

Separatabdruck aus der „Wiener Medizinischen Wochenschrift“
(Nr. 47, 1931).

Verlag von MORITZ PERLES, Wien, I., Seilergasse 4.
Nachdruck verboten.

Die geologisch-chemischen Grundlagen und bergtechnischen Methoden der Soolegewinnung im Salzkammergut.*)

Von Zentralheilquelleninspektor Hofrat Dr. JOSEF KNETT.

Soolen sind steinsalzige Mineralwässer von einer Konzentration über 15 ‰ Salzführung, demnach über 1½ ‰ige Lösungen. Zwischen 15 und 50 ‰ kann man sie als schwache Soolen, zwischen 100 und 200 als mittelstarke und über 200 (bis 280) als Soolen stärkster Konzentration bezeichnen. Nahe der letzteren Grenze liegen die Soolen der österreichischen Alpen. In der Bezeichnung Soole kommt sohin nicht bloß ein chemischer Hauptcharakter, sondern auch ein gewisser Konzentrationsgrad zum Ausdruck.

Um rascher ins Bild zu kommen, seien die alpinen Soolen mit dem Meereswasser verglichen; letzteres weist einen Salzgehalt von rund 35 ‰, sohin den einer schwachen Soole auf, während sich die Soolekonzentrationen von Hallstatt, B. Ischl, B. Aussee und Hallein zwischen 264 und 270 ‰ bewegen, also ungefähr das achtfache betragen.

Die Soolen des Salzkammergutes, wie übrigens auch anderer Salinen, sind streng genommen kein ganz natürliches Produkt, unterscheiden sich jedoch wesentlich von einem künstlichen Mineralwasser. Während der Erzeuger künstlicher Mineralwässer gewöhnliches Wasser nimmt (oder eigentlich nur destilliertes, bezw. hygienisch einwandfreies verwenden sollte) und nun bestimmte Chemikalien

*) Einleitungsvortrag, gehalten am 25. September 1930 in Bad Ischl. (Ärztlicher Fortbildungskurs, veranstaltet von der Österreichischen Balneologischen Gesellschaft und der Kurkommission. Bad Ischl,)

zusetzt, liegt bei der Sooleerzeugung eine natürliche Salz-, respektive Minerallagerstätte vor; der Mensch hat ihr bloß Wasser im Großen zuzuführen, das nun sofort eine intensive Auslaugungsarbeit im Berginnern beginnt.

Es ist daher vorerst die Salzlagerstätte ins Auge zu fassen, dann der eingeleitete Lösungsprozeß und schließlich die chemische Beschaffenheit dieses bergtechnischen Produktes.

Die **Salzlagerstätte** bei Bad Ischl ist am besten aus einem vertikalen Profil von Perneck (in NW) bis über die Reinfalzalpe hinaus (gegen SO) zu ersehen, ebenso die seit langem aufgefahrenen und größtenteils bis zur Gegenwart bauhaft erhaltenen acht (in übereinandergelegenen Horizonten befindlichen) Stollen behufs Soolegewinnung.¹⁾ Sie durchhörtern, von der Pernecker Abdachung aus, mehr oder weniger flach gewellte Gesteine der Kreideformation, gelangen sodann unter der Reinfalzalpe in immer steiler aufgerichtete Schichtenserien der Jura- und oberen Triasformation, um schließlich das sogenannte „Leber- und Haselgebirge“ zu erreichen. Letzteres stellt die charakteristische Ausbildung der Salzkammergutlagerstätte dar; sie wird nach der anderen Seite (SO) hin wieder von steilgelagerten, entgegengesetzt einfallenden Trias- und Juragesteinen überlagert. Dieses tektonische Bild macht den Eindruck einer durch seitlichen Druck zusammengeschobenen und dadurch steil aufgerichteten, ja förmlich überkippten Serie von Gesteinsablagerungen, deren innerster und tiefster Kern die heraufgequetschte tonig-steinige, mitunter fast breiige Salzlagerstätte des Haselgebirges mit förmlicher Sprengung des Schichtensattels bildet. Zweifellos handelt es sich auch um den Aufdruck einer sehr beweglich gewesenen Masse, etwa vergleichbar der Form einer logarithmischen Spirale.

Vorher aber, in noch fernerer geologischer Vorzeit, war zweifellos ein Auskristallisierungsprozeß des Steinsalzes im Gange, der in diesem Stadium jedoch durch den schon angedeuteten gebirgbildenden Vorgang empfindlich gestört wurde. Es liegt demnach keine kompakte Salzlagerstätte — wie in Galizien, Siebenbürgen oder Rumänien — vor, sondern ein Trümmerfeld von brecciös-agglomeratischer Struktur, das nur mehr den „Reibungsteppich“ einer gewaltigen

¹⁾ Dieser geologische Schnitt durch den Untergrund des Ischler Salzberges mit den verschiedenen Ausrichtungs- und Förderstollen sowie sonstigen bergmännischen Einbauten wurden während des Vortrages mit Farbkreiden auf eine Tafel skizziert.

Deckengebirgsbewegung veranschaulicht, dessen Gesteine ehemals ganz anderswo gebildet worden sind. Nachdem infolgedessen nicht die Auskristallisierung aller gelösten Salze erfolgen konnte, war diese Möglichkeit noch weniger für die leichtestlöslichen Kali- und Magnesia-, sowie Brom- und Jodverbindungen gegeben. Sie mußten noch in gelöster Form abgeschwemmt worden sein, weshalb denn auch keine „Abraumsalze“ vorhanden sind.

Zu beiden Seiten des Haselgebirgskernes bildet das „Lebergebirge“ eine mantelförmige Zone; eine rötliche Masse, die geringere Steinführung zeigt, hingegen mehr die eisenschüssig tonigen, unlöslichen Rückstände früherer Auslaugungsvorgänge an den kalkigen Gesteinen enthält. Das Haselgebirge hingegen enthält vorzugsweise kleine bis fast kubikmetergroße Brocken von dolomitischen Kalken und wasserfreiem Gyps (Anhydrit), ferner graue bis schwarze Letten und Schiefertone, Sandsteinfragmente und namentlich Steinsalzbrocken, endlich wellig gebogene (äquidistante) Schnüre von Steinsalz, die sich durch unterschiedliche Färbungen als eine nachträgliche, pseudosedimentäre Imprägnationsbildung kundgeben und die schließlichen Durchbewegungsvorgänge im Haselgebirge deutlich ersehen lassen.²⁾ Sie weisen oft handbreite bis mehrere Meter starke Zonen auf. Daß es bei diesen mehrfachen Lösungs- und Wiederausscheidungsvorgängen zu einer ganzen Reihe späterer Mineralbildungen (der sog. Salzbergminerale) gekommen war, ist nicht überraschend; desgleichen, daß alle Gesteinsbrocken kapillare Salzinfiltrationen aufweisen.

Diese Trümmerlagerstätte enthält bestenfalls zur Hälfte Steinsalz, mindestens aber ein Drittel des ganzen Volumens; den anderen Anteil machen die erwähnten Gesteine verschiedener geologischer Formationszugehörigkeit aus.

Zu Beginn des 14. Jahrhunderts, sohin etwa 1½ Jahrtausend seit dem Übergang der Bronze- in die Eisenzeit (Hallstattperiode), bzw. seit dem illyrischen Salzbergbau³⁾

²⁾ Diese an den Stollen-, beziehungsweise Streckenwänden und Decken ersichtlichen, fast parallelen Salzäderungen verschiedenster Richtung und Neigung sind natürlich bloß die Schnittbilder großer, im Berginnern vorhandener komplizierter Krümmflächen.

³⁾ Diese prähistorischen Einbaue waren seither durch Gebirgsdruck und Lösungsvorgänge vollständig geschlossen, respektive zusammengedrückt worden, doch deutete beim Vortrieb häufig das (durch sekundäres Kupferchlorid schön grün gefärbte) sogenannte Heidensalz auf nahegelegene Bronzegegenstände und damit auch auf andere „keltische“ Funde (Broncepickel, Holz-

bei Hallstatt und Hallein wurde vorerst in Hallstatt selbst wieder der Salzgewinnungsbetrieb mit anfänglich primitiven Mitteln von neuem aufgenommen. Vierhundert Jahre später ward der sog. **Sinkwerksbetrieb** eingeführt, wodurch die jährliche Produktion des Salzkammergutes um die Jahrhundertwende auf rund 3 Millionen Hektoliter Soole gebracht wurde; im Ischler Salzberg beträgt sie gegenwärtig 600.000 Hektoliter. Nachdem sohin kein unmittelbar abbaufähiges Salzlager vorliegt, sondern dasselbe zertrümmert und mit dem gleichen bis doppelten Rauminhalt anderer Gesteine und Minerale vermengt ist, ¹⁾ erübrigt nur ein **Au-
s-
l-
a-
u-
g-
u-
n-
g-
s-
p-
r-
o-
z-
e-
ß**, der freilich eine gewisse Ausrichtungsarbeit des Lagers zur Voraussetzung hat.

Man treibt zu diesem Zweck beiderseits des betreffenden Hauptstollens in gewissen Abständen (ca. 200 m) Querschläge vor und sprengt hierauf große Hohlräume, sog. „Werke“ oder Kammern von etwa 30—40 m Durchmesser und 2 m Höhe aus, welche mindestens in zwei Horizonten angelegt werden sollen: Schief hinabverlaufende „Schürfe“ (es sind dies die eigentlichen Sinkwerke) verbinden die Kammern eines tieferen Horizontes mit dem höheren. In diese Kammern wird nun behufs Inbetriebsetzung das zum Auflösen des salzigen Anteiles erforderliche Tagwasser eingelassen, und zwar möglichst rasch mittels eigener Sinkwerks-Rohrleitungen.

Eingeschaltet sei noch, daß das abgesprengte Material zu Tage ausgefördert wird; allenfalls werden besonders salzreiche Partien behufs Verstärkung der Soole in andere Werke eingeworfen. Bei dieser Betriebsmethode muß stets auf das Vorhandensein genügender Kammeranlagen Bedacht genommen werden, um jederzeit dem Sudhütten-Höchsterfordernis an Soole gewachsen zu sein, in welcher Hinsicht manchmal sogar mit der doppelten Anzahl von Werken, als mit 100prozentigen Reserveanlagen gearbeitet wird. In Bad Ischl bestehen gegenwärtig rund 20 solcher Werkskammern.

Das Laugewasser muß stets bis an die First (i. e. Decke)

schaufeln, mit Leder oder Fellen bespannte Tragkörbe u. dgl.). Römerfunde sind seltener.

Daß im Haselgebirge nicht bloß Spuren, sondern auch größere Mengen von Salzgas (Methan) vorkommen können, beweist die Schlagwetterexplosion im Hallstätter Salzberg vom September 1664.

¹⁾ Die Ischler Lagerstätte ist eine salzreiche (rund 60 % Salz, 40 % Unlösliches), doch läßt sich praktisch nur mit einem gleichen Verhältnis (50 : 50) rechnen.

des Werkes, den sog. Himmel reichen, damit hier ständig das Salz abgeleckt werden kann, welcher Vorgang sich weiters auch an den Ulmen (Wänden) einer jeden Kammer abspielt. Infolgedessen stürzt das unlösliche, aus dem Zusammenhang geratene Material sowohl von der Decke, als auch von den Kammerwänden herein. Dieses leetig-steinige Material wird „Leist“ (Laist) genannt; es besteht hauptsächlich aus Ton, Mergel, Kalk und Anhydrit. Der Leist wächst daher mit der Zeit vom Boden des Werkes nach oben an und nimmt auch an den Seitenwänden einen gewissen Böschungswinkel ($60-70^{\circ}$) ein, vergleichbar einer Schutthalde. Andererseits wandert auch der „Himmel“ allmählich nach oben zurück, und es greift demzufolge auch der Werkshohlraum an den Verschneidungen der Kammerdecke mit den Ulmen immer tiefer in das anstehende („gewachsene“) Haselgebirge hinein, so daß ein nach oben auseinander gehender Hohlraum resultiert. Es muß deshalb fortgesetzt neues „Ätzwasser“ — ich hatte von einem Bergarbeiter auch einmal den Ausdruck „Zehrwasser“ gehört — durch das Sinkwerk eingelassen werden, so daß es stets bis an den Himmel reicht, da sonst der Wasserspiegel nach oben hin keine Korrosionsmöglichkeit hätte, bezw. seine größte Angriffsfläche verlieren würde.⁵⁾

Das Endstadium eines solchen Laugwerkes ergibt, wie schon erwähnt, die Form eines nach oben konisch auseinander gehenden Raumes, dessen Grundfläche vom Leist gebildet wird, während der ebene Himmel von reinem Haselgebirge begrenzt ist. Letzterer „trägt sich“ von selbst, braucht also nicht gestützt zu werden, selbst wenn die Kammer vollkommen abgelassen ist. Man nennt die Erscheinung des allmählichen Emporwanderns der Kammersole und des zwangsläufigen Hinaufrückens der Decke das „Aufsieden des Werkes“. Die Basis eines ausgelaugten Werkes ist schwach schüsselförmig, das Flächenausmaß des Himmels je nach seiner Größe und seinem vorgeschrittenen Stadium verschieden: $4000-6000\text{ m}^2$; der Hohlraum der Kammern $6000-20.000\text{ m}^3$. Die größte Himmelfläche im Ischler Salzberg hat ein Ausmaß von 5500 m^2 , der Kammerinhalt $180.000-190.000\text{ hl}$ Soole.

⁵⁾ Man ist in Salinenkreisen geneigt, den Verbrauch von Ätzwasser ausschließlich mit der Kontraktion des sich ständig anreichernden Soolwassers zu begründen; indes spielt, meinem Dafürhalten nach, in dieser Hinsicht auch das kapillare Eindringen des Laugungswassers in die Decke und in die Wände, sowie eine gewisse effektive Vergrößerung des Kammerhohlraumes mit.

Es gibt verschiedene Arten von Soole...

in Promillen und die unterzeilig beigesetzten Kleinziffern die Äquivalentprocente Kochsalz (s) sowie die Äquivalentprozentsumme von Natrium-, Calcium- und Magnesiumsulfat (g, y, b) bedeuten.⁶⁾ Dieser Ausdrucksweise sei hier gleich jene des Meerwassers gegenübergestellt: 34,5. s⁷⁷ d¹³¹⁵ σ⁹ wobei d die Ionen des Chlormagnesiums und σ die Sulfat-Ionen bedeuten.

Der salinentechnischen Mutterlauge von Bad Ischl hingegen kommt folgendes Symbol zu: 277,7 s^{80,6} d¹³ μ. Sie ist demnach der Soole sehr ähnlich und gehört, rein chemisch betrachtet, noch lange nicht zu den echten Mutterlaugen, in denen ja der Chlornatriumgehalt auf ein Mindestmaß herabgedrückt sein muß, und der Hauptcharakter infolge Überwiegens von Calcium- und Magnesiumchlorid zu einem typisch erdmuriatischen oder „tachydritischen“ wird (Tachyhydrit, ein Mineral von der Zusammensetzung CaCl₂ · 2MgCl₂). Infolge des teilweisen Eindampfens der Soole und der Ausscheidung von Kochsalz steigt die Konzentration von 26,6 auf 27,8 %, sohin aber doch nur um 11 ‰, während der Chlornatriumgehalt relativ (von 97,2 auf 80,6 Äquivalentprocente) abnimmt; dafür rückt das Magnesiumchlorid (d) mit 13 Val. % in den Hauptcharakter vor.

Der Bromgehalt der Bad Ischler Salinenlauge (in dem früheren Charactersymbol ausgedrückt durch μ) beträgt bloß 0,45 g in 1 kg Lauge, ist also verhältnismäßig sehr niedrig; deshalb wird der Jodgehalt und namentlich jener der etwas geringer konzentrierten Soole noch kleiner sein. Immerhin wäre es empfehlenswert, wenn die Salz-

⁶⁾ Tatsächlich konnte ich vor einigen Jahren größere Brocken von neu auskristallisiertem Glaubersalz (von glasartigem, beziehungsweise eisstückähnlichem Aussehen) aus einer gegen die Streckenulme hin diffundierenden „Quicksoole“ auf sammeln, die vielleicht schon einige hundert Jahre alt gewesen war. Hierbei dürfte die niedrig temperierte Streckenluft die Umsetzung und Ausscheidung nach der Gleichung:

$$\text{Ca SO}_4 (\text{Anhydrit}) + 2 \text{Na Cl} (\text{Soole}) = \text{Na}_2 \text{SO}_4 (\text{Glaubersalz}) + \text{Ca Cl}_2$$
 bewirkt, respektive befördert haben, ein Prozeß, den man auch für die Bildung des Steppenglaubersalzes annimmt. (Zusatz vor der Drucklegung: Diese Annahme findet in mehrfachen Beobachtungen Oberbergrats L. Janiss (Bad Ischl) ein Analogon, wonach sich bei feuchter, kalter Grubenluft in Strecken mit großen Anhydritstrichen und Steinsalzeinlagerungen Nester von mehlig-grießlichem Glaubersalz zeigen. Auch die Versulzung und Vergypfung [besonders sehr langer Gußrohrleitungen, weniger von kurzen oder Holzleitungen] wird nach dem Genannten durch die Außenkälte wesentlich gefördert.)

kammergut-Mutterlaugen auch auf die geringfügigen Inhaltsstoffe (Kalium, Lithium, Cäsium, Rubidium, Jod usw.) einmal eingehender untersucht würden.⁷⁾ Für die Balneologie ist die Frage des Jodgehaltes der Soole jedenfalls die interessantere; auch diesbezüglich war bislang nichts Greifbares bekannt gewesen.

Die Kurdirektion von Bad Ischl ließ kürzlich auf meine Anregung hin die jetzige Soole durch den Mikroanalytiker Th. v. Fellenberg in Bern untersuchen. Es ergab sich die Relation Chlor : Brom : Jod wie 190·7 g : 0·27 mg : 0·025 mg im Liter, wonach sich also die Gewichtsmengen dieser drei Halogene J : Br : Cl verhalten wie 1 : 11 : 7·6 Millionen. Der Jodgehalt der Soole von B. Ischl beträgt sohin bloß 25 γ (25 Millionstel Gramm) im Liter. Es ist dies eine schon außerordentlich kleine Zahl, die jedoch von dem Jodgehalt des achtmal verdünnteren Meerwassers um das Doppelte (43—68 γ) übertroffen wird. Dieser scheinbare Widerspruch findet seine Erklärung in der geologischen Geschichte der Haselgebirgs-Entstehung, wonach die leichtestlöslichen Brom- und Jodverbindungen nicht zur Ausscheidung kommen konnten, weil die ruhige Kristallisation von dem erwähnten Deckengebirgsprozeß überrascht und vorzeitig zur Gänze zerstört wurde; die damaligen natürlichen Salzlaugen mußten daher notgedrungen abwandern, bezw. das Weite suchen. So stehen denn auch die jüngsten Jodforschungsergebnisse mit den geologischen Erkenntnissen im Einklang und bilden in gewissem Sinne auch einen Beitrag zu dem langjährigen Streit, ob das Meerwasser überhaupt jodhaltig sei oder nicht; es gibt noch immer Anhänger der letzteren Auffassung, die die gefundenen Jodwerte lediglich auf Verunreinigungen des nicht völlig klar zur Analyse verwendeten Meerwassers zurückführen.

Hier, in Bad Ischl, haben wir es mit einer erheblich kleineren Ziffer zu tun, die man als „Spur“ zu bezeichnen geneigt sein wird. Diese Bezeichnung findet man bekanntlich in vielen Mineralwasser-Analysen, sie ist jedoch nur ein relativer, nicht ziffernmäßig abgrenzbarer Begriff. Es

⁷⁾ Cäsium und Rubidium wurden bereits vor Jahrzehnten in der Soole qualitativ nachgewiesen, werden daher gleichfalls in der Salinenlauge enthalten sein. Letztere galt auch (nach den früheren Analysen) als gänzlich jodfrei, was von mir (im Oe. B. B. 1928) bezweifelt wurde. Jod muß um so mehr auch hier vorhanden sein, als es sich nach den jüngsten Feststellungen sogar in der Soole quantitativ nachweisen ließ.

verbleibt schließlich immer die Frage, wie klein ein derartiger, bloß mikroanalytisch erfaßbarer Wert sein muß, daß man ihn praktisch gleich Null setzen und die betreffende Materie als „frei“ von diesem Stoff bezeichnen kann.

Daß manche dieser quantitativ so minimalen Stoffe, wie beispielsweise das Radium, nach menschlicher Auffassung überhaupt nur in Spuren vorkommen, jedoch innerhalb dieses Begriffes recht große Mengenunterschiede aufweisen können, ist uns bereits geläufig.

Diese 25 γ Jod im Liter der Ischler Soole nehmen sich in der Tat wie eine Zwergziffer aus gegenüber den „hohen“ Werten in ausgesprochenen Jodkurorten, wie Bad Hall, O.-Ö. (25.000—47.000), Csiz, Slovak. (45.000), Zablacez, Schles. (130.000) oder gar Govora, Rum. und Trescaro, Ital., mit rund 200.000 $\gamma = 0,2$ g Jod. Dennoch haben sich bereits vor Jahrzehnten Stimmen dafür erhoben, daß man derlei Wertstoffspuren sogar in den Solwässern badetherapeutisch nicht völlig unterschätzen möge. Wie sehr dann erst bei innerlichem Gebrauch von Mineralwässern — ich meine jetzt nicht Soolen — so verschwindend kleine Stoffmengen von Bedeutung sein können, muß um so verständlicher erscheinen: es bildet denn auch diese Erkenntnis in neuerer Zeit ein kaum zu entkräftendes Argument gegen die künstliche Nachahmung natürlicher Mineralwässer. Wenn solchen fast nicht greifbaren Wertstoffen tatsächlich Wirkungen auf den Organismus zukommen, dann ist es eben nicht damit abgetan, den Hauptstoffgehalt allein nachzuzahlen, der gewissermaßen nur die Emballage für die winzige Wertstoffführung bildet.

*

Im Anschluß an den vorstehenden Wortlaut des Vortrages sei nachtragsweise noch bemerkt, daß sich in einzelnen hellgrauen Lettenpartien (Werfener Schiefer?) des Haselgebirges, besonders von B. Aussee, $\frac{1}{2}$ —3 cm kleine, rote, deformierte Steinsalzwürfel eingebettet finden, deren Flächen nach innen eingedrückt erscheinen und dadurch an treppenförmige Skelettkristalle erinnern. Dieses Vorkommen dürfte von früheren Bergleuten Jodsalz benannt worden sein, welche Bezeichnung man noch in einzelnen Lokalmuseen des Salzkammergutes antrifft. Indes ist, wie zu erwarten war, der Jodgehalt bestenfalls ein äußerst geringer. Herr Dr. R. D w o r c z a k (Wien) hat sich über mein Ersuchen der Mühe unterzogen und eine kleine

Probe hievon auf Jod geprüft mit dem Ergebnis, daß es sich nur um einen Wert unter 0·015 % J der Ausgangssubstanz handeln könnte. ⁸⁾

⁸⁾ Es wurden 0·4 g des sog. Jodsalzes in 10 cc H₂O gelöst und vom roten Rückstand abfiltriert. Hierauf wurde das allenfalls vorhandene Jod durch Zusatz von Kaliumnitrit und Schwefelsäure in Freiheit gesetzt und ausgeschüttelt, wonach aber keine Färbung zu beobachten war. — Zum Vergleich wurde noch eine Jodkalium-Lösung (11·2 mg KJ in 15 cc H₂O) angesetzt; 0·1 cc dieser Lösung (enthaltend 0·08 mg KJ) ergab bei gleicher Arbeitsweise bereits eine sichtbare Färbung.

Demnach wären in den 0·4 g des „Jodsalzes“ jedenfalls weniger als 0·06 mg J enthalten.

Eine mikrochemische Untersuchung konnte bisher nicht vorgenommen werden.