sub> O              | 2,05                          | 3,44                     | 0,01                            |
| Ti <sub>2</sub> O              | 3,56                          | 1,68                     | 1,10                            |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,35                          | 0,55                     | n.b.                            |
| S(O <sub>2</sub> )             | 0,13                          | 0,18                     | n.b.                            |
| H <sub>2</sub> O               | 3,14                          | 3,20                     | 11,16                           |

Nach H. HENTSCHEL (1960) handelt es sich bei dem Eruptivgestein vom Ischler Salzberg „um einen körnigen intrusiven Diabas (bzw. Melaphyr) mit stark umgewandeltem Mineralbestand. Ursprüngliche Minerale sind Pyroxen, Feldspat, Titanomagnetit und Biotit. Der Pyroxen ist uralitisiert, der Titanomagnetit ist entmischelt und weitgehend in Leukoxen umgewandelt. Reichlich grünlicher Biotit offenbar sekundärer Entstehung ist nesterartig in das Gesteinsgefüge eingestreut.“

Auch im „Vorhaupt-Salzstock“ des Ischler Salzberges, der vom Pernecker Salzstock durch eine Aufwölbung des Tirolikums getrennt ist, treten Einschlüsse von Melaphyr teils im Kieselanhydritischen Kerngebirge, teils auch im hangenden Anhydrit-Haselgebirge auf, hier ebenfalls begleitet von Tuffit und Krokydolith.

Aus der Gegenüberstellung von Analysen der Melaphyre von Hallstatt und Ischl (Tab. 9) ist ihre nahe chemische Verwandtschaft ersichtlich.

Auch im Trauntaler Salzlager, das mit dem Vorhaupt-Salzstock des Ischler Salzberges in Verbindung steht, wurden in 3 Bohrungen Einschlüsse von Melaphyr und tuffitverdächtigem Grünton angetroffen.

In den Salzagerstätten von Berchtesgaden und Reichenhall kommen ebenfalls tuffitisch-imprägnierte Tone vor, jedoch kein Melaphyr.

## 2.4. Selbstsolen, Mineralwässer und Gase

### 2.4.1. Selbstsolen

Dies sind zumeist gesättigte oder sogar übersättigte Salzsolen, die infolge „wilder Verlaugung“ des Salzgebirges durch unterirdisch zusitzende Wässer entstehen. Das bekannteste Beispiel ist die im „Quellenbau“ von Bad Reichenhall seit Jahrhunderten austretende Selbstsole, die 1969–1971 durch Tiefbohrungen erschrotet wurde und seither in der Reichenhaller Sudhütte zur Salzerzeugung verwendet wird. Selbstsolen-Zuflüsse, die aber wegen ihrer zu geringen Schüttung keine wirtschaftliche Bedeutung haben, gibt es auch im Salzberg Altaussee und im Salzberg Dürrnberg/Hallein.

### 2.4.2. Mineralwässer

Die in einigen alpinen Salzbergbauen erschroteten Mineralwässer (O. SCHAUBERGER, 1979) unterscheiden sich von der durch natürliche oder künstliche Auslaugung des Salzgebirges erzeugten Sole durch eine andere chemische Zusammensetzung, die durch einen wesentlichen höheren Anteil von Sulfaten und einem häufigen Gehalt an 2-wertigem Schwefel sowie verschiedener Spurenelemente gekennzeichnet ist. Diese Mineralwässer entspringen nie in der Lagerstätte selbst, sondern steigen an Klüften des von den Zubau-stollen durchörterten Deckgebirges oder Einlagerungen aus unbekannter Tiefe auf.

Tab. 10 bringt die chemische Zusammensetzung einiger salinärer Mineralwässer im Vergleich zu einer im Laugbetrieb erzeugten „vollgrädigen“ Sole. Der unterschiedliche Chemismus kommt am deutlichsten in den Millivalprozenten (mval%) zum Ausdruck.

### 2.4.3. Gase

Das Auftreten von Naturgasen in alpinen Salzagerstätten entweder in Form von eruptiven Gasbläsern oder von Ansammlungen in schlecht-bewetterten Gru-

Tabelle 10: Chemische Analysen salinärer Mineralwässer.

|  | Schwefelquelle    |          |                  |          | Sulfatquelle |          | Werkssole      |          |
|--|-------------------|----------|------------------|----------|--------------|----------|----------------|----------|
|  | Dürrnberg/Hallein |          | Ischl/Erbstollen |          | Altaussee    |          | Salzberg Ischl |          |
|  | mg/kg             | mval [%] | mg/kg            | mval [%] | mg/kg        | mval [%] | mg/kg          | mval [%] |
| <b>Kationen</b>                                      |                   |          |                  |          |              |          |                |          |
| Natrium (Na <sup>+</sup> )                           | 6.529,00          | 82,43    | 2.347,00         | 88,434   | 4.475,00     | 80,61    | 10.140,00      | 97,57    |
| Kalium (K <sup>+</sup> )                             | 90,60             | 0,67     | 36,55            | 0,81     | 31,38        | 0,33     | 84,00          | 0,48     |
| Lithium (Li <sup>+</sup> )                           | 0,295             | 0,01     | 2,56             | 0,32     | n.b.         |          | 0,27           | 0,01     |
| Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )             | 0,36              | 0,006    | n.b.             |          | 1,64         | 0,04     | 0,18           | 0,00     |
| Magnesium (Mg <sup>++</sup> )                        | 265,02            | 6,33     | 81,44            | 5,80     | 209,10       | 7,12     | 79,70          | 0,90     |
| Calcium (Ca <sup>++</sup> )                          | 722,90            | 10,48    | 106,50           | 4,60     | 575,50       | 11,89    | 92,00          | 1,02     |
| Strontium (Sr <sup>++</sup> )                        | n.b.              |          | 0,675            | 0,01     | n.b.         |          | 4,00           | 0,02     |
| Eisen (Fe <sup>++</sup> )                            | 0,07              | 0,001    | 0,05             | 0,00     | 0,23         | 0,01     | 0,13           | 0,00     |
| Mangan (Mn <sup>++</sup> )                           | 0,23              | 0,002    | n.b.             |          | n.b.         |          | n.b.           |          |
| Aluminium (Al <sup>+++</sup> )                       | 2,23              | 0,072    | 0,270            | 0,03     | n.b.         |          | 0,24           | 0,01     |
| <b>Anionen</b>                                       |                   |          |                  |          |              |          |                |          |
| Chlorid (Cl <sup>-</sup> )                           | 9.981,00          | 81,74    | 2.595,00         | 63,405   | 5.086,30     | 59,46    | 15.580,00      | 97,21    |
| Bromid (Br <sup>-</sup> ) + Bromat                   | 4,06              | 0,01     | 3,40             | 0,04     | 4,0          | 0,02     | 65,2           | 0,18     |
| Jodid (J <sup>-</sup> )                              | 0,08              | 0,00     | 0,50             | 0,00     | 0,5          | 0,01     | n.b.           |          |
| Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> )              | 2.841,00          | 17,17    | 1.781,00         | 32,124   | 4.612,9      | 39,80    | 557,7          | 2,57     |
| Hydrokarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )       | 220,20            | 1,05     | 263,90           | 3,74     | 106,96       | 0,72     | 10,0           | 0,04     |
| Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>--</sup> )              | Spuren            |          | Spuren           |          | 0,22         | 0,01     | Spuren         |          |
| Nitrit (NO <sub>2</sub> <sup>--</sup> )              | Spuren            |          | n.b.             |          | 0,03         | 0,00     | n.b.           |          |
| Hydrophosphat (HPO <sub>4</sub> <sup>--</sup> )      | n.b.              |          | n.b.             |          | n.b.         |          | Spuren         |          |
| Hydrosulfid (HS <sup>-</sup> )                       | 1,75              | 0,015    | 26,63            | 0,70     | —            | —        | Spuren         |          |
| Summe der gelösten ionisierten Stoffe                | 20.658,09         |          | 7.245,47         |          | 15.097,46    |          | 26.613,42      |          |
| Meta-Kieselsäure (H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )  | 15,09             |          | 13,94            |          | 8,32         |          | 19,00          |          |
| Meta-Borsäure (HBO <sub>2</sub> )                    | n.b.              |          | 7,17             |          | 18,58        |          | n.b.           |          |
| Freies Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )               | 16,00             |          | 42,90            |          | 13,30        |          | 24,00          |          |
| Freier Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S)        | 0,304             |          | 3,89             |          | —            |          | —              |          |
| Zweiwertiger titrierbarer Schwefel (S <sup>-</sup> ) | 2,30              |          | 45,53            |          | —            |          | —              |          |
| Organische Subst. (KMnO <sub>4</sub> -Verbrauch)     | 15,10             |          | 10,00            |          | 2,20         |          | n.b.           |          |

n.b. = nicht bestimmt.

Tabelle 11: Zusammensetzung salinärer Gasbläser.

| Ort des Auftretens |                           | Zusammensetzung in Vol.-% |                               |                |                |                 |    |                |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|----|----------------|
| Salzberg           | Austrittsort              | CH <sub>4</sub>           | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | CO | O <sub>2</sub> |
| Hallstatt          | Sonde 1                   | 37,60                     | n.b.                          | 8,80           | n.b.           | —               | —  | 4,00           |
| Altaussee          | Franzberg Vorhaupt        | 19,20                     | 1,00                          | —              | 77,70*)        | 1,70            | —  | 0,40           |
|                    | Scheibenstollen bei 714 m | 58,75                     | 1,50                          | 11,05          | 28,55          | —               | —  | 0,15           |
| Berchtesgaden      | Westfeld Bohrung E        | 12,67                     | n.b.                          | 0,66           | 76,47          | 0,40            | —  | 9,80**)        |
|                    | Westfeld Bohrung Nr. 21   | 32,67                     | 0,44                          | n.b.           | 52,22          | 1,62            | —  | 13,05**)       |

\*) mit 0,15–0,20 % Helium

\*\*) Probe offenbar mit Luft vermischt

Tabelle 12: Zusammensetzung der „Matten Wetter“.

| Ort des Auftretens                                     |  | Zusammensetzung in Vol.-% |                               |                |                |                 |    |                |
|--|--|---------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|----|----------------|
|  |  | CH <sub>4</sub>           | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | CO | O <sub>2</sub> |
| Salzberg Hallstatt, Werk Possanner                     |  | —                         | —                             | 0,60           | 87,20          | 0,40            | —  | 11,80          |
| Salzberg Berchtesgaden, Frauenberg, Prinz Franz-Sch.R. |  | 0,05                      | n.b.                          | n.b.           | 84,70          | 2,67            | —  | 12,58          |

benräumen ist altbekannt und erstmalig durch einen Bericht der Hallstätter Salzbergchronik aus dem Jahre 1664 belegt. Es handelt sich bei diesen Gasen in erster Linie um Stickstoff und Methan, untergeordnet um Wasserstoff und schwere Kohlenwasserstoffe ( $C_6H_6$  u. a.), Kohlendioxyd und Schwefelwasserstoff.

Bei den Gasbläsern sind zu unterscheiden

- a) Nahezu reine Stickstoffbläser, die vorwiegend im Salzgebirge selbst aus Klüften großer Anhydritstollen austreten und
- b) Kohlenwasserstoff-Stickstoff-Bläser mit wechselnden Hauptanteilen von Methan und Stickstoff, die ausschließlich an der Salzstockgrenze oder im Glanzschiefermantel größerer tauber Einlagerungen auftreten. Sie sind häufiger als die reinen Stickstoffbläser, obzwar letztere viel leichter der Beobachtung entgehen.

Gasbläser wurden bisher in den Salzbergbauen von Hallstatt, Altausee und Berchtesgaden angetroffen, nicht aber in Ischl und Dürrnberg/Hallein. Von Hall i. T. erwähnt A. R. SCHMIDT (1874) das massenhafte Auftreten von „matten Wetter“ bei den Vortriebsarbeiten im dolomitischen Anhydrit, so daß der Betrieb zeitweilig unterbrochen werden mußte. Auch in diesem Fall handelte es sich zweifellos nicht, wie damals vermutet, um Exhalationen von Kohlensäure sondern von Stickstoff.

Die Explosivität der  $CH_4/N_2$ -Bläser wird durch den hohen Stickstoffanteil soweit herabgesetzt, daß es bei Entzündung durch ein offenes Licht oder Funken i. d. R. nur zu einem ruhigen Abbrennen des sich an der Firste ansammelnden Methan- und Wasserstoffgase kommt.

Die Aktivität der Bläser dauerte je nach der Gasmenge zwischen einigen Minuten und mehreren Monaten. So z. B. war der Bläser im Scheibenstollen des Altauseer Salzberges 14 Monate aktiv und lieferte in dieser Zeit rund 120.000 m<sup>3</sup> Gas.

Als Muttergesteine der Gase, insbesondere der Kohlenwasserstoffe sind der bituminöse Anhydritdolomit (Stinkdolomit) und der Schwarze Salton zu betrachten, zumal der letztere nach W. PETRASCHECK (1947) durch seinen Gehalt an Melnikowit und Ammoniak als ursprüngliches Sapropel gekennzeichnet ist. Die aus diesen bituminösen Begleitgesteinen des Salinars stammenden Kohlenwasserstoffe sind offenbar im Verlauf der dynamischen Metamorphose des Salzgebirges in den Salzglanzschiefer und das angrenzende Deckgebirge übergetreten, wo die ebenfalls stark verschieferten Zlambachschiechten (Hallstatt, Altausee) oder Liasfleckenmergel (Berchtesgaden) zufolge ihrer Kleinklüftigkeit als Speichergesteine fungieren konnten.

Von anderer Art und Entstehung sind die sogenannten „Matten Wetter“, welche sich in länger leerstehenden Laugwerkern oder in nicht bewetterten Strecken bilden. Entgegen der früheren Ansicht bestehen sie nicht aus Kohlensäure, sondern zum größten Teil aus Stickstoff, wie das die Analysen in Tab. 12 zeigen.

Das bevorzugte Auftreten der Matten Wetter in Laugwerkern, die im „Rotsalzgebirge“ angelegt sind, weist darauf hin, daß hier durch den größeren Sauerstoffverbrauch für die Oxydation des Bitumen- und Melnikowitgehaltes des Schwarzen Saltones ein Überschuß an Stickstoff eintritt, zu dem der durch die Verlaugung aus Gaseinschlüssen im Steinsalz freiwerdende Stickstoff noch hinzukommt.

Schwefelwasserstoff-Exhalationen treten in nicht sehr bedeutenden Mengen im Bereich der Schwe-

felquellen in den Salzbergen von Ischl und Dürrnberg/Hallein auf und sind auf die Tätigkeit sulfatreduzierender Bakterien zurückzuführen.

### 3. Die Stratigraphie der ostalpinen Salzlagerstätten

#### 3.1. Die Salzgesteinstypen

Am Aufbau der alpinen Salzlagerstätten sind folgende Gesteinstypen beteiligt:

- Steinsalz (bergmännisch: Kernsalz) -züge mit mindestens 90 %,
- Kerngebirge mit 70–90 %,
- Haselgebirge mit 10–70 %,
- Blättersalzgebirge mit 20–35 %,
- Anhydritische Ton- und Dolomitgesteine mit 0–10 % NaCl.

##### 3.1.1. Kernsalzzüge

Sie weisen immer eine Schichtung durch tonige oder anhydritische Zwischenmittel auf, nach deren scharfer oder verschwommener Begrenzung und Stärke zwischen Liniensalz und Bändersalz unterschieden werden kann. Der Versuch einiger Autoren, die primäre Natur der Kernsalzzüge zu bestreiten und sie entweder durch Lateralsekretion aus dem Haselgebirge zu erklären (KÖHLER, 1903 und z. T. auch MAYERHOFER, 1954) oder als fließtektonisches Entmischungsprodukt anzusehen (MEDWENITSCH, 1950 und WESTNER, 1951) ist, abgesehen von dem schon erwähnten Unterschied der Fluoreszenzfarben von primärem und sekundärem Steinsalz, durch die Ergebnisse der Sporenanalyse (W. KLAUS, 1954) widerlegt worden, wonach die tonanhydritischen Zwischenlagen ein deutlich anderes Sporenspektrum als das Steinsalz zeigen, was sich mit der Vorstellung eines jahreszeitlichen Wechsels der Sedimentationsbedingungen und damit der einer primären Schichtung durchaus deckt.

##### 3.1.2. Kerngebirge

So werden in Wiedereinführung einer alten bergmännischen Benennung feinkristalline schichtungslose Steinsalzmassen von grauer oder hellrötlicher Gesamtfarbe bezeichnet, die nicht selten mit geschichtetem Steinsalz in Wechsellagerung stehen. Sie sind aber nicht völlig rein, sondern in weiter Streuung mit nuß- bis kopfgroßen Knauern von Salton, Anhydrit und Anhydritpolyhalit durchsetzt. In fluidaltektonisch bedingten örtlichen Anreicherungen kann der Anteil der Einschlüsse auf über 30 % steigen, und das Kerngebirge dadurch das Aussehen eines „reichen Haselgebirges“ annehmen.

##### 3.1.3. Haselgebirge

Unter Haselgebirge i. e. S. ist eine spezielle Gesteinsausbildung innerhalb des alpinen Salinars zu verstehen, im Gegensatz zu der auf den geologischen Karten angewendeten Bezeichnung „Haselgebirge“ für das gesamte Salinar, obwohl dieses nur zum Teil aus Haselgebirge besteht.

Es ist ein pseudokonglomeratisches Mischgestein, das in einer Grundmasse von feinkörnig-griesigem

Steinsalz erbsen- bis faustgroße, kantige bis schwach gerundete Einschlüsse vornehmlich von Salzton, untergeordnet von Anhydrit bzw. Muriazit, Anhydritpolyhalit und Sandstein führt. Je nach der Art der vorherrschenden Tonkomponente und dem Fehlen oder Vorhandensein sonstiger Einschlüsse lassen sich mehrere Haselgebirgsarten unterscheiden, nämlich Schwarzes, Grünes, Graues und Buntes Haselgebirge sowie Übergänge zwischen diesen Hauptarten.

Durch das Vorhandensein von horizontbeständigen Tuffitlagen im Bunten Haselgebirge und von Sandstein-Zwischenlagen im Grünen Haselgebirge erscheint zumindest für diese Haselgebirgsarten eine primäre Schichtung und damit ihre ursprünglich-sedimentäre Bildung erwiesen.

Die sedimentäre Haselgebirgsbildung erfolgte aber nicht nur im chloridischen, sondern auch im sulfatischen Medium. In diesem Anhydrithaselgebirge ist, wie der Name schon besagt, die Steinsalzgrundmasse durch eine Anhydrit- (bzw. Gips-) matrix ersetzt. Sie zeigt häufig Fluidaltextur und umschließt kantige Bruchstücke von schwarzem Dolomit, geschichtetem Anhydrit und Ton in unregelmäßiger Verteilung. Bemerkenswert ist die in einigen Salzbergen (Ischl, Hall i. T.) zu beobachtende Wechsellagerung von Anhydrithaselgebirge mit regelmäßig geschichteten Anhydritbänken, durchaus vergleichbar mit dem Werra-Anhydrit des norddeutschen Zechstein, dessen Brekzienbänke (= Anhydrithaselgebirge) nach RICHTER-BERNBURG durch submarines Abgleiten anhydritischer Schichtfragmente über geneigten Meeresboden entstanden sind.

### 3.1.4. Das Blättersalzgebirge

So werden kubikmetergroße Schichtfragmente des Schwarzen, Grünen oder Grauen Salztones bezeichnet, die auf allen Ablöseflächen papierdünne, reinweiße Überzüge von Blättersalz tragen und mit einem Netzwerk von Klüften durchzogen sind, die mit sekundären Salzen mehrerer Generationen ausgefüllt wurden.

Es handelt sich um die Fragmente von Tonbänken, die ursprünglich in Wechsellagerung mit Haselgebirge sedimentiert, dann fließtektonisch zerrissen und mit Salzlösungen durchtränkt wurden.

### 3.1.5. Das anhydritische Tontrümmergebirge

In einigen alpinen Salzlagerstätten treten metermächtige Anhydritbänke in Wechsellagerung mit Schwarzem Salzton (Altausee, Ischl) oder mit Dolomit (Hall i. T., Reichenhall) auf.

Stellenweise sind diese Schichtkomplexe durch tektonische Einwirkung in eine glanzschiefrige Riesenbrekzie mit nur wenigen sekundären Salzeinschlüssen umgewandelt worden, wie z. B. das Anhydritische Tontrümmergebirge am Südflügel des Altauseer Salzstockes.

## 3.2. Die Salzgebirgsarten

Die Salzgebirgsarten unterscheiden sich als das jeweilige Ergebnis der sehr wechselhaften salinaren Sedimentationsverhältnisse voneinander durch die Ausbildung und Größe des Salzanteiles und der Art des beteiligten Salztones, ferner durch das Vorhandensein oder Fehlen von zumeist sulfatischen Begleitsalzen und semi- oder nichtsalinaren Accessorien und schließlich durch die in ihnen vertretenen Salzgesteinstypen.

Durch allmähliche Änderung der Sedimentationsbedingungen kam es zwischen manchen Salzgebirgsarten zu Übergangsentwicklungen, die in einigen Salzlagerstätten gegenüber der Hauptentwicklung sogar dominieren, oder auch zu Sonderentwicklungen innerhalb einer Salzgebirgsart.

In Tab. 13 sind die Salzgebirgsarten mit ihren Hauptmerkmalen, in Tab. 14 mit ihren Sonderentwicklungen und Nebenmerkmalen verzeichnet.

## 3.3. Ablauf und Alter der alpinsalinaren Sedimentation

### 3.3.1. Bestimmung des Eindunstungsgrades durch den Bromtest

Der Bromtest, d. i. die Verwendung des Bromgehaltes des Steinsalzes als chemischer Indikator für den Sedimentationsablauf von Salzlagerstätten auf Grund der Beobachtung, daß der Bromgehalt des Steinsalzes mit steigendem Eindunstungsgrad der Salzlauge

Tabelle 13: Salzgebirgsarten und ihre Hauptmerkmale.

|                                     | S a l z g e b i r g s a r t e n  |  |   |                                 |
|-------------------------------------|--|--|---|---------------------------------|
|                                     | Rotsalzgebirge   | Güntongebirge  | Buntongebirge   | Grausalzgebirge                 |
| Art des Steinsalzanteiles           | Rötliches Bändersalz, rötlich/graue Salzmatrix des Haselgebirges             | Weißes Liniensalz weiße Salzmatrix des Haselgebirges | Honigbraune Salzmatrix des Haselgebirges                  | Grau/weißes Kernsalz            |
| Begleitsalze                        | Anhydrit, Polyhalit, Glauberit, Na/Mg-Sulfate (Simonyit)                     | Muriazit selten K/Mg/Na-Sulfate                      |   | Kieselanhydrit, Dolomitanhydrit |
| Klastische Bestandteile             | Schwarzer und roter Salzton Graubrauner Sandstein                            | Grüner Salzton Graugrüner Salzsandstein              | Schwarzer, Grüner, Grauer, Bunter Salzton (Salzsandstein) | Grauer Salzton                  |
| Semi- und nichtsalinare Akzessorien | Melnikowit, Pyrit, Talk  | selten Fe- und Cu-Erze                               | Melaphyr, Melaphyrtuffit, Hämatit                         | Breunnerit, Magnesit            |
| Vorwiegende Salzgesteinstypen       | Bändersalz, Kerngebirge Blättersalzgebirge, Anhydritisches Tontrümmergebirge | Liniensalz Haselgebirge                              | Haselgebirge  | Kerngebirge, Blättersalzgebirge |

**Tabelle 14: Salzgebirgsarten und ihre Sonderentwicklungen und Nebenmerkmale.**

| Salzgebirgsart              | Sonderausbildungen (Unterarten)                                   | H a u p t b e s t a n d t e i l e   |  |   |
|-----------------------------|---|---|--|---|
|                             |   | Steinsalz   | Klastische Bestandteile  |   |
| Rotsalzgebirge              | Rotes Kerngebirge   | Polyhalitisches Kerngebirge   | hellrötlich bis graubraunes, massiges bis undeutlich gebänderte feinkristalline Steinsalz-Grundmasse | Wenig Einschlüsse von Schwarzem u. Rotem Salzton<br>Viele Einschlüsse von Schwarzem Salzton |
|                             | Rotes Bänder-salzgebirge  | Anhydritisches Blättersalzgebirge   | Rötlich/grau, feinkristallin, mit Augensalz-Lagen, sulfatisch imprägniert                            | Schwarzer und Roter Salzton<br>Schwarzes (u. rotes) Blättersalzgeb.; Sandstein-Einschl.     |
|                             |   | Toniges Bänder-salzgebirge  | Durch tonig-anhydritische Zwischenlagen gebändert (Blausalz)   |   |
|                             | Anhydritisches Tonrümmergebirge                                   | Kluftsaltz  | Schwarzer Schiefertone   |   |
| Rot/grünes Übergangsgebirge | „Grünlich/schwarzes“ Hasel- und Blättersalzgebirge (mgrwh/mgrwts) | Rötlichgraue Bändersalz-Striche (sulfatisch) Augensalz, (violett Blättersalz)                                       | Grünlichschwarzer Salzton, Roter Salzton, (Sandstein)  |   |
|                             | „Schwärzlichgrünes“ Hasel- und Blättersalzgebirge (grmwh, grmwts) | grau- bis weiß/rötliche Bändersalz-Striche, mürb, nicht sulfatisch, Augensalz und violett Blättersalz               | Schwärzlichgrüner Salzton, (roter Salzton), (Sandstein)  |   |
| Grüntongebirge              | Grünes Liniensalzgebirge  | Weiß-hellgraue Kernsalzzüge mit feinen tonig/anydritischen Zwischenlagen (Linien- und Augensalzschieben)            |  |   |
|                             | wechselnd mit Grünes Hasel- und Blättersalzgebirge (grh/grts)     | Weiß bis rötliche Salzgrundmasse, wenige oder keine Kernstriche, weißes (stellenweise blaues) Blätter und Fasersalz | Grüner Salzton   |   |
|                             | Graugrünes Hasel- und Blättersalzgebirge (ggrh/ggrts)             | weiße bis graue Salzgrundmasse, wenig rötliches Kernsalz, Violett Salz selten, Tonwürfel- und Blättersalz           | Graugrüner Salzton   |   |
|                             | Grünes sandiges Haselgebirge (grgh)                               | Rötlichbraune sandige Salzgrundmasse, Blättersalzgebirge, keine Kernstriche, kein Blausalz                          | Graue bis grüne Sandsteinbänder, (graugrüner Salzton)  |   |
| Übergangsgebirge            | Grünes Haselgebirge mit buntem Einschlag (grh-b)                  | Rötliche Salzgrundmasse   | Grüner Salzton und (Bunter Salzton)  |   |
|                             | (Weißes Kristallsalz-Band)  |   |  |   |
| Buntes Salztongebirge       | Schwarzbuntes Haselgebirge (mbh)                                  | Honigbraune Salz-Grundmasse (rotbraunes Kerngebirge)  | Roter Salzton, Schwarzer Salzton, Bunter Salzton   |   |
|                             | Buntes Haselgebirge (bh)  | Honigbraune Salz-Grundmasse (helrote Steinsalz-Striche und -Schlieren)  | Bunter (grün/roter und violettbrauner Salzton), Roter, grüner, grauer Salzton, (Sandstein)           |   |
|                             | Grünbuntes Haselgebirge (grbh)                                    | Honigbraune Salzgrundmasse  | Grüner Salzton; Bunter, Schwarzer Salzton<br>Roter Salzton, (Sandstein)                              |   |
|                             | Graubuntes Haselgebirge (gbh)                                     | Weiß/graue Salz-Grundmasse (weiße Kernstriche)  | Grauer, grüner Salzton<br>Bunter, Roter Salzton  |   |
|                             | Toniges graues Kerngebirge (gsh-t)                                | Grau/weiße Salzgrundmasse z. T. schwach gebändert   | Schwarzer Salzton<br>Roter Salzton<br>(Grauer und Grüner Salzton)                                    |   |
| Grausalzgebirge             | Anhydritisches graues Kerngebirge (gash)                          | Weiß/graue Salzgrundmasse   | (Grauer Salzton)   |   |
|                             | Kieselanhydritisches graues Kern- und Haselgebirge (gash)         | Hell/dunkelgraues Bändersalz wechselnd mit und ohne Augensalz (violett Blättersalz)                                 | Grünlichgrauer Salzton im Hasel- und Blättersalzgebirge (Sandstein)                                  |   |
|                             | Stinkdolomit-anhydritisches graues Kerngebirge (dash)             | Weiß bis graue grobkristalline Salz-Grundmasse (Augensalz)  | (Grauer Salzton)<br>(Sandstein)  |   |
|                             | Graues Hasel- und Blättersalzgebirge (gh/gts)                     | Weiß Salz-Grundmasse (Tonwürfelsalz, Fasersalz)   | Brauner Salzton  |   |

Anmerkung: Die Reihenfolge der Salzgebirgsarten ist nicht gleichbedeutend mit einer Altersfolge!  
 Abkürzungen: sh = Kerngebirge; st = Blättersalzgebirge; h = Haselgebirge; t = Salzton.  
 In der Spalte „Prozentuelle Anteile“ bedeutet < mit der Tiefe zunehmend, > mit der Tiefe abnehmend.  
 Gestein stärker gesetzt bedeutet vorherrschend bis häufig; Gestein (in Klammer) bedeutet selten.  
 Durchbrochene Linie in der ersten Spalte deutet mögliche Übergänge zwischen den Salzgebirgsarten an.

| Nebenbestandteile   |                      | Mittlerer Salzgehalt [%] | Prozentuelle Anteile in den Salzlagerstätten |           |       |         |         |               |
|---|----------------------|--------------------------|--|-----------|-------|---------|---------|---------------|
| Sulfatische Begleitsalze  | Akzess. Bestandteile |                          | Hallstatt                                    | Altaussee | Ischl | Hallein | B'gaden | Hall i. Tirol |
| Einschlüsse von (Anhydrit), Polyhalit, Polyhalitanhydrit  |                      | 75                       |  | 31        | 15    |         |         |               |
| Wenig Einschlüsse von Polyhalitanhydrit   |                      |                          | 21 <   |           |       | 30      | 28      | 4             |
| Polyhalit, Astrakanit, Löweit, <b>Simonyit</b> , Glauberit, Langbeinit, Kieserit, Epsomit, (Görgeyit), Anhydrit Polyhalitanhydrit |                      | 65                       |  | 52        | 33    |         |         |               |
| Dunkelgrauer Anhydrit   |                      | 10                       |  | 12        | 15    |         |         | 16            |
| Polyhalitanhydrit, Polyhalit, (Astrakanit)  |                      |                          |  |           |       |         |         |               |
| (Muriazit- und Polyhalitknollen) >  |                      | 50                       | 3  | 5         | 12    | 16      | 16      | —             |
| Zu Knollen aufgelöste Zwischenschichten mit Langbeinit etc, (Astrakanit-Schnüre)  |                      | 90                       |  |           | —     |         |         | —             |
| Muriazit-Knollen (Tonanhydrit)  |                      | 50                       | 20 >   | —         | 6     |         | 40      |               |
| (Muriazit-Knollen)  |                      | 30                       |  |           |       | 37      |         | 62            |
| (Muriazit)  |                      | 25                       |  |           | —     |         | —       |               |
|   |                      |                          |  |           |       |         |         |               |
|   |                      |                          |  | 2         |       |         |         |               |
|   |                      |                          |  |           |       |         |         |               |
| Polyhalit, Polyhalitanhydrit, (Anhydrit)  |                      |                          |  |           | —     |         |         | —             |
| Anhydrit, (Muriazit), (Löweit), Polyhalit   |                      | 60                       |  |           | 9     | 10      | 16      | 3             |
| (Anhydritpolyhalit), Muriazit, (Anhydrit)   |                      |                          | 28   | —         |       |         |         |               |
| Anhydrit, Anhydritpolyhalit, (Astrakanit)   |                      |                          |  |           |       | 5       |         |               |
| Linienanhydrit, Anhydritpolyhalit, Polyhalit, (Wachsanhydrit)   |                      | 75                       |  |           |       |         |         |               |
| Anhydrit, Dolomitanhydrit, (Anhydritpolyhalit)  |                      | 70                       | <  | 15        |       |         |         |               |
| <b>Hellgrauer Kieselanhydrit</b> (-halit) (mit Knollen von Polyhalit und Löweit)  |                      |                          | 2  |           |       |         |         |               |
| Stinkdolomit(-anhydrit) wechselnd mit Anhydrit oder Anhydrit/Dolomit-Brekzie, bituminös (bis 3 %) (weißer Muriazit)               |                      | 70                       |  | 8         |       |         |         | 15            |
| (Muriazit)  |                      |                          | 1  |           |       | 2       |         |               |

entsprechend zunimmt, hat sich auch auf die alpinen Salzlagerstätten als anwendbar erwiesen, sofern man von einigen Anomalien absieht, die sich aus den besonderen Bildungs- und Umbildungsbedingungen der alpinen Salzlagerstätten ergeben.

Durch den Bromgehalt des Steinsalzes können (im Wesentlichen nach J. D' ANS und R. KÜHN) im Straßfurter Idealprofil folgende Eindunstungs-Stufen von unten nach oben unterschieden werden:

Anhydrit-Region mit 0,0030–0,0170 Gew.-% Br/NaCl  
 Polyhalit-Region mit 0,0170–0,0230 Gew.-% Br/NaCl  
 Kieserit-Region mit 0,0230–0,0280 Gew.-% Br/NaCl  
 Carnallit-Region mit 0,0280–0,0480 Gew.-% Br/NaCl

Die Anhydrit-Region kann mit besonderer Berücksichtigung des alpinen Salinars weiter unterteilt werden in

- Untere (liegende) Anhydrit-Region mit 0,003–0,008 Gew.-% Br/NaCl
- Mittlere Anhydrit-Region mit 0,008–0,013 Gew.-% Br/NaCl
- Obere (hangende) Anhydrit-Region mit 0,013–0,017 Gew.-% Br/NaCl

Durch frdl. Vermittlung von Prof. Dr. R. KÜHN wurden im Kalifornischen Institut Hannover in den Jahren zwischen 1953 und 1971 der Bromgehalt in 105 Steinsalzproben aus österreichischen Salzbergbauen und in 9 Steinsalzproben aus den Reichenhaller Bohrungen bestimmt. In 18 dieser Proben wurden auch die in ihnen enthaltenen Salzaugen auf ihren Bromgehalt untersucht.

Aus der Tab. 15 geht hervor, daß die Mehrzahl der Bromgehalte jenen der mittleren und oberen Anhydrit-Region entspricht, sich daher der Sedimentationsprozeß der alpinen Salzlagerstätten in der Hauptsache unter den Konzentrationsverhältnissen dieser Region abgespielt hat.

Die zum guten Teil höheren und bis zur Carnallit-Region reichenden Bromgehalte der Salzaugen weisen aber darauf hin, daß es in Teilgebieten des salinaren Sedimentationsraumes auch zu höheren Konzentrationen der Salzlauge und damit zur Ausscheidung von bereits kalisalzführenden und daher bromreicheren Schichten kommen konnte, als deren Relikte die Salzaugen anzusehen sind.

Innerhalb der mittleren Anhydrit-Region unterscheidet sich die Mehrzahl der dem Grüntongebirge entnommenen Steinsalzproben durch einen ganz niedrigen

K<sub>2</sub>O-Gehalt (0,00–0,04 %) von jenem des Rotsalzgebirges, dessen Unterteilung in Rotes Bändersalzgebirge und Rotes Kerngebirge durch K<sub>2</sub>O-Gehalte von 0,09–0,38 % in ersterem und von 0,60–0,82 % im zweiten Fall deutlich zum Ausdruck kommt.

Die Proben aus dem Grausalzgebirge fallen der Mehrzahl nach in die mittlere, z. T. aber auch in die untere und obere Anhydrit-Region und sind ebenfalls durch niedrigere K<sub>2</sub>O-Werte, die mit einer einzigen Ausnahme nicht über 0,32 % hinausgehen, gekennzeichnet.

Einem etwas höheren Eindunstungsgrad, nämlich dem der oberen Anhydrit-Region bis etwa der unteren Polyhalit-Region entsprechen die Bromgehalte des Schwarzbunten Hasel- und Kerngebirges von Hallstatt und des anhydritischen Grünbunten Haselgebirges von Reichenhall.

Das bei einem annähernd normalverlaufenden Eindunstungsvorgang zu erwartende kontinuierliche Ansteigen des Bromgehaltes der Steinsalzstraten vom Liegenden zum Hangenden ist in den Bromprofilen der alpinen Salzlagerstätten wegen der häufigen deszendierten Vorgänge (Zufuhr bromärmerer und bromreicherer Laugen aus wiederaufgelösten Lagerstättenteilen) und der späteren fließtektonischen Lagerstättenverformung nicht mehr verfolgbar.

Die mit ihren Bromgehalten ganz überwiegend in der mittleren Anhydrit-Region liegenden, somit unter etwa gleichen Konzentrationsverhältnissen sedimentierten Salze des Rotsalz- und Grüntongebirges und eines Teils des Grausalzgebirges lassen auf annähernd altersgleiche, aber unter verschiedenen physikalischen und topographischen Bedingungen entstandene Faziesbildungen schließen.

Als Hauptfaktoren der faziellen Differenzierung kommen in Betracht:

- 1) Eine starke horizontale und vertikale Gliederung des salinaren Sedimentationsgebietes in teils mit dem offenen Meer direkt, teils mit ihm durch Kanäle verbundenen und voneinander durch flache Schwellen getrennten Lagunen von verschiedener Größe und Tiefe.
- 2) Wechselnd starker Zufluß von Meerwasser je nach Gezeiten oder zuweilen auch durch Sturmfluten.
- 3) Periodische Süßwasserzuflüsse aus einem gebirgigen Hinterland mit zeitweilig reichlicher Zufuhr von Klastika, dadurch Änderung der Laugenkonzentration und Überlagerung der höher konzentrierten Tiefenlauge durch niedriger konzentriertes Oberflächenwasser sowie Auftreten von Strömungen infolge der Temperatur- und Gewichtsunterschiede.
- 4) Wechsel von Zeiten ruhiger Sedimentation mit solchen von sedimentären Turbulenzen, letztere verursacht durch epirogenetische, zuweilen durch vulkanische Beben verstärkte Bodenbewegungen (vornehmlich Senkungen) und im Zusammenhang damit
- 5) teilweise Wiederauflösung, Abtragung und Resedimentation mit Umkristallisationen.

### 2.3.2. Bildungsvorgänge der Salzgebirgsarten

Die Ausbildung der verschiedenen Salzgebirgsarten läßt sich unter obigen Voraussetzungen wie folgt erklären:

Das Rotsalzgebirge ist das Ergebnis einer mehr ruhigen Sedimentation in tiefer eingesenkten Wannen

Tabelle 15: Zahlenmäßige Verteilung der aus alpinen Salzlagerstätten ermittelten Bromgehalte auf die Eindunstungsregionen.

|                                      | Kernsalz | Salzaugen |
|--------------------------------------|----------|-----------|
| Unter Normalgehalt des Meerwassers*) | 2        | —         |
| Untere Anhydrit-Region               | 6        | 1         |
| Mittlere Anhydrit-Region             | 74       | 6         |
| Obere Anhydrit-Region                | 13       | 3         |
| Polyhalit-Region                     | 1        | 4         |
| Kieserit-Region                      | —        | 1         |
| Carnallit-Region                     | —        | 3         |

\*) Diese beiden Proben (aus dem südlichen Grauen Kerngebirge von Hallstatt) sind mit 0,0015 und 0,0019 % Br/100 NaCl nach R. KÜHN nicht-primärer Natur, da das liegendste Steinsalz aus Meerwasser schon 0,0040 % Br aufweisen sollte.

einer mit dem offenen Ozean nur indirekt in Verbindung stehenden Flachsee. Der normale Eindunstungsvorgang konnte zwar, wie die Salzaugen beweisen, stellen- und zeitweise bis zur höchsten Konzentration fortschreiten, wurde aber, wahrscheinlich jahreszeitlich bedingt, durch Süßwasserzuflüsse aus einem Hinterland mit humidem Klima immer wieder rückläufig gemacht. Der von diesen Zuflüssen mitgeführte Schlamm wurde als Schwarzer Salzton sedimentiert. Sein Gehalt an Schwefeleisen (Melnikowit), Bitumen und Ammoniak, aber auch die vorzügliche Erhaltung der in ihm eingelagerten Sporen deuten auf ein an sich sauerstoffarmes Medium, die stellenweise Rotverfärbung des Schwarzen Saltones jedoch auch auf zeitweilige Oberflächenoxydation durch sauerstoffreiche Wässer. Der relativ zu große Anteil des Anhydrites im Roten Bändersalzgebirge läßt auf zusätzliche Zufuhr von kalk- und sulfathaltigen Lösungen schließen.

Den verschiedenen Ausbildungen des Grüntongebirges (s. Tab. 14) gemeinsam ist die petrographische Gleichförmigkeit des grünlichgrauen, niemals rotverfärbten Saltones im Haselgebirgsanteil sowie das völlige Fehlen der (primären grauen) Anhydrit- und Polyhaliteinschlüsse.

Der Sedimentationsraum des Grüntongebirges ist in den küstennäheren Bezirken einer von fluviatil gebildeten Tonschichten umschlossenen Flachsee zu denken, die vom offenen Ozean durch eine breite Schwelle („Saturationsschelf“ nach RICHTER-BERNBURG) getrennt war.

Durch periodisch – in Form der Gezeiten oder (und) von Sturmfluten – einbrechendes Meerwasser wurden die litoralen Tonschichten zerstört und mit der Salzlauge zu Haselgebirge sedimentiert, wobei der Calciumsulfatgehalt des Meerwassers bereits am Saturationsschelf zur Ausfällung kam. Auch hier bewirkten zeitweilige kontinentale Süßwasserzuflüsse mit ihrer starken Schlammführung die Einschaltung von kompakten Tonzwischen-schichten in das Haselgebirge.

Im Grenzbereich der Sedimentationsräume des Rotsalz- und Grüntongebirges entstand ein „grünlich-schwarzes“ bis „schwärzlich/grünes“ Haselgebirge als Übergänge zwischen den beiden Salzgebirgsarten.

Das Grausalzgebirge, ein entweder mit kleinstückigem Anhydritschutt durchsetztes oder mit mächtigen stinkdolomitischen Anhydritbänken wechselndes weißes bis graues Kerngebirge ist unter reduzierenden Bedingungen als saline Rand- oder Schwellenfazies entstanden. Diesem Sedimentationsbereich ist auch das Anhydrithaselgebirge zuzuordnen, dessen Wechselagerung mit regelmäßig-geschichteten Anhydritbänken die im alpinen Salinar so häufig zu beobachtende Aufeinanderfolge von Sedimentationsphasen relativer Ruhe und solchen starker Turbulenz besonders deutlich macht.

Das Bunte Salztongebirge ist aufgrund seines Gesteinsbestandes, der alle klastischen und sulfatischen Komponenten der übrigen Salzgebirgsarten beinhaltet, als eine jüngere Bildung als das Rotsalz- und Grüntongebirge anzusehen. Sein Entstehungsvorgang ist so zu denken, daß der Inhalt der mit Rotsalz- oder Grüntongebirge bereits aufgefüllten und gegen den offenen Ozean abgeriegelten Lagunen durch eine neuerliche Ingression des Meeres z. T. wieder aufgelöst und über das in stetiger Absenkung begriffene ältere Salinar resedimentiert wurde. Die allgemeine tektonische Unruhe dieser Epoche kommt in der synsedimentären Ein-

schaltung von melaphyrischen Deckenergüssen und Tuffithorizonten deutlich zum Ausdruck. Im Hallstätter Salzberg sind in dem durchschnittlich 100 m mächtigen Komplex des Bunten Salztongebirges 8–10 Tuffithorizonte nachweisbar, die sich in 3 Gruppen (Eruptionsperioden) zusammenfassen lassen und zugleich den unwiderlegbaren Beweis für die sedimentäre Natur des Bunten Haselgebirges darstellen.

Der nochmalige Meereseinbruch hatte auch eine nachhaltige Rekurrenz des salinaren Eindunstungsprozesses zur Folge, der zur neuerlichen Sedimentation von zunächst noch steinsalzführenden, dann anhydritdolomitischen und schließlich tonigen Schichten führte, die den Abschluß des ostalpinen Salinars nach oben bilden.

### 3.3.3. Das Alter der ostalpinen Salzlagerstätten

Die Ansichten über das Alter der ostalpinen Salzlagerstätten waren vom Beginn des 19. Jahrhunderts bis etwa 1950 einem ständigen Wechsel unterworfen. Wegen des völligen Fehlens von Makrofossilien in den salinaren Sedimenten und infolge der durch Salzdiapirismus und alpiner Deckentektonik außerordentlich komplizierten Lagerungsverhältnisse konnte man nur aus der jeweiligen Position des Salinars zu den Werfener Schichten auf sein Alter schließen, so daß die darauf fußenden Altersangaben zwischen Oberperm (Zechstein) und Oberskyth schwankten.

Erst die Entdeckung der reichen Sporenführung der alpinen Salzgesteine durch W. PETRASCHECK (1947) und ihre systematische Untersuchung durch W. KLAUS (1953, 1954, 1965) lieferte konkrete Unterlagen zur Lösung der Altersfrage.

Nach W. KLAUS beträgt der Gehalt an vorwiegend geflügelten Sporen

- im Steinsalz bis zu 500 Stück/m<sup>3</sup>
- im schwärzlichgrünen Salzton mehr als 5000/m<sup>3</sup> und
- im schwarzen Salzton über 10.000 (bis zu 41.000)/m<sup>3</sup>.

Der Grüne und der Graue Salzton erwiesen sich zu 60 %, der Rote Salzton als völlig sporenenleer.

Aus dem Vergleich der alpinsalinaren Sporenführung mit jener des fossilbelegten südalpinen Perm (Grödener Sandstein und Bellerophonschichten) und des schon früher auf Sporen untersuchten deutschen Zechstein konnte W. KLAUS für wesentliche Teile des alpinen Salzgebirges (Rotsalzgebirge, toniges Grausalzgebirge, rot/grünes Übergangsgebirge und Liniensalz des Grüntongebirges) ein oberpermisches Alter ableiten. Die in den Sporenspektren dieser Salzgebirgsarten dominierenden Formen *Nuskosporites*, *Gigantosporites*, *Lueckisporites* und *Klausipollites Schaubegeri* stellen typische permische Formen dar, die mit den Sporengruppen der unteren gipsführenden Bellerophonschichten besonders gut übereinstimmen, aber im Oberen Buntsandstein und im Muschelkalk bereits völlig fehlen.

Für die Altereinstufung des Bunten Salztongebirges ergaben die Sporenspektren kein eindeutiges, jedoch ein eher jüngeres, dem Permoskyth entsprechendes Bild.

Im stinkdolomitisch/anhydritischen Grausalzgebirge fand W. KLAUS eine Mikroflora: *Triadispora*, *Voltziaceae-Sporites* und *Alisporites*, die dem Oberskyth bis Basis-Anis nahesteht. Da außerdem auch in den anderen Salzgebirgsraten in der Nähe der Salzgrenze vereinzelt Lias-

Tabelle 16: Schwefelisotopenuntersuchungen von Anhydrit- und Gipsproben aus alpinen Salzgebirgsarten.

| Salzgebirgsart  | Anzahl der Proben | $\delta^{34}\text{S}^*$ Mittelwert [‰] | Einstufung                                     |
|---|-------------------|--|--|
| Rotsalzgebirge und toniges Graues Kerngebirge (Salzberg Hallstatt)  | 65                | + 11,1                                 | Oberperm                                       |
| Grüntongebirge (Hall in Tirol, Berchtesgaden, Hallein, Hallstatt, Ischl, Bohrung Windischgarsten)               | 14                | + 13,7                                 | Permoskyth                                     |
| Buntes Salztongebirge (Hallstatt, Hallein, Berchtesgaden) (Ausbiß in der Stadt Salzburg)                        | 12<br>1           | + 10,6<br>+ 21,9                       | Umgelagertes Oberperm<br>Mittel- bis Oberskyth |
| Stinkdolomitisch/anhydritisches Grausalzgebirge (Hall in Tirol, Reichenhall, Hallstatt, Ischl, Windischgarsten) | 18                | + 26,0                                 | Oberskyth/Anis-Basis                           |

\*)  $\delta^{34}\text{S}$  wird in ‰ gemessen und bedeutet die Abweichung vom Schwefelisotopenverhältnis des Meteoriten von Canyon Diablo ( $^{32}\text{S} : ^{34}\text{S} = 22,20$ ).

sporen gefunden wurden, schien der Verdacht begründet, daß es sich in allen diesen Fällen um die tektonische Beimengung von salzfremden Triassporen aus den angrenzenden Zlambachschiechten, bzw. Liasfleckenmergel handeln könnte.

Zur Klärung dieser Frage wurde die Schwefelisotopen-Methode herangezogen. Sie beruht darauf, daß sich das Verhältnis  $\delta^{34}\text{S}$  ‰ ( $\delta^{34}\text{S}$  wird in ‰ gemessen und bedeutet die Abweichung vom Schwefelisotopenverhältnis des Meteoriten von Canyon Diablo [ $^{32}\text{S}/^{34}\text{S} = 22,20$ ]) der beiden im Sulfatschwefel der Weltmeere am häufigsten enthaltenen Isotope  $^{32}\text{S}$  und  $^{34}\text{S}$  im Laufe der Erdgeschichte wiederholt und weltweit im gleichen Ausmaß geändert hat, so daß den meisten Formationen des Phanerozoikums ein charakteristischer  $\delta^{34}\text{S}$ -Wert zugeordnet werden kann. Eine besonders markante Änderung des Schwefelisotopenverhältnisses erfolgte zwischen dem Oberperm (Zechstein) und dem Oberskyth/Basis-Anis, indem in diesem relativ kurzen geologischen Zeitraum die „ $\delta^{34}\text{S}$ -Alterskurve“ (NIELSEN, 1979) von Werten zwischen 8–12 ‰ auf solche zwischen 20–29 ‰ angestiegen ist. Da dieser sprunghafte Anstieg („Röt-event“ nach HOLSER, 1977) gerade den für das alpine Salinar in Frage stehenden Zeitraum betrifft, erscheint er zur Klärung der Altersfrage besonders geeignet, weil der Unterschied der  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte auch bei stärkerer (durch lokale Einflüsse bedingte) Streuung genügend groß bleibt, um die betreffenden Proben mit Sicherheit der einen oder anderen Formation zuweisen zu können.

Die Untersuchung von mehr als 100 Anhydrit- und Gipsproben aus allen alpinen Salzgebirgsarten durch E. PAK vom Institut für Radiumforschung und Kernphysik in Wien brachte die in der Tab. 16 zusammengefaßten Ergebnisse.

Der  $\delta^{34}\text{S}$ -Mittelwert des Rotsalzgebirges und des mit ihm eng verknüpften tonigen Grauen Kerngebirges von Hallstatt stimmt mit den Mittelwerten für den norddeutschen Zechstein und das nordamerikanische Perm (NIELSEN & RICK, 1964; PILOT, 1972) so gut überein, daß dem alpinen Rotsalzgebirge in Bestätigung seiner sporendiagnostischen Einstufung durch W. KLAUS zweifelsfrei ein oberpermisches Alter zugeschrieben werden kann.

Die im Mittel etwas höher liegenden, aber auch erheblich stärker streuenden Werte des Grüntongebirges könnten auf einen kontinuierlichen Anstieg des  $\delta^{34}\text{S}$  im Meerwassersulfat während des Röt-Event und damit auf eine etwas spätere, bzw. längern anhaltende Ab-

gerung des Grüntongebirges hindeuten. In der stärkeren Streuung der Werte mag sich auch das in diesem Bereich der salinaren Sedimentation lebhaftere Wechselspiel zwischen marinen Überflutungen und festländischen Zuflüssen, die sowohl „schwereren“ als auch „leichteren“ Sulfatschwefel führen konnten, widerspiegeln.

Die Anhydrit- und Polyhalitproben aus dem Bunten Salztongebirge ergaben, wie es bei diesem durch Auflösung und Wiederabsatz entstandenen Haselgebirge nicht anders zu erwarten war, die  $\delta^{34}\text{S}$ -Werte des Rotsalzgebirges, dem sie entstammen.

Hingegen lieferte eine Fasergipsprobe vom Ausbiß des bunten Salztongebirges am Ostfuß des Kapuzinerberges in der Stadt Salzburg einen  $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von +21,9, der als der dieser Salzgebirgsart eigentlich zukommende Wert anzusehen ist. Nach W. KLAUS (unveröff. Bericht 1965) ergibt auch die Sporenführung der Salzgrundmasse des Bunten Haselgebirges ein jüngeres Bild als die der Toneinschlüsse.

Die aus dem stinkdolomitisch/anhydritischen Grausalzgebirge erhaltenen Meßwerte weichen ausnahmslos von jenen der übrigen Salzgebirgsarten so weit ab und zeigen mit den  $\delta^{34}\text{S}$ -Werten aus anderen europäischen und nordamerikanischen Salinarbecken des Oberskyth (Röt) eine so gute Übereinstimmung (NIELSEN & PILOT, 1972), daß die Einstufung dieser Gesteinsentwicklung des ostalpinen Salinars in das obere Skyth bis Basis-Anis als gesichert gelten kann. Damit wird auch der Verdacht entkräftet, daß es sich bei den von W. KLAUS in dieser Salzgebirgsart gefundenen Triassporen um tektonisch eingearbeitete Sporen handeln könnte.

Im zeitlichen Ablauf der ostalpinen salinaren Sedimentation sind daher zwei Phasen, nämlich eine ältere (Oberpermische) und eine jüngere (mittel- bis Oberskythische) Phase zu unterscheiden.

In der oberpermischen Phase ging die Bildung des Rotsalz- und Grüntongebirges und der Übergangsentwicklungen vor sich. Im Übergang zur zweiten Phase wurden die oberpermischen Salinarsedimente zum Teil wieder aufgelöst und als Buntes Salztongebirge resedimentiert.

Eine durch das weitere Absinken der alpinen Geosynklinalen im Oberskyth ausgelöste neuerliche Meeressubgression führte infolge der stärkeren Verdunstung im Flachwasserbereich der Schwelle vorerst zu einer nochmaligen basalen Sulfat- und Salzabscheidung in Form des stinkdolomitisch/anhydritischen Grausalzgebirges, bis schließlich durch die weiterausgreifende

Transgression der Thetis mit dem Einsetzen der hochmarinen klastischen Sedimentation am Beginn der Mitteltrias die saline Sedimentation ihr Ende fand.

## 4. Die chemische und morphologische Umbildung der ostalpinen Salzlagerstätten durch Metamorphose und Tektonik

### 4.1. Die Faktoren der Umbildung

Temperatur, Druck, Lösungsumsatz und nicht zuletzt die Zeit sind die maßgeblichen Faktoren für die stofflichen und morphologischen Veränderungen, die die alpinen Salzlagerstätten seit ihrer Ablagerung erfahren haben. Die stofflichen Veränderungen betreffen hauptsächlich die Vorgänge der Diagenese und Metamorphose, die morphologischen jene der Tektonik.

Allerdings lassen sich Metamorphose und Tektonik in ihren Auswirkungen nicht immer streng voneinander trennen, da sich der Einfluß tektonischer Vorgänge auf Veränderungen des Stoffbestandes der Salzlagerstätten in mehrfacher Hinsicht geltend machen kann, so z. B. durch die mit dem Belastungsdruck zunehmende Temperaturerhöhung oder durch die Öffnung von Zirkulationswegen für den Lösungsumsatz.

Art und Ausmaß dieser Veränderungen wurden durch die Einbeziehung des alpinen Salinars in den geodynamischen Entwicklungsgang der Nördlichen Kalkalpen bestimmt. Man kann sie in 4 Phasen unterteilen:

- 1) Das an der Basis des Tirolikums beheimatete Salinar wird von den Flachwasser-Karbonaten der Trias bei gleichzeitigem Absinken der Geosynklinalen bis zu einer Mächtigkeit von etwa 3200 m, die aber im Bereich der „Hallstätter Kanäle“ nur etwa 1100 m beträgt, überschichtet. Die unmittelbar nach der Abscheidung einsetzende Diagenese der Salze und ihrer Begleitgesteine wird mit wachsendem Deckgebirgsdruck und dementsprechenden Temperaturanstieg abgelöst von Erscheinungen der Thermometamorphose und des „innersalinaren“ Lösungsumsatzes.
- 2) Mit dem „Zerfall der triadischen Plattform“ (BOEGEL, 1975) beginnt der Salzaufstieg (Halokinese) in den tektonischen Schwächezonen der Hallstätter Entwicklung. Einige Diapire treten submarin in Kontakt mit Jurasedimenten, wodurch es an ihren Flanken zur Bildung von Gleitmassen (Turbiditen nach PLÖCHINGER) kommt.  
Durch den Aufstieg in geringere Tiefen mit wieder abnehmender Temperatur können rückläufige chemische Reaktionen eintreten (Retrometamorphose). Gleichzeitig kommt es zu den ersten Erscheinungen der Dynamometamorphose (Faltung, Fluidaltektonik).
- 3) Die das Tirolikum durchspießenden Diapire werden von den in der höheren Unterkreide einsetzenden Deckenbewegungen miterfaßt. An Stelle des allseitig wirkenden hydrostatischen Druckes tritt nun der gerichtete Druck. Durch ihn werden die diapyrischen Salzaufbrüche teils ausgewalzt und zwischen Tirolikum und höheren Deckeneinheiten eingeschoben, teils an der Bruchlinie innerhalb der Decken oder an ihrer Stirn zu Salzstöcken hochgestaut. Das führt im Salinar zu einer weiteren Intensivierung der Dy-

namometamorphose und einer neuerlichen Aktivierung der Lösungsmetamorphose.

- 4) Nach dem Abklingen der En-bloc-Bewegung der Nördlichen Kalkalpen im Jungtertiär unterliegen die zu Tage tretenden Salzgebirgsaufbrüche vornehmlich in den eiszeitlich vergletscherten Gebieten durch Erosion und Denudation der posthumer Lösungsmetamorphose (Salzhutbildung).

Vorstehender Abriss des geodynamischen Entwicklungsganges des ostalpinen Salinars läßt bereits die Problematik erkennen, die mit der genetischen Zuordnung der heute vorliegenden Mineralparagenesen zu der einen oder anderen Phase und ihrer Rückführung auf die Primärausbildung verbunden ist, da man es in den meisten Fällen mit der Resultierenden aus mehreren metamorphen Komponenten zu tun hat. Zur gleichen Auffassung kommt H. MAYRHOFER (1953): „Ähnlich wie bei den kristallinen Schiefen ist auch bei den metamorphen Salzgesteinen die Aufstellung einer vollständigen Sukzession schwierig und problematisch. Abbau und Neubildung sind gewissermaßen ständig im Fluß und überprägen einander.“

In der ersten Phase seiner geodynamischen Entwicklung war das ostalpine Salinar durch die bis 1100 bzw. 3200 m zunehmende Überlagerung einer von 25°C bis gegen 1200°C steigenden Temperatur und einem gleichförmigen Druck bis zu 750 kp/cm<sup>2</sup> ausgesetzt.

Die Frage ist nun, ob und wie weit die stofflichen Veränderungen, die das Salinar dadurch erfahren hat, noch der Diagenese oder bereits der Metamorphose zuzuordnen sind.

Nach der älteren Auffassung (RINNE, 1914; LEITMEIER, 1950) ist unter Diagenese die Verfestigung des Sedimentes zum endgültigen Gestein ohne wesentliche Mineral-Um- oder Neubildungen zu verstehen.

Nach R. KÜHN (1979), bzw. G. MÜLLER (1970) wären die Veränderungen des primären Mineralbestandes in Salzablagerungen bis zu 200°C noch als Diagenese zu bezeichnen und es sei dabei Thermo- und Lösungsdiagenese zu unterscheiden. Da aber der Existenzbereich der im alpinen Salinar vorkommenden Mineralparagenesen zwischen 26°C–110°C liegt, ist so wie bei allen Salzgesteinen auch hier die Temperaturgrenze zwischen Diagenese und Metamorphose erheblich tiefer anzusetzen als bei den silikatischen Gesteinen.

### 4.2. Die Sekundärbildungen der ostalpinen Salzgesteine

Es liegt in der Natur der salinaren Präzipitatgesteine, daß bei ihnen von Anfang an der Lösungsumsatz schon bei den diagenetischen Vorgängen und dann noch mehr bei den metamorphen Umsetzungen eine bedeutende Rolle gespielt hat.

#### 4.2.1. Sekundärausbildungen des Steinsalzes

Aus dem Salzwassergehalt des in Wechsellagerung mit Kernsalz oder Haselgebirge sedimentierten Ton-schlammes kristallisierten während seiner Verfestigung zu Schiefertone das Blättersalz und die Tonwürfelsalz-Holoblasten als typisch-diagenetische Bildungen aus.

Erst in den folgenden Phasen des Salzaufstieges und der deckentektonischen Bewegungen erfolgte die Ausfüllung von Zerrspalten innerhalb und an den Grenzen

der Salztionschichten im Weg des hydrothermalen Lösungsumsatzes mit körnigem Kluftsalz und (oder) mit Fasersalz in mehreren Generationen.

#### 4.2.2. Sekundärausbildungen des Anhydrits

Ob der Anhydrit des alpinen Salinars schon primär als solcher sedimentiert wurde oder diagenetisch aus Gips hervorgegangen ist, läßt sich aus seinem heutigen Erscheinungsbild nicht mehr mit Sicherheit ablesen. Aus zahlreichen Laborversuchen und Beobachtungen in Salzgärten weiß man, daß die Umwandlung von Gips in Anhydrit von der Temperatur der Lösung und dem Grad ihrer Sättigung mit Kochsalz abhängt. Während bei einer noch niedrigen NaCl-Konzentration im Meerwasser die Umwandlungstemperatur bei 58°C liegt, kann bei einer NaCl-Konzentration von 10–13 % der Übergang von Gips in Anhydrit bereits zwischen 27–37°C (also noch unterhalb 1000 m Tiefe) und bei Sättigung mit Kochsalz sogar schon bei 18°C erfolgen. Die Umsetzung Gips→Anhydrit wird dadurch begünstigt, daß der Anhydrit im Gegensatz zu Gips ein thermophiles Salz ist, d. h. daß seine Löslichkeit bei steigender Temperatur abnimmt. Da nun in flachen Lagunen unter heiß-aridem Klima Temperaturen von mehr als 37°C durchaus erreicht werden können, wäre unter solchen Bedingungen eine primäre Abscheidung von Anhydrit auch möglich. Allerdings enthält nach USDOWSKI (1973) primärer Anhydrit 1–2 % Strontium, dagegen diagenetisch aus Gips hervorgegangener Anhydrit nur 0,1–0,2 % Sr. Nachdem die von S. RUSCHA (1976) für Anhydrite der alpinen Salzlagerstätten ermittelten Sr-Werte durchwegs zwischen 0,1–0,2 % oder sogar darunter liegen, wäre damit die diagenetische Entstehung der alpinen Anhydrite aus Gips erwiesen.

Der zur Unterscheidung vom primär-geschichtetem Anhydrit als Muriazit bezeichnete rekrystallisierte Anhydrit ist in der schon beschriebenen Ausbildung als tafelige, strahlige oder faserige Aggregate ein Produkt des hydrothermalen Lösungsumsatzes und als solches an den meisten Mineralparagenesen beteiligt.

Eine für das Rotsalzgebirge der ostalpinen Salzlagerstätten sehr typische Erscheinung ist die Polyhalitisation des Anhydrites, d. i. seine randliche oder von tonigen Zwischenlagen ausgehende, mehr oder weniger vollständige Umwandlung in Polyhalit. Mit steigender Temperatur vergrößert sich nämlich (im Dreiecksdiagramm nach E. JÄNECKE) das Polyhalitfeld erheblich, sodaß gesättigte K-Mg-Laugen, die bei höherer Temperatur innerhalb des Polyhalitfeldes liegen, Anhydrit in Polyhalit umwandeln können. Diese Umwandlung des primär-geschichteten Anhydrites dürfte noch im unzerstörten Gesteinsverband, also vor der fließtektonischen Phase erfolgt sein. Zuzufolge der Untersuchungen von SCHINDL-NEUMAYR (1981) an Polyhalit-Anhydritgesteinen aus dem Rotsalzgebirge von Altaussee gibt es aber für die körnige Ausbildung des Polyhalites (im Gegensatz zu den filzigen Kristallisaten) noch keinen Beweis ihrer sekundären Entstehung. Es wäre daher denkbar, daß die nach HOLSER (1977) in einer kalifornischen Lagune beobachtete frühdiagenetische Umsetzung von metastabilem Gips zu stabilem Polyhalit auch im alpinen Rotsalzgebirge vor sich gehen konnte. Eindeutig sekundär ist dagegen die Bildung des faserigen Polyhalites (analog der des Fasersalzes) aus auf Klüften im Salztou zirkulierenden K-Mg-Laugen.

An zweiter Stelle steht die Glauberitisation des Anhydrites. Sie kann nach JÄNECKE bei höherer Temperatur unter Mitwirkung von stark Na-Sulfathaltigen Laugen eintreten. Da der dunkelfleischrote Glauberit vom Polyhalit makroskopisch schwer zu unterscheiden ist, jedoch häufig in enger Verwachsung mit Polyhalit, Anhydrit und Astrakanit auftritt, dürfte die Glauberitisation im Rotsalzgebirge verbreiteter sein, als es den äußeren Anschein hat. Seltener dagegen ist eine Astrakanitisation des Anhydrits zu beobachten.

#### 4.2.3. Sekundärausbildungen der übrigen Begleitsalze

Wie im Abschnitt 3.1. dieser Arbeit bereits ausgeführt, ergab der an Salzproben aus dem Hallstätter Salzberg durchgeführte Bromtest, daß zwar der weit überwiegende Anteil des ostalpinen Salinars dem Eindunstungsstadium einer mittleren bis oberen Anhydritregion entspricht, es jedoch, wenngleich von begrenzter Verbreitung und Mächtigkeit, primär auch Ablagerungen aus höheren Eindunstungsstadien gegeben haben muß, was auch durch das Vorhandensein von stark metamorphisierten Restvorkommen dieser Salze erhärtet wird.

Von diesen „Restsalz“-Vorkommen sind die Langbeinit-Knollen-Horizonte besonders erwähnenswert. Es handelt sich dabei um nicht mehr zusammenhängende, sondern fließtektonisch zu Brockenfelder aufgelöste Zwischenschichten im Bändersalz des Rotsalzgebirges oder auch im Liniensalz des Grüntongebirges.

Im Folgenden werden einige besonders typische Vorkommen auf Grund von z. T. bisher noch nicht veröffentlichten Untersuchungen beschrieben:

##### Langbeinit-Knollenhorizont

##### im Werk Utzschneider des Salzberges Hall i. Tirol

Dieses Vorkommen ist bereits von GÖRGEY (1910) erwähnt und dann von HIMMELBAUER (1921) beschrieben worden: „...Der Langbeinit selbst ist farblos, er umschließt gelb- bis dunkelrot gerundete Steinsalzkörner, deren rote Farbe in der Mitte in Rotblau übergeht. Als Begleitminerale wurden Astrakanit, Löweit, Kieserit und Galserit, nach GÖRGEY auch Vanthoffit festgestellt. Diese Paragenesen weisen auf Bildungstemperaturen um 50°C hin. Der Langbeinit von Hall könnte als thermodynamometarmorphes Umwandlungsprodukt einer Kieseritzone mit höherem Carnallitgehalt (wie im Steinsalzmittel von Straßfurt) oder eines Sylvinit-Kieseritgesteins wie in Ronneberg) gedeutet werden.“

Eine neuere Untersuchung durch R. KÜHN (1958, unveröff.) hat ergeben: „In gelblich-hellbraunem, gleichmäßig-körnigem Steinsalz mit kleinen Sylvinit-Einschlüssen sind in größeren Abständen Langbeinit-Knollen (bis 20 cm Ø) eingelagert. Ein solcher Langbeinitknollen zeigt im Dünnschliff Einschlüsse von rotem Steinsalz und ebenfalls von Sylvinit. Das ‚Muttersteinsalz‘ der Langbeinitknollen enthält 0,0087 bis 0,0142 % Br/100 NaCl, was einer mittleren bis hangenden Anhydritregion entspricht. Der in innigster Paragenese mit dem Langbeinit befindliche ziegelrote Halit entspricht dagegen mit 0,0163 % Br/100 NaCl einer Polyhalitregion. Das beweist, daß der Langbeinit oder sein kalihaltiger Vorgänger (Leonit?) einem hangenden, der Aufarbeitung anheimgefallenen Niveau entspricht. Die starke Korrosion besonders der roten Steinsalzeinschlüsse im Langbeinit deutet auf seine sekundäre Ent-

stehung hin und zwar bei einer oberhalb 74° (wegen der Paragenese mit Sylvin) liegenden Temperatur, entsprechend einer Tiefe zwischen 2000–2500 m.“

„Da in einer hangenden Anhydritregion Kalisalze (nach VAN HOFF) primär noch nicht auftreten, läßt das Vorhandensein von Sylvin + Langbeinit auf intensive sekundäre oder epigenetisch-semisalinare Vorgänge schließen. Es wäre an eine Aufarbeitung ehemals vorhandener Kalihorizonte zu denken, deren Restlaugen das liegende Steinsalz infiltriert und darin etwas Sylvin abgeschieden haben. Das scheint entweder diagenetisch – also im Anschluß an eine deszendente Aufarbeitung – möglich oder viel später im Verlauf zeitweiliger Auflockerung durch tektonische Vorgänge nebst Infiltration.“

Die an der Oberfläche der Langbeinitknollen vorhandenen Ausblühungen von Pikromerit (Schönit) und Epsomit (Bittersalz) sind Produkte der posthumer Hydratisierung.“

**Langbeinit-Knollenhorizont  
in der Schwingheimkehr (Kais. Christina-Horizont)  
des Salzbergbaues Hallstatt**

Dieses ebenfalls schon von GÖRGEY (1910) erwähnte Vorkommen liegt an der Grenze des Rotsalzgebirges gegen das tonige Grausalzgebirge. R. KÜHN (briefl. Mitt. 1958) stellte anhand eines Dünnschliffes folgende Paragenese fest: Langbeinit + Löweit (83 %) + Kieserit (6 %) + Halit + Allenit (9,1 %) + Polyhalit + Anhydrit.

Auch hier enthält das Steinsalz 0,53 % Sylvin als rundliche Einschlüsse und besitzt einen Bromgehalt von 0,0271–0,0288 %/100 NaCl, der etwa einer primären Oberen Kieseritregion bis liegender Carnallitregion entspricht.

**Langbeinit-Knollenhorizont  
im Riethaler-Steinsalzwerk  
(Kaiser Maximilian-Horizont)  
des Salzbergbaues Hallstatt**

In einem etwa 20 Meter mächtigen Schichtstoß von hellgrauem Liniensalz, der beiderseits von Hasel- und Blättersalzgebirge des Grüntongebirges begrenzt wird, sind in einem gegenseitigen Abstand von je 6 m drei Langbeinit-Knollenzüge eingeschaltet.

Die Zusammensetzung der durch H. MAYRHOFER untersuchten Knollen scheint in Tab. 17 auf.

„Es liegt also eine ursprüngliche Verwachsung von Langbeinit mit Kieserit-Einschlüssen vor, die jedoch mangels Schichtungsmerkmale keine Rückschlüsse auf eine Primärausscheidung zuläßt. Durch hydratisierende Vorgänge wurde der Langbeinit randlich in Pikromerit und (wegen des Mg-Überschusses) in Epsomit umgewandelt.“

Tabelle 17: Zusammensetzung der Knollen im Riethaler Steinsalzwerk des Salzbergbaues Hallstatt.

|       | Hangender Zug        | Mittlerer Zug                    | Liegender Zug                 |
|-------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Kern  | Langbeinit + Halit   | Halit + Polyhalit + Glaserit (?) | Langbeinit + Halit + Kieserit |
| Rinde | Pikromerit + Epsomit | Pikromerit + Epsomit             | Pikromerit + Epsomit          |

**Langbeinit-Knollenhorizont  
im Werk Plentzner (Kaiser Maximilian-Horizont)  
des Salzbergbaues Hallstatt**

Bei diesem ebenfalls im Liniensalz des Grüntongebirges liegenden Vorkommens handelt es sich nach GÖR-

GEY (1914) und R. KÜHN (1958) um eine Paragenese von Langbeinit + Syngenit + Polyhalit + Blausalz mit sehr kleinen rundlichen Einschlüssen von Sylvin.

**Langbeinit-Knollenhorizont  
im Werk Kirnbauer (Kaiser Leopold-Horizont)  
des Salzbergbaues Ischl**

Dieses in seiner Mineralvergesellschaftung gegenüber den bisher beschriebenen etwas abweichenden Vorkommen wurde von H. MAYRHOFER entdeckt und im Karinthin 1955 beschrieben:

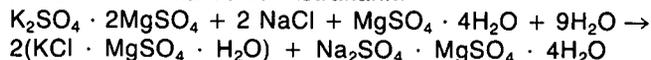
„Der Kern einer Knolle besteht aus kollophoniumbraunem Langbeinit, in den kleine Kieserit- und Halit-Kristalle eingestreut sind.“

Die innere Rinde besteht aus Astrakanit + Kainit, der hier zum erstenmal in einer alpinen Salzlagerstätte sicher nachgewiesen wurde, sowie aus kleinen Anteilen von Epsomit und Hexahydrat.

Die äußere Rinde besteht nur aus Astrakanit.

Dieses fließtektonisch in Brocken aufgelöste Langbeinitgestein stellt wegen des Fehlens von Schichtungsmerkmalen oder Verunreinigungen sowie wegen der zu fordernden hohen Bildungstemperatur einer Langbeinit-Kieserit-Paragenese keine Primärausscheidung, sondern selbst schon ein Umwandlungsprodukt dar.“

Bemerkenswert ist die hier zu beobachtende Umwandlungsreihe von Langbeinit – Halit + Kieserit über Astrakanit – Kainit zu Astrakanit:



Das Vorkommen zeigt, daß eine erst von 55°C aufwärts mögliche Langbeinit-Kieserit-Vergesellschaftung unterhalb 37°C in einem zweifellos ganz engumgrenzten Temperaturbereich zu Astrakanit/Kainit umgewandelt wurde, womit für eine der metamorphen Phasen des alpinen Salzgebirges eine scharfe Temperaturgrenze gegeben ist.“

Nur im Roten Bändersalzgebirge auftretend und daher für dieses charakteristisch sind die beispielsweise angeführten Vorkommen folgender Mineralparagenesen:

Salzberg Hallstatt, Werk Stüger: Eisen-Epsomit + Polyhalit (0,85 %) + Muriazit (0,28 %) + Halit (6,76 %) mit 0,0117 Br (nach R. KÜHN, 1958)

Layer-Aufdeck. Schlag: Simonyit + Polyhalit (5,89 %) + Muriazit (6,57 %) + Kieserit (2,35 %) + Epsomit (2,72 %) + Halit (2,08 %)

Salzberg Altaussee, Lobkowitz-Grubenoffen: Langbeinit + Kieserit + Epsomit + Löweit + Astrakanit (bzw. Simonyit)

Salzberg Dürrnberg, Obersteinberg: Astrakanit (Simonyit) + Löweit + Kieserit + Muriazit (R. GÖRGEY, 1910).

Das Rote Bändersalz führt nicht selten (Altaussee, Berchtesgaden) horizontweise perlschnurartig angeordnete erbsen- bis nußgroße Knollen von Epsomit, der sich bei entsprechender Trockenheit mit einer pulverigen Rinde von Hexahydrat überzieht. Auf Grund der feinen und regelmäßigen Verteilung des Epsomits im Steinsalz kann man mit G. WESTNER (1951) annehmen, daß er sich primär abgeschieden hat und bei einer Temperatur von 36°C zu Kieserit entwässert wurde, sich jedoch bei Wiederabnahme der Temperatur bis auf 10–8°C Grubentemperatur wieder zu Epsomit (oder Hexahydrat) hydratisierte.

Die vorgeschriebenen Mineralparagenesen sind im Primärprofil der Zone der kalifreien Mg-Sulfate und der Zone der Kali-Magnesiumsulfate zuzuordnen.

Nach LACHMANN-JÄNECKE sind die Minerale Langbeinit, Löweit und Vanthoffit typisch für die Tiefenmetamorphose (bei Überdeckungen von etwa 1000–3500 m und entsprechende Temperaturen zwischen 50° und 110°C), die Minerale Pikromerit und Epsonit dagegen typisch für die Oberflächenmetamorphose (bei Überdeckungen von einigen 100 Metern und Temperaturen um 37°C).

Während bei der Tiefenmetamorphose reine Schmelzvorgänge (Thermometamorphose) oder auch mit Beteiligung von Lösungen (Hydrothermalmetamorphose) wirksam waren, spielte bei der Oberflächenmetamorphose offenbar die Lösungsmetamorphose (= Hydratisierung) die beherrschende Rolle. Allerdings ist auch dem bei der Diapirbildung und den Überschiebungsvorgängen erzeugten tektonischen Druck eine gewisse Mitwirkung (Dynamometamorphose) zuzuschreiben.

Der Vollständigkeit halber sind hier auch die kontaktmetamorphen Erscheinungen (gefrittete Salztone, Fasermuriazit, Salzmandeln) am Kontakt des Melaphyrs mit dem Salzgebirge in den Salzbergen von Hallstatt (hier von E. J. ZIRKL 1957 beschrieben) und Ischl zu erwähnen.

#### 4.2.4. Bildungen der posthumer Lösungsmetamorphose

Diese umfaßt die durch Oberflächen- und Grundwasser in der Scheitelregion und durch Wasserzutritt an den Flanken eines Salzstockes bewirkten Auflösungs- und Umbildungserscheinungen. Dazu gehören die grobspätigen Rekristallisationszonen grenznaher Steinsalzzüge wie auch die in Klufthohlräumen von Anhydritschollen frei aufgewachsenen Halit- und Gipskristalle.

Ein typisches Beispiel für letztere ist der Kristallkeller in der Dunajewsky-Schachtricht im Georgenberg-Horizont des Salzbergbaues Dürrnberg/Hallein. Hier war eine etwa 5 m lange und bis zu 1,5 m breite Kluft in einer Anhydritscholle mit Drusen von glashellen Halitkristallen mit Kantenlängen bis zu 0,25 Meter ausgekleidet. Viele dieser Steinsalzwürfel werden von ebenso glashellen Gipskristallen durchspießt, woraus auf eine zweimalige Beschickung der Kluft mit Lösungen zu schließen ist. Leider wurde dieses einmalige Vorkommen durch rücksichtslose Ausplünderung völlig zerstört.

In den Bereich der Verwitterung einzuordnen ist die Gipshutbildung über Salzstöcken. Bei den ostalpinen Salzstöcken tritt infolge des bis zu 75 % betragenden Tonanteiles im Haselgebirge an Stelle des Gipshutes das „Ausgelaugte“. Es besteht aus einer mehr oder weniger mit Gips durchsetzten kompakten Tonmasse mit charakteristischer rotbrauner Strömung, weshalb es auch als „Lebergebirge“ bezeichnet wird.

Das Ausgelaugte ist in der Regel vollkommen salzfrei, schließt aber manchmal auch noch Restkörper von Steinsalz ein, die durch zurückgestaute Sole vor der völligen Auflösung geschützt wurde.

Die meisten Salzgebirgsarten können auch im ausgelaugten Zustand durch schwer- oder unlösliche charakteristische Bestandteile als solche erkannt werden, so das Rotsalzgebirge an den Polyhalitgesteinen, das Grüntongebirge an den Pseudomorphosen von Gips

nach Tonwürfelsalz, das Bunte Salztongebirge an den Melaphyr- und Tuffiteinschlüssen und das stinkdolomitische Grausalzgebirge an den Anhydritdolomit-Schollen. Ausbisse des Ausgelaugten verraten sich auch unter Moränenüberdeckung durch Sumpfwiesen mit üppigem Bewuchs von silikatliebenden Pflanzen, so z. B. von Zinnkraut (*Equisetum arvense*) oder von Wollgras (*Eriophorum*).

### 4.3. Die Dynamometamorphose der ostalpinen Salzlagerstätten

Die auslösenden Faktoren der salinaren Dynamometamorphose sind der Belastungsdruck des Deckgebirges und (oder) der im Zusammenhang mit deckentektonischen Vorgängen auftretende tangentielle Seitenschub. Solange das Deckgebirge ungestört ist, bewirkt der gleichförmige Belastungsdruck zwar eine Verfestigung der klastischen Bestandteile des Salzlagers – vor allem der Tonzwischenschichten – und bei entsprechender Temperaturerhöhung auch thermometamorphe Umbildungen, aber noch keine mechanische Umformung des Salzlagers. Erst mit der erosiven oder tektonischen Entstehung von Schwächezonen im Deckgebirge – vornehmlich im Bereich der „Hallstätter Kanäle“ wurde der Salzaufstieg und damit die Bildung von Salzstöcken möglich.

#### 4.3.1. Der Salzaufstieg (Halokinese)

wird bewirkt nach LACHMANN durch isostatische Kräfte infolge des Unterschiedes der spezifischen Gewichte von Steinsalz (2,16) und dem Deckgebirge (2,4–2,7), nach STILLE durch tektonische Kräfte (Seiten- und Belastungsdruck) und nach HARBORT & SEIDL durch das Zusammenwirken beider Kräfte. Da jedoch das alpine Salzgebirge i. M. nur zu ca. 50 % aus Salz, dagegen zu ca. 40 % aus Ton und etwa zu 10 % aus Anhydrit besteht, ist der Unterschied seines spezifischen Gewichtes gegenüber jenem des Deckgebirges entsprechend geringer, weshalb beim alpinen Salzaufstieg den tektonischen Kräften eine wesentlich größere Wirkung zuzuschreiben ist als den isostatischen Kräften.

Allerdings deutet die Tatsache, daß in der Scheitelregion der alpinen Salzstöcke eine Anreicherung des Steinsalzes stattgefunden hat, auf ein Voraneilen des spezifisch leichteren Salzes gegenüber den schwereren Komponenten des Haselgebirges im Verlauf des Salzaufstieges.

Eine ähnliche Beobachtung hat VOITESTI (1926) bei den subkarpathischen Salztonaufbrüchen in Rumänien gemacht.

Daß der Salzaufstieg auch heute noch andauert, ist am Salzberg von Hallstatt durch die seit 1954 durchgeführten Präzisionsnivelllements nachgewiesen. Er ist auch als Ursache der in jüngster Zeit im Gebiet des Altausseer und Ischler Salzberges erfolgten Bergstürze (Sandling 1920, Zwerchwand 1974–1983) anzusehen. Das aufsteigende Salzgebirge dringt, wie das im Hallstätter Erbstollen deutlich zu beobachten ist, in die Klüfte der überlagernden Kalkschollen ein und erzeugt durch Keilwirkung Bergzerreißen, die schließlich zu Bergstürzen führen.

#### 4.3.2. Erscheinungen der Fließtektonik

Schon auf eine Druckbeanspruchung von mehr als 50 kp/cm<sup>2</sup> (bei Gegenwart von Laugen) reagiert das Steinsalz plastisch, es beginnt zu „fließen“. Der Fließvorgang erfolgt durch Verschiebung (Translation) der Teilchen nach bestimmten Gleitflächen, die bei Steinsalz nach dem Rhombendodekaeder gerichtet sind. Auch schmale Tonzwischenlagen (im Bänder- und Liniensalz) können als Translationsflächen wirken.

Die Steinsalzschieben erfahren als mobilster Bestandteil des Salzgebirges eine enggestellte Isoklinalfaltung bis Kulissenfaltung (= Faltung in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen) mit Spezialfaltung in den Faltenkernen. Am beweglichsten erweist sich das Bändersalz des Rotsalzgebirges, was offenbar auf seine Imprägnation mit sulfatischen Salzen zurückzuführen ist.

Dagegen zeigen Anhydritgesteine bis mindestens 400 kp/cm<sup>2</sup> noch ein vollkommen elastisches Verhalten. Die ursprünglich mit den Bändersalzschieben in Wechsellagerung gestandenen Anhydrit/Ton-Bänke wurden durch die Zugwirkung des fließenden Salzes zerrissen und in Brockenfelder aufgelöst, die einzelne Fragmente zu Linsenkörpern gelängt oder auch, falls sie rotierten, allseitig abgerundet. Durch nahes Aneinanderrücken der Brockenfelder infolge fortschreitender Auswalzung der Salzzwischenschichten ergibt sich das Bild eines fließtektonischen Haselgebirges.

Daß auch Anhydrit auf entsprechend hohen Druck plastisch reagieren kann, beweist die fluidalektontische Textur des „Brekzienanhydrits“ von Hall i. T. Hier schwimmen in einer Grundmasse von feingebändertem Anhydrit kantige Trümmer von Anhydritdolomit, Schieferen und Sandstein, die vom Anhydrit genau so umflossen werden wie die Einschlüsse im Kerngebirge vom Salz.

Im sedimentären Haselgebirge, einer gleichmäßigen Mischung von Salz und Ton, wie es typisch im Grünen und Bunten Haselgebirge vorliegt, sind Translationsflächen in allen Richtungen vorhanden, und dadurch seine Fließfähigkeit in erhöhtem Maße gegeben, wenn auch gebremst durch die innere Reibung der Toneinschlüsse. Der Grad der Plastizität richtet sich dabei nach dem Mengenverhältnis zwischen Salzgrundmasse und Toneinschlüssen, bzw. nach dem Mächtigkeitsverhältnis zwischen Kernsalz- und Haselbergschichten. So können nach O. SCHAUBERGER (1931, 1959), der die salinaren Fließstrukturen eingehend beschrieben hat, schmale Haselgebirgszüge zwischen mächtigeren Kernsalzschichten ohne Zerreißen mitgefaltet sein, wogegen sich schmale Kernsalzzüge, die in einem mächtigen Haselgebirgskomplex eingeschaltet sind, weniger plastisch verhalten haben als letzterer und daher zerrissen wurden.

Dem Salzaufstieg wirkt der Belastungsdruck der in die Lagerstätte einsinkenden Deckgebirgsschollen entgegen. Er wird an den Flanken der Deckgebirgsschollen in zwei Komponenten zerlegt, wovon die kleinere senkrecht zum Verflachen, die größere im Verflachen des Salzgebirges wirkt. Auf den dadurch entstehenden Gebirgsdruck reagiert das plastische Salzgebirge mit Ausweichen in die durch den Bergbau geschaffenen Hohlräume. In den im Kernsalz oder Kerngebirge angelegten Strecken erfolgt ein langsames, nahezu bruchloses Hereinwachsen der Stöße (Ulme) unter gleichzeitiger Auspressung der Firste nach oben.

In Tab. 18 sind die Ergebnisse der im Salzbergbau Hallstatt durch 18 Jahre vorgenommenen Messungen der Streckenverengung zusammengefaßt. Sie zeigen bei annähernd gleichen Druckverhältnissen die Abhängigkeit der Streckendeformation von der Salzgebirgsart und ihrem Salzgehalt.

Die im Grauen Kerngebirge angelegte Strecke erfuhr die geringste, die im Grünen Haselgebirge stehende Strecke die größte Deformation. In letzterem ging die Streckenverengung 4-mal so schnell vor sich wie im Roten- und 10 mal so schnell wie im Grauen Kerngebirge. Daß natürlich auch die Größe des Gebirgsdruckes eine Rolle spielt, geht z. B. daraus hervor, daß eine im Grausalzgebirge einer ausgesprochenen Druckzone verlaufende Strecke sich ungefähr 4-mal so schnell verengte wie die im Grauen Kerngebirge der Tabelle liegende Strecke.

Das Endergebnis dieser fließtektonischen Regeneration des Salzgebirges liegt im sogen. „Heidengebirge“ vor, dessen Herkunft aus dem 2000–3000 Jahre alten prähistorischen Bergbau nur noch an den darin eingewachsenen Leuchtspänen und sonstigen Artefakten erkennbar ist.

In Strecken mit dem üblichen Trapezquerschnitt, die in einem Haselgebirge mit 30–40 % Salzgehalt angelegt sind, geht das Hereinwachsen der Ulme nicht mehr bruchlos vor sich, sondern erfolgt unter fortgesetzter Ablösung von Gesteinsschalen (Hurten) so lange, bis ein entsprechend größeres, elliptisch bis kriesrund geformtes Profil erreicht ist, in dem kein Nachfall mehr stattfindet, weil sich in dieser nunmehr spannungsfreien Zone (TROMPETER'sche Zone) die tangential angreifenden Zug- und Druckkräfte die Waage halten.

Dabei hängt die Stellung dieser „Endellipse“ von der Lage der Strecke zum Streichen und Verflachen des Gebirges ab. In streichenden Strecken ist die große Achse der Ellipse in der Fallrichtung geneigt, in verquerenden Strecken steht sie senkrecht, das heißt, daß sich die große Achse der Profilellipse immer in die Richtung des größten Druckes einstellt. In diagonal oder in richtungslosem Gebirge verlaufenden Strecken nähert sich das elliptische Profil einem Kreis.

Tabelle 18: Verengung von rechteckigen Streckenprofilen im Salzberg Hallstatt im Verlauf von 18 Jahren.

| In der Strecke anstehende Salzgebirgsart | Salzgehalt [%] | Überdeckungshöhe [m] | Verkürzung der Strecke in der |             | Voraussichtliche Zeit der vollständigen Schließung [Jahre] |
|--|----------------|----------------------|-------------------------------|-------------|--|
|  |                |                      | Höhe [mm]                     | Breite [mm] |  |
| Graues Kerngebirge                       | 80             | 280                  | 64                            | 46          | 150  |
| Rotes Kerngebirge                        | 90             | 920                  | 142                           | 115         | 195  |
| Buntes Salztongebirge                    | 61             | 720                  | 184                           | 189         | 138  |
| Grünes Hasel- und Blättersalzgebirge     | 46             | 320                  | 552                           | 407         | 52   |

### 4.3.3. Erscheinungen der Bruchtektonik

Eine Ausnahme von der Regel, daß der Innenbau der ostalpinen Salzstöcke nur von der Fließtektonik bestimmt werden, bilden die in einigen Salzbergen beobachteten bruchtektonischen Erscheinungen, die keinesfalls mit dem Bergbau in Verbindung zu bringen sind. So z. B. treten im Nordflügel des Hallstätter Salzberges (K. Josef-Horizont, Werk Wallner) echte Verwerfungen auf, die um N/S streichen und flach gegen W einfallen. Die von ihnen durchsetzten Bändersalzzüge sind ohne Verschiebung auseinandergerissen und die weitklaffenden Spalten mit eingepreßten Trümmern von schwarzem Haselgebirge ausgefüllt.

In dem im gleichen Horizont nach N verlaufenden Layer-Aufseckungsschlag wird Buntes Haselgebirge durch eine flachliegende Störung gegen Grüntongebirge in Richtung NE verworfen.

In dem darunterliegenden Kais. Christina-Horizont bilden in der Rosa v. Seeau-Kehr zerbrochene Kernsalzstriche und scharfkantige Trümmer von Grünem und Buntem Haselgebirge eine tektonische Brekzie.

Ein ähnliches Bild bietet sich in der Nördl. Plener-Kehr des nächsttieferen Kais. Maria-Theresia-Horizontes: Von der Hauptmasse des anhydritdolomitischen Kerngebirges abgesprengte Bruchstücke schwimmen im anschließenden Schwarzbunten Haselgebirge. Darauf folgt eine Zertrümmerungszone, in der scharfkantige Trümmer von Schwarz- und Grünbuntem Haselgebirge und von Anhydritdolomitischen Kerngebirge ein buntes Mosaik bilden, in dem sogar faustgroße Brocken von Hallstätter Kalk eingelagert sind.

Diese nahe der Nordgrenze des Hallstätter Salzstockes verlaufende Störungszone hängt offenbar mit den von A. SPENGLER (1919) festgestellten jungtertiären Salzrandstörungen zusammen.

Echte Verwerfungen im Salzgebirge sind auch aus dem Salzberg von Hall i. T. bekannt geworden. Es handelt sich auch hier um jüngere, vorwiegend steilstehende Bewegungsflächen im salzarmen Grüntongebirge, die durch die Ausbildung von Harnischen oder „Glanzschieferhaselgebirge“ gekennzeichnet sind (O. SCHMIDEGG, 1950).

## 5. Verzeichnis der Schriften über die ostalpinen Salzlagerstätten.

### 5.1. Abkürzungen häufig vorkommender Zeitschriftentitel

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Jb. Geol. R.-A. Wien       | Jahrbuch der K.K. Geologischen Reichsanstalt in Wien                |
| Verh. Geol. R.-A. Wien     | Verhandlungen der K.K. Geologischen Reichsanstalt in Wien           |
| Jb. Geol. B.-A. Wien       | Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt in Wien                     |
| Verh. Geol. B.-A. Wien     | Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt in Wien                |
| Sitz.Ber. Akad. Wiss. Wien | Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien            |
| Anz. Akad. Wiss. Wien      | Anzeiger der Akademie der Wissenschaften in Wien                    |
| D.Schr. Akad. Wiss. Wien   | Denkschriften der Akademie der Wissenschaften in Wien               |
| Mitt. Geol. Ges. Wien      | Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien                  |
| TMPM                       | Tschermaks Mineralogisch-petrographische Mitteilungen               |
| Österr. Z. Berg.Hüttenw.   | Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen               |
| Berg.Hüttenm. Jb.          | Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch                                 |
| Berg.Hüttenm. Mh.          | Berg- und Hüttenmännische Monatshefte                               |
| Z. deutsch. Geol. Ges.     | Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft                 |
| Z. Prakt. Geol.            | Zeitschrift für Praktische Geologie                                 |
| Z. Österr. Ing. Arch. Ver. | Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins |
| N. Jb. Miner. Petr.        | Neues Jahrbuch für Mineralogie und Petrographie                     |
| N. Jb. Geol. Paläont.      | Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie                       |
| Geol. Rdsch.               | Geologische Rundschau   |
| Mont. Rdsch.               | Montanistische Rundschau  |
| Unveröff. Diss.            | Unveröffentlichte Dissertation                                      |
| Unveröff. Ber.             | Unveröffentlichter Bericht  |
| Briefl. Mitt.              | Briefliche Mitteilung   |

### 5.2. Thematisch und chronologisch gegliedertes Literaturverzeichnis

| Nr.  | Editions-jahr | Verfasser                | Titel   | Zeitschrift<br>Erscheinungsort                   |
|--|---------------|--------------------------|---|--|
| <b>I. Salinar, insbesondere alpines, allgemein</b> |               |                          |   |  |
| 1  | 1802          | LEOPOLD v. BUCH          | Geognostische Übersicht des Salzkammergutes. – In: „Geognostische Beobachtungen auf Reisen in Deutschland und Italien“ (S. 135–180)                                   | Berlin   |
| 2  | 1809          | J. A. SCHULTES           | Beschreibung der Salzberge und der darin vorkommenden Fossilien. – In: Reisen durch Oberösterreich in den Jahren 1794, 1803 und 1808. II. Teil. III. Brief (S. 33–50) | Tübingen (Cotta'sche Buchhandlung)               |
| 3  | 1828          | C. LILL<br>v. LILIENBACH | Allgemeine Lagerungsbeziehungen der Steinsalzlagerstätten in den Alpen (insbes. die Salzlagerstätten von Dürrnberg und Altaussee betreffend)                          | Leonhards Jahrbuch für Mineralogie<br>S. 747–776 |

| Nr. | Editions-<br>jahr | Verfasser                 | Titel   | Zeitschrift<br>Erscheinungsort                           |
|-----|-------------------|---------------------------|---|--|
| 4   | 1850              | L. ZEUSCHNER              | Salzablagerungen in den Salzburger Alpen. –<br>In: Über die Verschiedenheit der Steinsalzablagerungen<br>in den Karpathen und in den Alpen  | Jb. Geol. R.-A., I. Bd.,<br>S. 240–241                   |
| 5   | 1851              | J. CZJZEK                 | Gipsbrüche in Niederösterreich und den angrenzenden<br>Landesteilen   | Jb. Geol. R.-A., II. Bd.                                 |
| 6   | 1853              | F. v. HAUER               | Über die Gliederung der Trias-, Lias- und Juragebilde<br>in den nordöstlichen Alpen   | Jb. Geol. R.-A., S. 714–721                              |
| 7   | 1853              | A. MILLER<br>v. HAUENFELS | Das Vorkommen des Steinsalzes in den Alpen. –<br>In: Der süddeutsche Salzbergbau usw.   | Berg. u. Hüttenm. Jb., III. Bd.,<br>I. Abschn., S. 21–29 |
| 8   | 1853              | D. STUR                   | Die geologische Beschaffenheit des Ennstales  | Jb. Geol. R.-A., IV. Bd.,<br>S. 470–474                  |
| 9   | 1938              | Generaldirektion der      | Salzvorkommen und Salzgewinnung in Österreich<br>(mit Karte)  | Wien (Verlag f. Fachliteratur)                           |
| 10  | 1938              | E. FULDA                  | Die Steinsalzvorkommen in den Alpenländern. –<br>In: BEYSLAG, KRUSCH, VOGT: Die Lagerstätten<br>der nutzbaren Mineralien und Gesteine.<br>III. Bd. 2. Teil: Steinsalz und Kalisalze | Stuttgart (Enke)<br>S. 270–299                           |
| 11  | 1938              | F. LOTZE                  | Steinsalz und Kalisalze V. Die Salzvorkommen<br>der Alpen. a) Ostalpen (Österreich – Bayern)  | Berlin (Borntraeger)<br>S. 659–668                       |
| 12  | 1950              | W. E. PETRASCHECK         | Lagerstättenlehre. Salze  | Wien (Springer), S. 237–259                              |
| 13  | 1956              | SPENGLER                  | Versuch einer Rekonstruktion des Ablagerungsraumes<br>der Decken der nördlichen Kalkalpen, II. Teil: Der Mittel-<br>abschnitt der Kalkalpen   | Jb. Geol. B.-A., S. 1–74                                 |
| 14  | 1957              | F. LOTZE                  | Die nordalpinen Salzstücke. – In: Steinsalz und Kalisalze,<br>I. Teil   | Berlin (Borntraeger)<br>1. Aufl., S. 258–287             |
| 15  | 1964              | A. TOLLMANN               | Das Permoskyth in den Ostalpen sowie Alter und Stellung<br>des Haselgebirges  | N. Jb. Geol. Paläont.<br>S. 770–299                      |
| 16  | 1967              | O. SCHAUBERGER            | Die geologische Kartierung der alpinen Salzlagerstätten<br>und ihre wirtschaftliche Bedeutung für den Salzsole-<br>bergbau  | Berg. u. Hüttenm. Mh., 112. Jg.,<br>S. 184–190           |
| 17  | 1976              | A. TOLLMANN               | Das Haselgebirge. In: Monographie der Nördlichen<br>Kalkalpen   | Wien (Deuticke)<br>S. 41–47                              |
| 18  | 1979              | O. SCHAUBERGER            | Die alpinen Salzlagerstätten  | Verh. Geol. B.-A., H. 3,<br>S. 455–459                   |
| 19  | 1979              | R. KÜHN                   | Diagenese in Evaporiten   | Geol. Rdsch., Bd. 68                                     |

## II. Alpines Salinar, mineralogisch-petrographisch

### a) Hallstatt

|    |      |                |  |  |
|----|------|----------------|--|--|
| 1  | 1853 | W. HAIDINGER   | Drei neue Lokalitäten von Pseudomorphosen nach Stein-<br>salz in den nordöstlichen Alpen                                     | Jb. Geol. R.-A., Bd. I, S. 101 ff.                 |
| 2  | 1854 | A. KENNGOTT    | Mineralogische Notizen   | Sitzber. Akad. Wiss. Wien,<br>XI. Bd, S. 383–386   |
| 3  | 1869 | G. TSCHERMAK   | Die Porphyrgesteine Österreichs  | Sitzber. Akad. Wiss. Wien                          |
| 4  | 1888 | A. AIGNER      | Analogien der alpinen Salzlagerstätten   | Osterr. Z. Berg. u. Hüttenw.<br>S. 80 ff.          |
| 5  | 1892 | A. AIGNER      | Der Salzbergbau in den österreichischen Alpen.<br>I. Abschnitt   | Berg. u. Hüttenm. Jb., 40. Bd.<br>S. 203–210       |
| 6  | 1899 | C. v. JOHN     | Über Eruptivgesteine aus dem Salzkammergut   | Jb. Geol. R.-A., 49. Bd.,<br>S. 247 ff.            |
| 7  | 1900 | H. COMMENDA    | Materialien zur Geognosie Oberösterreichs  | Jb. OÖ Mus.Ver. Linz, 58. Bd                       |
| 8  | 1901 | A. AIGNER      | Über die Polyhalite der alpinen Salzlager  | Osterr. Z. Berg. u. Hüttenw.<br>S. 686–689         |
| 9  | 1904 | H. COMMENDA    | Übersicht der Mineralien Österreichs   | Jb. Ver. f. Naturk. OÖ, 33. Bd.                    |
| 10 | 1907 | R. GÖRGEY      | Über Mineralien der alpinen Salzlager  | Mitt. Min. Ges. Wien, Nr. 33,<br>S. 6 ff.          |
| 11 | 1907 | G. TSCHERMAK   | Minerale der österreichischen Salzlagerstätten   | TMPM, 26. Bd., S. 137 ff.                          |
| 12 | 1910 | R. GÖRGEY      | Minerale alpiner Salzlagerstätten. Zur Kenntnis der<br>Minerale der Salzlagerstätten   | TMPM, 29. Bd.,<br>S. 1–6, 192–210                  |
| 13 | 1912 | R. SCHMIDT     | Über die Beschaffenheit und Entstehung parallelfaseriger,<br>Aggregate von Steinsalz   | Kali, 7. Jg., S. 161 ff.                           |
| 14 | 1912 | R. GÖRGEY      | Über das Steinsalz   | TMPM, 31. Bd., S. 664–687                          |
| 15 | 1913 | R. GÖRGEY      | Bericht über die bisherigen Untersuchungen österrei-<br>chischer Salzlagerstätten  | Anz. Akad. Wiss. Wien,<br>S. 283–285               |
| 16 | 1914 | R. GÖRGEY      | Über die alpinen Salzgesteine  | Sitzber. Akad. Wiss. Wien,<br>123. Bd., S. 931–941 |
| 17 | 1931 | A. HIMMELBAUER | Der petrographische Aufbau der österreichischen alpinen<br>Salzlagerstätten, verglichen mit dem des Staßfurter<br>Permsalzes | Sitzber. Akad. Wiss. Wien,<br>140. Bd., S. 347 ff. |

| Nr. | Editions-jahr | Verfasser                               | Titel  | Zeitschrift<br>Erscheinungsort   |
|-----|---------------|---|--|--|
| 18  | 1938          | R. KÜHN                                 | Über den Mineralgehalt der Salztone  | Schriften Min. Petr. Ver. Univ. Kiel   |
| 19  | 1951          | O. SCHAUBERGER,<br>E. RUESS             | Über die Zusammensetzung der alpinen Salztone  | Berg. u. Hüttenm. Mh.,<br>96. Jg., S. 49–70  |
| 20  | 1954<br>1958  | G. WOLETZ                               | Schwermineraluntersuchungen an Sandsteinen aus den alpinen Salzbergen  | Unveröff. Ber. der GBA Wien an die Geol. Forschungsstelle der Österreichischen Salinen |
| 21  | 1959          | R. KÜHN,<br>O. SCHAUBERGER              | Über die Entstehung des alpinen Augensalzes  | N. Jb. Geol. Paläont.,<br>S. 247–259   |
| 22  | 1961          | E. SCHRÖLL                              | Über das Vorkommen von Magnesit in den alpinen Salz-lagerstätten   | Radex-Rdsch., H. 5,<br>S. 704–707  |
| 23  | 1964          | G. PISTULKA                             | Über die Einwirkung von Gammastrahlen auf (Salz)Mineralien   | Anz. Akad. Wiss. Wien, Nr. 1,<br>S. 9–12   |
| 24  | 1964          | R. KÜHN                                 | Vorkommen und Verteilung des Broms in Salzlagerstätten Mittel- und Westeuropas und Nordamerikas              | Wiss. Mitt. Kalifornsch.-Inst.<br>Hannover, Nr. 1                                      |
| 25  | 1970          | M. SCHLATTI, K. SOHL,<br>A. & J. ZEMANN | Die Kristallstruktur des Polyhalits  | TMPM, S. 75–86   |
| 26  | 1972          | R. KÜHN                                 | Zur Kenntnis der Rubidium-Gehalte von Kalisalzen ozeanischer Salzlagerstätten                                | Geol. Jb. Hannover, 90. Bd.,<br>S. 127–220   |
| 27  | 1973          | E. USDOWSKI                             | Das geochemische Verhalten des Strontiums bei der Genese und Diagenese von Ca-Karbonat- und Sulfat-Mineralen | Contr. Miner. Petr., 38. Jg.,<br>S. 177–195  |
| 28  | 1975          | Ch. GLÜCK                               | Über die Tonminerale des Haselgebirges   | Unveröff. Hausarb.<br>Miner. Petr. Inst. Univ. Salzburg                                |
| 29  | 1976          | S. RUSCHA                               | Die Strontiumgehalte der Anhydrite und Gipse aus dem Salinar der Hallstätter Zone                            | Unveröff. Hausarb.<br>Miner. Petr. Inst. Univ. Salzburg                                |
| 30  | 1976          | F. KIRCHHEIMER                          | Blaues Steinsalz und sein Vorkommen im Neckar- und Oberrheingebiet und in den alpinen Salzlagerstätten       | Geol. Jb. Geol. Landesanst.,<br>Reihe D, Heft 18                                       |
| 31  | 1981          | M. NEUMAYER-SCHINDL                     | Gefügestudien in alpinen Salzlagerstätten  | Diss. Univ. Innsbruck  |

#### b) Hallstatt

|    |              |                                 |   |  |
|----|--------------|---------------------------------|---|--|
| 1  | 1869         | H. WIESER                       | Analyse des Kieserits von Hallstatt   | Verh. Geol. R.-A. Wien,<br>S. 130–131                    |
| 2  | 1869         | G. TSCHERMAK                    | Über den Simonyit, ein neues Salz von Hallstatt   | Sitzber. Akad. Wiss. Wien,<br>IX. Band, S. 718–724       |
| 3  | 1871         | A. SIMONY                       | Mineralvorkommnisse des Hallstätter Salzlagers  | TMPM, H. 1, S. 58–60                                     |
| 4  | 1871         | G. TSCHERMAK                    | Beitrag zur Kenntnis der Salzlager (Kieserit aus Hallstatt)   | Sitzber. Akad. Wiss. Wien,<br>LXII. Bd., S. 314–324      |
| 5  | 1879         | F. v. HAUER                     | Der Melaphyr vom Hallstätter Salzberg   | Verh. Geol. R.-A. Wien,<br>S. 252 ff.                    |
| 6  | 1884         | C. v. JOHN                      | Über den Melaphyr von Hallstatt etc.  | Verh. Geol. R.-A. Wien,<br>S. 76 ff.                     |
| 7  | 1900         | R. KÖCHLIN                      | Über Simonyit- und Glauberit-Kristalle von Hallstatt  | Ann. Naturhist. Hofmus. Wien,<br>XV. Bd, S. 135–152      |
| 8  | 1907         | K. STRANETZKY                   | Die optischen Eigenschaften des Simonyits von Hallstatt   | TMPM, 26. Bd., S. 143–144                                |
| 9  | 1907         | H. GERHART                      | Über den Melaphyr von Hallstatt   | TMPM, 26. Bd., S. 253                                    |
| 10 | 1907         | F. CORNU                        | Über den färbenden Bestandteil des grünen Salzes (Atakamit) von Hallstatt                                   | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw.,<br>S. 571                  |
| 11 | 1909         | H. LECHLEITNER                  | Glauberit von Hallstatt. – In: Mineralogische Neuigkeiten aus Oberösterreich                                | Jahresber. Mus. Linz, 67. Bd.,<br>S. 4                   |
| 12 | 1910         | C. v. JOHN                      | Analyse eines Simonyits aus dem Salzbergwerk in Hallstatt   | Jb. Geol. R.-A., 60. Bd.,<br>S. 749                      |
| 13 | 1931         | O. SCHAUBERGER                  | Mineral- und Gesteinsbestand des Hallstätter Salzlagers. – In: Die Fließstrukturen im Hallstätter Salzlager | Berg. u. Hüttenm. Jb., 79. Bd.,<br>S. 27–38              |
| 14 | 1948         | E. J. ZIRKL                     | Der Melaphyr von Hallstatt  | TMPM, 67. Bd., S. 122–124                                |
| 15 | 1949         | E. J. ZIRKL                     | Epsomit-Kristalle aus dem Hallstätter Salzberg  | TMPM, 67. Bd., S. 85–187                                 |
| 16 | 1949         | E. J. ZIRKL                     | Die Melaphyr-Eruption im Hallstätter Salzberg   | Berg. u. Hüttenm. Mh., 94. Jg.,<br>S. 62–65              |
| 17 | 1950         | E. J. ZIRKL                     | Atakamit, Bittersalzausblühungen und Dolomit aus Hallstatt. – In: Beitrag zur Mineralogie Österreichs       | TMPM, 2. Folge H. 1                                      |
| 18 | 1953         | H. MAYRHOFER,<br>O. SCHAUBERGER | Pseudomorphosen von Talk nach Steinsalz als stratigraphisches Leitmineral im Hallstätter Salzberg           | Berg. u. Hüttenm. Mh., 98. Jg.,<br>S. 111–115            |
| 19 | 1954         | H. MAYRHOFER                    | Bericht über optische Untersuchungen an Mineralien aus dem Hallstätter Salzberg                             | Arch. Geol. Forsch.stelle Österr.<br>Salinen             |
| 20 | 1957         | E. J. ZIRKL<br>O. SCHAUBERGER   | Der Melaphyr von Hallstatt  | Jb. Geol. B.-A., 100. Bd.,<br>S. 37–178                  |
| 21 | 1958<br>1959 | R. KÜHN                         | Untersuchung von Salzmineralien aus Hallstatt   | Briefl. Mitt. an Geol. Forsch.<br>stelle Österr. Salinen |

| Nr.                         | Editions-<br>Jahr | Verfasser       | Titel   | Zeitschrift<br>Erscheinungsort                            |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|---|---|
| 22                          | 1965              | P. REINOLD      | Beitrag zur Geochemie der ostalpinen Salzlagerstätten (in der Hauptsache Hallstatt betreffend)          | TMPM, 10. Bd., S. 505–526                                 |
| 23                          | 1965              | P. REINOLD      | Über das Vorkommen von Chlorit im alpinen Salinar (Untersuchung eines tuffitischen Tones von Hallstatt) | TMPM, 9. Bd., H. 3  |
| 24                          | 1971              | M. W. BODINE    | Alteration of Basic Volcanic Rocks by Marine Hypersaline Hypersaline Brines, Hallstatt, Upper Austria   | Ann. Meet. Geo-Societies of America, Vol. 3, Nr. 7        |
| <b>c) Ischl</b>             |                   |                 |   |   |
| 1                           | 1846              | W. HAIDINGER    | Über Löweit, einer neuen Species aus der Ordnung der Salze (im Salzberg Ischl)                          | Abh. K. Böhm. Ges. Wiss. Prag, IV. Bd., 5. Folge          |
| 2                           | 1853              | C. v. HAUER     | Cölestin aus Ischl (Analyse)  | Jb. Geol. R.-A., I. Bd., S. 240–241                       |
| 3                           | 1877              | G. TSCHERMAK    | Simonyit von Ischl (Notiz)  | Miner. Mitt. im Jb. Geol. R.-A.                           |
| 4                           | 1878              | A. AIGNER       | Über das Vorkommen von Schwefelkies im Ischler Salzberg   | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., S. 270 ff.                  |
| 5                           | 1899              | C. v. JOHN      | Eruptivgestein vom Steinberg bei Ischl. – In: Über Eruptivgesteine aus dem Salzkammergut                | Jb. Geol. R.-A., 49. Bd., S. 247                          |
| 6                           | 1949              | E. J. ZIRKL     | Krokydolith aus der Ischler Salzlagerstätte. – In: Beiträge zur Mineralogie Österreichs                 | Z. deutsch. Geol. Ges., Bd. 105, S. 752–775               |
| 8                           | 1953              | H. MAYRHOFER    | Görgeyit, ein neues Mineral aus der Ischler Salzlagerstätte   | N. Jb. Min., Stuttgart, S. 35–44                          |
| 9                           | 1955              | H. MAYRHOFER    | Über ein Langbeinit- und Kainit-Vorkommen im Ischler Salzberg   | Der Karinthin, Folge 30, S. 94–98                         |
| 10                          | 1955              | W. J. SCHMIDT   | Untersuchungen an dem Laist (Rückstandston) des Ischler Salzbergwerkes                                  | Jb. o.ö. Mus. Ver., Linz, 100. Bd., S. 363–371            |
| 11                          | 1960              | O. SCHAUBERGER  | Melaphyr, Tuffit und Krokydolith im Ischler Salzberg  | Anz. Akad. Wiss. Wien, mathem. naturwiss. Kl., S. 133–136 |
| 12                          | 1960              | G. LICHTENEGGER | Das Gyps- und Anhydritvorkommen im Erbstollen des Ischler Salzberges                                    | Dipl. Arb. Montanuniv. Leoben                             |
| 13                          | 1961              | E. SCHROLL      | Über das Vorkommen von Magnesit in alpinen Salzlagerstätten (Salzberg Ischl)                            | Radex Rdsch., H. 5  |
| <b>d) Altaussee</b>         |                   |                 |   |   |
| 1                           | 1892              | C. v. JOHN      | Über die Zusammensetzung verschiedener Salze von Kalusz und Altaussee                                   | Jb. Geol. R.-A., S. 341                                   |
| 2                           | 1947              | W. PETRASCHECK  | Bitumen und Erdgas im Haselgebirge des alpinen Salzbergbaues  | Berg. u. Hüttenm. Mh., 92. Jg., H. 5                      |
| 3                           | 1952              | H. MEIXNER      | Cölestin aus dem Salzbergbau Altaussee  | Carinthia II, 62. Jg., 1. H., S. 36–37                    |
| <b>e) Dürrnberg/Hallein</b> |                   |                 |   |   |
| 1                           | 1878              | E. FUGGER       | Die Mineralien des Herzogtums Salzburg  |   |
| 2                           | 1900              | R. KÖCHLIN      | Über Glauberit vom Dürrnberg  | Ann. Naturhist. Hofmus. Wien., Bd. XIV, S. 149            |
| <b>e) Berchtesgaden</b>     |                   |                 |   |   |
| 1                           | 1868              | J. B. SCHOBER   | Über den Polyhalit von Berchtesgaden  | München   |
| 2                           | 1912              | F. MAYER        | Geologisch-mineralogische Studien aus dem Berchtesgadener Land  | Geograph. Jb., München, 25. Jg.                           |
| 3                           | 1951              | G. WESTNER      | Ein Beitrag zur Kenntnis der Salzlagerstätte Berchtesgaden  | Diss. Univ. München                                       |
| <b>f) Hall in Tirol</b>     |                   |                 |   |   |
| 1                           | 1855              | G. TSCHERMAK    | Über Salze von Hall i. Tirol  | Jb. Geol. R.-A.   |
| 2                           | 1874              | A. SCHMIDT      | Über die Beschaffenheit und den bisherigen Aufschluß der Salzlagerstätte von Hall i. Tirol              | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., S. 103 ff.                  |
| 3                           | 1881              | A. HEPFNER      | Das Vorkommen des Breunerits in der Salzgrube von Hall  | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., S. 330 ff.                  |
| 4                           | 1888              | A. FOUILLON     | Mineralogische und petrographische Notizen  | Jb. Geol. R.-A., S. 1–33                                  |
| 5                           | 1890              | A. AIGNER       | Das Vorkommen von Magnesit im Gips von Hall   | Chem. Zeitung, S. 364                                     |
| 6                           | 1900              | W. HAMMER       | Neue Vorkommen von Anhydrit in Tirol  | Z. Mus. Ferdinandeum, Innsbruck                           |
| 7                           | 1909              | R. GÖRGEY       | Salzvorkommen aus Hall i. Tirol   | TMPM, S. 334–346  |
| 8                           | 1914              | M. SIMON        | Über Soda-Effloreszenzen im Haller Salzberg und ihre Genese   | N. Jb. Miner. Petr., Bd. I, S. 1–14                       |
| 9                           | 1926              | A. HIMMELBAUER  | Der Haller Salzbergbau  | Mitt. Miner. Ges. Wien, S. 81–91                          |
| 10                          | 1932              | W. PETRASCHECK  | Die Magnesite und Siderite der Alpen  | Sitzber. Akad. Wiss. Wien, S. 223                         |

| Nr. | Editions-jahr | Verfasser                     | Titel  | Zeitschrift<br>Erscheinungsort                                    |
|-----|---------------|-------------------------------|--|---|
| 11  | 1935          | O. SCHAUBERGER                | Über das Vorkommen eines lichtempfindlichen gelben Steinsalzes im Haller Salzberg                                | Berg. u. Hüttenm. Jb.,<br>Heft 3/4                                |
| 12  | 1935          | K. PRZIBRAM<br>O. SCHAUBERGER | Über das gelbe Steinsalz von Hall i. Tirol   | Anz. Akad. Wiss. Wien,<br>Nr. 27                                  |
| 13  | 1954          | H. LEITMEIER                  | Der Magnesit von Hall i. Tirol. – In: Untersuchungen an Magnesiten am Nordrand der Grauwackenzone Salzburgs usw. | Berg. u. Hüttenm. Mh., 99. Jg.,<br>S. 204–207                     |
| 14  | 1958          | R. KÜHN                       | Ergebnisse der Untersuchungen von Salzproben aus dem Werk Utzschneider des Haller Salzberges                     | Briefl. Mitt. v. 7. 12. an Geol.<br>Forsch.stelle Österr. Salinen |

## II. Alpines Salinar, geologisch-paläontologisch

### a) allgemein

|    |      |   |  |  |
|----|------|---|--|--|
| 1  | 1850 | R. ZEUSCHNER                                    | Entstehung der Steinsalzablagerungen in den Karpathen und in den Alpen   | Jb. Geol. R.-A., I. Bd.,<br>S. 240–241                               |
| 2  | 1869 | E. v. MOJSISOVICS                               | Bericht über die 1868 ausgeführten Untersuchungen der alpinen Salzlagerstätten   | Jb. Geol. R.-A., XIX. Bd.,<br>S. 151–173<br>Verh. Geol. R.-A., S. 37 |
| 3  | 1888 | A. AIGNER                                       | Analogien der alpinen Salzlagerstätten   | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw.,<br>S. 80–83, 97–101                    |
| 4  | 1892 | A. AIGNER                                       | Der Salzbergbau in den österreichischen Alpen  | Berg. u. Hüttenm. Jb., 40. Bd.,<br>S. 203–280                        |
| 5  | 1898 | A. AIGNER                                       | Die Salzberge der Alpen am Ende des XIX. Jahrhunderts  | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw.,<br>46. Bd., S. 70–73                   |
| 6  | 1901 | A. AIGNER                                       | Die Salzlagerstätten der Alpen (Vortrag)   | Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark,<br>S. 135–152                      |
| 7  | 1903 | E. KITTL  | Exkursionsführer zum IX. Internationalen Geologenkongreß   | Geol. R.-A., Wien  |
| 8  | 1905 | E. v. MOJSISOVICS                               | Erläuterungen zur Geologischen Karte, Blatt Ischl – Hallstatt  | Geol. R.-A., Wien  |
| 9  | 1909 | O. BUSCHMANN                                    | Das Salz   | Leipzig  |
| 10 | 1910 | R. LACHMANN                                     | Studien über den Bau von Salzmassen  | Kali, II. Jg.,<br>Nr. 8, 9, 22, 23, 24                               |
| 11 | 1911 | R. GÖRGEY                                       | Die Entwicklung der Lehre von den Salzlagerstätten (mit Literaturverzeichnis)  | Geol. Rdsch., S. 278 ff.   |
| 12 | 1913 | R. LACHMANN                                     | Analogien zwischen alpiner und salinärer Tektonik  | Mitt. Geol. Ges. Wien, VI. Bd.,<br>S. 181–184                        |
| 13 | 1919 | H. HÖFER-HEIMHALT                               | Allgemeine Geologie der Salzlagerstätten   | Berg. u. Hüttenm. Jb., 67. Bd.,<br>S. 219–274                        |
| 14 | 1926 | C. SCHRAML                                      | Die Tiefenaufschlüsse der österreichischen Salzberge   | Z. Österr. Ing. Arch. Ver.,<br>78. Bd., S. 263–256                   |
| 15 | 1927 | E. SEIDL  | Die Salzstöcke des deutschen (germanischen) und des Alpen Permgebietes usw.  | Kali, 21. Jg., S. 34 ff.   |
| 16 | 1927 | E. SEIDL  | Haselgebirge und verwandte Gesteins- und Metallgebilde   | Z. deutsch. Geol. Ges., S. 109 ff.                                   |
| 17 | 1928 | E. SPENGLER                                     | Bemerkungen zur Arbeit Seidls über die Salzstöcke des Alpen-Permsalzgebietes   | Z. Kali u. verw. Salze u. Erdöl,<br>S. 85–89                         |
| 18 | 1928 | O. AMPFERER                                     | Über die Einfügung der Salzstöcke in den Bau der Nordalpen   | Kali, 22. Jg., S. 58 ff.   |
| 19 | 1928 | E. SEIDL  | Die Bedeutung des permischen Salzlagers für die Geologie der Nordalpen   | Kali, 22. Jg., S. 277 ff.  |
| 20 | 1938 | E. FULDA  | Die deutschen Salzlagerstätten in den Alpen  | Kali, 32. Jg.,<br>S. 182–184, 195–196                                |
| 21 | 1949 | O. SCHAUBERGER                                  | Die stratigraphische Aufgliederung des alpinen Salzgebirges  | Berg. u. Hüttenm. Jb., 94. Jg.,<br>S. 46                             |
| 22 | 1949 | W. MEDWENITSCH                                  | Die Geologie der Hallstätter Zone von Ischl – Aussee   | Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.<br>Wien, 1. Jg.                        |
| 23 | 1949 | W. MEDWENITSCH                                  | Der geologische Aufbau des Salzkammergutes im Raum Ischl – Hallstatt – Altaussee   | Berg. u. Hüttenm. Mh., 94. Jg.,<br>H. 3                              |
| 24 | 1950 | O. SCHAUBERGER                                  | Gebirgsdruckerscheinungen im alpinen Haselgebirge  | Int. Gebirgsdrucktagung Leoben,<br>S. 138–140                        |
| 25 | 1951 | W. MEDWENITSCH                                  | Probleme der alpinen Salzlagerstätten  | Montan-Zeitg., 67. Jg., H. 5   |
| 26 | 1951 | J. SCHADLER<br>W. MEDWENITSCH<br>O. SCHAUBERGER | Das Salzkammergut. – In: Geologischer Führer zu den Exkursionen anlässlich des 100-jährigen Bestandes der Geologischen Bundesanstalt | Verh. Geol. B.-A., Sh. A,<br>S. 49–63                                |
| 27 | 1953 | W. KLAUS  | Mikrosporen-Stratigraphie der ostalpinen Salzberge   | Verh. Geol. B.-A. Wien,<br>S. 161–175                                |
| 29 | 1953 | W. KLAUS  | Alpine Salz-Mikropaläontologie (Sporendiagnose)  | Paläont. Z., Stuttgart   |
| 30 | 1955 | W. KLAUS  | Alpine Salz-Sporendiagnose   | Z. deutsch. Geol. Ges., Bd. 105                                      |
| 31 | 1955 | O. SCHAUBERGER                                  | Zur Genese des alpinen Haselgebirges   | Z. deutsch. Geol. Ges., Bd. 105,<br>Hannover, S. 736–751             |

| Nr. | Editions-jahr | Verfasser           | Titel  | Zeitschrift<br>Erscheinungsort                          |
|-----|---------------|---------------------|--|---|
| 32  | 1955          | W. MEDWENITSCH      | Geologie und Tektonik der alpinen Salzlagerstätten   | Mitt. Naturwiss. Arbeitsgem. Haus d. Natur, Salzburg    |
| 33  | 1956          | O. SCHAUBERGER      | Über die Gliederung und Entstehung des alpinen Haselgebirges                               | Mitt. Naturwiss. Arbeitsgem. Haus d. Natur, Salzburg    |
| 34  | 1957          | O. SCHAUBERGER      | Über Bau und Bildung der alpinen Salzlagerstätten (Vortragsreferat)                        | Z. deutsch. geol. Ges., Bd. 109, S. 656–657             |
| 35  | 1963          | W. MEDWENITSCH      | Probleme der alpinen Salzlagerstätten  | Z. deutsch. Geol. Ges., Bd. 115, S. 863–866             |
| 36  | 1974          | E. PAK              | Schwefelisotopen-Untersuchungen I am Institut für Radiumforschung und Kernphysik in Wien   | Anz. Akad. Wiss. Wien, mathem. naturwiss. Kl., Nr. 10   |
| 37  | 1974          | W. KLAUS            | Neue Beiträge zur Datierung von Evaporiten des Oberperm                                    | Carinthia II, 164/89. Jg., Klagenfurt, S. 74–85         |
| 38  | 1978          | E. PAK              | Schwefelisotopen-Untersuchungen II am Institut für Radiumforschung und Kernphysik in Wien  | Anz. Akad. Wiss. Wien, mathem. naturwiss. Kl., Nr. 1    |
| 39  | 1981          | E. PAK              | Schwefelisotopen-Untersuchungen III am Institut für Radiumforschung und Kernphysik in Wien | Anz. Akad. Wiss. Wien, mathem. naturwiss. Kl., Nr. 9    |
| 40  | 1981          | E. PAK              | Die geologische Datierung der ostalpinen Salzlagerstätten mittels Schwefelisotopen         | Verh. Geol. B.-A. Wien, H. 2, S. 185–192                |
| 41  | 1984          | M. SCHINDL-NEUMAYER | Gefügekundliche Studien in alpinen Salzlagern  | Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., Bd. 5, S. 135–156 |

#### b) Hallstatt

|    |      |                                  |  |   |
|----|------|----------------------------------|--|---|
| 1  | 1869 | A. HORINEK                       | Petrefakte aus dem Salzbergbau Hallstatt   | Verh. Geol. R.-A. Wien, Nr. 1, S. 13                  |
| 2  | 1869 | E. v. MOJSISOVICS                | Notizen über den Hallstätter Salzberg  | Verh. Geol. R.-A. Wien, Nr. 1, S. 298–299             |
| 3  | 1870 | A. HORINEK                       | Über die im Kaiser Franz Josef-Stollen zu Hallstatt gemachten Gebirgsaufschlüsse   | Verh. Geol. R.-A. Wien, S. 76–79                      |
| 4  | 1871 | A. HORINEK                       | Über den gegenwärtigen Stand der neuen Aufschlußarbeiten im Hallstätter Salzberg   | Verh. Geol. R.-A. Wien                                |
| 5  | 1873 | A. R. SCHMIDT                    | Über den Aufschluß des Salzberges zu Hallstatt   | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., S. 81–82                |
| 6  | 1918 | E. SPENGLER                      | Die Gebirgsgruppen des Plassen und des Hallstätter Salzberges  | Jb. Geol. R.-A., 68. Bd., S. 285–492                  |
| 7  | 1927 | O. KÜHNE                         | Über Korallen aus dem Hallstätter Salzberg   | Verh. Geol. B.-A., S. 110–111                         |
| 8  | 1929 | L. KOBER                         | Der Hallstätter Salzberg   | Sitzber. Akad. Wiss. Wien, 138. Bd., Abt. I, S. 35–45 |
| 9  | 1929 | E. SPENGLER                      | Bemerkungen zu Kober: Der Hallstätter Salzberg   | Verh. Geol. B.-A., S. 36 ff.                          |
| 10 | 1931 | O. SCHAUBERGER                   | Die Fließstrukturen im Hallstätter Salzlager   | Berg. u. Hüttenm. Jb., 70. Bd., S. 27–38, 57          |
| 11 | 1950 | L. KOBER                         | Der Hallstätter Salzberg und der Hallstätter Erbstollen  | Berg. u. Hüttenm. Mh., 95. Jg., S. 166–171            |
| 12 | 1951 | O. SCHAUBERGER<br>W. MEDWENITSCH | Hallstätter Erbstollen (Salzberg Hallstatt). – In: Geologischer Führer zu den Exkursionen anlässlich der Hundertjahrfeier der Geologischen Bundesanstalt | Verh. Geol. B.-A., Sh. A, S. 51–63                    |
| 13 | 1952 | H. HEISSL                        | Zur Altersfrage des Hallstätter Salzberges. – In: Über Baufragen der Salzburger Kalkalpen  | Verh. Geol. B.-A., H. 4, S. 227 ff.                   |
| 14 | 1954 | O. SCHAUBERGER                   | Das Haselgebirge des Hallstätter Salzberges. – In: Erläuterungen zur geologischen Karte der Dachsteingruppe  | Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, Nr. 15, S. 75–76 |
| 15 | 1956 | O. SCHAUBERGER                   | Über die Gliederung und Entstehung des alpinen Haselgebirges (mit besonderem Bezug auf Hallstatt)  | Mitt. Naturwiss. Arbeitsgem. Haus d. Natur Salzburg   |
| 16 | 1973 | K. H. WIROBAL                    | Untersuchung über Streckendeformationen im Salzbergbau Hallstatt   | Dipl. Arb. Montanuniv. Leoben                         |

#### c) Ischl

|   |      |                   |   |  |
|---|------|-------------------|---|--|
| 1 | 1868 | E. v. MOJSISOVICS | Der Salzberg Ischl und Umgebungen desselben   | Verh. Geol. R.-A., S. 298 ff.                            |
| 2 | 1874 | A. AIGNER         | Der Salzberg von Ischl und sein Verhältnis zum eingeleiteten Tiefbau                          | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., Nr. 52                     |
| 3 | 1883 | A. AIGNER         | Über das Lagerungsverhältnis des Salzberges von Ischl   | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., S. 354 ff.                 |
| 4 | 1904 | A. AIGNER         | Über den Kaiser Franz Josef-Erbstollen in Ischl   | Mitt. Naturwiss. Ver. Steierm.                           |
| 5 | 1948 | J. SCHADLER       | Geologische Neuaufnahme im Gebiet des Ischler Salzberges                                      | Unveröff. Ber. an Geol. Forschungsstelle Österr. Salinen |
| 6 | 1949 | J. SCHADLER       | Die Ergebnisse der geologischen Neukartierung im Gebiet des Ischler und Altausseer Salzberges | Berg. u. Hüttenm. Mh., 94. Jg., S. 56–60                 |

| Nr.                                 | Editions-<br>jahr | Verfasser   | Titel   | Zeitschrift<br>Erscheinungsort                         |
|-------------------------------------|-------------------|---|---|--|
| 7                                   | 1951              | W. MEDWENITSCH                                    | Lauffener Erbstollen des Ischler Salzberges. –<br>In: Geologischer Führer zu den Exkursionen anlässlich<br>der Hundertjahrfeier der Geologische Bundesanstalt | Verh. Geol. B.-A., Sh. A.,<br>S. 55–56                 |
| 8                                   | 1955              | H. MAYERHOFER                                     | Beiträge zur Kenntnis des alpinen Salzgebirges<br>(von Bad Ischl) usw.  | Z. deutsch. Geol. Ges., Bd. 105,<br>S. 752–775         |
| 9                                   | 1958              | W. MEDWENITSCH                                    | Die Geologie der Salzlagerstätten von Bad Ischl<br>und Hallstatt  | Mitt. Geol. Ges. Wien, 50. Bd.,<br>S. 133–168          |
| <b>d) Altaussee</b>                 |                   |   |   |  |
| 1                                   | 1868              | E. v. MOJSISOVICS                                 | Die Trias von Aussee  | Verh. Geol. R.-A.                                      |
| 2                                   | 1871              | A. AIGNER   | Petrefakten aus dem Aussee Salzberg   | Verh. Geol. R.-A., S. 43                               |
| 3                                   | 1874              | A. AIGNER   | Der Ausseer Salzberg  | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw.,<br>Nr. 7                 |
| 4                                   | 1949              | . SCHADLER  | Die Ergebnisse der geologischen Neukartierung<br>im Gebiet des Ischler und Altausseer Salzberges  | Berg. u. Hüttenm. Mh., 94. Jg.,<br>S. 56–60            |
| 5                                   | 1958              | W. MEDWENITSCH                                    | Die Geologie der Salzlagerstätten Bad Ischl<br>und Altaussee  | Mitt. Geol. Ges. Wien, 50. Bd.,<br>S. 133–168          |
| 6                                   | 1958              | O. SCHAUBERGER                                    | Die Geologie der alpinen Salzlagerstätten im allgemeinen<br>und des Altausseer Salzberges im besonderen   | Mont. Rdsch.   |
| 7                                   | 1960              | K. THOMANEK                                       | Die Bedeutung des Erbstollens und der<br>neuen Betriebsanlage für den Altausseer Salzberg   | Berg. u. Hüttenm. Mh., 105. Jg.,<br>H. 5               |
| <b>e) Dürrnberg/Hallein</b>         |                   |   |   |  |
| 1                                   | 1854              | M. v. LIPOLD                                      | Der Salzberg am Dürrnberg nächst Hallein  | Jb. Geol. R.-A., S. 590–610                            |
| 2                                   | 1872              | A. R. SCHMIDT                                     | Über das Salzlagerungsverhältnis am Dürrnberg<br>bei Hallein  | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw.,<br>S. 323 ff.            |
| 3                                   | 1898              | M. SCHLOSSER                                      | Das Triasgebiet von Hallein   | Z. deutsch. Geol. Ges., 50. Bd.                        |
| 4                                   | 1903              | E. FUGGER   | Geologische Spezialkarte, Blatt Hallein – Berchtesgaden   | Geol. R.-A., Wien                                      |
| 5                                   | 1907              | E. FUGGER   | Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte,<br>Blatt Hallein – Berchtesgaden   | Geol. R.-A., Wien                                      |
| 6                                   | 1912              | A. AIGNER   | Die Salzberge von Hallein und Berchtesgaden   | Mont. Rdsch., S. 697, 748                              |
| 7                                   | 1935              | O. SCHAUBERGER                                    | Bericht über die Ergebnisse der 2. Tiefbohrung<br>im Halleiner Salzberg   | Unveröff. Ber.<br>(Salinenhauptbibliothek)             |
| 8                                   | 1936              | O. AMPFERER                                       | Die geologische Bedeutung der Halleiner Tiefbohrung   | Jb. Geol. B.-A., 86. Bd.,<br>S. 89–114                 |
| 9                                   | 1947              | W. E. PETRASCHECK                                 | Der tektonische Bau des Hallein-Dürrnberger Salzberges  | Jb. Geol. B.-A., 90. Bd.,<br>S. 3–19                   |
| 10                                  | 1949              | W. E. PETRASCHECK                                 | Die geologische Stellung der Salzlagerstätte von Hallein  | Berg- u. Hüttenm. Mh., 94. Bd.,<br>S. 60–65            |
| 11                                  | 1949              | W. MEDWENITSCH                                    | Ein Fossilfund im Halleiner Salzberg  | Berg. u. Hüttenm. Mh., 94. Bd.,<br>S. 65–66            |
| 12                                  | 1954              | B. PLÖCHINGER                                     | Die Halleiner Hallstätterzone mit ihrem Salzberge.<br>Bericht über die Kartierungsergebnisse  | Unveröff. Ber. an Gen.dion.<br>Österr. Salinen AG      |
| 13                                  | 1958              | O. SCHAUBERGER                                    | Die Salzlagerstätte Dürrnberg/Hallein.<br>Exkursionsführer zur Mineralogentagung  | Leoben   |
| 14                                  | 1958              | O. SCHAUBERGER<br>B. PLÖCHINGER<br>W. MEDWENITSCH | Die Hallstätterzone im Bereich des Halleiner Salzberges.<br>Exkursionsführer zur Tagung<br>der Geologischen Gesellschaft Wien                                 | Wien   |
| 15                                  | 1960              | W. MEDWENITSCH                                    | Zur Geologie des Halleiner Salzberges. Die Profile<br>des Jakobberg- und Wolfdietrichstollens   | Mitt. Geol. Ges. Wien, Bd. 51,<br>S. 197–218           |
| 16                                  | 1961              | W. MEDWENITSCH                                    | Die Bedeutung der Grubenaufschlüsse des Halleiner<br>Salzberges für die Geologie des Ostrandes<br>der Berchtesgadener Schubmasse                              | Z. deutsch. Geol. Ges., 113. Bd.,<br>S. 463–494        |
| 17                                  | 1963              | W. MEDWENITSCH                                    | Halleiner Salzberg. In: Exkursionsführer für das<br>8. Europäische Mikropaläontologische Kolloquium<br>in Österreich  | Geol. B.-A., Wien,<br>S. 67–81                         |
| 18                                  | 1971              | W. DEL-NEGRO                                      | Zur Deckennatur des Hallstätter Bereiches am Dürrnberg  | Ber. a. d. Haus d. Natur<br>Salzburg, Abt. B 2, S. 3–6 |
| 19                                  | 1983              | W. DEL-NEGRO                                      | Geologie des Landes Salzburg  | Schriftenreihe<br>d. Landespressebüros, Nr. 45         |
| <b>f) Berchtesgaden/Reichenhall</b> |                   |   |   |  |
| 1                                   | 1861              | C. W. v. GÜMBEL                                   | Geognostische Beschreibung des bayerischen<br>Alpengebirges   | Verlag Perthes, Gotha                                  |
| 2                                   | 1894              | C. W. v. GÜMBEL                                   | Geologie von Bayern, 1. und 2. Band   | Theod. Fischer-Verlag, Kassel                          |
| 3                                   | 1898              | E. BÖSE   | Das Berchtesgadener Einbruchgebiet und der Salzberg<br>Berchtesgaden. – In: Die Berchtesgadener Trias   | Z. deutsch. Geol. Ges.,<br>S. 500–508                  |

| Nr. | Editions-jahr | Verfasser                  | Titel  | Zeitschrift<br>Erscheinungsort                              |
|-----|---------------|----------------------------|--|---|
| 4   | 1903          | E. KOHLER                  | Über die sogenannten Steinsalzzüge des Salzstockes von Berchtesgaden   | Geognost. Jahreshefte, München                              |
| 5   | 1911          | C. LEBLING                 | Geologische Beschreibung des Lattengebirges im Berchtesgadener Land  | Geognost. Jahreshefte, München                              |
| 6   | 1914          | G. GILLITZER               | Geologie der alpinen Salzlager im Berchtesgadener Gebiet mit besonderer Berücksichtigung der Reichenhaller Solequellen | Z. Preuß. Geol. L.-A., 30. Jg., S. 1–6                      |
| 7   | 1922          | F. BEYSLAG                 | Der Salzstock von Berchtesgaden als Typus alpiner Salzstöcke, verglichen mit norddeutschen Salzhorsten                 | Z. Preuß. Geol. L.-A., 30. Jg. S. 1–6                       |
| 8   | 1929          | J. KÜHNEL                  | Geologie des Berchtesgadener Salzberges  | N. Jb. Geol. Paläont., VVI. Bei-lage-Bd. Abt. B, S. 447–559 |
| 9   | 1950          | O. GANSS                   | Exkursion in die Berchtesgadener Alpen   | Z. deutsch. Geol. Ges., Bd. 102, S. 353–366                 |
| 10  | 1951          | G. WESTNER                 | Ein Beitrag zur Kenntnis der Salzlagerstätte Berchtesgaden   | Diss. Univ. München   |
| 11  | 1963          | W. MEDWENITSCH             | Zur Geologie des Halleiner und Berchtesgadener Salzberges  | Mitt. Naturwiss. Arbeitsgem. Haus d. Natur Salzburg         |
| 12  | 1963          | H. PICHLER                 | Geologische Untersuchungen im Gebiet zwischen Roßfeld und Markt Schellenberg im Berchtesgadener Land                   | Jb. deutsch. B.-A. Bodenforsch. Hannover, H. 48, S. 129–195 |
| 13  | 1976          | H. ZANKL<br>O. SCHAUBERGER | Die geologischen Ergebnisse der Salzbohrungen im Talbecken von Reichenhall   | Geol. Rdsch., Bd. 65, S. 558–579                            |
| 14  | 1982          | P. AMBATELLO               | Die Salzlagerstätte von Berchtesgaden  | Glück auf, 118. Bd., Nr. 23                                 |

#### g) Hall in Tirol

|    |              |                |  |   |
|----|--------------|----------------|--|---|
| 1  | 1841         | M. KOPF        | Der Haller Salzberg im Jahre 1814  | Karstens u. V. Deckens Archiv, Bd. XV, Nr. 2                |
| 2  | 1855         | G. PRINZINGER  | Geologische Notizen aus der Umgebung des Salzberges zu Hall i. Tirol   | Jb. Geol. R.-A., Band VI,                                   |
| 3  | 1861<br>1862 | A. RICHTER     | Pflanzenabdrücke im Salzton von Hall i. T.   | Verh. Geol. R.-A., S. 194, 291                              |
| 4  | 1871         | M. NEUMAYR     | Vom Haller Salzberg  | Verh. Geol. R.-A., S. 306                                   |
| 5  | 1873         | R. HEPPNER     | Beschreibung des Haller Salzberges   | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., S. 390 ff.                    |
| 6  | 1874         | A. R. SCHMIDT  | Über die bisherigen Aufschlüsse der Salzlagerstätte Hall i. Tirol  | Z. Berg. u. Hüttenm. Ver., Klagenfurt                       |
| 7  | 1898         | O. AMPFERER    | Geologische Beschreibung des südlichen Teiles des Karwendelgebirges  | Jb. Geol. R.-A., S. 289–374                                 |
| 8  | 1899         | H. HÖFER       | Das geologische Alter des Haller Salzstockes   | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., S. 355                        |
| 9  | 1908         | O. VOGEL       | Das Salzbergwerk Hall im Jahre 1782  | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., S. 545–549                    |
| 10 | 1946         | O. SCHAUBERGER | Die Ergebnisse der Lagerstättenkartierung des Salzberges von Hall i. Tirol (Mit 5 Lagerstättenkarten und 4 Profilen) | Unveröff. Ber. an Gen.dion. Österr. Salinen                 |
| 11 | 1949         | O. SCHMIDEGG   | Die Stellung der Haller Salzlagerstätte im Bau des Karwendelgebirges   | Jb. Geol. B.-A., XCIV. (Fest-)Bd., 2. Teil, S. 159–205      |
| 12 | 1953         | O. FITZ        | Untersuchung über Gebirgsdruckwirkungen (Streckendeformation) im Salzberg Hall i. Tirol                              | Unveröff. Dipl. Arb. Montanuniv. Leoben                     |
| 13 | 1968         | O. SCHAUBERGER | Lagerstättenbeschreibung des Salzberges Hall i. Tirol (Mit geologischer Karte und Profil)                            | Unveröff. Ber. an Auflassungs-kommission d. Österr. Salinen |

#### h) Salinar außerhalb der Salzberge

|   |      |                   |  |  |
|---|------|-------------------|--|--|
| 1 | 1869 | E. v. MOJSISOVICS | Über Salzvorkommen zwischen Liezen und Aussee                              | Verh. Geol. R.-A.  |
| 2 | 1871 | P. G. HAUENSCHILD | Die Salinarmulde von Windischgarsten                                       | Verh. Geol. R.-A., S. 56–58  |
| 3 | 1873 | A. AIGNER         | Die Tiefbohrung in Goisern   | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., Nr. 44   |
| 4 | 1878 | C. v. BALZBERG    | Über die Tiefbohrung in Goisern  | Berg. u. Hüttenm. Jb.  |
| 5 | 1881 | A. AIGNER         | Die Bohrung in Goisern und ihr Verhältnis zum Salzberg von Ischl           | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., Nr. 22, S. 627–628                                       |
| 6 | 1904 | G. GEYER          | Berichte über die geologischen Aufschlüsse im Bosrucktunnel                | Anz. Akad. Wiss. Wien, mathem. naturwiss. Kl., Nr. XVIII, S. 244, Nr. XIX, S. 351      |
| 7 | 1905 |                   |  |  |
| 8 | 1907 | Österr. Salinen   | Berichte über die Ergebnisse von Schurfbohrungen auf Salz im Salzkammergut | Jahresber. über die Betriebs-u. Personalverhältnisse der alpinen Salinen im Archiv der |
|   | ...  |                   |  |  |
|   | ...  |                   |  |  |
|   | 1915 | Österr. Salinen   |  |  |
| 9 | 1911 | H. REINL          | Das Salzgebirge von Grubach und Abtenau                                    | Verh. Geol. R.-A. Wien, S. 87 ff.  |

| Nr.   | Editions-<br>jahr | Verfasser                                   | Titel   | Zeitschrift<br>Erscheinungsort  |
|---|-------------------|---|---|---|
| 10  | 1914              | F. BECKE                                    | Über eine Salzbohrung vom Auermahdsattel südlich vom Grundlsee (Vortrags-Referat)   | Mitt. Geol. Ges. Wien, 7. Jg., S. 322   |
| 11  | 1914              | G. GEYER                                    | Die Aufschließung des Bosrucktunnels und deren Bedeutung für den Bau des Gebirges   | Denkschr. Akad. Wiss. Wien, 82. Bd., S. 1–40                                      |
| 12  | 1918              | E. TIETZE                                   | Bohrungen am Auermahdsattel bei Grundlsee und im Rabennest bei Ischl  | Verh. Geol. R.-A. Wien, S. 22–23  |
| 13  | 1949              | W. E. PETRASCHECK                           | Der Gipsstock bei Kuchl   | Verh. Geol. B.-A. Wien, S. 148–152  |
| 14  | 1966              | W. SCHLAGER                                 | Fazies und Tektonik am Westrand der Dachsteinmasse  | Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 17. Bd., S. 201–210                                |
| 15  | 1966              | O. SCHAUBERGER                              | Berichte über die Salzerkundungsbohrungen bei Ischl (BJ 1), Au bei Steeg (St 1), bei Zwieselbad östl Abtenau (A 2) und bei Windischgarsten (WG 1) | Arch. Geol. Forsch.stelle Österr. Salinen, Bad Ischl                              |
| 16  | 1974              | B. PLÖCHINGER                               | Gravitativ transportiertes permisches Haselgebirge in den Oberalmer Schichten   | Verh. Geol. B.-A., S. 71–88   |
| 17  | 1977              | B. PLÖCHINGER                               | Die Untersuchungsbohrung Gutrathsberg südlich St. Leonhard i. Salzbachtal   | Verh. Geol. B.-A., H. 2,  |
| <b>IV. Mineralquellen und Gase im alpinen Salinar</b> |                   |   |   |   |
| 1   | 1850              | A. HAIDINGER                                | Notiz über die Mineralquellen von Windischgarsten   | Jb. Geol. R.-A. Wien, 1. Jg., S. 745  |
| 2   | 1850              | A. v. MORLOT                                | Salz- und Schwefelquellen im Halltal bei Mariazell. – In: Einiges über die geologischen Verhältnisse in der nördlichen Steiermark                 | Jb. Geol. R.-A., 1. Jg., S. 117, 120–121  |
| 3   | 1871              | P. G. HAUENSCHILD                           | Die Salinarmulde von Windischgarsten  | Verh. Geol. R.-A., Wien   |
| 4   | 1880              | F. STANDFEST                                | Zur Geologie der Ennstaler Alpen von Admont (Salzquellen bei Hall ob Admont)  | Verh. Geol. R.-A., Wien, S. 107 ff.   |
| 5   | 1884              | J. LÖCKER                                   | Die jod- und bromhältige Schwefelquelle zu Goisern  | Braunmüllers Badebibliothek, Wien, Nr. 87   |
| 6   | 1885              | F. POSEPNY                                  | Die Schlagwetterexplosion im Hallstätter Salzberg von 1664  | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., 33. Jg., S. 606–607                                 |
| 7   | 1888              | M. R. FRIESE                                | Schlagwetterexplosion im Hallstätter Salzberg im Jahre 1664   | Österr. Z. Berg. u. Hüttenw., 36. Jg., S. 133–137                                 |
| 8   | 1893              | H. DIETRICH                                 | Chemische Analyse der Klebelsbergquelle im Salzberg von Ischl   | Jb. Geol. R.-A., XLIII. Bd., S. 275   |
| 9   | 1911              | A. REITER                                   | Das k.k. Erzehrzugin Marie Valerie-Bad – eine radioaktive, alkalische Jodschwefel-Therme in Goisern   | Verlag k.k. Forst- u. Domänen-direktion Gmunden                                   |
| 10  | 1937              | P. LEPEZ                                    | Methangasausbrüche und Gewaltigungsarbeiten beim Unterfahrungsstollen des Altausseer Salzbergbaus   | Montan Rdsch., 29. Jg., H. 16   |
| 11  | 1947              | W. PETRASCHECK                              | Bitumen und Erdgas im Haselgebirge des alpinen Salzbergbaus   | Berg. u. Hüttenm. Mh., 92. Jg., H. 6  |
| 12  | 1958              | O. SCHAUBERGER                              | Der Ischler Salzberg und seine Schwefelquellen  | Vortrag auf der 8. Tagung für Bäderheilkunde in Ischl                             |
| 13  | 1960              | O. SCHAUBERGER                              | Über das Auftreten von Naturgasen im alpinen Salinar  | Erdöl Z., 76. Jg., S. 226–233   |
| 14  | 1964              | O. SCHAUBERGER<br>K. THOMANEK               | Die Salzlager des Ausseer Raumes und die Herkunft der Ausseer Kurmittel   | Z. Angew. Bäder- u. Klima-heilkunde, 11. Jg, Nr. 6                                |
| 15  | 1966              | H. PUCHELT                                  | Sulfatreduzierende Bakterien in Schwefel- und Grubenwässern Deutschlands und Österreichs  | Contr. Miner. Petr., Bd. 13, S. 12–30   |
| 16  | 1966<br>1967      | H. PUCHELT                                  | Schwefelisotopen-Untersuchungen an österreichischen und deutschen Schwefelquellen   | Arch. f. Physik. Therapie, Balneologie u. Klimatologie, 19. Jg., H. 3, S. 357–365 |
| 17  | 1971              | O. SCHAUBERGER                              | Über das Auftreten von brennbaren und stickenden Gasen im Salzbergbau Berchtesgaden   | Unveröff. Gutachten für Bayer. Berg-, Hütten- u. Salinenwerke                     |
| 18  | 1979              | O. SCHAUBERGER                              | Die Mineral- und Thermalquellen im Bereich des alpinen Salinars zwischen Salzach und Enns   | Verlag. OÖ Musealver. u. Ges. f. Landeskunde in Linz                              |
| 19  | 1982              | K. THOMANEK                                 | Salz in Österreich – Unternehmensstrategie der Österreichischen Salinen AG  | Berg. u. Hüttenm. Mh., 127. Jg., H. 10, 382–389                                   |
| 20  | 1985              | R. NEUHOLD<br>O. SCHAUBERGER<br>K. THOMANEK | Die Entwicklung der Bohrlochsolegewinnung aus dem Trauntaler Salzlager bei Bad Ischl  | Berg u. Hüttenm. Mh., 130. Jg., H. 4, S. 104–110                                  |
| 21  | 1986              | M. HOSCHER                                  | Die Aussolung von Kavernen in den alpinen Salzlagerstätten Österreichs. Das Bohrlochsondenverfahren als derzeit wirtschaftlichste Möglichkeit     | Berg. u. Hüttenm. Mh., 131. Jg., H. 4, S. 103–110                                 |