

Die geologische Datierung der ostalpinen Salzlagerstätten mittels Schwefelisotopenuntersuchungen

Von EDWIN PAK & OTHMAR SCHAUBERGER *)

Mit 7 Tabellen

Schlüsselwörter

Ostalpen
Salzlagerstätten
Schwefelisotopen
Oberperm — Anis

Zusammenfassung

Die Schwefelisotopenverhältnisse von Sulfatgesteinen aus allen ostalpinen Salzlagerstätten wurden untersucht und haben Hinweise auf zwei verschiedenen alte Sedimentationsphasen ergeben: Die Salzgebirgsarten „Rotsalzgebirge“ und „Grüntongebirge“ wurden im Oberperm, vielleicht bis ins Unterskyth, hingegen das „Stinkdolomit/anhydritische Grausalzgebirge“ und wahrscheinlich auch das „Bunte Salztongebirge“ im Oberskyth bis Basis Anis sedimentiert. Für gewisse Bereiche des ostalpinen Salinars, wie z. B. für die Salzlagerstätten von Hallstatt und Hall in Tirol, ist wohl eine vom Oberperm bis gegen das Anis mehr oder weniger durchlaufende Sedimentation anzunehmen.

Weiters lassen Werte aus dem Gipshut nicht aufgeschlossener Salzlagerstätten Schlüsse auf das Alter und unter Umständen auch auf die Art des in der Tiefe anstehenden Salzgebirges zu.

Summary

The sulfur isotope composition of sulfates from all saline deposits of the Eastern Alps was investigated and indicates two phases of sedimentation for the various saline rock types: „Rotsalzgebirge“ and „Grüntongebirge“ in the Upper Permian and perhaps the Lower Skythian, on the other hand „Stinkdolomit/anhydritisches Grausalzgebirge“ and probably „Buntes Salztongebirge“ in the Upper Skythian or Lowest Anisian. For some deposits, e. g. Hallstatt and Hall in Tirol, the saline sedimentation seems to have occurred more or less continuously from the Upper Permian to the Anisian.

Additionally, gypsum samples from the leached zones of several inaccessible saline deposits in the depth were investigated, providing preliminary information about their age as well.

1. Das Problem und seine bisherige Bearbeitung

Die Problematik der zeitlichen Einstufung des ostalpinen Salinars ergab sich einerseits aus dem völligen Fehlen tierischer Fossilien in den salinaren Sedimenten, andererseits aus den infolge Salzdiapirismus und Deckentektonik außerordentlich komplizierten Lagerungsverhältnissen. Zunächst stufte man das Salinar, je nachdem man es

*) Anschriften der Verfasser: Dr. EDWIN PAK, Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, A-1090 Wien, Boltzmann-gasse 3.

Dipl.-Ing. Dr. mont. h. c. OTHMAR SCHAUBERGER, A-4820 Bad Ischl, Wirerstraße 10.

in einer Position unter-, inner- oder oberhalb der Werfener Schichten antraf, in das Oberperm, das Unter- oder Oberskyth oder sogar noch jünger ein (einen Überblick gibt z. B. LOTZE, 1957).

Die erste Handhabe zur Lösung der Altersfrage lieferte die stratigraphische Aufgliederung des alpinen Salzgebirges durch SCHAUBERGER (1949, 1953). Sie ergab innerhalb des Salinars eine Altersfolge insofern, als das „Bunte Haselgebirge“ aufgrund seiner Zusammensetzung aus umgelagerten Komponenten des „Rotsalz-“ und „Grüntongebirges“ als jünger anzusehen war als die letzteren. Außerdem ermöglichte erst diese Salzstratigraphie eine verfeinerte und systematische Probenauswahl für die folgenden Untersuchungen, was angesichts der intensiven fließtektonischen Verformung der alpinen Salzlagerstätten von besonderer Wichtigkeit ist.

Nachdem 1947 W. PETRASCHECK als erster fossile Sporen im Lösungsrückstand des Altausseer Rotsalzgebirges beobachtet hatte, lieferten die Sporenanalysen von KLAUS (1953, 1965) wesentliche Beiträge zur Alterseinstufung. Die aus den Salztonen und dem Steinsalz extrahierten Sporengesellschaften ergaben für die meisten Salzgebirgsarten weitgehende Übereinstimmung mit den Zechsteinlagerstätten und daher ein oberpermisches Alter. Hingegen fand KLAUS (1965) im sogenannten Stinkdolomitischen Grausalzgebirge von Hallstatt Sporen aus dem Skyth bis Basis Anis, die ihm einen triadischen Anteil des Hallstätter Salzberges vermuten ließen. Um diese Ergebnisse mit Hilfe der inzwischen bekanntgewordenen Schwefelisotopenmethode (s. u.) zu überprüfen bzw. die Grenze zwischen Perm und Trias zu lokalisieren, regte KLAUS die Schaffung eines Schwefelisotopenlabors in Wien an (PAK und FELBER, 1974). Es lagen bereits einzelne Meßergebnisse vor, die eindeutig für Perm charakteristisch sind, und zwar 2 Proben aus dem Hallstätter Salzberg (HOLSER & KAPLAN, 1966) und 3 Proben aus dem Ischler Salzberg (PUCHELT, 1966, briefl. Mitt.).

Zunächst (KLAUS & PAK, 1974; PAK 1974) ergaben sich für eine Reihe von Proben aus Hallstatt ausschließlich solche Meßwerte, die dem Perm zuzuordnen waren. KLAUS zog daraus notgedrungen den Schluß, daß alle Hallstätter Salzgebirgsarten dem Perm zuzurechnen seien, und nahm eine nachträgliche tektonische Einlagerung der triadischen Sporen an, zumal er daneben auch höher inkohlte Permsporen fand (KLAUS & PAK, 1974). Diese Ergebnisse wurden auch von TOLLMANN (1976) übernommen. Aus Reichenhall lagen damals zwei Bohrproben mit triadischer Schwefelisotopenzusammensetzung vor (PAK, 1974; SCHAUBERGER & ZANKL, 1976).

Nachdem KLAUS eine noch feinere und umfangreichere Beprobung veranlaßt hatte, fanden sich im Stinkdolomitischen Grausalzgebirge von Hallstatt unerwartet doch zwei Proben, deren Schwefelisotopenverhältnis triadisches Alter bedeutet (PAK, 1978), wobei allerdings aus derselben Gebirgsart auch zwei für das Perm charakteristische Werte vorlagen (PAK, 1974). Dieser Widerspruch konnte mittlerweile von SCHAUBERGER durch neuerliche Überprüfung der Fundstelle dahingehend aufgeklärt werden, daß die in PAK (1974) enthaltenen „Wachsanhydrite“ nicht aus dem dort allerdings nahe angrenzenden Stinkdolomitischen Grausalzgebirge, sondern aus dem Bunten Salztongebirge stammen, in das sie offenbar aus dem Tonigen Grauen Kerngebirge umgelagert worden sind.

2. Die Schwefelisotopenmethode

Die Häufigkeit des stabilen Isotops ^{34}S , ausgedrückt durch die Abweichung $\delta^{34}\text{S}$ (‰) von einem Standard (Canon Diablo Troilit), ist in natürlichen Schwefelverbindungen (z. B. Sulfaten, Sulfiden) infolge von Isotopenfraktionierungen beim geochemischen Kreislauf des Schwefels deutlich unterschiedlich. Einen Überblick

über das sehr reichhaltige Schrifttum gibt z. B. NIELSEN (1979). Die Schwefelisotopenzusammensetzung im Sulfat des Weltmeeres war im Laufe der Erdgeschichte charakteristischen unregelmäßigen, aber weltweiten Schwankungen zwischen grob +10 und +30‰ unterworfen, die man aus der Isotopenanalyse von Evaporitsulfaten bekannten Alters ermittelt und umgekehrt zur Alterseinstufung von Evaporiten benützt hat. Diese $\delta^{34}\text{S}$ -, „Alterskurve“ (NIELSEN, 1979) weist im Perm (und möglicherweise noch im Unterskyth: HOLSER, 1977; PILOT et al., 1972) besonders niedrige Werte von etwa +8 bis +12‰ auf, hingegen im Oberskyth (Röt) und Anis recht hohe über etwa +20 bis gegen +29‰. Um Erklärungen für diese anscheinend sprungartige Änderung („Röt-event“) ist man immer noch bemüht (HOLSER, 1977). Für Fragestellungen wie die der vorliegenden Arbeit ist mit dieser Methode eine klare Unterscheidung zwischen permischen und oberskythischen Sulfatproben mit Sicherheit möglich. Selbstverständlich muß man prinzipiell auch mit Verschiebungen der Isotopenzusammensetzung durch lokale Einflüsse in den Eindunstungsbecken und durch Sekundärbildungen rechnen, die in der Literatur diskutiert werden. Abgesehen von sorgfältiger Probenahme kann oft die relativ geringe Streuung möglichst zahlreicher Meßwerte die Schlußfolgerungen erhärten.

3. Schwefelisotopenzusammensetzung der einzelnen Salzgebirgsarten

Ziel der vorliegenden Untersuchungsreihe war es, die nach der verdienstvollen Bearbeitung der Lagerstätten durch KLAUS (s. o.) offen gebliebenen Fragen gezielt einer Klärung zuzuführen und sämtliche durch Bergbau oder Bohrungen aufgeschlossenen Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars und auch mehrere Ausbisse nicht erschlossener Haselgebirgsvorkommen in die Untersuchung einzubeziehen.

Die 84 neu untersuchten Proben werden im Rahmen der vorliegenden Darstellung nicht einzeln mit genauer Position aufgeführt; dies wird durch PAK (1981) erfolgen. Vielmehr werden die Meßwerte gemeinsam mit 55 älteren (PAK, 1974 und 1978) sowie 3 von PUCHELT (1966, briefl. Mitt.) nach Salzgebirgsarten geordnet in Tabellenform zusammengestellt und besprochen. Die insgesamt 142 Sulfatproben waren vornehmlich Anhydrite und Gipse. Einzelne sekundäre Sulfatminerale wiesen keine nennenswert abweichende Isotopenzusammensetzung auf.

3.1. Rotsalzgebirge

Das Rotsalzgebirge ist gekennzeichnet durch seinen Reichtum an Steinsalz und einen relativ hohen Anteil an Sulfaten, vornehmlich Anhydrit und Polyhalit. Der es begleitende schwarze Salzton wurde durch kontinentale Zufüsse in das Salinar-

Tabelle 1: $\delta^{34}\text{S}$ im Rotsalzgebirge

Salzlagerstätte und Anteil des Rotsalzgebirges in ihr	Probenanzahl	gemessene Werte $\delta^{34}\text{S}$ (‰)	Mittelwert	
Altaussee	fast 100%	15	+10,5 bis +11,7	+11,0
Ischl (Salzberg)	ca. 70%	16	+10,4 bis +11,8	+11,1
Ischl (Trauntal)		3	+11,0 bis +11,3	+11,2
Hallstatt	ca. 24%	8	+10,1 bis +11,8	+11,0
Dürrenberg/Hallein	ca. 46%	11	+10,5 bis +11,4	+10,9
Berchtesgaden	ca. 44%	3	+10,9 bis +11,3	+11,1
Hall in Tirol	ca. 4%	2	+10,9 und +11,7	+11,3
			Gesamtmittelwert: +11,0	

becken eingebracht und deutet durch seinen Gehalt an Bitumen und Melnikowit auf eine Sedimentation in tieferen, sauerstoffarmen Beckenteilen mit nur indirekter Verbindung zum offenen Ozean.

Die in Tabelle 1 angeführten Ergebnisse zeigen auffallend geringe Streuung sowohl innerhalb der Lagerstätten als auch zwischen ihren Mittelwerten. Es ist ausgezeichnete Übereinstimmung gegeben mit den Mittelwerten für den norddeutschen Zechstein und das nordamerikanische Perm (NIELSEN & RICKE, 1964; THODE & MONSTER, 1965; PILOT et al., 1972). Da zusätzlich die Sporenführung des schwarzen und grünlich-schwarzen Salztones nach KLAUS (1965) weitgehend ähnlich der des Zechstein und noch mehr jener der Bellerophon-schichten des südalpinen Oberperm ist, kann dem Rotsalzgebirge zweifelsfrei ein oberpermisches Alter zugeschrieben werden.

3.2. Grüntongebirge

Diese alpine Salzgebirgsart tritt in zwei Spielarten auf, einmal als „Grünes Haselgebirge“ in Wechsellagerung mit Liniensalzzügen (Hallstatt, Berchtesgaden), zum andern als „Graugrünes Hasel- und Blättersalzgebirge“ ohne Steinsalzstraten (Hallstatt, Dürrnberg/Hallein, Hall in Tirol, Bosrucktunnel). Übergänge zum Rotsalzgebirge sind ziemlich verbreitet.

Tabelle 2: $\delta^{34}\text{S}$ im Grüntongebirge

Salzlagerstätte und Anteil des Grüntongebirges in ihr	Probenanzahl	gemessene Werte $\delta^{34}\text{S}$ (‰)	Mittelwert
Hallstatt ca. 30%	6	+11,3 bis +12,5	+12,1
Berchtesgaden ca. 38%	3	+10,6 bis +12,6	+11,6
Dürrnberg/Hallein ca. 47%	2	+12,0 und +19,2	+15,6
Hall in Tirol ca. 68%	1	+14,5	+14,5
Ischl ca. 10%	1	+14,3	+14,3
Windischgarsten	1	+13,6	+13,6
Bosruck-Tunnel	5	+12,2 bis +19,8	+14,4
Gesamtmittelwert:			+13,3

Zufolge der Seltenheit von primären Sulfateinlagerungen ist die Zahl der untersuchten Proben hier geringer als beim Rotsalzgebirge. Daß die in Tabelle 2 dargestellten Meßwerte größtenteils etwas höher liegen, könnte möglicherweise auf etwas spätere Ablagerung und einen allmählichen Anstieg des $\delta^{34}\text{S}$ im Meerwassersulfat deuten, doch wurden solche Zwischenwerte bisher kaum beobachtet und sind nach der Katastrophenvorstellung von HOLSER (1977) auch nicht zu erwarten. Die größere Streuung der Werte könnte auf ein lebhafteres Wechselspiel zwischen marinen Überflutungen und festländischen Zuflüssen hinweisen, die sowohl schwereren als auch leichteren Schwefel führen können, sodaß die etwas erhöhten Werte statt durch spätere Bildung dieser Gebirgsart ebensogut durch paläogeographische Umstände erklärt werden können.

3.3. Buntes Salztongebirge

Das Bunte Haselgebirge ist, wie schon eingangs erwähnt, nach der Beschaffenheit seiner klastischen und sulfatischen Komponenten als eine deszendente, das heißt durch Auflösung und Wiederablagerung älterer Evaporite (Rotsalz- und Grünton-

gebirge) entstandene Bildung zu betrachten, deren besonderes Merkmal die nur in sie eingelagerten Vulkanite (Melaphyr und Tuffit) sind.

Tabelle 3: $\delta^{34}\text{S}$ im Bunten Haselgebirge

Salzlagerstätte und Anteil des Bunten Haselgebirges in ihr	Probenanzahl	gemessene Werte $\delta^{34}\text{S}$ (‰)	Mittelwert
Hallstatt ca. 33%	8	+9,6 bis +11,5	+10,7
Dürnbörg/Hallein ca. 14%	3	+9,4 bis +10,9	+10,3
Berchtesgaden ca. 18%	1	+10,9	+10,9
Gesamtmittelwert:			+10,6

Die im Bunten Haselgebirge sekundär befindlichen Anhydrit- und Polyhalit-einschlüsse müßten daher die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte ihres „Muttergesteins“ ergeben, und tatsächlich entsprechen die in Tabelle 3 enthaltenen Meßwerte annähernd denen des Rotsalzgebirges. Hingegen lieferte eine Fasergips-Probe vom Ausbiß des Bunten Salztongebirges am Ostfuß des Kapuzinerberges in der Stadt Salzburg einen Wert von +21,9‰ (s. u.), der möglicherweise die dem Bunten Salztongebirge eigentlich zukommende Schwefelisotopenzusammensetzung darstellt.

Nach KLAUS (1956, unveröffentlichter Bericht) zeigt auch die Sporenführung der Salzgrundmasse des Bunten Haselgebirges ein jüngerer Bild als die der Toneinschlüsse.

3.4. Grausalzgebirge

Das Grausalzgebirge besteht bis zu 80% aus massigem grauem Steinsalz (Kerngebirge), und zwar entweder mit Einschlüssen von rotem und grauem Ton sowie Linien- und Polyhalitanhydrit (Grautoniges Kern- und Haselgebirge) oder mit detritischer Einstreuung von Anhydrit und schwarzem Dolomit (Anhydritisches Graues Kerngebirge) oder mit Schichtfragmenten von Anhydrit und teilweise bituminösem Anhydritdolomit bis Kubikmetergröße (Stinkdolomit/anhydritisches Grausalzgebirge).

3.4.1. Das Tonige Grausalzgebirge ist auf den Hallstätter Salzstock beschränkt. Es ist mit dem Rotsalzgebirge sedimentär verzahnt und dürfte aus diesem durch reduzierende Einflüsse hervorgegangen sein, was auch durch die Schwefelisotopenzusammensetzung zum Ausdruck kommt (Tabelle 4).

Tabelle 4: $\delta^{34}\text{S}$ im Tonigen Grauen Kerngebirge

Salzlagerstätte und Anteil des Tonigen Grauen Kerngebirges	Probenanzahl	gemessene Werte $\delta^{34}\text{S}$ (‰)	Mittelwert
Hallstatt ca. 5%	7	+10,5 bis +11,8	+11,2

3.4.2. Das Anhydritische Graue Kerngebirge von Ischl ist teilweise mit Rotsalzgebirge fließtektonisch verfaltet; deshalb könnten die Anhydrite mit den niedrigen Werten unter +12‰ aus letzterem stammen (Tabelle 5). Bei Ausklammerung dieser drei Werte ergibt sich ein Mittelwert von +13,4‰, der jenem des Grüntongebirges fast genau entspricht.

Tabelle 5: $\delta^{34}\text{S}$ im Anhydritischen Grauen Kerngebirge

Salzlagerstätte	Proben- anzahl	gemessene Werte $\delta^{34}\text{S}$ (‰)	Mittel- wert
Sondenfeld Ischl Bohrung 1	3	+11,6 bis +13,7	+12,6
Bohrung 2	3	+12,4 bis +14,8	+13,5
Bohrung 3	3	+10,9 bis +13,9	+12,1
Gesamtmittelwert:			+12,7

3.4.3. Im Stinkdolomit/anhydritischen Grausalzgebirge sind, wie bereits erwähnt, die ersten Hinweise auf eine spätere, triadische Entstehung gefunden worden. Deshalb wurde aus dieser Salzgebirgsart — vor allem aus den Salzbergen Hallstatt und Hall in Tirol — eine möglichst signifikante Anzahl von Proben in die Untersuchung einbezogen.

Tabelle 6: $\delta^{34}\text{S}$ im Stinkdolomit/anhydritischen Grausalzgebirge

Salzlagerstätte und Anteil des Stinkdolomit/anhydritischen Grausalzgebirges in ihr	Proben- anzahl	gemessene Werte $\delta^{34}\text{S}$ (‰)	Mittel- wert
Hall in Tirol ca. 20%	5	+24,3 bis +25,6	+25,0
Reichenhall (Bohrung) ca. 23%	4	+25,1 bis +25,6	+25,4
Hallstatt ca. 8%	6	+24,8 bis +28,9	+26,8
Ischl ca. 3%	1	+26,7	+26,7
Windischgarsten (Bohrung)	2	+23,8 und +28,6	+26,2
Bosruck-Tunnel	2	+27,1 und +29,2	+28,1
Gesamtmittelwert:			+26,1

Die Meßwerte (Tabelle 6) zeigen, daß die Schwefelisotopenzusammensetzung in Anhydriten aus dem stinkdolomit/anhydritischen Grausalzgebirge von der der übrigen Gebirgsarten ausnahmslos abweicht und mit der im europäischen und nordamerikanischen Salinarbecken des Oberskyth (Röt) gut übereinstimmt (NIELSEN, 1972; PILOT et al., 1972). Damit ist die von TOLLMANN zuerst 1960 angenommene und 1976 neuerlich vertretene Einstufung des alpinen Haselgebirges als ausschließliches Oberperm hinfällig geworden. Dagegen ist die von KLAUS (1965) aufgrund von Sporenbefunden der Gattung *Triadispora* des Skyth-Anis-Komplexes im stinkdolomit/anhydritischen Grausalzgebirge von Hallstatt (und später auch von Reichenhall) ausgesprochene Vermutung, daß die ostalpinen Salzlager auch triadische Anteile enthalten dürften, durch obige Untersuchungsergebnisse voll bestätigt worden.

4. Schwefelisotopenzusammensetzung einzelner Haselgebirgsausbisse

Durch die Schwefelisotopenuntersuchung von Gipsproben aus dem „Ausgelaugten“ (Gipshut) noch nicht aufgeschlossener Haselgebirgsvorkommen kann deren ungefähres Alter — oberpermisch oder jünger — bestimmt und daraus unter günstigen Umständen auf die Art des in der Tiefe anstehenden Salzgebirges geschlossen werden, was wegen der unterschiedlichen Bauwürdigkeit der betreffenden Salzgebirgsarten auch von praktischer Bedeutung sein kann. Bei meist nur einem ein-

zigen Meßwert pro Vorkommen (Tabelle 7) können allerdings die Schlüsse daraus nicht als völlig gesichert angesehen werden.

Tabelle 7: $\delta^{34}\text{S}$ in Haselgebirgsausbissen

Herkunft der Probe	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	wahrscheinliche Einstufung
Himmelsteingraben beim Offensee (N-Fuß des Toten Gebirges)	+ 10,9 und + 12,3	Permoskyth (Rotsalz- und Grüntongebirge)
Roith N Bad Ischl	+ 10,8	Oberperm
Teichelbachgraben W Bad Ischl	+ 24,2	Oberskyth
Nussensee W Bad Ischl	+ 11,4 bis + 12,2	Permoskyth
Kogl E Bad Goisern	+ 11,3	Oberperm (Rotsalzgebirge)
Anzenauer Weißenbachtal	+ 22,7	Oberskyth
Sandlinggraben W Altaussee	+ 11,8	Oberperm (Rotsalzgebirge)
Heilbrunn S Bad Mitterndorf	+ 11,6	Oberperm
SE-Fuß des Kapuzingerberges in der Stadt Salzburg	+ 21,9	Mittel- bis Oberskyth (Buntes Haselgebirge)
Weithausgraben beim Rötelstein	+ 11,9	Permoskyth (Rotsalz- und Grüntongebirge)
Röhrebühel bei Kitzbühel	+ 8,8	Oberperm
Lachwaldspitze beim Achensee	+ 25,6	Oberskyth
„Nördliche Einlagerung“ im Hallstätter Salzberg	+ 9,9	Oberperm (in Übereinstimmung mit Sporenbefund nach KLAUS, 1969, unveröffentl. Bericht)

Dank

Herrn Prof. Dr. H. VONACH (Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften) gebührt unser Dank für die großzügige Ermöglichung der Isotopenanalysen. Ebenso danken wir der Österreichischen Salinen AG und der Bayerischen Berg-, Hütten- und Salzwerke AG für ihre Unterstützung bei der Entnahme der Gesteinsproben.

Literatur

- HOLSER, W. T.: Catastrophic chemical events in the history of the ocean. — *Nature*, **267**, 403—408, London 1977.
- HOLSER, W. T. & KAPLAN, I. R.: Isotope geochemistry of sedimentary sulfates. — *Chem. Geol.*, **1**, 93—135, Amsterdam 1966.
- KLAUS, W.: Über die Sporendiagnose des deutschen Zechsteinsalzes und des alpinen Haselgebirges. — *Z. deutsch. Geol. Ges.*, **105** (1953), 776—788, Hannover 1955.
- KLAUS, W.: Zur Einstufung alpiner Salztone mittels Sporen. — *Z. deutsch. Geol. Ges.*, **116** (1964), 544—548, Hannover 1965.
- KLAUS, W., mit Beiträgen von PAK, E.: Neue Beiträge zur Datierung von Evaporiten des Ober-Perm. — *Carinthia II*, **164./84. Jg.**, 79—85, Klagenfurt 1974.
- LOTZE, F.: Steinsalz und Kalisalze, 1. Teil. — 2. Auflage; Berlin (Borntraeger) 1957.
- NIELSEN, H.: Sulphur isotopes and the formation of evaporite deposits. — In: *Geology of saline deposits*. — *Proc. Hanover Symp.* **91—102**, Paris (UNESCO) 1972.
- NIELSEN, H.: Sulfur isotopes. — In: JÄGER, E. & HUNZIKER, J. C. (ed.): *Lectures in isotope geology*, 283—312, Berlin—Heidelberg—New York (Springer) 1979.
- NIELSEN, H. & RICKE, W.: Schwefel-Isotopenverhältnisse von Evaporiten aus Deutschland; ein Beitrag zur Kenntnis von $\delta^{34}\text{S}$ im Meerwasser-Sulfat. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **28**, 577—591, New York—Oxford—London—Paris 1964.

- PAK, E.: Schwefelisotopenuntersuchungen am Institut für Radiumforschung und Kernphysik I. — Anzeiger Österr. Akad. Wiss., math.-nat. Kl., Jg. 1974, 166—174, Wien 1974.
- PAK, E.: Schwefelisotopenuntersuchungen am Institut für Radiumforschung und Kernphysik II. — Anzeiger Österr. Akad. Wiss., math.-nat. Kl., Jg. 1978, 6—22, Wien 1978.
- PAK, E.: Schwefelisotopenuntersuchungen am Institut für Radiumforschung und Kernphysik III. — Anzeiger Österr. Akad. Wiss., math.-nat. Kl., Jg. 1981 (in Vorbereitung), Wien 1981.
- PAK, E. & FELBER, H.: Massenspektrometrische Präzisionsmessung der Schwefelisotopenverhältnisse. — Sitzber. Österr. Akad. Wiss., math.-nat. Kl., Abt. II, 183, 295—308, Wien 1974.
- PILOT, J., RÖSLER, H. J. & MÜLLER, P.: Zur geochemischen Entwicklung des Meerwassers und mariner Sedimente im Phanerozoikum mittels Untersuchungen von S-, O- und C-Isotopen. — Neue Bergbautechnik, 2, H. 3, 161—168, Leipzig 1972.
- SCHAUBERGER, O.: Die stratigraphische Aufgliederung des alpinen Salzgebirges. — Berg- u. hüttenmänn. Mh., 94, 46—56, Wien 1949.
- SCHAUBERGER, O.: Zur Genese des alpinen Haselgebirges. — Z. deutsch. Geol. Ges., 105 (1953), 736—751, Hannover 1955.
- SCHAUBERGER, O.: Die alpinen Salzlagerstätten. — Verh. Geol. B.-A., 1978, S. 455—459, Wien 1979.
- SCHAUBERGER, O. & ZANKL, H., mit Beiträgen von KÜHN, R. und KLAUS, W.: Die geologischen Ergebnisse der Salzbohrungen im Talbecken von Bad Reichenhall. — Geol. Rundschau, 65, 558—579, Stuttgart 1976.
- THODE, H. G. & MONSTER, J.: Sulfur-isotope geochemistry of petroleum, evaporites, and ancient seas. — Amer. Ass. Petrol. Geol., Memoir Nr. 4, 367—377, Tulsa 1965.
- TOLLMANN, A.: Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums. — 580 S. Wien (Deuticke) 1976.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 20. Juni 1980.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [1981](#)

Autor(en)/Author(s): Pak Edwin, Schauberger Othmar

Artikel/Article: [Die geologische Datierung der ostalpinen Salzlagerstätten mittels Schwefelisotopenuntersuchungen 185-192](#)