

GEOLOGISCHE TYPOLOGIE UND GENESE DER MINERALQUELLEN UND MINERALWÄSSER IM NEUSIEDLERSEEGBIET

Von A. F. T a u b e r, Wien

Inhalt:

	Seite:
Übersicht über die genetischen Typen der Mineralquellen und Mineralwässer	259
I. Vulkanogene Quellen	263
A. Die Kohlensäuregas-Vorkommen	263
II. Die Mineralquellen des vadosen Kreislaufes	267
A. Die Säuerlinge	267
B. Die degradierten Säuerlinge	271
1) Die Kaliquellen (degradierte Kalisäuerlinge)	271
2) degradierte Natronsäuerlinge (Natronquellen)	273
C. Die Schwefelquellen des vadosen Kreislaufs	274
D. Die Bittersalz- und Gipswässer	277
III. Die Mineralwasserlagerstätte und die Lagerstättenwässer (connate waters)	279
A. Bau und Entstehung der Mineralwasserlagerstätte	279
B. Sulfatische und chloridische connate waters der Tertiärschichtfolge	286
C. Desulfurierte connate waters der Tertiärschichtfolge	289
D. Connate waters quartärer Salzsee-Sedimente (Schwefel- und Natronwässer von Lagerstätten-Typus)	292
IV. Die heutigen Mineralwasserseen	295
Literatur	301

ÜBERSICHT ÜBER DIE GENETISCHEN TYPEN DER MINERALQUELLEN UND MINERALWÄSSER

Die Gas- und Dampfquellen, die Thermen und Mineralwässer der Erde lassen sich ihrer Genese und der Art ihres geologischen Auftretens nach in fünf große Gruppen einteilen:

I. In die vulkanogenen Quellen. Unter diesem Terminus fasse ich jene Gas-, Dampf-, Thermal- und Mineralquellen zusammen, die ihre Existenz und typische Erscheinungsform vulkanischer Energetik verdanken. Sei es, daß diese natürlich oder künstlich geförderten Gase, Dämpfe und Wässer als magmatische Differentiationsprodukte (z. B. juveniles Wasser, Schwefelexhalationen der Solfataren etc.) oder als Reaktionsprodukte des Magmas mit dem Nebengestein aufgefaßt werden müssen oder können (z. B. natürliche und erfohrte Mofetten) oder auch nur der thermischen Energie des Magmas ihre typische Erscheinungsform verdanken, wie dies etwa für die natürlichen Dampfvorkommen, die Geysire und Thermalquellen der Gebiete mit jungem Vulkanismus gilt. Wenn es sich auch, wie man heute weiß, gerade bei der letzterwähnten Gruppe mindestens zum weitaus größten Teil (wenn wohl auch nicht ausschließlich) um meteorisches Wasser handelt, so sind doch Erscheinungsform (Dämpfe und Geysire) und Temperatur (Thermen) und als Folge davon oft auch die Mineralisation entscheidend von dem hohen Wärmefluß der vom Magma ausgeht und welcher in jungvulkanischen Gebieten das Mehrtausendfache des Normalwertes erreichen kann, bestimmt.

II. In die Mineralwässer und Thermen des vadosen Kreislaufes. Diese Wässer und Quellen kommen dadurch zustande, daß einsickernde Regen- und Oberflächenwässer bei ihrem Durchtritt durch mehr oder weniger wasserzügige Gesteine Mineralstoffe in Lösung bringen, oder durch mitgeführten Luftsauerstoff geochemische Reaktionen in Gang halten und deren Reaktionsprodukte mit sich führen oder schließlich mit Hilfe der bereits gelösten Mineralstoffe oder Gase geobakteriologische Stoffwechselprozesse unterhalten und mit diesen Stoffwechselprodukten beladen, aus eigener Kraft durch künstliche Erschließung wieder ans Tageslicht treten. Zwischen den unter I. genannten vulkanogenen Quellen und den vadosen Wässern gibt es Übergangstypen. Hierher gehören insbesondere die Sauerlinge, deren Wasser vadoser Herkunft, deren Gasgehalt aber — jedenfalls zum weitaus überwiegenden Teil — vulkanogener Abkunft ist. Da in der Regel die nicht-vulkanogene flüssige Phase quantitativ bei weitem vorherrscht, sind sie fast immer den vadosen Kreislaufwässern zuzuzählen. Überwiegt, bei normalem Luftdruck des Quellortes gemessen, volumeterisch die nicht absorbierte gasförmige Phase, so handelt es sich um eine Quelle vulkanogenen Typs (Mofette). Nur die Wässer des vadosen Kreislaufs (sofern sie in große Erdtiefen gelangen) und die vulkanogenen Quellen bilden natürliche Thermen. Die im folgenden angeführten Typengruppen III. und IV. vermögen nur bei entsprechender Bohrererschließungen Thermalwasser zu liefern.

III. In die Tiefenstandwässer. Tiefenstandwässer sind Wässer, die dem vadosen Kreislauf entstammen, aber aus diesem Kreislauf

ausgeschieden sind und in gewissem Sinne Lagerstättencharakter angenommen haben. Es handelt sich hier meist um sehr stoffreiche Lösungen — vorwiegend der Ablaugung von Salzlagerstätten durch vadose Wässer entstammend — die infolge ihres hohen spezifischen Gewichtes stoffärmere Porenlösungen und liquide Kluftfüllungen verdrängen, auf diese Weise die tiefsten ihnen zugänglichen Bereiche im Gestein aufsuchen und solcher Art aus dem vadosen Kreislauf ausscheiden. Sie bilden teilweise riesige ruhende oder kaum bewegte Mineralwasserkörper, wie wir sie z. B. im Bereich des deutschen Salinars in großer Verbreitung finden. Natürlich oder künstlich angezapft, regenerieren sie sich — zum Unterschied von den gleich noch zu besprechenden connate waters — solange noch ablaugbares Gestein vorhanden ist, aus dem vadosen Kreislauf. Häufig bilden mit Kohlensäure imprägnierte Tiefenstandwässer Übergangstypen zu der unter I. genannten Gruppe.

IV. In die hochmineralisierten connate waters, also jene Wassermengen, die bei der Sedimentation im Porenraum der Sedimente mit eingeschlossen und „fossil“ wurden. Zum Unterschied von allen anderen Wässern haben sie typischen Lagerstättencharakter: sie sind prinzipiell erschöpflich, da sie sich nicht regenerieren. Die sogenannten Ölfeldwässer (und die mit ihnen in Verbindung stehenden Lagerstätten von festen, flüssigen oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen) stellen einen vergleichsweise seltenen Sonderfall der insbesondere in den marinen Tertiärbecken in außerordentlich großer Verbreitung vorhandenen hochmineralisierten connate waters dar. Auch hier findet man gelegentlich Mischtypen mit vulkanogener Komponente, z. B. connate waters, die große Mengen vulkanogener Kohlensäure gelöst enthalten. Ebenso gibt es — chemisch gesehen — Übergangstypen zu den Wässern des vadosen Kreislaufs und zu den salinen Tiefenstandwässern, die sich dort finden, wo connate waters durch vadose Wässer oder Tiefenstandwässer verdrängt werden.

V. In die hochmineralisierten Oberflächenwässer Diese Gruppe umfaßt die Salzseen und sonstigen Oberflächengewässer mit hochmineralisierten Wässern, vor allem aber das Meer, das größte Mineralwasservorkommen der Erde überhaupt. Zwischen den Gruppen III. und IV bestehen enge Beziehungen, da ja die connate waters unmittelbar aus den Oberflächengewässern hervorgehen, die (balneologisch nicht nutzbaren) Übergangstypen beschränken sich jedoch auf das „Bodenwasser-Häutchen“ (TAUBER 1962 b, f). Chemische Übergangstypen zur Gruppe II. sind insbesondere an den Meeresküsten in beträchtlicher Verbreitung vorhanden und vereinzelt auch balneologisch genutzt. Hingegen sind Übergänge zur Gruppe I. selten und beschränken sich im wesentlichen auf

einige Calderaseen, die von (post-) vulkanischen Exhalationen durchgast werden.

Fassen wir den Begriff „Neusiedlersee-Gebiet“ nicht zu eng auf, so sehen wir uns vor die erstaunliche Tatsache gestellt, daß wir Vertreter von vier dieser fünf Typengruppen im Neusiedlerseegebiet vorfinden — ein zumindest in den klimatisch gemäßigten Zonen äußerst seltener Fall, wenn nicht überhaupt ein Einzelfall. Diesem Umstand ist nicht nur der Mineralquellenreichtum des Neusiedlerseegebietes überhaupt, sondern insbesondere auch die außerordentlich reiche hydrochemische Differenzierung der auftretenden Mineralwässer zu danken.

Ein eindrucksvolles Vorkommen der vulkanogenen Typengruppe finden wir 25 km südöstlich des Neusiedlersees im Kohlsäuredom von Mihályi, wo zwei Tiefbohrungen aus miozänen Basiskonglomeraten gewaltige Kohlsäuremengen fördern. Die Bohrungen versorgen zwei Kohlsäurefabriken, welche den gesamten Kohlsäurebedarf Ungarns zu decken in der Lage sind. Daneben besteht als balneotherapeutische Einrichtung ein kleines, dem Rat der Gemeinde Mihályi gehöriges Kohlsäuregasbad. Es ist nicht ausgeschlossen, daß Domungen im Bereich des Seewinkels oder flache Aufwölbungen, welche wir dem gravimetrischen Bild (TAUBER 1959a) entsprechend, im südlichen Seewinkel, im Raum von Wallern vermuten, in geeigneten Speichergesteinen ebenfalls Kohlsäuregas führen. Wir kommen bei der Besprechung der Kohlsäuregas-Vorkommen noch darauf zurück.

Den vadosen Kreislaufwässern gehören die Schwefelquellen von Balf und Schützen am Gebirge an, ferner die Säuerlinge von Balf, Sopron, Magyarfalva, Kophaza, Deutschkreutz, Illmitz und Neusiedl am See, sowie die eigenartige und seltene Gruppe der Kaliwässer, die wir als „degradierte“ Kali-Säuerlinge auffassen und welcher sehr wahrscheinlich eine schlecht abgrenzbare Gruppe von Natronwässern, als degradierte Natronsäuerlinge, an die Seite zu stellen sein wird. In die Gruppe der vadosen Kreislaufwässer gehören aber auch die hochkonzentrierten Magnesiumsulfatwässer von Purbach (vom Typus Hunadi János, Apenta und Franz-Josef-Bitterwasser), die hochkonzentrierten kalziumchloridreichen Gipswässer von Purbach und die Gipswässer von Neusiedl am See und vom Harkai Major (Brandmeierhof) 5 km südlich von Sopron, deren wichtigster Bestand an gelösten Mineralstoffen durch Pyritzersetzung in oberflächennahen, teilweise dolomithaltigen Tonen gebildet wird.

Die Gruppe der Mineralwässer vom Lagerstättentyp ist durch nun schon zahlreiche Bohrungen im Bereich der 1955—57 entdeckten Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee erschlossen worden. Wir finden hier in tertiären Sedimenten eine Fülle hydrochemisch verschiedener Typen: Natriumsulfatwässer, z. T. mit hohen Magnesiumgehalten, desulfurierte Na-

triumsulfatwässer und alle Übergänge zwischen den beiden letzterwähnten zu fast sulfatfreien Kochsalzwässern (Oggau, Rust, Mörbisch, Fertörakos, Illmitz). In quartären Sedimenten finden wir hochalkalische Sodawässer und hochalkalische Schwefelquellen (Podersdorf, Illmitz).

Die vierte Gruppe von Mineralwässern schließlich ist durch die zahlreichen Sodaseen des Seewinkels vertreten. Etwa 80 teils perennierende, teils periodisch austrocknende sogenannte „Zicklacken“ enthalten vorwiegend Sulfate, Karbonate und Chloride des Natriums und erreichen zuweilen Konzentrationen bis fast 26 g/Liter. Auch der Neusiedlersee selbst, einer der größten Seen Europas, ist ein Mineralwassersee. Bei normalem Wasserstand beträgt sein Salzgehalt etwa 1,3 bis 1,5 g/Liter. 1902, als der Wasserstand des Neusiedlersees so stark gesunken war, daß der See nur noch 1/5 der heutigen Seefläche bedeckte, war die Salzkonzentration im See hoch angetiegen. Bei Fertörakos erreichte sie damals ein Maximum von 13,352 g/Liter (EMSZT 1904). Trocknen die Seen ganz oder teilweise aus, so blüht weißes Salz aus dem Seeboden. Ganz überwiegend sind es Sulfate, zurücktretend Chloride und Karbonate des Natriums.

Wir wenden uns nun der Besprechung der einzelnen Quellen- und Wassertypen zu.

I. VULKANOGENE QUELLEN

A. Die Kohlensäuregas-Vorkommen.

Ich habe oben bereits angedeutet, daß ich das Vorkommen bedeutender Mengen gasförmiger Kohlensäure im Bereich des Seewinkels für durchaus möglich halte. Wir finden nämlich gerade östlich des Neusiedlersees, im Seewinkel, geologische Verhältnisse, die denen der Umgebung von Mihályi gleichen. Hier in Mihályi, 25 km südöstlich des Neusiedlersees produzieren zwei der 5 Tiefbohrungen die am Scheitel einer großen Nordost—Südwest gestreckten Domung sitzen (Mi I, 1473 m und Mi V, 1316 m) aus dem Basiskonglomerat eines reduzierten Miozäns bei 75 at Lagerstättendruck große Mengen an Kohlensäuregas, welches mit 32° C der Bohrung entströmt und einige wenige Prozente Butan und andere flüssige und gasförmige Kohlenwasserstoffe, sowie mitgerissenes Salzwasser enthält. Das Vorkommen entspricht typologisch vollständig den Erdgaslagerstätten, lediglich die Kohlensäure ist anderer, vulkanischer Herkunft.

Über den größtenteils unter mächtigem Pannon begrabenen jungtertiären Vulkanismus Transdanubiens wissen wir wenig. Im südtransdanubischen Erdölgebiet südlich Nagylengyel haben einige Bohrungen im Unterhelvet Andesite und Dolerite angetroffen, so etwa die Bohrungen Kiliman KI 3 in ca. 900 m und Pusztaederics HE 62 in ca. 1650 m (TO-

MOR 1957). Die dem Neusiedlersee und dem Dom von Mihályi nächst gelegenen Vulkanite wurden 20 km südöstlich von Mihályi bei der Abteufung der Forschungsbohrung Szany entdeckt. Die Bohrung Szany wurde, wie sich aus dem Vergleich mit der gravimetrischen Karte (FACSINAY 1957) und der Karte der geomagnetischen Vertikalintensität (SCHEFFER 1957) ergibt, über einem ausgeprägten gravimetrischen Defizit und nahe dem Zentrum eines umfangreichen geomagnetischen Maximums abgeteuft. Diese Bohrung fuhr unter mächtigem Pannon in 2032 m tortonische Lithothamnienmergel und Kalkmergel und darunter zwischen 2084 und 2380 m eine Wechsellagerung von dunkelgrauen helvetischen Tonschiefern mit kalzitführendem Dolerit (Karbodolerit), Trachytbänken und Tufflagen an. Bei 2501 m wurde die Bohrung im Helvet eingestellt (KÖRÖSSY 1958). Das Ergebnis dieser Bohrung spricht dafür, daß die auffällige positive Anomalie der geomagnetischen Vertikalintensität durch vulkanische Gesteine hervorgerufen wird, und dies umsomehr, als auch im Gebiet von Kiliman und Pusztaederics, wo, wie wir bereits sagten, Vulkanite erbohrt wurden, eine positive Anomalie der geomagnetischen Vertikalintensität vorliegt. Im Raum zwischen der Struktur Pusztaederics — Kiliman und Szany liegen (abgesehen von den großen Basaltvulkanen im Bakony-Gebiet und dem Basaltvulkanismus der südburgenländischen Schwelle) etwa ein Dutzend kleiner Basalt- und Basalttuffschlote zwischen der Raab und dem Marczal-Fluß. Das nördlichste dieser Vorkommen liegt nur 5 km südlich von Szany.

Wir sehen also, daß ein anscheinend ziemlich bedeutender miozäner Vulkanismus unter dem transdanubischen Pannon begraben liegt und nur ein paar jüngstpliozäne Basalt-Nachschübe die Erdoberfläche erreichten. Mit dieser Vorstellung eines zwar durch Sedimente größtenteils verdeckten, aber doch sehr beträchtlichen vulkanischen Geschehens im transdanubischen Neogen decken sich nun auch die Befunde von BOLDIZSAR, welcher in Transdanubien geothermische Tiefenstufen zwischen 17,2 und 20 m, in Nagylengyel von 21,9 m feststellte (BOLDIZSAR 1958, 1959). Diese Werte liegen deutlich unter den Normalwerten der geothermischen Tiefenstufe, die wir bei mächtigen pelitischen Schichtfolgen mit etwa 26 m anzusetzen haben. Ursache der verringerten geothermischen Tiefenstufe ist ein erhöhter Wärmefluß, dessen Ursache zweifellos in der Wärmeabgabe vulkanischer Körper zu suchen ist.

Gehen wir nun zu den dem Neusiedlersee näher gelegenen Gebieten über, so finden wir dort sehr ähnliche Voraussetzungen für eine Kohlen säuregas-Akkumulationen. Ganz ähnlich wie bei Szany finden wir östlich des Neusiedlersees im Raum von Mosonmagyaróvár (Ungarisch-Altenburg—Wieselburg) eine umfangreiche positive Anomalie der geomagnetischen Vertikalintensität in einem gravimetrisch defizitären Gebiet. Das

Maximum der Anomalie liegt etwa 45 km östlich des Neusiedlersees. Ähnlich wie bei Szany dürfen wir annehmen, daß auch hier die Anomalie durch einen in großer Tiefe begrabenen vulkanischen Körper verursacht ist. Die Rekonstruktion des Reliefs des transdanubischen Grundgebirges auf Grund von Bohrungen und Gravimetrie zeigt, daß bei Mosonmagyaróvár bereits Neogenmächtigkeiten von 2500—3000 m zu erwarten sind und gegen den Neusiedlersee zu, aber auch gegen Norden, ein mehr oder minder stetiger Anstieg des Grundgebirges zu verzeichnen ist (KÖRÖSSY 1958). Bei Frauenkirchen wurde das Grundgebirge in 1621,45 m Tiefe, auf der Pödersdorfer Struktur, welche vom Frauenkirchner Gebiet allerdings durch die Mönchhofer Bruchzone getrennt ist, bereits in 377,5 m Tiefe erreicht. Eine Migration gasförmiger vulkanischer Exhalate in westlicher, auf den Neusiedlersee zu orientierter Richtung, allerdings auch gegen Norden zu, ist also wahrscheinlich und anzunehmen. Andererseits bestehen keine Möglichkeiten für eine Gasmigration gegen Osten, da in dieser Richtung die Beckentiefe zunimmt und nur sehr beschränkte gegen Süden, weil hier ein großer Ost—West-streichender Bruch des Donau-Lineaments die prämiozänen und sehr wahrscheinlich auch noch die miozänen Schichtfolgen durchschneidet. Dieser Bruch setzt in der Nähe von Pamhagen an und folgt dem Einserkanal, bis er in der Nähe von Győr die Donau erreicht und dieser auf eine Strecke von über 70 km, bis nach Esztergom, den Lauf vorschreibt. Im Raum von Komárom erreicht er eine Sprunghöhe von über 2000 m, wobei der Nordflügel dieser großen Störung abgesunken und mit Eozän, Oligozän und Miozän vollständig aufgefüllt ist. Die Basis der pannonischen Schichtfolge zeigt ihr Tiefenmaximum bereits südlich dieser Störungslinie, also im Bereich der gehobenen Scholle (KÖRÖSSY 1958). Die geschilderten Reliefverhältnisse des Beckengrundes und seiner tieferen Sedimentfüllung lassen also durchaus eine bevorzugt nach Westen und Norden gerichtete Gasmigration erwarten. Als mögliche Gasfallen bieten sich im Bereich des Neusiedlersees nicht nur Schleppungsstrukturen entlang der großen Störungszone Mönchhofer Bruch — Halasz-kunyho-i-törés (Fischerhütten-Bruch M. VENDEL's) an, sondern vielleicht auch Strukturen östlich der Mönchhofer Bruchzone. Die Karte der gravimetrischen Anomalien läßt z. B. im Raum von Wallern eine flache Aufwölbung als möglich erscheinen; eine zweite kleine Struktur wäre östlich von Halbtorn möglich (vergl. die Karte der Schwereanomalien des Neusiedlerseegebietes bei TAUBER 1959a). Die Karottage der Tiefbohrung Frauenkirchen hat im Bereich der miozänen Basiskonglomerate durchaus ermutigende Befunde gebracht, Förderteste sind aber damals (1936) technisch mißlungen, sodaß wir ohne Kenntnis des gasförmigen oder flüssigen Inhalts dieses Schichtkomplexes geblieben sind.

Vielleicht werden diese Überlegungen dazu beitragen, das Interesse an der genaueren Erforschung der möglichen Strukturen östlich der Mönchhofer Bruchzone zu erwecken, derzeit können wir nur die Möglichkeit aufzeigen, daß entlang des Mönchhofer—Fischerhütten-Bruches und in Strukturen östlich davon Kohlensäuregas-Akkumulationen aufgefunden werden können. Es ist, in diesem Lichte gesehen, zweifellos kein Zufall, daß der Mönchhofer—Fischerhütten-Bruch eine Sauerlinglinie erster Ordnung darstellt.

Solange keine geomagnetische Kartierung des Neusiedlerseegebietes vorliegt, ist es nicht möglich zu sagen, ob nicht auch im Seewinkel selbst verdeckte vulkanische Körper geringeren Umfanges vorhanden sind. Anormal geringe geothermische Tiefenstufen im Raum von Illmitz und Apetlon lassen sich derzeit kaum anders erklären, denn als Folgeerscheinung vulkanischer Durchwärmung (TAUBER 1962d). Hiezu kommen die Nachweise einer fast kontinuierlichen vulkanischen Tätigkeit im Raum Neusiedlersee: Hier dokumentiert sich der mio-pliozäne Vulkanismus in den Bentonitlagen der tortonischen Sedimente von Fertőrákos (Kroisbach) (M. VENDEL 1937), Rust—St. Margarethen (WIEDEN 1963*) und Deutschkreutz, im Sarmat von Breitenbrunn (SCHROLL & WIEDEN, 1963) und Neckenmarkt und in den Pannonsanden von Lackenbach-Lackendorf. Sie ordnen sich zwanglos in den Zyklus der neogenen vulkanischen Tätigkeit ein, der regional mit Andesiten, Trachyandesiten, Trachyten, Lipariten und Doleriten im Helvet beginnt (Tiefbohrung Szany — KÖRÖSSY 1958, Struktur Kiliman — Pusztaderics — TOMOR 1957, Grazer Becken — JANOSCHEK 1960, Gleichberger Vulkangebiet, Aschau — WINKLER-HERMADEN 1938, 1951) und mit basaltisch-limburgitischen Larven im Oberpannon und postvulkanischen Erscheinungen im Ältestquartär (Geysirite des Balaton-Gebietes LOCZY, 1916) endet. Einschaltungen vulkanischer Tuffe und Aschen, Bentonitlager und Montmorillonitlagen in tortonischen und sarmatischen Gesteinen und die heute für tiefstunterpannonisch gehaltenen Basaltkuppen von Oberpullendorf (KÜPPER 1957) beweisen für die weitere Umgebung des Neusiedlerseegebietes eine nahezu ununterbrochene vulkanische Tätigkeit während des Miozäns und Pliozäns. Es ist aber fraglich, ob die bisher bekannten Eruptionszentren in Anbetracht ihrer doch beträchtlichen Entfernung vom Neusiedlersee mit den Bentonitlagen im Seegebiet in unmittelbaren Zusammenhang gebracht werden können. Vielleicht werden auch sie als Hinweis auf die Existenz eines noch unbekannten vulkanischen Körpers im engeren Seegebiet betrachtet werden können.

* WIEDEN wies 1963 nach, daß die im Steinbruchgebiet von Rust — St. Margarethen auftretenden Tone Bentonite sind (noch unveröffentlicht).

A. Die Sauerlinge

In allen gut studierten Räumen mit jungem Vulkanismus hat sich bisher eine enge und gesetzmäßige Beziehung zwischen vulkanischer Tätigkeit und dem Auftreten von Sauerquellen oder Ansammlungen gasförmigen Kohlendioxyds feststellen lassen und die Berechnung der exhaliierten und mit Sauerwässern weggeführten Kohlensäuremengen führte stets zu dem Ergebnis, daß die Produktion dieser gewaltigen Kohlensäuremengen nicht anders als durch Entgasung entsprechend großer Magmaherde denkbar ist (CARLÉ 1958 a, b, FRICKE 1954, 1961).

Die Migration der Kohlensäure erfolgt bevorzugt entlang von Kluftnetzen in zur Klüftung neigenden Hartgesteinen, wodurch „Säuerlingslinien“ oder „Kohlensäurelinien“ (KNETSCH 1939, FRICKE 1961) entstehen. Aber auch in porösen Lockergesteinen, in Breccien, Konglomeraten, Sanden und Sandsteinen ist eine Migration gasförmiger Kohlensäure analog der Erdgas-Migration möglich. Ein Beispiel für den letzterwähnten Fall bietet der oben beschriebene Kohlensäuredom von Mihályi.

Der andere Fall, die Migration der Kohlensäure entlang von Spalten und Klüften ist durch zahlreiche Säuerlinge verwirklicht, die an den großen Bruchlinien liegen, welche die Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee begrenzen oder durchschneiden. Wir kennen heute bereits 12 Säuerlinge und eine mehr als doppelt so große Anzahl „degradierte Säuerlinge“ unter welchem Ausdruck wir Säuerlinge verstehen, deren Gehalt an freier Kohlensäure beim Durchgang durch oberflächennahe poröse Gesteine verloren gegangen ist und welche daher nur noch den in Lösung gegangenen Feststoff-Gehalt an die Erdoberfläche bringen.

Im Neusiedlerseegebiet können vier tektonische Lineamente unterschieden werden, wobei wir unter „Lineament“ die Gesamtheit aller Brüche gleicher Streichrichtung ohne Rücksicht auf ihre Fallrichtung bzw. ihre Abschiebungstendenz verstehen. Brüche gleicher Streich- und Fallrichtung (Abschiebungstendenz) gehören einem „Bruchsystem“ zu. In der Regel besteht ein Lineament aus zwei Bruchsystemen mit entgegengesetztem Einfallen der Bruchflächen, also entgegengesetzter Abschiebungstendenz. Große „Bruchzonen“ bestehen meist aus zahlreichen Brüchen eines Lineaments, wobei stets die beiden zusammengehörigen Bruchsysteme in Erscheinung treten. Eines der beiden Bruchsysteme dominiert dabei regelmäßig über das andere hinsichtlich des Ausmaßes der an ihm erfolgten Vertikal-Bewegungen. Die Lage der hauptsächlichsten Bruchstrukturen sind dem beiliegenden Übersichtskärtchen der Mineralquellen zu entnehmen.

Das Nord—Süd-reichende Fertő-Lineament aus ost-abschiebendem Fertő-System und west-abschiebendem Köhida-System bestehend, tritt zusammen mit dem nordost-südweststreichenden Leitha-Lineament, welches seinerseits aus dem südost-abschiebenden Eisenstädter System und dem nordwest-abschiebenden Mannersdorfer System besteht, im Neusiedlerseegebiet landschaftsgestaltend und baubestimmend in Erscheinung. Diesen beiden Lineamenten gegenüber tritt das Ost—West-gerichtete Donau-Lineament und das Nordwest—Südost-streichende Oberpullendorfer Lineament im Neusiedlerseegebiet stark in den Hintergrund. Größere Brüche dieser beiden letztgenannten Lineamente sind im Neusiedlerseegebiet bisher nicht nachgewiesen worden, obwohl gute Argumente dafür bestehen, daß mindestens das Oberpullendorfer Lineament mit dem an ihn geknüpften mio-pliozänen Vulkanismus auch im Neusiedlerseegebiet wirksam geworden ist. Untersuchungen, die der Verfasser in den letzten Monaten angestellt hat, haben ergeben, daß der junge Vulkanismus Transdanubiens und der sich westwärts anschließende der Oststeiermark und des Burgenlandes, soweit überprüfbar, durchwegs an Brüche des Oberpullendorfer Lineaments gebunden sind. In Transdanubien hat sich gezeigt, daß die Brüche dieses Lineaments offene Zerrungsbrüche sind (M. VENDEL).

Die hinsichtlich ihrer Verknüpfung mit Sauerlingen weitaus wichtigste Störungslinie ist, wie bereits erwähnt, die der Mönchhofer-Fischhütten-Bruchzone. Diese Bruchzone wurde in ihrem österreichischen Teil erst 1958 entdeckt (TAUBER 1959a, TAUBER, KNIE, GAMS & PESCHEK 1959). Sie läuft durch Mönchhof in Richtung auf Illmitz, überquert den See und setzt sich hier in dem von M. VENDEL entdeckten Halász kunyhó-i-töres („Fischerhüttenbruch“), über Balf (Wolfs) und Kophaza (Kohlhof) laufend, fort. Dieser Bruch, welcher bei Balf eine Sprunghöhe von etwa 1000 m aufweist, gehört dem Leitha-Lineament und, seiner Abschiebungstendenz entsprechend, dem Eisenstädter Bruchsystem an. An ihm liegen die Sauerquellen von Deutschkreutz (Rudolfsquelle, Juvinaquelle, Esterhazy-Quelle und weitere unbenannte Quellaustritte), die zwei noch unerforschten Sauerlinge von Kophaza (Kohlhof)¹, die zwei Schwefel-Sauerlinge von Balf (Wolfs), der Sauerling von Illmitz (Bartholomäusquelle) und ein Bohrbrunnen mit erhöhtem Hydrogenkarbonatgehalt (61,0 millival % bei pH 6,7) am Edmundshof nordöstlich von Mönchhof an. An derselben Linie liegen der artesische Brunnen am Sandeck (am Ostufer des Neusiedlersees), der ebenfalls durch seinen erhöhten Gehalt

1 Die Kenntnis ihrer Existenz verdanke ich der lebenswürdigen Mitteilung von Herrn Prof. Dr. M. VENDEL, Sopron.

an Hydrogenkarbonat (92,6 millival-% bei pH 6,8) auffällt, sowie eine Reihe von Kaliquellen im Raume von Illmitz, welche als degradierte Sauerlinge aufzufassen sind und auf welche wir später noch zu sprechen kommen. Westlich der Illmitzer St. Bartholomäusquelle wurde 1962 am Ende des Illmitzer Seedammes, in ca. 70 m Tiefe mittels Spülbohrung ein artesischer Halbsauerling mit 352,0 mg CO₂/kg erschlossen. Diese Quelle liegt an einem Bruch oder einer Flexur die dem Mannersdorfer System zugehört und die Fortsetzung jenes Bruchs darstellt, welcher die Gneisauftragung der Fischerhütte östlich Sopron im Norden begrenzt. Im Bereich der Mineralwasserlagerstätte spielt dieser Bruch eine Rolle als Grenze hoch- und niederminalisierter Mineralwässer (vergl. S. 286). Der Bereich der Hochzone zwischen diesen beiden Brüchen ist für die Prospektion von Sauerlingen günstig. In ihm liegt auch der später zu besprechende Soproner Sauerbrunnen. An einem Bruch des gleichen Lineaments, dem Neusiedler Bruch, liegt die 1936 durch den Verfasser erbohrte Sauerquelle im Hof der Bezirkshauptmannschaft in Neusiedl am See. Dieser ebenfalls dem Eisenstädter Bruchsystem zugehörige Bruch streicht bei einer Sprunghöhe von 200 m mit unbekannter Fortsetzung in den See hinaus, wo er vermutlich mit den in der Seemitte liegenden Brüchen des Fertö-Lineaments verschmilzt. Die Bohrung ist 138,4 m tief und liegt im höheren Flügel der Störung. Unterpannonische Kiese und Sande lieferten aus dieser Tiefe artesisch 5 Liter/min. Mineralwasser. Dauerpumpversuche zeigten eine Belastbarkeit der Sonde bis 45 Liter/min. Da die Bohrung seinerzeit nicht korrosionsfest ausgebaut werden konnte, ist die Verrohrung heute teilweise zerstört und ein freiwilliger Überlauf nicht mehr vorhanden. Die früher durch ihre Natriumarmut und ihrem Calcium- und Kalireichtum besonders wertvolle Mineralwasserquelle hat — wohl in erster Linie zufolge der Verrohrung und des dadurch bedingten Zutritts anderer Schichtwässer — wesentliche hydrochemische Veränderungen erfahren (Na/K-Verhältnis, SO₄-Gehalt!). Diese Quelle bedarf dringend der Neufassung. Diese, aber auch die durch ihre extreme Sulfatarmut auffallende St. Bartholomäusquelle in Illmitz und die Sauerquellen von Kophaza (Kohlnhof) werden von der Bevölkerung an Stelle von gewöhnlichem Wasser getrunken. Abgefüllt und therapeutisch genutzt werden die Quellen von Deutschkreutz (früher die Rudolfsquelle, seit 1961 die neuerbohrte Juvina-Quelle)² und die Schwefelsauerlinge von Balf. Die Quellen von Deutschkreutz entspringen tortonischen Sanden, welche unweit der Quellen an einem Bruch gegen Oberpannon abstoßen und scheiden reichlich Kalksinter ab, wodurch sie sich im Laufe

2 Die Deutschkreutzer Quellen sind hydrochemisch einander sehr ähnlich.

der Jahrzehnte mehrfach ihre Austrittsstellen verzementierten und so dann an anderen Stellen hervorbrachen (alte und neue Rudolfsquelle). So wie die Deutschkreutzer Quellen sind auch die Balfer Säuerlinge echte, freiwillig überfließende Quellen in seichten Schachtfassungen; letztere treten an einem Bruch zutage, welcher nicht näher stratifiziertes Pannon gegen Oberpannon versetzten dürfte. Der Illmitzer Säuerling hingegen wurde 1930 in 188,53 m Tiefe erbohrt. Viel weniger zahlreich sind die am Fertő-Lineament gelegenen Säuerlinge. Sehen wir von den degradierten Säuerlingen ab, so sind derzeit nur zwei Sauerquellen bekannt. Die eine wurde 1928 erbohrt, ist aber bereits 1948 durch Korrosion zerstört und aufgelassen worden. Diese Bohrung steht am Bahnhof Magyarfálva (früher hieß die Station Harka-Kophaza), ist 89 m tief und erschloß im Torton ein durch seinen außerordentlichen Stoffreichtum auffallendes Sauerwasser. Kolloidale Wassertrübung und sehr geringe Ergiebigkeit ließen trotz der hohen Qualität des Heilwassers einen korrosionsfesten Ausbau unrentabel erscheinen, zumal das Wasser lediglich bis 30 m unter Terrain aufstieg und also noch mit zusätzlichen Förderkosten behaftet war. Die Geschichte dieser Bohrung finden wir bei PATER 1950.

Ein weiterer Säuerling der auf allen Karten — mit Ausnahme der 1958—1960 aufgenommenen österr. Ausgabe 1:50.000 — fälschlich 1700 m südlich von Fertőrákos (Kroisbach) am Ufer des Neusiedlersees eingetragen ist³ liegt in Wirklichkeit über 4 km südlich von Fertőrákos, 2500 m nördlich von Balf am Seeufer, etwas südlich des ehemaligen Gasthofes Halász kunyhó (Fischerhütte). Er entspringt aus Mikroklin-Grobgneis, in welchen der Neusiedlersee hier eine tiefe Strandterrasse eingeschnitten hat. Wenige Meter östlich der Quelle streicht der Hauptbruch der Fertő-Bruchzone durch, welcher Kristallin gegen Oberpannon versetzt. Beide genannten Säuerlinge liegen an Brüchen des ostwärts abschiebenden Fertő-Systems.

Betrachten wir die tektonische Lage der genannten Säuerlinge, so sehen wir, daß praktisch nur zwei Bruchsysteme, und zwar das Eisenstädter System des Leitha-Lineaments und das Fertő-System des Fertő-Lineaments als Migrationswege für die Kohlensäure fungieren; ein Ergebnis, welches für die Prospektion von Säuerlingen im Gebiet des Neusiedlersees von besonderer Wichtigkeit ist.

3 Die Kenntnis seiner tatsächlichen Lage verdanke ich Herrn Prof. Dr. M. VENDEL, Sopron.

1. Die Kaliquellen (degradierte Kalisauerlinge)

Als Folge der intensiven balneogeologischen Durchforschung des Neusiedlerseeraumes sind in den letzten Jahren eine große Anzahl von Quellen bekannt geworden, welche durch ein völlig abnormales Kalium/Natrium-Verhältnis auffallen. Normalerweise bewegt sich die Kaliumkonzentration von Wässern in der Größenordnung von 1/10 bis 1/1000 der Natriumkonzentration — in erster Linie eine Folge des hohen Kalium-Absorptionsvermögens der Sedimente und Bodenkolloide. Einige Quellen des Neusiedlerseegebietes zeigen nun Kalium-Konzentrationen, welche mehrfach — bis fünffach (!) — höher als die Natriumkonzentrationen sind. Derartige Quellen gehören zu den größten Seltenheiten, Mineral-Quellen mit einer Kaliumkonzentration die jene des Natriums um mehr als das Doppelte überragt, sind bisher überhaupt nur aus dem Bereich der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee bekanntgeworden. Bis heute kennen wir bereits 32 Brunnenwässer mit stark abnormalem Kalium/Natrium-Verhältnis, die weitaus meisten davon liegen im Bereich von Rust in der Fertö-Bruchzone (SAUERZOPF 1962) die übrigen, von K. KNIE aufgefunden, im Bereich von Illmitz in der Mönchhofer Bruchzone, nur 5 dieser Quellen liegen außerhalb von identifizierten Bruchgebieten.

Es läßt sich zeigen, daß das Kalium/Natrium-Verhältnis und der Anteil der Hydrogenkarbonat-Ionen an der Anionensumme statistisch parallel gehen (TAUBER 1962e), und sich daraus der Schluß ableiten, daß diese Wässer von primär kohlenensäurereichen Wässern abstammen, deren Gehalt an freier Kohlensäure zwar verloren gegangen, deren Hydrogenkarbonatgehalt hingegen, als der weitaus stabilere, erhalten geblieben ist. Es läßt sich ferner zeigen, daß diese Kaliwässer geochemisch nicht von gewissen kalireichen Ölfeldwässern, wie sie erst kürzlich wieder aus Rumänien bekannt geworden sind (KREJCI-GRAF 1962), abgeleitet werden können, da diese Ölfeldwässer unter anderem gerade durch Hydrogenkarbonat-Armut — wie überhaupt durch einen Mangel an Salzen der Sauerstoffsäuren — ausgezeichnet sind. Es läßt sich ferner zeigen, daß diese Kaliwässer nicht als Auslaugungsprodukte von Schilf- oder Torfaschen gedeutet werden können und schließlich scheidet auch eine artifizuelle Erhöhung des Kaligehaltes — etwa durch Lösungswässer von Kalidüngern etc. — in allen bisher untersuchten Fällen aus.

Alle Argumente und Hinweise sprechen also dafür, daß es sich um Wässer handelt, die von Sauerwässern abstammen, welche beim Durchtritt durch kalireiche Gesteine (Mikroklingneise, muskovitführende Aplite des Grundgebirges und deren Verwitterungsprodukte) durch Zersetzung

von Kalifeldspäten und Kaliglimmern Kalium in Freiheit setzen und als Lösung an die Erdoberfläche bringen. Eine starke Stütze erfährt diese Theorie durch die hydrochemischen Verhältnisse des Sauerlings in Neusiedl am See, welcher ebenfalls ein völlig abnormes Kalium/Natrium-Verhältnis zeigt, sowie durch die Tatsache, daß sämtliche fünf balneologisch genutzten Quellen Österreichs mit gestörtem Kalium/Natrium-Verhältnis als kalte Akratopegen oder stoffarme Mineralquellen aus Graniten, Gnei-

Kali-Quellen des Neusiedlerseegebietes (degradierte Kali-Sauerlinge)

	Fertö-Lineament: Brunnen Rust I (Seezeile, Konstr. Nr. 181)	Leitha-Lineament: Illmitz Brunnen Nr. 36
Quelltemperatur:	n. b.	n. b.
pH	8,4	7,48
K a t i o n e n		
Kalium-Ion K	913,0 mg/kg	817,0 mg/kg
Natrium-Ion Na	205,0	342,0
Calcium-Ion Ca	219,1	103,0
Magnesium-Ion Mg	265,9	143,0
A n i o n e n		
Chlorid-Ion Cl	603,8	538,0
Hydrogenkarbonat-Ion HCO_3	1504	1434,0
Carbonat-Ion CO_3	19,8	0,0
Sulfat-Ion SO_4	696,6	334,0
Hydrogenphosphat-Ion HPO_4	> 0,1	n. b.
Abdampfrückstand:	415,0	n. b.
Summe der gelösten Stoffe:		3711,0
Analytiker:	SCHROLL-KRACHSBERGER 1962	KNIE 1959

sen oder kristallinen Schiefern entspringen. Von den bekannteren Heilquellen Deutschlands sind alle, soweit sie einen auffällig erhöhten Kaliumgehalt zeigen, Sauerlinge.

Sauerwässer stehen bekanntlich mit den Partialdruckverhältnissen an der Erdoberfläche in Ungleichgewicht und verlieren daher beim Aufstieg ihren Kohlensäuregehalt in mehr oder weniger großem Ausmaß. Das Ausmaß dieses Verlustes hängt von vielen Faktoren, in erster Linie aber wohl von der Dauer des Aufstieges und damit mit der Zeit die zur Einstellung eines neuen Gleichgewichts gegeben ist, zusammen. Insbeson-

dere dann, wenn das aufgestiegene Sauerwasser in einem oberflächennahen Grundwasserhorizont verdriftet, kann es zu einem praktisch vollkommenen Verlust an freier Kohlensäure kommen. In dieser Weise stellen wir uns derzeit die Bildung der Kaliquellen vor. Endgültige Aufschlüsse über die Bildung dieses seltenen Mineralwassertyps werden wir erst im Verlaufe der ersten Erschließungsarbeiten und der damit in Verbindung stehenden geologischen und geochemischen Forschungen erhalten, die insbesondere auch das Studium der von den Mineralwässern durchströmten Gesteine und deren Veränderungen umfassen müssen (SCHROLL 1936 b).

Vom balneologischen Standpunkt aus begegnen diese Wässer höchstem Interesse, da sie zur Therapie von Blut-Hochdruck-Krankheiten (Hypertonie) erfolgreich eingesetzt werden können.

2. Degradierete Natron-Säuerlinge: Natronquellen

Analog den degradierten Kalisäuerlingen ist auch das Auftreten degradierter Natronsäuerlinge theoretisch zu erwarten. Praktisch ist es aber in einem Gebiet, welches, wie kaum ein zweites, von hochmineralisierten Natriumhydrogenkarbonat-Natriumsulfatwässern völlig anderer Genese durchsetzt ist, außerordentlich schwierig, derartige degradierte Natron-sauerwässer von den hydrochemisch teilweise sehr ähnlichen Grundwässern zu unterscheiden. Das Studium des Spurenelementspektrums, insbesondere aber Untersuchungen über das Alter der Wässer mittels der Tritium-Methode, gekoppelt mit Untersuchungen über das Alter der in Lösung befindlichen Karbonat-Kohlensäure mittels der C^{14} -Methode werden zweifellos in Zukunft Klarheit über die Genese einiger fraglicher Wässer bringen. Derzeit und solange diese Untersuchungen noch nicht angelaufen sind, müssen wir uns darauf beschränken, einige Analysen herauszustellen, welche auf Grund ihres Chemismus eine Abkunft von Natronsäuerlingen möglich erscheinen lassen. Allen diesen Wässern ist ein außerordentlich hoher Gehalt an Hydrogenkarbonat eigen. Insbesondere sei auf die Analyse des Brunnens Nr. 63 verwiesen, welcher außerdem durch Überwiegen von Calcium über Magnesium und von Chlorid über Sulfat weit aus dem Rahmen der im Seewinkel normalerweise anzutreffenden Grundwässer fällt und welcher überdies an einer der Mönchhofer Bruchzone parallel laufenden Linie die durch eine Reihe von Kaliquellen markiert ist und daher vermutlich einer geologisch noch nicht identifizierten Bruchlinie entspricht, liegt. Balneotherapeutisch kommt indes diesen Natronwässern nur ein bescheidenes Interesse zu: Hinsichtlich ih-

© Landesm. Die Natron-Quellen des Neusiedlerseegebietes
(degradierte Natron-Säuerlinge?)

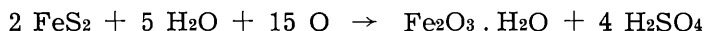
	Brunnen Nr.63 N lange Lacke bei Apetlon	Brunnen Nr.73 N Illmitzer Zicklacke	Brunnen Nr.76 O oberer Stinkersee
Quellentemperatur	n. b.	n. b.	n. b.
pH	8,36	8,21	8,16
Kationen			
Kalium-Ion K	20 mg/l	23 mg/l	5 mg/l
Natrium-Ion Na.	235	305	420
Calcium-Ion Ca.	57	27	28
Magnesium-Ion Mg	48	140	100
Anionen			
Chlorid-Ion Cl	32	123	76
Hydrogencarbonat-Ion HCO_3	1088	1277	1305
Carbonat-Ion CO_3	0	0	0
Sulfat-Ion SO_4	20	296	327
Summe der gelösten Stoffe:			
Analytiker:	KNIE 1960	KNIE 1960	KNIE 1960

res Säureverbindungsvermögens werden sie von den hochalkalischen connate waters der quartären Salzackensedimente und hinsichtlich des Kohlensäuregehaltes von den Säuerlingen übertroffen.

C. Die Schwefelquellen des vadosen Kreislaufes.

Die meisten in Oberflächennähe anstehenden Tone und Mergel des Neusiedlerseegebietes liefern ein natriumreiches, sulfatisches Auswaschungsprodukt. Die Ursache liegt teils im Gehalt an primär natriumsulfatreichen connate water (z. B. Teile des Oberpannon — vergl. Seite 278), zum überwiegenden Teil aber im Gehalt an Eisensulfiden, die unter dem Einfluß sauerstoffführender Oberflächenwässer zersetzt werden. Die hierbei entstehende Schwefelsäure greift zunächst Karbonate, nach deren Auflösung auch Feldspäte, Glimmer, Hornblenden und andere Mineralien an und bringt hiedurch Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium als Sulfate in Lösung. Ist viel Pyrit vorhanden, so können so bedeutende Sulfatmengen entstehen, daß sie aus dem Ton oder Mergel ausblühen. Dies ist beispielsweise in den mitteltortonischen Ziegeltonen von Walbersdorf der Fall, wo der Pyrit in feiner Verteilung, an Foraminiferenschalen geknüpft, auftritt. Die Grundwässer in diesem Gebiet, welches übrigens zum Neusiedlersee hin entwässert, sind sehr reich an Natriumsulfat. Außer im oberen Oberpannon (Zonen G + H = „Gelbe“ oder „bunte“ Serie) enthalten alle jungtertiären Tone und Tonmergel beträchtliche Mengen

an Pyrit, nach differential-thermoanalytischen Untersuchungen von P. WIEDEN zwischen 0,5—5,0 %, meist etwa 1,0—1,5 %. Bei vollständiger Zersetzung des Pyrits in Schwefelsäure und Limonit nach der Formel



liefert ein m³ Tonmergel mit einem Raumgewicht von 2000 kg durchschnittlich etwa 25 bis 35 kg Schwefelsäure bzw. 35 bis 50 kg Natriumsulfat. Es ist aus dieser Überlegung ersichtlich, welch gewaltige Mengen löslicher Sulfate durch die Verwitterung von Tonen und Mergeln produziert werden. Die Oxydationsprozesse vollziehen sich nicht allein an der Erdoberfläche sondern auch in der Tiefe, soweit sauerstoffhaltige Wässer entlang von Klüften oder in sandigen Zwischenlagen vorzudringen vermögen. Erst wenn der Vorrat an mitgebrachtem Luftsauerstoff durch die Oxydationsprozesse aufgebraucht ist, ist die erste Phase der Mineralwassergenese beendet. In der zweiten Phase treten Adsorptionsprozesse, Diffusionsvorgänge, Ionenaustausch-Reaktionen und mikrobiologische Stoffwechselprozesse stärker in Erscheinung. Eine scharfe räumlich-zeitliche Trennung beider Phasen besteht in der Regel nicht, meist überschneiden sie sich in bestimmten räumlich-zeitlichen Bereichen.

Durch Adsorptionsprozesse nimmt sehr rasch der Gehalt an Kali, welches bei den Verwitterungsprozessen in Freiheit gesetzt wurde, ab. Durch Diffusion tritt eine Vermischung mit dem Stoffbestand der connate waters durchströmter Sedimentkomplexe ein. Mit Tiefe und Druck steigt die Löslichkeit der Wässer für Gase, insbesondere für Kohlendioxyd und Methan und andere niedere Kohlenwasserstoffe. Die hiedurch entstehende Kohlensäure vermag der Karbonat-Lösung neue Impulse zu geben und die mitgeführten Huminsubstanzen oder die organischen Stoffe, die bei Bituminierungs- und Inkohlungsprozessen in den Gesteinen anfallen, werden manchenmal bereitwillig von einer Bakterienflora aufgenommen, die in reduzierendem Milieu Desulfurierungs- und Denitrifizierungsprozesse abwickelt. Welche Faktoren dafür maßgebend sind, daß sich solche Desulfurikationsvorgänge — wir werden diese Erscheinung später eingehend besprechen — manchmal trotz offensichtlicher Stoffarmut recht gut entwickeln, in anderen Fällen aber trotz reichlichen Stoffangebotes ganz oder fast ganz ausbleiben, ist uns bis jetzt erst teilweise bekannt. Es ist denkbar, daß z. B. die Korngröße der Sedimente in welchen sich derartige mikrobiologische Stoffwechselprozesse abspielen, von sehr großem Einfluß auf die Intensität dieser Vorgänge ist. Sehr wahrscheinlich sind lokal sehr verschiedene Arten und Stämme von Desulfurikanten mit Differenzen in der physiologischen Leistung vorhanden, sicherlich spielen aber auch die Art der meist nur in Spuren gelösten organischen Stoffe, die Gehalte an Schwermetall-Ionen und andere Fakto-

ren eine teils begünstigende, teils hemmende Rolle. Schließlich sind neben den Desulfurikanten auch Bakterien vorhanden, welche den therapeutisch wertvollen zweiwertigen Schwefel teils durch Oxydation, teils durch Speicherung als elementaren Schwefel wieder aus den Mineralwässern entfernen, den Desulfurikanten also gewissermaßen entgegenarbeiten. So finden wir unter anscheinend recht gleichartigen hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnissen teils Schwefelquellen, teils Sulfatquellen ohne Gehalt an zweiwertigem Schwefel. Wir müssen feststellen, daß die weitaus meisten Wässer des Neusiedlerseegebietes infolge ihres sehr hohen Sulfatgehaltes an und für sich eine gute Grundlage für die Bildung von Schwefelwässern bzw. von Schwefelquellen bilden würden und sehen uns der Tatsache gegenüber, daß doch nur ein sehr bescheidener Teil dieser Mineralwässer tatsächlich als Schwefelquellen zutage tritt. Vielfach genügt allerdings schon eine Änderung des Milieus, um die in diesen Sulfatwässern ruhende Potenz zur Bildung von Schwefelwässern zu wecken: Manche hydrosulfidfreie Mineralwasserproben beginnen in den Probegefäßen, viele Sulfatwässer beim Stagnieren in ruhenden Sonden zu „schwefeln“ also Hydro-sulfide bzw. Schwefelwasserstoff zu bilden. Wir sind zwar derzeit dabei, die Bildungsbedingungen von Schwefelwässern zu studieren, aber doch noch sehr weit davon entfernt, allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten auf diesem methodisch schwierigen mikrobiologisch-geochemisch-geologischen Grenzgebiet ermittelt zu haben, wo bisher erst eine einzige Schwefelquelle (Sulfina) mikrobiologisch eingehend untersucht werden konnte. So sind wir derzeit nur in der Lage, die Schwefelquellen des Neusiedlerseegebietes anzugeben und ihre Bildungsgrundlagen aufzuzeigen, nicht aber auch zu sagen, warum so zahlreiche andere sulfatische Quellen durchaus ähnlicher hydrochemischer Zusammensetzung ohne Gehalt an zweiwertigem Schwefel zutage treten.

Die wichtigsten Vorkommen vadoser Schwefelquellen im Neusiedlerseegebiet liegen im alten Kurort Balf (Wolfs). Sie entspringen in 140 bis 150 m Seehöhe, 25 bis 35 m über dem Spiegel des Neusiedlersees, steigen teilweise überdies aus eigenem Druck über Terrain auf und haben also hydrologisch und genetisch sichtlich nichts mit der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee zu tun. Die Wässer brechen in beachtlicher Ergebigkeit aus pannonischen Sanden hervor. Ihr Einzugsgebiet liegt nordwestlich der Quellen. Die große Mönchhofer-Fischerhütten-Bruchzone streicht südöstlich des Quellbereichs durch und schneidet die mineralwasserführenden Sande an Verwürfen an, sodaß die Mineralwässer zum Aufsteigen gezwungen werden. Die Schwefelquellen von Balf werden auch heute wieder in Form von Bädern und zu Trinkkuren verabreicht.

Hydrogeologisch prinzipiell recht ähnliche Verhältnisse finden wir in

Schützen am Gebirge, wo die Schwefelquelle — nach einer Analyse der bundesstaatl. Anstalt f. experimentell pharmakologische und balneologische Untersuchungen in Wien (W. WEIS) enthält sie knapp 1 mg zweiwertigen Schwefel je kg — von den Ortsbewohnern seit altersher als Tafelwasser getrunken wird. Die freiwillig austretende Quelle liegt in 125 m Seehöhe, 10 m über dem Spiegel des Neusiedlersees. Obwohl durch geoelektrische Untersuchungen (V. FRITSCH) erwiesen ist, daß die Sedimente im Bereich der Schwefelquelle in größerer Tiefe von der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee her von hochmineralisierten Wässern imprägniert werden — eine Folge der auf S 281 besprochenen Ost—West-Migration —, zeigt doch der Umstand, daß das Quellwasser hoch über dem Neusiedlersee-Spiegel zutage tritt, daß das Schwefelwasser einem hydrologisch völlig isolierten, mit höherem Eigendruck ausgestatteten, höherliegenden System zugehört. Auch im Falle der Schwefelquelle von Schützen am Gebirge liegt das Einzugsgebiet, dem Schichtfallen entsprechend, in nordwestlicher Richtung. Im Quellbereich stoßen die pannonischen Sedimente, welche das Mineralwasser führen, an Brüchen des Oberpullendorfer Lineaments ab. Diese Brüche heben zwischen Leithagebirge und Ruster Hügelzug einen schmalen Horst heraus. Im Bereich des Horstes steht Torton an. Hydrochemisch ist die Schwefelquelle von Schützen am Gebirge jenen von Balf sehr ähnlich, besitzt aber einen zu geringen Gehalt an zweiwertigen Schwefel um eine therapeutische Nutzung zu rechtfertigen.

Eine weitere, noch unerforschte Schwefelquelle liegt in der Schilfzone des Neusiedlersees östlich der ehemaligen Biologischen Station Neusiedlersee. Sie liegt an der von F. SAUERZOPF entdeckten „Neusiedler Flexur“ (TAUBER 1959a), also ebenfalls an einem Bruch untergeordneter Größe.

D. Die Bittersalz- und Gipswässer

Prinzipiell in gleicher Weise wie die vorher besprochenen Schwefelquellen des vadosen Kreislaufes entstehen die hochkonzentrierten Magnesiumsulfat- und Kalziumsulfatwässer im Randgebiet des Neusiedlersees. Auch hier wird der Pyritgehalt von Tonen und Mergeln durch sauerstoffreiche Oberflächenwässer zersetzt und die entstehende Schwefelsäure greift zunächst die Karbonate unter Bildung von Calcium- und Magnesiumsulfat an. Sind die Karbonate aufgelöst und ist soviel Pyrit vorhanden, daß immer noch Schwefelsäure produziert wird, so beginnt der Angriff auf die Silikate, vorwiegend unter Bildung von Alkalisulfaten. Der Unterschied gegenüber dem Bildungsmechanismus der Schwefelquellen liegt lediglich in der Porengröße der Gesteine und infolgedessen in der

Menge der kursierenden Wassermengen. Die Bildung und Speicherung dieser hochkonzentrierten Wässer erfolgt in Tonen und in deren feinem Kluftgefüge. Die Genese dieser Wässer wird derzeit von P. WIEDEN in Purbach eingehend studiert¹. Entscheidend ist anscheinend die Durchsetzung des Tons durch ein sehr feines Kluftnetz, welches durch die Zersetzung von Fossilien, das Wachstum von Gipskristallen, die Auflösung des Pyrits und vielleicht auch durch Schwunderscheinungen durch Entquellung von Tonkolloiden unter dem Einfluß der entstehenden hochkonzentrierten Porenlösungen entsteht. Andererseits ermöglicht erst dieses feine Kluftnetz das tiefgründige Vordringen von sauerstoffhaltigen Oberflächenwässern durch welche diese Umsetzungsvorgänge ausgelöst und in Gang gehalten werden. Die Mineralwasserspende dieser eigenartigen Vorkommen, die stets an die Nähe der Erdoberfläche gebunden sind, ist immer sehr gering und stark von den Niederschlägen abhängig. Ein Brunnen von 1,5 m Durchmesser und 5 m Tiefe liefert durchschnittlich etwa 100 bis 300 Liter/Tag. Das Mineralwasser tritt in Tropfen an den Klüftchen des Tons zutage und füllt nur sehr langsam den Brunnen. Das Mineralwasser entsteht nur im Eindringungsbereich der Oberflächenwässer, bis etwa 10 m Tiefe. Tiefere Schichten sind nicht produktiv. Durch Verschiedenheiten im mineralogischen Aufbau der einzelnen Tonhorizonte (Dolomit-, Kalk-, Pyritgehalt usw.) entstehen lagenweise oft große Differenzen im Chemismus des produzierten Wassers. Infolge von Konzentrationschwankungen (als Folge von niederschlagsreichen Perioden und Trockenzeiten) treten sogar innerhalb ein- und desselben Horizontes Schwankungen der chemischen Zusammensetzung ein, deren Ursache in der verschieden großen Löslichkeit der einzelnen Salze zu suchen ist. So ist zum Beispiel Kalziumsulfat (Gips) relativ schwer, Magnesiumsulfat (Bittersalz) hingegen sehr leicht löslich. Die Anwesenheit von Magnesiumsulfat als Lösungsgenosse vermindert überdies sehr stark die Löslichkeit von Kalziumsulfat. Bei Konzentrationszunahme des Mineralwassers muß infolgedessen Gips in Form von Kristallen ausfallen, während Magnesiumsulfat in Lösung bleibt. Als Folge der spätsommerlichen Trockenperioden im Neusiedlerseegebiet kann daher nicht nur eine periodische Konzentrationszunahme, sondern auch eine relative Zunahme des Magnesiumgehaltes beobachtet werden. Die Konzentration dieser Mineralwässer kann im Extrem zwischen den Perioden der Frühjahrsregen und der Spätsommerdürre im Verhältnis von etwa 1:3 schwanken. Die therapeutische Nutzung dieses seltenen Quellentyps ist daher mit Schwierigkeiten verknüpft, da diese zur Heilung von Gallenleiden und Opstipationen verwendeten Wässer chemisch und konzentrationsmäßig standardisiert werden müssen.

¹ Ein inzwischen fertiggestellter Bericht befindet sich eben in Druck (WIEDEN 1963b)

Sehen wir von den altberühmten ungarischen Bitterwässern ab, so stellt das Vorkommen in Purbach das derzeit bedeutendste Vorkommen dieser Art in ganz Westeuropa dar. Derzeit produzieren zwei Brunnen, welche als „Purgina-Quelle“ versendet werden. Die Brunnen sind 5,5 m tief und liefern ein Mineralwasser, welches auf ca. 25 g Gesamtzahl pro Liter standardisiert wird. Bei Erschließungsarbeiten wurden aber Horizonte mit Salzgehalten bis über 45 g/Liter festgestellt. Dieser Quelltypus entspricht sehr genau den chemisch ganz ähnlichen Mineralwasservorkommen in Ungarn: Igmándi (bei Nagy Igmánd), Bana, Mira (Jászkarajenő) und den Budapester Vorkommen Hunyadi János, Apenta, Franz-Josef-Bitterwasser. Letztere produzieren aus oligozänem Kiszeller Ton, die Purbacher Brunnen aus reich fossilführendem Mittelpannon (Zone E). Vorkommen ganz ähnlichen Typs, aber von bedeutend niedriger Konzentration gibt es in Neusiedl am See (Mittelpannon und Oberpannon, Zone F), sie wurden bei Brunnengrabungen aufgefunden, die jedoch teils kein zu Trink- oder Nutzzwecken brauchbares Natrium-Calcium-Sulfatwasser, teils Magnesium-Calcium-Hydrogencarbonat-Sulfatwasser (z. B. „Zisternenbrunnen“) erschlossen. Auch auf ungarischem Territorium sind ähnliche Erscheinungen bekannt. Beim Brand-Meierhof (Harkai Major) 5 km südlich von Sopron stehen zwei Brunnen in tortonischen Tonmergeln, welche ebenfalls so natriumsulfat- und gipsreiches Wasser enthalten, daß eine Erkrankung des mit diesem Wasser getränkten Viehs eintrat und die Brunnen deshalb als „Giftbrunnen“ bezeichnet wurden (ROMWALTER & MACHER 1955). Die dem Purbacher Vorkommen nächstgelegenen therapeutisch genutzten Bitterwässer sind jene aus den Brunnen von Igmánd und Bana, südlich von Komarom, 90 km östlich des Neusiedlersees, die ebenfalls aus Pannon produzieren (LIFFA 1909, SCHRÉTER 1923).

III. DIE MINERALWASSERLAGERSTÄTTE UND DIE LAGERSTÄTTENWÄSSER (CONNATE WATERS)

A. Bau und Entstehung der Mineralwasserlagerstätte

Die Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee wurde 1955 durch eine Zufallserschließung, anlässlich des Versuches, für das damals erst in Planung befindliche Seehotel in Mörbisch Süßwasser zu erbohren, entdeckt. Zwar waren schon Jahrzehnte vorher Bohrungen und wohl schon Jahrhunderte vorher Brunnengrabungen auf Mineralwasser gestoßen, doch wurde weder der therapeutische Wert dieser Wässer noch ihre Zugehörigkeit zu einer einheitlichen Lagerstätte gewaltiger Größe erkannt. Diese Erkenntnis blieb den sich an die Mörbischer Zufallserschließung von 1955 knüpfenden umfassenden Forschungsarbeiten vorbehalten. Als erste Frucht des seit 1956 durchgeführten Forschungsprogramms befinden sich ab Okto-

ber 1962 fünf der wertvollsten Heilquellen der Mineralwasserlagerstätte durch die Heilmittelwerke Wien Ges. m. b. H., welche in St. Martin, Bez. Oberpullendorf, eine mit modernsten Einrichtungen versehene Zentral-Abfüllstation errichtet haben, im Versand.

Die horizontale und vertikale Verbreitung der Mineralwasserlagerstätte wurde durch geoelektrische Messungen (FRITSCH & TAUBER 1959, FRITSCH 1961 a, b) ermittelt und diese seither durch zahlreiche Bohrungen erschlossen. Die geoelektrischen Messungen wiesen eine zusammenhängende Lagerstätte nach, welche allein auf österreichischem Gebiet eine Fläche von rund 240 km² bedeckt und darüber hinaus auf ungarisches Territorium reicht. Das Zentrum der Lagerstätte befindet sich soweit sich das derzeit — die entsprechenden Forschungen in Ungarn sind unter Leitung von Prof. Dr. A. TARCZY-HORNOCH und Prof. Dr. M. VENDEL 1962 begonnen worden und werden erst zum Abschluß gelangen — beurteilen läßt, nahe der Staatsgrenze auf österreichischem Gebiet, im Seegebiet vor Mörbisch; hier treten auch die höchsten bisher beobachteten Salzkonzentrationen bei den Mineralwässern der eigentlichen Lagerstätte auf (bisheriger Rekordwert: 37,15 g/Liter). Als Maßstab der Elektrolyt-(Salz-)Konzentration in den Mineralwässern kann der geoelektrische Bodenwiderstand gelten. Die Isoohmenkarte der Mineralwasserlagerstätte gibt daher zugleich auch die Konzentrationsverhältnisse der Porenwässer an. Niedere Ohm.m-Werte entsprechen hohen Konzentrationen und umgekehrt (vergl. die beiliegende Karte). Faktisch sind jedoch nur Mineralwässer aus Sanden und Kiesen erschließbar. Infolge von lateraler, von Ost nach West gerichteter Migration der Mineralwässer in der Lagerstätte (TAUBER 1962) sind die Sande am Westrand der Lagerstätte mit hochkonzentrierten Mineralwässern, die am Ostrand von niederkonzentrierten Mineralwässern, ja z. T. sogar mit Süßwasser erfüllt. Die Tone und Mergel hingegen, welche ihr Porenwasser nur in geologischen Zeiträumen zu wechseln vermögen, zeigen am Ostrand der Mineralwasserlagerstätte höherkonzentriertes, am Westrand relativ niederkonzentriertes Porenwasser. Das Lagerstättenzentrum lag also einstmals weiter östlich.. Da Mineralwasser in praktisch nutzbaren Mengen mit wenigen Ausnahmen nur aus den Sanden und Kiesen gewonnen werden kann, finden sich unabhängig von den Aussagen der Isoohmenkarte die hochkonzentrierten Mineralwässer am Westrand der Lagerstätte (Bohrungen Mörbisch I, II, Rust I, Oggau I, II, Fertő Rakos I), niederkonzentrierte Mineralwässer am Ostrand (Bohrung Illmitz I, II, Podersdorf I, II). Am Ostrand der Lagerstätte sind Mineralwässer mit einem Gesamtsalzgehalt von über 10 g/Liter nicht zu erwarten, am Westrand liegt die Salzkonzentration meist zwischen 10 und 30 g/Liter.

Im Querschnitt zeigt die Lagerstätte einen — soweit bisher bekannt

— aus zwei Stockwerken bestehenden Bau: Ein oberes mit hochkonzentrierten, sulfatischen Mineralwässern erfülltes Stockwerk wird von einem chloridische Mineralwässer enthaltendem Stockwerk unterlagert (TAUBER 1961 a, b). Die Grenze zwischen beiden Stockwerken ist unscharf, mit zahlreichen Rekurrenzen im Hydrochemismus. Sie liegt am Lagerstättenwestrand bei Mörbisch in etwa 140 m, bei Rust jedoch schon bei ca. 60 m Tiefe unter der Erdoberfläche. Am Lagerstättenostrand schiebt sich eine (jung von Osten her immigrierte) mächtige Süßwasserzunge¹, die weit gegen das Lagerstättenzentrum reicht, zwischen das sulfatische und das chloridische Stockwerk. Das obere Mineralwasserstockwerk liegt nahezu unmittelbar unter der Erdoberfläche. Oberflächliches Süßwasser existiert daher im Lagerstättenbereich praktisch nicht. Im Seewinkel werden jedoch niederkonzentrierte Mineralwässer (1—5 g Salz/Liter) aus Flachbrunnen mangels anderen Wassers vielfach als Trink- und Nutzwasser verwendet (KNIE 1959c). Das tiefere Mineralwasserstockwerk reicht in große Tiefen, allen Anschein nach bis zum Grundgebirge und wohl noch in dieses hinein, am Westrand der Lagerstätte also bis etwa 800 m, am Ostrand schätzungsweise bis 1200 m. Das tiefere Stockwerk setzt sich regional in die transdanubische Tiefebene fort. Die Tiefbohrung Frauenkirchen traf es zwischen 100 m und 1624 m an.

Das tiefere Mineralwasserstockwerk entspricht, wie die Forschungen der letzten Jahre ergeben haben, den in allen Tertiärbecken mit mariner Sedimentfüllung in größerer Tiefe regional vorhandenen (bisher fälschlich als Ölfeldwässer oder Erdölwässer bezeichneten — weil infolge der nur in Erdölgebieten abgeteufte Tiefbohrungen bisher nur von dort bekannten) Salzwässern (TAUBER 1962 b, c). Das obere sulfatische Mineralwasserstockwerk ist eine Sondererscheinung des Neusiedlerseegebietes. Nur auf dieses wäre der Begriff „Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee“ im engeren Sinn zu beziehen.

Die Mineralwasserführung des Lagerstättenbereiches ist weitgehend unabhängig vom stratigraphischen Aufbau des Neusiedlerseebeckens, was sich aus der großen Migrationsfähigkeit der Mineralwässer erklärt. Die Wässer des unteren chloridischen Mineralwasserstockwerkes stellen sich genetisch als die bei Ablagerung der marinen (tortonischen und sarmatischen) Schichtglieder in den Sedimentporen gleichzeitig zur Einbettung

1 Diese Süßwasserzunge enthält vorwiegend niedermaneralisierte Wässer. Wirkliche Süßwässer (> 000 mg/kg gelöste Stoffe) sind selten und nur in hochpermeablen Kiessanden die artesisches Wasser führen, am Ostrand der Lagerstätte anzufinden (vergl. Tab. VI). Infolge fehlender Verrohrung ist das Formationswasser im weiteren Umkreis der artesischen Bohrungen durch Süßwasser aus den artesischen Horizonten ersetzt worden wodurch hochohmige „Süßwasserpfahl“e auf der geoelektrischen Lagerstättenkarte sichtbar werden (vergl. auch FRITSCH 1961b).

gelangten Meereswässer sog. „connate waters“ dar. Dieses anfänglich nur aus faziologischen und allgemein-geologischen Erwägungen abgeleitete Ergebnis konnte durch hydrochemische Untersuchungen von E. SCHROLL untermauert werden (SCHROLL 1959, 1963 c, d): Die Halogencharakteristik der Mineralwässer wird dem marinen connate-water-Typ und damit auch dem Erdölwasser-Typ umso ähnlicher, je tiefer der explorierte Mineralwasserhorizont liegt. Aus diesem Trend darf gefolgert werden, daß in den tieferliegenden bisher noch unerschlossenen Sarmat- und Torton-horizonten Mineralwässer vorhanden sein dürften, die mit den aus den Ölfeldern des Wiener Beckens bekannten connate waters weitgehend übereinstimmen. Ihr Auftreten in stratigraphisch viel höheren z. T. schon unter Süßwasser abgelagerten Schichtkomplexen (bis an die Oberkante des Mittelpannon und teilweise bis ins untere Oberpannon) erklärt sich aus der synsedimentären, mit Verminderung des Sedimentporenvolumens einhergehenden Konsolidierung (gravitativen Komplikation) der tonig-mergeligen Ablagerungen, die zwangsläufig zu einer größenordnungs-mäßig berechenbaren Aszendenz der connate waters, welche transversal durch die Schichtfolgen hindurch erfolgt, führt (TAUBER-DALLER'sche Aszendenztheorie; TAUBER-DALLER 1963). Da sowohl brackische connate waters (der sarmatischen Schichten) als auch vollmarine (der tortonischen Schichten) am Aufbau dieses unteren Mineralwasserstockwerks beteiligt sind, finden wir an dessen Oberkante zunächst niederkonzentrierte Kochsalzwässer (Bohrungen Oggau I., II, Mörbisch II) die als aszendierte brachyhaline, sarmatische connate waters aufzufassen sein werden. Unter ihnen liegen in größerer Tiefe die voraussichtlich wesentlich höher konzentrierten connate waters der euryhalinen tortonischen Schichten. Sie sind bisher nur durch die Erdöltiefbohrung Frauenkirchen und zwar, wie sich übereinstimmend aus Berechnungen nach der TAUBER-DALLER'schen Aszendenztheorie, aus dem Karottage-Diagramm dieser Bohrung und den Untersuchungen über den Salzgehalt pelitischer Proben aus dieser Bohrung durch E. SCHROLL ergibt, in einer Tiefe zwischen 1270 und 1624 m durchstoßen, aber damals (1936) leider nicht untersucht worden. Die Neuerschließung dieses Horizontes ist erst durch die projektierte Tiefbohrung Mörbisch III zu erwarten. Diesen chloridischen Mineralwässern kommt demnach ein bedeutendes Alter zu, welches wir auf Grund moderner absolut-geochronologischer Arbeiten (I. E. STARIK 1961) mit 10 bis 20 Jahrmillionen zu beziffern haben.

Sehr viel jünger sind die Mineralwässer des oberen Mineralwasserstockwerks, also die der Mineralwasserlagerstätte im engeren Sinn. Unserer heutigen Auffassung entsprechend, stellen sie sich ebenfalls als connate waters, und zwar als solche eines oberpannonischen Natron-Magnesium-Sulfat-Soda-Sees dar. Die ältesten Schichten in welchen Wässer dieses

Mineralisationstypen bisher beobachtet wurden, sind zwar mittelpannonisch (Bohrung Oggau II), doch läßt sich zeigen, daß hier die bereits erwähnte laterale Ost—West-Migration an der heutigen stratigraphisch tiefen Position der Mineralwässer in der tektonisch um etwa 250 m gehobenen Scholle des „Wulkadeltas“ bei Oggau schuld trägt: Die Mineralwässer sind von Osten her aus oberpannonischen Schichten lateral immigriert.

Die genaue Lage dieses einstigen oberpannonischen Salzsees (Natrium-Magnesium-Sulfat-Soda-Sees) ist derzeit noch unbekannt. In Frage kommt in erster Linie der Raum der Muldenachse des Neusiedlerseebeckens, welche, wie aus gravimetrischen Messungen hervorgeht, der Linie Winden—Sandegg—Neudegg—Mexikopuszta folgt; auch das Alter des Salzsees ist noch nicht genauer umschreibbar; künftige paläo-mikrobiologische und geochemische Bearbeitungen von Bohrungen im Bereich der südlichen Muldenachse werden hier vielleicht Klarheit schaffen. Es bestehen jedoch gute Gründe für die Annahme, daß die Entstehung des Oberpannonischen Salzsees im Neusiedlerseegebiet erst in das höhere Oberpannon etwa ab der Zone G, — den *Unio wetzleri*-Schichten Ungarns entsprechend — fällt.

Die Vorstellung von der Existenz eines oder mehrerer Salzseen — vermutlich haben auch im großen Alföld und in Transdanubien ähnliche Salzseen existiert — ist neu und ergab sich zuerst aus den Überlegungen über den Chemismus und die Herkunft des oberen Mineralwasserstockwerks im Neusiedlerseegebiet. Hier möge nur gesagt werden, daß eine Ableitung der Wässer des oberen Mineralwasserstockwerks von jenen des unteren Mineralwasserstockwerks nicht nur aus physikalischen Gründen unmöglich (Aszendenztheorie), sondern auch aus geochemischen Gründen sehr schwierig ist, worüber im nächsten Abschnitt einiges näher ausgeführt werden wird. Wir verlegen mit — wie ich glaube — guten Argumenten die Existenz dieses oberpannonischen Salzsees in die sogenannte „gelbe“ oder „bunte“ Serie des Oberpannons (Zonen G, H), welche ostwärts des Neusiedlersees in beträchtlicher Mächtigkeit — in der Tiefbohrung Frauenkirchen z. B. mit fast 500 m — entwickelt ist. Die für diesen Schichtkomplex charakteristische stetige Wiederkehr gelber, brauner und roter, also oxydierter Schichten spricht für die Ablagerung in sehr flachem, sauerstoffreichem Wasser oder — viel wahrscheinlicher — für wiederholte Austrocknung und Einschwemmung von Roterden. Mit diesen Vorstellungen stimmt nun auch das warmtrockene Klima zu dieser Zeit überein, welches aus der eingeschwemmten Landschneckenfauna erschließbar ist (A. PAPP), ferner die Feststellung starker Anreicherung löslicher Sulfate in den Poren toniger Gesteinsproben aus diesem Schichtkomplex, die SCHROLL bei der geochemischen Bearbeitung der Bohrproben der Tiefbohrung Frauenkirchen fand (SCHROLL 1959),

weiterhin der Nachweis von Karbonat-Ion in Mineralwässern dieser Sedimentserie (Bohrung Oggau II, Horizont 131,7—135,2 m; vergleiche Tabelle VII), und schließlich die Auffindung von Dolomit auf differentialthermoanalytischem Wege in diesen Sedimenten durch P. WIEDEN 1959. Wir wissen, daß sich solche Dolomitabscheidungen auch heute noch in den Sodaseen des Seewinkels vollziehen, wo durch bakterielle Sulfatreduktion Natriumbikarbonat entsteht und durch weitere bakterielle Tätigkeit und durch Assimilationsprozesse von Grün- und Blaualgen Natriumbikarbonat in Soda und Assimilations-Kohlensäure gespalten wird. Infolge der dadurch bedingten Alkalisierung des Seewassers gelangen dann Karbonate (Kalk, Protodolomit, Dolomit) zur Ausfällung. Ähnliche Verhältnisse, also sulfatreiche Salzseen mit den entsprechenden Erscheinungen der Sulfatreduktion, Sodabildung, Dolomitarsfällung, müssen also auch bei der Bildung der „Bunten Serie“ der Oberpannons geherrscht haben. Damit steht auch die Abwesenheit limnischer Fossilien in gutem Einklang denn die lebensfeindlichen Verhältnisse eines periodisch und episodisch immer wieder austrocknenden Sulfat-Soda-Salzsees lassen höher organisiertes Leben in größerem Umfang nicht erwarten (PAPP, SCHROLL, TAUBER & WIEDEN 1959). Eine weitere wichtige Stütze für die vorgebrachte Auffassung ergab die Bearbeitung der Halogencharakteristik der Mineralwässer dieses Stockwerks durch E. SCHROLL. Die auffällige Verarmung der Wässer an Brom und besonders an Jod ist charakteristisch für kontinentale Salzseen (SCHROLL 1963 c, d).

Ähnliche, bisher unbekannte oberpannonische Salzseen sulfatischen Charakters haben anscheinend auch im Gebiet des Velenzer Sees zwischen Balaton und Budapest und im Bereich der Sodaseen im Stromgebiet der Theiß existiert. All diese neuen Fragen, die erst in den letzten Jahren und Monaten durch die im Neusiedlerseegebiet rasch vorangetriebenen Forschungen aktuell geworden sind, bedürfen zu ihrer Klärung regionaler Untersuchungen, die sich auch auf die entsprechenden Gebiete Transdanubiens und der großen ungarischen Tiefebene erstrecken müssen und deren endgültige Abklärung daher noch Jahre in Anspruch nehmen wird.

Für die connate waters dieses oberpannonischen Salzsees und damit für die Wässer des oberen, sulfatischen Mineralwasserstockwerks muß ein Alter von etwa 3 bis 4 Jahrmillionen angenommen werden. Sie stellen die eigentlichen Lagerstättenwässer und gleichzeitig auch die — soweit bisher bekannt — therapeutisch wertvollsten Heilwässer.

Es wurde vorhin bereits gesagt, daß die Lagerung der Mineralwässer zur Stratigraphie der tertiären Füllung des Neusiedlerseebeckens, als Folge der großen Migrationsfähigkeit der Mineralwässer, keine näheren Beziehungen aufweist. Engere Beziehungen gibt es hingegen zur Litholo-

gie der durchwanderten Gesteine. Wenn auch unter sonst gleichen Verhältnissen hochmineralisierte Wässer in tonig-mergeligen Gesteinen eine mehrfach größere Migrationsgeschwindigkeit entfalten als Süßwasser (v. ENGELHARDT & SCHINDEWOLF 1952), während dieser Effekt bei Sanden und Sandsteinen nur sehr abgeschwächt besteht (GLASENAPP 1962), so sind die Unterschiede in der Permeabilität der Sedimentgesteine dennoch so bedeutend, daß lithologische Differenzierungen bei Migration zwangsläufig hydrochemische Differenzierungen nach sich ziehen. Eine gegen Süßwasser vorstoßende Mineralwasserfront kommt in großporigen Sedimenten viel rascher voran als in kleinporigen. Das Bild einer vorstoßenden Mineralwasserfront ist daher durch hohe Elektrolytkonzentrationen in Gesteinen von großer Permeabilität und durch geringe Elektrolytkonzentrationen in Gesteinen von kleiner Permeabilität charakterisiert. Stößt umgekehrt eine Süßwasserfront gegen Mineralwasser vor, so zeigen aus dem gleichen Grunde die Gesteine von großer Permeabilität bereits geringe Elektrolytkonzentrationen, während Gesteine mit kleiner Permeabilität noch höhere Elektrolytkonzentrationen aufweisen (TAUBER 1962 a, b). Da infolge einer postglazialen Aktivität der das Neusiedlerbecken vom Ruster Hügelszug trennenden Fertö-Bruchzone eine geologisch sehr junge Westkipfung im Bereich des Neusiedlersees eintrat, finden wir am Westrand der Mineralwasserlagerstätte regional das Bild einer vorstoßenden Mineralwasserfront mit allen balneogeologischen Konsequenzen, am Ostrand der Lagerstätte hingegen regional das Bild einer gegen die Mineralwässer vorstoßenden Süßwasserfront. Geotechnisch ergeben sich aus diesen ungleichen Verhältnissen sehr verschiedene Voraussetzungen für die Erschließung, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden kann.

Wie aus dem Gesagten bereits ersichtlich, ist die Tektonik des Neusiedlerseegebietes für die Lagerung der Mineralwässer, ihre Wanderwege und Wanderungsrichtung und damit für ihre horizontale und vertikale Verbreitung von entscheidender Bedeutung. Der Westrand der Mineralwasserlagerstätte wird in eindrucksvoller Weise von der Fertö-Bruchzone gebildet. Der Ostrand der Lagerstätte zeigt fingerartige Ausstülpungen. Der Vergleich mit dem Tektonogramm des Seewinkels (TAUBER 1959a, b) läßt nun erkennen, daß die Ausstülpungen der Mineralwasserlagerstätte mit den intra-quartär noch in Nachsackung befindlichen und daher teilweise über 25 m tief aufgeschotterten Achsen flacher Synklinen zusammenfallen. Diese intraquartären Sackungsbewegungen paralysierten teilweise die durch die bereits erwähnte postglaziale Westkipfung des Neusiedlerseebeckens ausgelöste Ost—West-Migration der Mineralwässer, wodurch diese Ausstülpungen entstanden.

In erster Linie als unmittelbare Folge der zu beiden Seiten eines

Bruches auftretenden lithologischen Differenzen zeichnen sich die zum Fertő-Bruchsystem gehörigen, im Neusiedlersee verlaufenden Brüche auch als Grenzen verschieden hoch konzentrierter Mineralwasserlagerstätten-Teile ab, so z. B. zwischen den Bohrungen Mörbisch I und Mörbisch II. Dieser Bruch und ein demselben Lineament angehöriger, etwa 1 km weiter westwärts verlaufender Bruch (welcher weiter südlich zwischen Balf und dem Wirtshaus Fischerhütte den Steilabfall des Ruster Hügels gegen den Neusiedlersee zu bildet) begrenzen „niederohmige“ mit hochkonzentrierten Mineralwässern erfüllte Partien im ungarischen Teil des Neusiedlersees¹. Diese Partien werden gegen Süden zu durch einen Nordost—Südwest-streichenden, nach Nordwesten zu abschiebenden Bruch begrenzt, welcher weiter westlich die Grobgneisauftragungen der Fischerhütte und der übrigen kleinen Gneisinseln südlich von Sopron gegen das nördlich vorgelagerte Tertiär abgesetzt.

B. Sulfatische und chloridische connate waters der Tertiärschichtfolge

Durch mehrere sehr sorgfältig studierte Forschungs- und Erschließungsbohrungen im Bereich der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee sind wir heute im Besitz von über 50 von E. SCHROLL und seinen Mitarbeitern ausgeführten Analysen von Lagerstättenwässern, welche hinsichtlich der meist hochkonzentrierten connate waters des oberpannonischen Salzsees, also des oberen Mineralwasserstockwerks, weiterhin der hoch-azendierten niederkonzentrierten connate waters der Sarmatschichtfolge, also des oberen Teiles des tieferen Mineralwasserstockwerks und schließlich über die an der Grenze von oberem und unteren Mineralwasserstockwerk auftretenden „Mischwassertypen“ Auskunft geben. Damit ist nicht gesagt, daß nicht künftige Forschungen und Erschließungen Überraschungen bringen können. So hat erst kürzlich die noch in Abteufung befindliche Bohrung Oggau II wohl das erwartete Natrium-Sulfat-Wasser, dieses aber mit anormal hohen Magnesium-Gehalten und daher mit balneotherapeutisch beträchtlich differenten Indikationen erschlossen.

Die tieferen Teile des unteren Mineralwasserstockwerks, die voraussichtlich hochkonzentrierten tortonischen connate waters, sind bisher im Bereich der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee noch nicht erschlossen worden. Wir dürfen aber annehmen, daß ihre Zusammensetzung im allgemeinen jener der salzreichen Ölfeldwässer nahekomen wird, sich demnach durch Natrium- und Chloridreichtum bei gleichzeitiger Armut an Salzen der Sauerstoffsäuren auszeichnen wird. Der Chemismus dieser Wässer ist nicht sehr von der Zusammensetzung des Mee-

¹ In diesen hat die von M. VENDEL 1962 angesetzte Forschungsbohrung Fertőrákos I hochkonzentriertes Mineralwasser vom Typus Mörbisch I angetroffen.

rewassers verschieden. Soweit diese connate waters noch in marinen Sedimenten liegen, bestand und besteht zwischen den Wässern und den Sedimenten ein primäres, seit ihrer gemeinsamen Genese vorhandenes Fast-Gleichgewicht das wenig Anlaß für Ionenaustausch-Reaktionen bietet, da auch die Ionenhüllen der marinen Sedimentpartikel im wesentlichen Natrium- und Chloridionen enthalten. Wie schon im Meereswasser, so besteht auch in diesen connate waters oft ein geringer Chlorid-Überschuß im Natrium/Chlorid-Verhältnis (Tab. V, Mörbisch II, Oggau I) oder doch zumindest praktisch eine Äquivalenz von Na- und Cl-Ionen (Tab. V, Rust I). Eine Änderung dieses Verhältnisses tritt erst ein, wenn marine connate waters aszendend durch Süßwassersedimente hindurchmigrieren, wie dies z. B. für jene sarmatischen connate waters zutrifft, welche wir heute in pannonischen Schichten finden, also für den oberen Teil des tieferen, chloridischen Mineralwasserstockwerks. Die Sedimentpartikel der Süßwassertone tragen ganz andere, vorwiegend aus Calcium- und Sulfat-Ionen bestehende Ionenhüllen. Migriert marines, chemisch im wesentlichen als Kochsalzlösung anzusehendes Meereswasser durch solche Süßwassertone hindurch, so kommt es zu einem Kationenaustausch: Natriumionen aus dem connate water lagern sich an die Tonkolloide an und desorbieren gleichzeitig Calcium- und Magnesium-Ionen. Die aszendierten marinen connate waters werden also bei Durchgang durch Süßwassersedimente in erster Linie natriumärmer und reicher an Calcium und Magnesium. Andere Effekte des Kationenaustausches treten demgegenüber quantitativ in den Hintergrund. Hingegen dürfte der Anionen-Austausch beträchtlichere Ausmaße erreichen als man bisher vermutet hat. Migriert marines Natriumchloridwasser von hoher Konzentration durch Süßwassertone, so wird anscheinend Chloridion adsorbiert und Sulfation desorbiert. Hiedurch verringert sich fortlaufend der Chloridgehalt der aszendierenden Porenlösung während wegen der vielfach gleichzeitig ablaufenden mikrobiologischen Desulfurikation der Sulfatgehalt der Porenlösung nicht im gleichen Maße ansteigen muß, sondern meist dem Reaktionsprodukt der Desulfurikation, dem Hydrogenkarbonat-Ion Platz macht (vergl. die Formel auf Seite 291). Eine entsprechende Erscheinung ist z. B. auch an den Ölfeldwässern des Wiener Beckens gut zu beobachten (FRIEDL 1956, auf Äquivalent-% umgerechnete Werte bei ENGELHARDT 1960, ferner KREJCI-GRAF, HECHT & PASLER 1957). Sicher ist, daß die Wanderungsgeschwindigkeit der Anionen mit dem Quadrat der Elektrolytkonzentration zunimmt, die Tone als nur gegenüber unterkonzentrierten Mineralwässern eine „Anionensperre“ bilden, sofern nicht Tone mit extrem kleinen Porenräumen und extrem hoher Kationenaustauschkapazität, also z. B. Bentonite vorliegen. Die vorwiegend illitischen Schlufftone, die die große Masse der Beckenfüllungen bil-

den, stellen für die hochkonzentrierten connate waters, deren Elektrolytgehalt vielfach in der Nähe des Meereswassers oder sogar noch darüber liegt, offensichtlich keine wirksame „Anionensperre“ dar, jedenfalls nicht, wenn geologische Zeiträume für die ascendente Migration einzusetzen sind. Die an unzähligen Karottage-Diagrammen von Erdölbohrungen nachweisbare und mit unserer Aszendenztheorie qualitativ und quantitativ in guter Übereinstimmung befindliche ascendente Migration der Sedimentporenwässer beweist, daß eine „Anionensperre“ nur für die Dauer von Laborexperimenten oder geoelektrischen Bohrlochmessungen angenähert verwirklicht ist. Die synsedimentäre ascendente Migration vollzieht sich jedoch mit Geschwindigkeiten, die in der Größenordnung von 0,01—0,1 mm pro Jahr liegen (TAUBER 1962 b, TAUBER & DALLER 1963) und außerdem unter dem Einfluß von Drücken die bis zur Größe des petrostatischen Druckes ansteigen können. In Anbetracht dieser außerordentlich geringen Migrationsgeschwindigkeit wirken die Pelite offenbar nicht mehr als Anionensperren, sondern nur noch entsprechend ihrer petrographischen Eigenschaften modifizierend und verlangsamen auf die Diffusion der Anionen ein. Es dürfte das Ausmaß des Anionentransportes durch Pelite und damit auch der geochemische Faktor des Anionenaustausches bisher beträchtlich unterschätzt worden sein. (v. ENGELHARDT 1960, hier auch weitere Literatur, TAUBER 1963.) „In Wirklichkeit wird man nicht annehmen dürfen, daß die Durchlässigkeit der Tone für Anionen in allen Fällen unmeßbar klein ist“ (ENGELHARDT 1960, p. 146). Sprechen doch auch Laborexperimente über die Permeabilität von Tonen für Wässer verschiedenen Elektrolytgehaltes eindeutig dafür, daß auch die Anionen die Tone passieren und zwar, wie nach obigen zu erwarten ist, umso leichter, je höher die Elektrolytkonzentration ist (v. ENGELHARDT & SCHINDEWOLF 1952).

Da die Adsorptionserscheinung konzentrationsabhängig sind, sind die Süßwassertone in Bezug auf die Ionenkonzentration des hindurchmigrierenden marinen connate waters überdies untersättigt, entziehen also dem connate water Ionen, wodurch dieses um so mehr an Konzentration verliert, je weiter der in Süßwassersedimenten (bzw. in Sedimenten gleichartiger Ionenbelegung, z. B. äolischen Sedimenten) zurückgelegte Migrationsweg ist.

Schließlich ist noch zu beachten, daß connate waters sehr feinkörniger (toniger) Ablagerungen aus Gründen der Adsorption stets beträchtlich konzentrierter sind als die Lösung aus welcher sie zur Bildung gelangten. Salzgehalte von 50 und 60 g/Liter und selbst auch noch höhere Salzkonzentrationen sind in den Porenräumen rezenter Meeresschlamm (-tone) allgemein anzutreffen, obwohl die Salzkonzentration des Meeres bloß bei etwa 33 g/Liter liegt. Eine über der Meereskonzentration liegende Salzkonzen-

tration fossiler connate waters ist daher weder ein Argument gegen die Abstammung von Meereswässern noch ein Beweis für die Herkunft aus mariner biogener Substanz oder die Existenz einer „Anionensperre“, sondern eine ganz normale Adsorptions-Erscheinung, die lediglich bisher nicht genügend untersucht und bekannt war (TAUBER 1962 b, c, TAUBER & DALLER 1962). Bei Lösungen so hoher Konzentration wie sie uns als connate waters entgegentreten, wird der Hydrochemismus naturgemäß bereits weitgehend von den Löslichkeitsverhältnissen der gelösten chemischen Verbindungen mitbestimmt. Hierher rührt z. B. das fast stets vorhandene Überwiegen der Magnesium-Konzentration über die Kalzium-Konzentration. In Anbetracht des fast ausgewogenen Natrium-Chlorid-Verhältnisses im Meereswasser befinden sich Kalzium und Magnesium in vorwiegend sulfatischer Bindung, in welcher aber Magnesium sehr leicht, Kalzium hingegen relativ schwer löslich ist. Die wenig migrierten, noch innerhalb der Torton-Sarmat-Schichtfolge liegenden hochkonzentrierten marinen connate waters zeigen daher stets eine Magnesium-Vorherrschaft unter den Erdalkalien. Erst die Freisetzung von Chlorid-Ionen durch Natrium-Adsorption bei der Migration durch Süßwassersedimente schafft bessere Löslichkeitsverhältnisse für das Kalzium; dieser Entwicklung kommt einerseits auch der mit der Migration durch Süßwasserablagerungen verbundene Konzentrationsabfall der connate waters, andererseits die Dolomitisierung von Kalken durch mg-hältige Porenwässer entgegen. Wir finden daher in hoch aszendierten marinen connate waters meist geringer Konzentration nicht selten bereits ein Überwiegen des Kalziums über das Magnesium.

Aus der Fülle der Analysen können in diesem Rahmen nur einige wenige repräsentative herausgegriffen werden, die den hydrochemischen Bestand der einzelnen Mineralwasserhorizonte charakterisieren.

C. Desulfurierte connate waters der Tertiärschichtfolge:

Vielfältige hydrochemische Beobachtungen an Mineralwasserproben aus dem Bereich der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee und an dem Wasserinhalt der Mineralwassersonden selbst führten bald zu dem Schluß, daß außer den chemo-physikalischen Reaktionen, welche mit der Einstellung eines neuen Gleichgewichtes zwischen dem Chemismus der Tiefenwässer und den Druck- und Temperaturverhältnissen an der Oberfläche einhergehen, vielfach noch weitere Reaktionen ablaufen, die mit derartigen Reaktionen nichts zu tun haben und als deren Ursache mikrobiologische Stoffwechselprozesse anzusehen wären. Untersuchungen von A. JANKE (1960), die derzeit von H. SCHADEN weitergeführt werden, zeigten tatsächlich, daß die Tiefenwässer der Mineralwasserlagerstätte Neu-

den, stellen für die hochkonzentrierten connate waters, deren Elektrolytgehalt vielfach in der Nähe des Meereswassers oder sogar noch darüber liegt, offensichtlich keine wirksame „Anionensperre“ dar, jedenfalls nicht, wenn geologische Zeiträume für die ascendente Migration einzusetzen sind. Die an unzähligen Karottage-Diagrammen von Erdölbohrungen nachweisbare und mit unserer Aszendenztheorie qualitativ und quantitativ in guter Übereinstimmung befindliche ascendente Migration der Sedimentporenwässer beweist, daß eine „Anionensperre“ nur für die Dauer von Laborexperimenten oder geoelektrischen Bohrlochmessungen angenähert verwirklicht ist. Die synsedimentäre ascendente Migration vollzieht sich jedoch mit Geschwindigkeiten, die in der Größenordnung von 0,01—0,1 mm pro Jahr liegen (TAUBER 1962 b, TAUBER & DALLER 1963) und außerdem unter dem Einfluß von Drücken die bis zur Größe des petrostatischen Druckes ansteigen können. In Anbetracht dieser außerordentlich geringen Migrationsgeschwindigkeit wirken die Pelite offenbar nicht mehr als Anionensperren, sondern nur noch entsprechend ihrer petrographischen Eigenschaften modifizierend und verlangsamen auf die Diffusion der Anionen ein. Es dürfte das Ausmaß des Anionentransportes durch Pelite und damit auch der geochemische Faktor des Anionenaustausches bisher beträchtlich unterschätzt worden sein. (v. ENGELHARDT 1960, hier auch weitere Literatur, TAUBER 1963.) „In Wirklichkeit wird man nicht annehmen dürfen, daß die Durchlässigkeit der Tone für Anionen in allen Fällen unmeßbar klein ist“ (ENGELHARDT 1960, p. 146). Sprechen doch auch Laborexperimente über die Permeabilität von Tonen für Wässer verschiedenen Elektrolytgehaltes eindeutig dafür, daß auch die Anionen die Tone passieren und zwar, wie nach obigen zu erwarten ist, umso leichter, je höher die Elektrolytkonzentration ist (v. ENGELHARDT & SCHINDEWOLF 1952).

Da die Adsorptionserscheinung konzentrationsabhängig sind, sind die Süßwassertone in Bezug auf die Ionenkonzentration des hindurchmigrierenden marinen connate waters überdies untersättigt, entziehen also dem connate water Ionen, wodurch dieses um so mehr an Konzentration verliert, je weiter der in Süßwassersedimenten (bzw. in Sedimenten gleichartiger Ionenbelegung, z. B. äolischen Sedimenten) zurückgelegte Migrationsweg ist.

Schließlich ist noch zu beachten, daß connate waters sehr feinkörniger (toniger) Ablagerungen aus Gründen der Adsorption stets beträchtlich konzentrierter sind als die Lösung aus welcher sie zur Bildung gelangten. Salzgehalte von 50 und 60 g/Liter und selbst auch noch höhere Salzkonzentrationen sind in den Porenräumen rezenter Meeresschlamm (-tone) allgemein anzutreffen, obwohl die Salzkonzentration des Meeres bloß bei etwa 33 g/Liter liegt. Eine über der Meereskonzentration liegende Salzkonzen-

tration fossiler connate waters ist daher weder ein Argumen gegen die Abstammung von Meereswässern noch ein Beweis für die Herkunft aus mariner biogener Substanz oder die Existenz einer „Anionensperre“, sondern eine ganz normale Adsorptions-Erscheinung, die lediglich bisher nicht genügend untersucht und bekannt war (TAUBER 1962 b, c, TAUBER & DALLER 1962). Bei Lösungen so hoher Konzentration wie sie uns als connate waters entgegentreten, wird der Hydrochemismus naturgemäß bereits weitgehend von den Löslichkeitsverhältnissen der gelösten chemischen Verbindungen mitbestimmt. Hierher rührt z. B. das fast stets vorhandene Überwiegen der Magnesium-Konzentration über die Kalzium-Konzentration. In Anbetracht des fast ausgewogenen Natrium-Chlorid-Verhältnisses im Meereswasser befinden sich Kalzium und Magnesium in vorwiegend sulfatischer Bindung, in welcher aber Magnesium sehr leicht, Kalzium hingegen relativ schwer löslich ist. Die wenig migrierten, noch innerhalb der Torton-Sarmat-Schichtfolge liegenden hochkonzentrierten marinen connate waters zeigen daher stets eine Magnesium-Vorherrschaft unter den Erdalkalien. Erst die Freisetzung von Chlorid-Ionen durch Natrium-Adsorption bei der Migration durch Süßwassersedimente schafft bessere Löslichkeitsverhältnisse für das Kalzium; dieser Entwicklung kommt einerseits auch der mit der Migration durch Süßwasserablagerungen verbundene Konzentrationsabfall der connate waters, andererseits die Dolomitisierung von Kalken durch mg-hältige Porenwässer entgegen. Wir finden daher in hoch azendierten marinen connate waters meist geringer Konzentration nicht selten bereits ein Überwiegen des Kalziums über das Magnesium.

Aus der Fülle der Analysen können in diesem Rahmen nur einige wenige repräsentative herausgegriffen werden, die den hydrochemischen Bestand der einzelnen Mineralwasserhorizonte charakterisieren.

C. Desulfurierte connate waters der Tertiärschichtfolge:

Vielfältige hydrochemische Beobachtungen an Mineralwasserproben aus dem Bereich der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee und an dem Wasserinhalt der Mineralwassersonden selbst führten bald zu dem Schluß, daß außer den chemo-physikalischen Reaktionen, welche mit der Einstellung eines neuen Gleichgewichtes zwischen dem Chemismus der Tiefenwässer und den Druck- und Temperaturverhältnissen an der Oberfläche einhergehen, vielfach noch weitere Reaktionen ablaufen, die mit derartigen Reaktionen nichts zu tun haben und als deren Ursache mikrobiologische Stoffwechselprozesse anzusehen wären. Untersuchungen von A. JANKE (1960), die derzeit von H. SCHADEN weitergeführt werden, zeigten tatsächlich, daß die Tiefenwässer der Mineralwasserlagerstätte Neu-

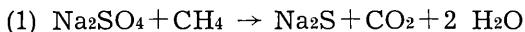
siedlersee in z. T. ¹ und beachtlicher Menge ² lebende Bakterien enthalten von denen z. B. allein die sehr wichtige physiologische Gruppe sulfatreduzierender Bakterien im Mineralwasser der Sonde Mörbisch I (Carolinaquelle) bereits bei Anwendung einfachster Kulturmethoden durch JANKE in einer Häufigkeit von mehreren Tausend Keimen je Liter nachgewiesen werden konnte. Der Stoffwechsel der sulfatreduzierenden Keime spielt sich im Prinzip so ab, daß die Sulfationen gespalten werden, wobei Schwefelwasserstoff entsteht. Die zu diesem Vorgang notwendige Energie und darüber hinaus einen beträchtlichen Energieüberschuß gewinnen diese Bakterien aus der Oxydation organischer Stoffe mit Hilfe der vier Sauerstoffatome des gespaltenen Sulfat-Ions¹. Da insbesondere in den Mineralwässern des oberen Mineralwasserstockwerks die Sulfatkonzentrationen sehr bedeutend sind, spielen offensichtlich andere Faktoren, wie etwa die Art der Bakterienassoziation, das Auftreten von Formen mit antagonistischen Eigenschaften, zu geringe Gehalte an biologischen Spurenelementen oder zu hohe an toxisch wirkenden Schwermetallen, vor allem aber wohl die geringen Mengen an biologisch oxydierbarer organischer Substanz die Rolle von Minimum- oder Maximumstoffen. Es gibt innerhalb der mineralwasserführenden Gesteinskomplexe doch auch Schichten, welche reichliche Mengen an oxydierbaren Stoffen, vor allem an Kohlenwasserstoffen führen. So hat z. B. die Bohrung Mörbisch II schwarze, öldurchtränkte sandige Mergel in Tiefen zwischen 150 und 160 m angetroffen², die Bohrungen Mörbisch I und II liefern beachtliche Mengen Methan als Quellgas, im Seegebiet vor Rust exhalieren Verwürfe des Fertö-Lineaments ununterbrochen sehr reines (84,6 %iges Methan usw. Die Permanganat-Zahlen als Index der leicht oxydierbaren organischen Substanz erreichen in den Tiefenwässern oft Werte gegen 80 mg/kg. Der Gehalt an oxydierbaren organischen Verbindungen ist also in verschiedenen Schichten und partienweise offensichtlich sehr verschieden groß und dort, wo sich solche Stoffe anreichern konnten, bestanden und bestehen günstige Voraussetzungen für die Lebensfähigkeit von desulfurizierenden Bakterien wie *Desulfovibrio desulfuricans* und physiologisch verwandte Formen.

Dort aber, wo die Voraussetzungen für eine intensive Lebenstätigkeit und Vermehrung der sulfatreduzierenden Bakterien bestanden oder bestehen, dürfen wir Mineralwässer erwarten, die an Sulfaten weitgehend verarmt sind, ähnlich wie dies die Ölfeldwässer in unmittelbarer Nähe der Kohlenwasserstofflager zeigen. Wir finden daher auch innerhalb des

¹ Die thermodynamische Berechnung dieses Vorganges zeigt, daß zur Aufrechterhaltung der Desulfurikation nicht der gesamte bei der Desulfurikation freiwerdende Sauerstoff verbraucht werden muß.

² Vergl. TAUBER 1962a. Bei TAUBER 1963 wurde irrtümlich eine Tiefe von 140 bis 150 m angegeben.

oberen sulfatreichen Mineralwasserstockwerks inmitten sulfatreicher Mineralwasserhorizonte da und dort einen Horizont der deutlich an Sulfat verarmt ist. Solche Horizonte tendieren zwar ihrem Gesamtchemismus nach auf den ersten Blick gegen die Wässer des unteren, chloridischen, primär sulfatarmen Mineralwasserstockwerks, sie sind aber an ihrem stark positiven Na/Cl-Verhältnis als Abkömmlinge des oberen (jüngeren) sulfatischen connate water-Typs zu erkennen, denn das Na/Cl-Verhältnis wird durch die Desulfurikationsprozesse nicht verändert. Der Desulfurikationsprozeß des Natriumsulfats, also des in der Regel in größter Menge gelösten Salzes, verläuft nach folgendem Schema:



Methan wurde in der Formel (1) nur als Symbol für organische Substanz gesetzt. Es ist bekannt, daß Methan die stabilste Verbindung unter allen Gliedern der paraffinartigen Kohlenwasserstoffe ist, die ihrerseits wieder die reaktionsträglichste Gruppe der Kohlenwasserstoffe darstellt. Methan kann daher nur von wenigen Bakterien als Kohlenwasserstoffquelle genutzt werden.

Bei der Desulfurikation natriumsulfatreicher Mineralwässer tritt, wie Formel (2) zeigt, eine Erhöhung des Natriumhydrogenkarbonat-Gehaltes und damit eine Alkalisierung des Mineralwassers auf. Der entstandene Schwefelwasserstoff wird meist durch Schwermetall-Ionen gefällt, ein geringerer Teil findet sich nicht selten im Mineralwasser gelöst.

Wir kennen heute zahlreiche Beispiele von Mineralwässern des oberen sulfatischen Stockwerks, welche derartige Desulfurikationsprozesse erfahren und sich dadurch zu sekundären, abgeleiteten Mineralwassertypen entwickelt haben. Als eines dieser Beispiele sei der Horizont 77,45—81,10 m der Bohrung Mörbisch II genannt. Die Horizonte über und unter ihm führen Mineralwässer die höhere Sulfat- als Chloridgehalte aufweisen. Nur der genannte Horizont zeigt durch Sulfatabbau ein umgekehrtes Sulfat/Chlorid-Verhältnis. Ein eindrucksvolleres Beispiel bietet die Gegenüberstellung zweier durch ein nur 2 m mächtiges Tonpaket voneinander getrennter Mineralwasserhorizonte der Bohrung Rust I, von welchen einer stark desulfuriert ist.

Ähnliche Erscheinungen finden wir, regional verbreitet, in den obersten mineralwasserführenden Horizonten der Mineralwasserlagerstätte. Wir sagten bereits, daß sich diese obersten Horizonte meist in sehr geringer Tiefe unter der Erdoberfläche befinden. Tiefen von 1 bis 5 m sind in weiten Teilen der Mineralwasserlagerstätte völlig ausreichend, um die obersten Horizonte zu erschließen. Es handelt sich hier meist um sub-rezente, alluviale und diluviale Ablagerungen, in welchen diese obersten

Mineralwasserhorizonte auftreten. Ursache des Eindringens der Mineralwässer in diese jungen Schichten ist letztlich eine sehr allmähliche aufsteigende Wanderung, welche durch die Tatsache, daß die tieferliegenden Mineralwasserhorizonte artesischen Druck (bis mehrere Meter über Terrain!) besitzen, erklärt wird. Das Kluftnetz des Neusiedlerseebeckens stellt sich in diesem Sinne als bevorzugtes Wegesystem für die Wanderung hochmineralisierter Tiefenwässer zur Erdoberfläche dar. Die jungen Ablagerungen, in welche die emporgestiegenen Mineralwässer nun eindringen und in welchen sie mit dem Grundwasserstrom vielfach weithin verfrachtet wurden und werden, enthalten in der Regel beträchtliche Mengen abbaufähiger organischer Substanz, insbesondere Humusstoffe, oder werden laufend mit humushaltigen Lösungen von der Erdoberfläche her infiltriert. Dieselbe Rolle, welche die Kohlenwasserstoffe in tieferliegenden Schichten innehaben, spielen die Humussubstanzen im Einflußbereich der Erdoberfläche: sie liefern die oxydierbaren organischen Verbindungen, welche die Voraussetzung für den Ablauf der mikrobiologischen Sulfatreduktion darstellen. Mit anderem organischen Ausgangsmaterial zwar, aber mit demselben chemischen Endeffekt vollziehen sich so in der Nähe der Erdoberfläche in den obersten (wegen ihrer Kontamination mit Oberflächenwässern in der Regel balneologisch nicht verwertbaren) Mineralwasserhorizonten in großem Maßstabe Desulfurikationsprozesse. Häufig zeigt der oberste Mineralwasserhorizont, sofern er sehr oberflächennahe liegt, sulfatarme Wässer, die nach unten zu dann rasch in sulfatreiche Mineralwässer übergehen.

D. Connate waters quartärer Salzsee-Sedimente

(Schwefel- und Natronwässer vom Lagerstätten-Typus).

Zum Unterschied von den Mineralwässern in den heutigen Salzwasserseen des Seewinkels, welche wegen des ständigen Zutritts verunreinigender Oberflächen-Faktoren balneologisch nicht oder nur sehr beschränkt nutzbar gemacht werden können, bieten die connate waters quartärer Zickseen die Möglichkeit einer Nutzung zu Trink- und Badekuren. Als wertvolle Lagerstätte dieses Typs hat sich ein dem Riss-Glazial zugeordneter Kiessand an der Quartärbasis am Ostufer des Neusiedlersees erwiesen. Dieser Kiessand geht nach Osten zu in grobe Schotter, nach Westen, unter dem See in Feinsande und Tone über. Im Bereich des Neusiedlersee-Ostufers zeigt dieser in ca. 10 m Tiefe liegende Kiessand eine als Substrat für die am Schwefelkreislauf beteiligten Bakterienassoziationen optimale Korngröße (TAUBER, SCHADEN & MÖLLER 1963). Vermutlich ist in diesem Umstand ein wesentlicher Faktor für die Erscheinung zu suchen, daß die Hydrosulfidgehalte des in diesem Horizont be-

findlichen sulfatischen Mineralwassers sowohl nach Westen als auch gegen Osten zu abnehmen (vergl. Brunnen am Zicksee), womit ein wichtiger Hinweis für die Prospektion von Schwefelwässern gewonnen wäre.

Über dieser schwefelwasserführenden Zone am Ostufer des Neusiedlersees liegt heute eine Kette von teilweise verlandeten Haffs des Neusiedlersees im Raum zwischen Podersdorf und Apetlon. Wie wir heute wissen, stellt der sogenannte „Seedamm“ am Ostufer des Neusiedlersees eine fast 25 km lange Nehrung dar, die ein Vorläufer des Neusiedlersees in einer bereits historischen Periode extrem hohen, etwa 5 m über dem heutigen Seespiegel liegenden Wasserstandes gebildet hat (TAUBER 1959b). Ostwärts hinter dieser Nehrung lagen Haffs, die heute teils völlig verlandet sind, teils flache, im Spätsommer vertrocknende, sodahaltige Salzseen bilden (oberer und unterer Stinkersee, Albersee, Herrnsee etc.). Die Sedimente dieser Haffseen sind, wie vier Aufschlüsse gezeigt haben (Bohrung ILLMITZ I (Sulfina-Quelle), Bohrung PODERSDORF I, die Brunnengrabung der Heilmittelwerke Wien Ges. m. b. H. ILLMITZ II und Bohrung ILLMITZ III etwa 1,5 bis 2 m¹ mächtig und bestehen größtenteils aus dunkelgrauen, bis grauschwarzen tonigen Feinsanden und sandigen Tönen, gelegentlich mit Pyritbelägen in kleinen Hohlsäulen. Auch diese Haffsedimente führen Schwefelwässer, wenn auch bloß in meist geringer Menge. Zwischen den schon der historischen Zeit angehörigen Haffsedimenten und dem bereits erwähnten risseiszeitlichen Kiessand liegt, von letzterem durch ein graublaues toniges Schichtpaket, das dem Riss-Wurm-Interglazial zugerechnet wird, getrennt, wurmeiszeitliches Quartär in Form von tonigen Sanden, Sanden oder auch Kiesen und Schottern. Alle diese Sedimente führen, wenn sie nicht als Grobschotter entwickelt sind, mehr oder weniger hydrosulfidhaltige Wässer. Sedimentpetrographische Untersuchungen von P. WIEDEN haben nun gezeigt, daß alle diese Quartärsedimente Dolomit in beträchtlicher Menge enthalten. Gelegentlich findet man bis zu 10 cm lächtige weiße oder graue dichte Dolomitmergel eingeschaltet, die, wie wir bei der Besprechung der heutigen Sodaseen des Seewinkels (S. 295) sehen werden, als Beweise dafür betrachtet werden dürfen, daß auch schon der riss- und wurmeiszeitliche Vorläufer des Neusiedlersees den Charakter eines sulfatischen Sodasees hatte. Den connate waters dieser Quartärsedimente kommt, gesteht man der MILANKOVITCH'schen Strahlungskurve eine reale Bedeutung zu, ein maximales Alter von 225.000 Jahren (nach der Deutung der MILANKOVITCH-Kurve von SOERGEL 1937) bzw. ein solches von 72.000 Jahren

1 hiemit sei die von TAUBER 1963, p. 796 geäußerte Auffassung, die Haffsedimente seien ca. 10 m mächtig, zugunsten der von FRASL 1961 auf Grund von Schwermineralanalysen erarbeiteten und von FRANZ und HUSZ übernommenen Stratigraphie der Quartärsedimente berichtigt.

nach der wahrscheinlicheren Deutung von GRAHMANN 1928, RICHTER 1937 und WOLDSTEDT 1954 zu. Wird der risseszeitliche Basishorizont exploriert, wie dies durch die Bohrung ILLMITZ I (Sulfina-Quelle) geschieht, so liefert dieser nicht nur sein eigenes connate water, sondern er vermag vor allem auch die connate waters der überlagernden Tone abzufiltrieren, wenn in ihm durch Wasserförderung aus der Bohrung Druckentlastung eintritt.

Die connate waters dieser Quartärsedimente zeigen einen hydrochemisch seltenen Mineralwassertypus: die Mineralwässer enthalten, ebenso wie die Sodaseen aus welchen sie hervorgegangen sind und auf welche wir im nächsten Kapitel zu sprechen kommen, freies Carbonat-Ion und sind daher hochalkalisch. Hydrochemisch bilden sie eine recht gut in sich geschlossene Gruppe, balneologisch aber differenzieren sie sich durch den teils in therapeutisch wirksamer Menge vorhandenen Gehalt an Hydrogensulfid-Ion in hochalkalische Schwefelwässer (SULFINA-Quelle) einerseits und Hydrogensulfid-Ion-arme oder -freie hochalkalische Natriumhydrogencarbonatwässer mit Gehalt an freier Soda (Typus GASTRINA-Quelle) andererseits. Die Sulfinaquelle stellt derzeit Österreichs drittstärkste Schwefelquelle und gleichzeitig die stärkste alkalische Schwefelquelle Europas dar. Die Alkalinität von pH 8,8 bewirkt eine relativ hohe Stabilität des Hydrogensulfid-Ions, wodurch bei sorgfältiger Vermeidung jeder Sauerstoffeinwirkung selbst Abfüllung und Versand des Schwefelwassers technisch durchführbar sind. Die Entstehung des Hydrogensulfid-Ions erfolgt durch Desulfurikation von Sulfaten analog den bei der Besprechung der Desulfurikation der älteren Lagerstättenwässer geschilderten Vorgängen. Die interessante und reichhaltige Schwefelbakterienflora dieses Quellentyps wird derzeit von H. SCHADEN bearbeitet. Die Keimzahl beträgt durchschnittlich 200/ml, was in Anbetracht der Tatsache, daß in Erdölwässern bis zu 6,900.000 Keime/ml gefunden wurden (GINSBURG-KARAGITSCHewa 1937) als geringer Wert anzusehen ist. Bis jetzt konnten 33 Arten identifiziert werden (SCHADEN 1962). Die Desulfurikationsprozesse verlaufen so intensiv, daß mehr Schwefelwasserstoff entsteht, als durch Diffusion entweichen, durch Schwermetalle gefällt, oxydiert oder durch bakterielle Prozesse in elementaren Schwefel oder dessen Oxydationsprodukte rückgeführt werden kann. So kommt es zu einer beachtlichen, therapeutisch nutzbaren Anreicherung an zweiwertigem Schwefel.

Im Zuge der geobakteriologischen Untersuchungen gelang H. SCHADEN unter anderem der Nachweis der Gattung *Sulfomonas* BEIJERINCK von welcher bekannt ist, daß sie Kohlendioxyd aus Hydrogenkarbonaten, ja sogar aus Karbonaten assimilieren kann. Hier zeigt sich eine zweite Möglichkeit der Neubildung von Carbonat-Ion und es ist also nicht ge-

sagt, daß der Gehalt an Carbonat-Ion in diesen interessanten Mineralwässern zur Gänze dem primären Mineralisationsbestand des connate water angehört.

Der sehr hohe Hydrogencarbonat-Gehalt und der Gehalt in Carbonat-Ion bewirken ein ungewöhnlich hohes Säurebindungsvermögen (SBV bis 400!). Bei der Abfüllung und therapeutischen Nutzung dieser hochalkalischen Wässer wird Kohlendioxyd zugesetzt, wodurch sich die Karbonate in Hydrogenkarbonate rückbilden: Die in Formel (3) (Seite 298) dargestellte Reaktion läuft nun von rechts nach links ab, wobei ein Carbonat-ion zwei Hydrogencarbonat-Ionen liefert. Ein Verlust an Säurebindungsvermögen tritt also hiedurch nicht ein, obwohl das pH sinkt und das Mineralwasser für die Mund-, Speiseröhren- und Magenschleimhäute wesentlich schonender wird. Die Quellen dieses Typus stellen hinsichtlich ihres Säurebindungsvermögens die wirkungsvollsten Heilquellen unseres Kontinents dar und eignen sich in hervorragendem Maße zur Behandlung von Gastritiden, da sie schon in geringen Mengen wirksam sind und zum Unterschied von den alkalischen Sauerlingen keinen unerwünschten Meteorismus erzeugen.

Alle diese quartären Wässer sind infolge gelöster Huminstoffe hellgelblich bis blaß-bräunlich gefärbt. Die hohe Alkalinität der Wässer begünstigt ja bekanntlich die kolloidale Lösung von Humussäuren. Die Schwefelquelle Illmitz III enthält z. B. eine Menge organischer Substanz, die einem Kaliumpermanganatverbrauch von 85 mg/kg entspricht (W. WEIS 1961).

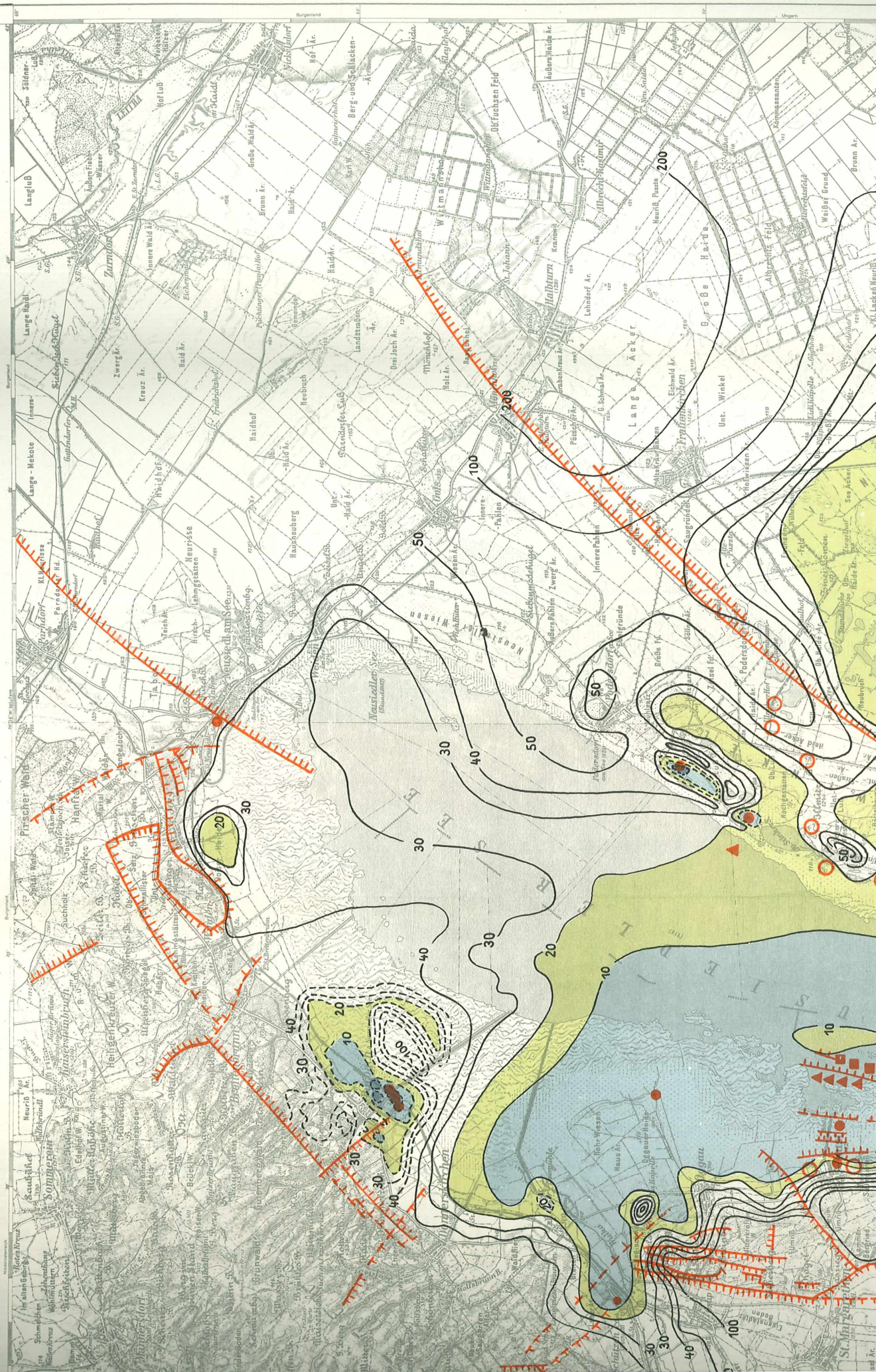
IV DIE HEUTIGEN MINERALWASSERSEEN

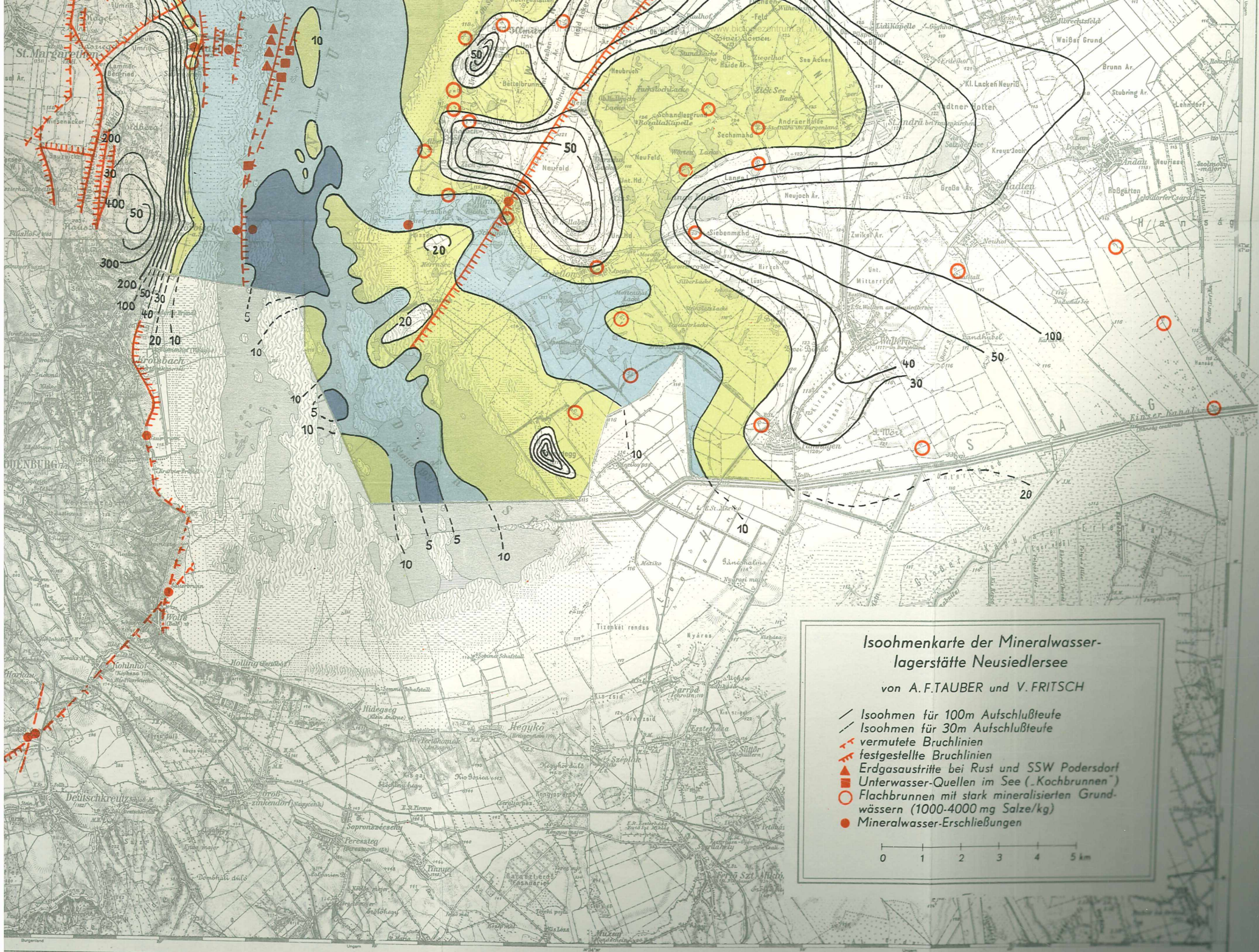
Der Neusiedlersee und die Steppenlandschaft östlich des Sees gehören mit ca. 600 mm durchschnittl. Jahresniederschlag zu den niederschlagsärmsten Gebieten Österreichs. Da die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit gleichzeitig ziemlich gering ist (um 70 %) und das ganze Gebiet infolge seiner Baumlosigkeit von allen Winden frei bestrichen wird, tendiert das Gebiet merklich zum ariden Klimatyp: Die Verdunstung ist — obwohl bisher nicht exakt gemessen — sicherlich größer als der Niederschlag. Für den Neusiedlersee werden z. B. etwa 900 mm Jahresverdunstung veranschlagt. Mit einer Tiefenlage von 25 m unter der Donau bei Hainburg ist es nicht nur Österreichs tiefster Landesteil überhaupt, sondern war ursprünglich auch eine mindestens obertägig abflußlose Depression, die erst durch den Bau des Einserkanals (1895—1910) eine Entwässerung gegen das Flußnetz der Raab und der Donau hin erhielt. Depressionslage und arider Klimateinschlag begünstigen die Entstehung von Eindampfungswannen, also von abflußlosen Seen in denen die mit den Regen- und Oberflächenwässern zugeführten mineralischen

Verwitterungslösungen durch Verdunstung des Wassers konzentriert werden. Bis vor wenigen Jahren glaubte man die Entstehung der zahlreichen — unsprünglich etwa 80¹ — kleinen und größeren, teils perennierenden, teils im Spätsommer austrocknenden epilimnischen Salzseen (Zickseen) östlich des Neusiedlersees und den Salzgehalt des Neusiedlersees selbst², der infolge seiner durchschnittlichen Salzkonzentration von rund 1300 mg/Liter ebenfalls als Mineralwassersee zu bezeichnen ist (HOCK 1957, SCHROLL 1959, KNIE 1959a), allein in diesem Sinne deuten zu sollen. Erst die geologischen, geophysikalischen und geochemischen Erkenntnisse der letzten Jahre haben gezeigt, daß bei der Entstehung dieser Salzseen auch noch die aus der Mineralwasserlagerstätte aufsteigenden Wässer eine beträchtliche Rolle spielen (TAUBER 1961b, 1961d). Wir sagten bereits, daß die wasserführenden Schichten im Seebereich und im Seewinkel fast stets nachweisbar unter artesischem Druck stehen und daher die Tendenz haben, an Klüften und am Ausstrich wasserzügiger Sedimente aufzusteigen und sich dem oberflächennahen, strömenden Grundwasser beizumischen. Schichten, welche auf diese Weise drainiert werden, verlieren — geologisch gesehen — sehr rasch die ursprünglich hohe Konzentration ihres connate water, aber durch Diffusion aus benachbarten Schichten werden dem aufsteigenden Wasser weiterhin allmählich immer geringer werdende Mengen an Salzen zugeführt. Die auf diese Weise geförderten Salzmen gen sind nicht unbedeutend. Grundwasserquellen im Neusiedlersee (sog. Kochbrunnen) haben ähnliche Salzkonzentrationen wie der See selbst. Grundwasserbrunnen im Seewinkel zeigen praktisch nur außerhalb der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee Salzgehalte unter 1000 mg/Liter, über der Mineralwasserlagerstätte hingegen wesentlich höhere Werte, bis etwa 4000 mg/Liter (KNIE 1959c). Das Grundwasser im Neusiedlerseegebiet ist also regional schwach versalzen. In den Zickseen, die ja größtenteils von Grundwasser gespeist werden, tritt durch Verdunstung eine Konzentration dieses Salzgehaltes ein, welcher im Spätsommer bei einzelnen „Zicklacken“, z. B. der Birnbaumlacke, Werte bis fast 26 g/Liter (1959) erreichen kann (LÖFFLER 1959a). Nach völliger Austrocknung der nicht perennierenden Seen blüht aus den Seeböden weißes Salz: ein Gemisch von Thenardit, Soda, Nahcolit, Trona und etwas Kochsalz, daneben Kalzium- und Magnesiumkarbonate, haupt-

1 Ihre Gesamtfläche beträgt nach LÖFFLER 1959b ca. 2800 ha, ihre Tiefe meist nur wenige Dezimeter. Ihr Wassergehalt darf auf durchschnittlich etwa 8,5 Millionen m³ geschätzt werden.

2 Infolge der außerordentlichen Flachheit des Neusiedlersees — seine durchschnittliche Tiefe beträgt nur 70 cm — ist seine Fläche stark vom Wasserstand abhängig. Für normale Wasserstände werden Werte bis 320 und 337 km² angegeben (SAUERZOPF 1958a). Sein Inhalt beträgt in normalen Jahren somit etwa 230 Millionen m³. Episodisch kann jedoch der Neusiedlersee völlig austrocknen.

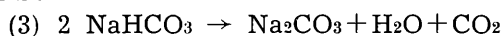




sächlich also Sulfate und Karbonate des Natriums (SCHROLL 1959, 1963a). Die in den Zickseen und im Neusiedlersee in gelöster Form angehäuften Salzmen gen sind beachtlich; für den Neusiedlersee ergibt die Rechnung eine Menge von ca. 400.000 t verschiedener Salze, für die Zickseen eine solche von 25.000 t. Weit höhere Salzmen gen sind im Grundwasser der Quartiärsedimente des Seewinkles gelöst. Eine Näherungsrechnung weist hier etwa 1,5 Millionen t Salz aus, sodaß die Gesamtmenge der in der Neusiedlerseede depression in Oberflächenwässern und oberflächennahen Grundwässern gelösten Salze grö ßenordnungs mäßig auf ca. 2 Millionen t geschätzt werden darf.

Der Genese dieser Salzlösungen — teils Verwitterungslösungen, teils connate waters des oberen sulfatischen Mineralwasserstockwerks, zum geringeren Teil auch connate waters des tieferen Mineralwasserstockwerks — entsprechend, handelt es sich primär vorwiegend um Natriumsulfatlösungen, welche bei höherer Konzentration meist auch anormal hohe Magnesiumgehalte aufweisen. In den Seen gehen nun unter dem Einfluß der reichlich vorhandenen organischen Substanz, welche vor allem von absterbendem Plankton und Wasserpflanzen beigestellt wird, besonders in der warmen Jahreszeit, anscheinend aber auch im Winter unter Eisbedeckung (VARGA 1962, LÖFFLER 1959a) sehr intensive bakterielle Desulfurikationsprozesse vor sich, die chemisch nach demselben Schema verlaufen wie im vorhergehenden Abschnitt bereits diskutiert. Wie aus den Reaktionen (1) und (2) ersichtlich, tritt hiebei neben Schwefelwasserstoff, welcher entweicht (Stinkerseen!) unter Verminderung der im Wasser gelösten Kohlendioxydmenge Natriumbikarbonat in Erscheinung.

Viel bedeutendere Mengen von Kohlendioxyd werden von den Wasserpflanzen, insbesondere von Grün- und Blaualgen zur Assimilation benötigt. Die in den flachen Salzwasserwannen vorhandene Kohlensäure wird trotz der ständigen Kohlensäureproduktion durch bakteriellen Abbau der organischen Substanz im Boden rasch verbraucht und nun beginnt der biologische Angriff auf die Hydrogenkarbonate nach folgendem Schema:



(RUTTNER 1948, 1949, neuere Literatur bei FELFÖLDY 1960 a, b). Da der Assimilationsvorgang der Grünpflanzen unter Verwertung der Energie des Sonnenlichtes vor sich geht, oszilliert der Sodagehalt und mit ihm auch die Alkalinität der Lackenwässer mit der Besonnung. Bei wolkenlosem Himmel findet man den höchsten Sodagehalt am zeitlichen Nachmittag, den niedrigsten Sodagehalt unmittelbar vor Sonnenaufgang, im Sommer durchschnittlich höhere Sodawerte als im Winter. Experimentell gelang es LÖFFLER, die Alkalinität zweier Salzlackenwässer durch Belichtung und Blaualgenwachstum auf pH 11,5 und pH 12 zu steigern

(LÖFFLER 1959a). Infolge des starken Anstieges der pH-Werte fallen Calciumkarbonat, Protodolomit, Dolomit aus dem Wasser aus. Die Sedimente des Neusiedlersees und der Zicklacken sind daher sehr reich an neugebildetem Dolomit (WIEDEN 1959, SCHROLL & WIEDEN 1960, WIEDEN 1963a). Wir kennen richtige dichte Dolomite aus subfossilen Zickseeablagerungen.

Nur nebenbei sei erwähnt, wie wenig repräsentativ irgend eine Probenahme an einer dieser Salzlacken ist, wenn der Zeitpunkt im Jahres- und Tageszyklus, zu welchem die Probe gezogen wurde, nicht definiert ist. Wirklichen Aussagewert haben wegen der raschen Änderungen im Chemismus der Lackenwässer daher in der Regel nur Untersuchungen, die einen Tageszyklus bzw. einen Jahreszyklus umfassen. Erste Untersuchungen in dieser Richtung stammen von K. KNIE aus den Jahren 1942/43 (unveröffentlicht). Daneben bestehen aber gerade in Sodaseen bereits auf geringe Distanz in horizontaler Richtung erhebliche hydrochemische Verschiedenheiten (PONI 1961), die das Ziehen repräsentativer Proben erheblich erschweren. So fand auch LÖFFLER z. B. eine Abnahme des Calciumgehaltes vom Ufer gegen die freie Wasserfläche zu (LÖFFLER 1959a).

Dem Charakter des Bodensediments, der Art und Dichte der Mikroflora und des Pflanzenbewuchses, der Tiefe und Beständigkeit der Wasserführung sowie der durchschnittlichen Salzkonzentration des Wassers nach usw. variieren die Zicklacken des Seewinkels in weiten Grenzen. Dementsprechend verlaufen auch die biogenen chemischen Vorgänge in den Salzseen mit sehr verschiedener Intensität. Dies erklärt die Tatsache, daß jeder dieser Seen nicht nur seinen speziellen hydrochemischen Zyklus aufweist, sondern überhaupt große Unterschiede hinsichtlich der Salzkonzentration und der Beteiligung chemisch verschiedener Salze oft sogar zwischen eng benachbarten Seen bestehen.

Sehen wir von den nicht sehr zahlreichen Seen mit relativ kalziumreichem Wasser, deren Salzkonzentration unter 1000 mg/Liter liegt, und die damit den Mineralwasserseen nicht zuzuzählen sind, ab, so können wir relativ natriumsulfatreiche, natriumkarbonatreiche und natriumchloridreiche Lackenwässer unterscheiden. Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, daß alle diese Mineralwasser-Seetypen durch Übergänge miteinander verbunden sind.

Trotz der ausgeprägten chemischen Individualität der einzelnen Mineralwasserseen lassen sich doch einige den Lackenwässern und dem Grundwasser gemeinsame hydrochemische Tendenzen im Verlaufe des, wie wir seit den grundlegenden Untersuchungen von GÜNTSCHEL (1942)¹ wissen, von Nordosten nach Südwesten — auf den Neusiedlersee zu — ge-

1 Wiederabdruck des Grundwasserschichtenplans des Seewinkels bei Sauerzopf 1959c.

richteten Grundwasserstroms erkennen: Grundwasser und Lackenwässer mit überwiegendem Kalziumgehalt, wie dies gewöhnlichen Grundwässern entspricht, gibt es nur im Norden, Osten und Südosten des Seewinkels außerhalb des Bereichs der Mineralwasserlagerstätte. Je weiter der Grundwasserstrom gegen Westen und Südwesten vordringt (nach bisherigen Messungen mittels radioaktiver Isotope am Ostufer des Neusiedlersees treten örtlich recht verschiedene Grundwassergeschwindigkeiten von etwa 1—14 cm/Stunde auf — MAIRHOFER 1961, 1963 a, b), umsomehr tritt das Kalzium in den Hintergrund und wird durch das Natrium verdrängt. Die gleiche Tendenz sehen wir an den Zicklacken. Ähnliches gilt für das Sulfat/Chlorid-Verhältnis, wobei der Chloridgehalt gegen Westen bedeutend zunimmt. Zicklacken mit überwiegendem Kochsalzgehalt gibt es daher nur im westlichsten Seewinkel (z. B. nördlicher und südlicher Silbersee). Eine Zunahme gegen Westen zeigen ferner die Gesamtkonzentration, der Magnesiumgehalt usw. und zwar gleichartig für Grundwässer und Lackenwässer (TAUBER 1961b). Diese Verhältnisse zeigen deutlich, daß der Grundwasserstrom beim Überfließen des Lagerstättenbereichs relativ hochmineralisierte Wässer aufnimmt, die ihm teils direkt als aufsteigende Tiefenwässer, teils indirekt aus den connate water-Beständen subfossiler Salzlackensedimente, teils, ebenfalls indirekt, aus der Auswaschung anscheinend intraquartärer (Riss/Würm-interglazialer) in der Tiefe von oft nur wenigen cm oder dm liegender Salzhorizonte (POZDENA 1962, FRANZ, HÖFLER & SCHERF 1937, FRANZ & BEIER 1942, FRANZ 1960, FRANZ & HUSZ 1961 a, b, HUSZ 1962) zufließen. Einen ersten Überblick über den Chemismus der Lackenwässer verdanken wir HOCK 1937, LÖFFLER 1957, 1959 a, KNIE 1959 a, b und SCHROLL 1959. Einige Analysen von Mineralwassersees des Neusiedler-Seegebietes mögen eine Vorstellung von der chemischen Zusammensetzung ihrer so eigenartigen Wässer geben.

Die Erforschung der Mineralquellen des Neusiedlerseegebietes hat, wie die vorstehenden Zeilen zeigen, nicht nur auf dem balneogeologischen Forschungsfeld sondern überhaupt auf dem Gebiet der Hydrogeologie grundsätzlich neue Erkenntnisse und neue Einblicke in den Bewegungsmechanismus und die damit verbundene hydrochemische Metamorphose der liquiden Phase in den Gesteinen erbracht. Die praktischen Ergebnisse dieser Forschung — der für Österreich neu erschlossene Schatz an wertvollen Heilquellen — rechtfertigen den Einsatz an Mitteln und Arbeit.

Wertvolle Anregungen hinsichtlich der Probleme der Genese unserer Mineralwasserlagerstätte erhielt ich durch das I. Internationale Symposium für angewandte Geowissenschaften in Eisenstadt und Wien (5.-9. April 1961). Hier waren es besonders zwei der führenden deutschen Heilquellengeologen Prof. Dr. W. CARLÉ und Oberlandesgeologe Dr. K. FRICKE,

deren aus umfangreicher praktischer Erfahrung geschöpftes Wissen mir zahlreiche neue Wege zur gedanklichen Durchdringung der vielfach verflochtenen Probleme zeigte.

In noch höherem Maße bin ich jenen Forschern zu Dank verbunden, die in vieljähriger enger und fruchtbringender Zusammenarbeit ungezählte neue Ideen in die Diskussion geworfen haben, bis sich das anfangs rätselvolle Mosaik ihrer mühevoll erarbeiteten Einzelbefunde zu einem verständlichen Bild zu runden begann. Von ihnen seien hier insbesondere Prof. Dr. V. FRITSCH, Univ. Prof. Dr. E. SCHROLL, Dr. Ing. P. WIEDEN, Ing. H. SCHADEN, Prof. W. DALLER und der im Jänner 1963 leider allzufrüh verstorbene Dir. W. WEIS genannt.

Ich möchte aber diese Zeilen nicht abschließen ohne der Hilfsbereitschaft und der vorbildlich schönen wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit den Kollegen in Ungarn, in erster Linie mit Herrn Univ. Prof. Dr. M. VENDEL und Herrn Univ. Prof. Dr. A. TARCZY-HORNOCH in Sopron und dem Präsidenten der Fertő-Kommission der Ungarischen Hydrologischen Gesellschaft Herrn Obering. J. PICHLER, Budapest, dankbar zu gedenken. Die ungarischen Forscher sind nunmehr darangegangen, die in Österreich begonnenen Untersuchungen auch auf ungarisches Gebiet auszudehnen. Die ersten vielversprechenden Ergebnisse liegen denn auch bereits vor (UNG. PRESSEDIENST 1963, KURIER 1963). Ihnen wird es obliegen, das begonnene Forschungsvorhaben und damit das Bild dieser jüngst entdeckten Mineralwasserlagerstätte und ihres Inhalts zu vollenden.

LITERATUR

- BOLDIZSAR, T., 1958: New terrestrial heat flow values from Hungary. *Geofisica pura et applicata*, Bd. 39, Milano 1938.
- BOLDOZSAR, T., 1959: Terrestrial heat flow in the nagylengyel oilfield. Reprinted from publications of the faculties of mining and geotechnics (XX). Technical University Faculties, Sopron 1959.
- CARLÉ, W., 1958a: Kohlensäure, Erdwärme und Herdlage im Uracher Vulkangebiet und seiner weiteren Umgebung. *Ztschr. deutsch. geol. Ges.* Jg. 1958, Bd. 110, Hannover 1958.
- CARLÉ, W., 1958b: Rezente und fossile Mineral- und Thermalwässer im Oberheintalgraben und seiner weiteren Umgebung. *Jahresber. und Mitt. d. oberh. geol. Ver.* N. F. 40, Stuttgart 1958.
- EMSZT, K., 1904: Mitteilungen aus dem chemischen Laboratorium der agrogeologischen Aufnahmsabteilung der kgl. ung. geolog. Anstalt. *Jahresber. d. kgl. ung. Geol. Anst. für 1902*, Budapest 1904.
- ENGELHARDT, W. v. & SCHINDEWOLF A., 1952: Zur Filtration von Tonsuspensionen. *Kolloid-Zeitschrift* Bd. 127, 1952.
- FELFÖLDY, L. J. M., 1960a: Experimente on the carbonate assimilation of some unicellular algae by RUTTNER's conductometric method. *Acta Biologica academicae scientiarum hungaricae*. Bd. XI. fasc. 1, Budapest 1960.

- FELFÖLDY, L. J. M., 1960b: Photosynthetic experiments with unicellular algae of different photosynthetic type. *Annalen d. Biolog. Station Tihany*, Bd. 27, pp. 193—220, Tihany 1960.
- FRANZ, H., 1960: *Feldbodenkunde als Grundlage für die Standortbeurteilung und Bodenwirtschaft*. Verlag G. Fromme, Wien 1961.
- FRANZ, H., HÖFLER, H., SCHERF, E., 1937: Zur Biosoziologie d. Salzlackengebiete am Ostufer des Neusiedlersees. *Verh. d. Zool. Bot. Ges.* Bd. 86/87, Wien 1937.
- FRANZ, H. & BEIER, M., 1942: Zur Kenntnis der Bodenfauna im pannonischen Klimagebiet der Ostmark. *Zool. Jahrb. Abt. Syst.*
- FRANZ, H. & HUSZ, G., 1961a: Die Salzböden und das Alter der Salzsteppe im Seewinkel. *Mittlg. d. österr. Bodenkdl. Gesellschaft Wien* 1961.
- FRANZ, H. & HUSZ, G., 1961b: Neusiedl am See — Podersdorf — Illmitz. *Exkursion C. Mitt. d. österr. bodenkundl. Gesellschaft, Wien* 1961.
- FRICKE, K., 1954: Entstehung, Beschaffenheit und räumliche Verbreitung der Heil- u. Mineralquellen Nordrhein-Westfalens. Verlag L. Flöttmann, Gütersloh 1954.
- FRICKE, K., 1961: Geologische Vorarbeiten für das Ansetzen einer Mineralwasser-Neubohrung und deren geologische Überwachung. Heilbad u. Kurort 1961, Heft 3/4, Gütersloh 1961.
- FRITSCH, V. & TAUBER, A. F., 1959: Die Mineralwässer im Neusiedlerseegebiet. *Wissensch. Arbeiten aus dem Burgenland*, Heft 23, pp. 34—39, Eisenstadt 1959.
- FRITSCH, V., 1961: Die geoelektrische Untersuchung der Heilwässer in der Umgebung des Neusiedlersees im Burgenland. *Zeitschrift für Geophysik*, 1961, 28 (3), pp. 112—117.
- GLASENAPP, K. J. v., 1962: Über die experimentelle Bestimmung der Permeabilität von Sandsteinen für NaCl-Lösungen unter atmosphärischen und Lagerstätten-Bedingungen. *Erdöl u. Kohle, Erdgas, Petrochemie*, 15. Jg. Nr. 5, Hamburg 1962.
- HOCK, R., 1957: Ein Beitrag zur Chemie des Neusiedlersee-Wassers. *Praktische Chemie* Bd. 8, Heft 6, Wien 1957.
- HUSZ, G., 1962: Untersuchungen über die Entstehung von Salzböden im Seewinkel (Burgenland) als erste Grundlage ihrer Melioration. *Diss. Hochschule f. Bodenkultur, Wien* 1962.
- JANKE, A., 1960: Untersuchung von Mörbischer Mineralwasser auf sulfatreduzierende Bakterien. *Untersuchungsbericht vom 12. Juli 1960 (unveröffentlicht)*.
- JANOSCHEK, R., 1960: Überblick über den Aufbau der Neogenegebiete Österreichs. *Mitt. d. Geol. Ges. in Wien*, Bd. 52 (1959), Wien 1960.
- KNIE, K., 1959a: Über den Chemismus der Wässer im Seewinkel und des Neusiedlersees. *Wiss. Arb. aus dem Bgld.*, Heft 23, Eisenstadt 1959.
- KNIE, K., 1959b: Über den Chemismus der Wässer im Seewinkel, der Salzlackenssteppe Österreichs. *Jahrb. vom Wasser*, Bd. 25, Weinheim 1959.
- KNIE, K., 1961: Über die Grundwässer im Seewinkel, Wasser und Abwasser, Wien 1961.
- KREJCI-GRAF, K., 1962: Über Ölfeldwässer, Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie, 15. Jg. Heft 2, Hamburg 1962.
- KÜPPER, H., 1957: Abschn. Tertiär — Vulkanische Gesteine. In: *Erläuterungen zur geologischen Karte Mattersburg — Deutschkreutz 1:50.000*. Geol. Bundesanstalt Wien 1957.
- LOCZY, L. v., 1916: Die geologischen Formationen der Balatongegend und ihre regionale Tektonik. *Resultate d. wiss. Erforschung des Balatonsees*, Bd. I, Heft 1, Wien 1916.

- LÖFFLER, H., 1959: Zur Limnologie, Entomostraken- und Rotatorienfauna des Seewinkelgebietes (Bgd., Österr.). Sitzungsber. d. Österr. Akad. d. Wiss. Abt. 1, Bd. 168, Heft 4/5, Wien.
- MAIRHOFER, J., 1961: Bericht über Strömungsgeschwindigkeit und Richtungsbestimmung im Raume des Heilwasserschutzgebietes am Neusiedlersee. Bericht der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal vom 6. 11. 1961.
- MAIRHOFER, J., 1963: Investigations of the ground-water-conditions in the region of the Neusiedlersee by means of radioactive Isotops. IAE-Symposion über die Anwendung von Radioisotopen in der Hydrologie, Tokio 1963 (Vortr. in Vorber.)
- PAPP, A., SCHROLL, E., TAUBER, A. F. & WIEDEN, P., 1959: Stratigraphische geochemische und geologische Untersuchungen an der Tiefbohrung Frauenkirchen, Burgenland. Unveröffentlichtes Manuskript (1959).
- PATER, J., 1950: Der doppeltkohlen-säuerling von Harkau-Kophaza (ungarisch). Hidrológiai közlöny Bd. XXX, pp. 198—199, Budapest 1950.
- PONYI, E. J., 1961: Die Lage der limnologischen Untersuchungen der ungarischen Natronwässer und deren neueste Resultate. Manuskript, 1961, erliegt an der Biolog. Station Tihany.
- POZDENA, L., 1932: Zur Kenntnis der Salzböden, erörtert an einigen Profilen aus der Umgebung des Neusiedlersees. Chemie der Erde, Bd. 7, 1932.
- ROMWALTER, A. & MACHER, F., 1955: Egy termelészöetkezeti vizet. Erdőművelésügyi közl., pp. 213—215, Budapest 1955.
- SAUERZOPF, F., 1962: Die Brunnenwässer der Freistadt Rust. Wiss. Arbeiten aus dem Burgenland, Eisenstadt 1962, in Vorbereitung.
- SCHADEN, H., 1962: I. Arbeitsbericht über die Mikrobiologische Erforschung der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee vom 26. Juni 1962 (Manuskript).
- SCHROLL, E., 1959: Zur Geochemie und Genese der Wässer des Neusiedler Seegebietes. Wiss. Arbeiten aus dem Bgd., Heft 23, Eisenstadt 1959.
- SCHROLL, E. & WIEDEN, P., 1960: Eine rezente Bildung von Dolomit im Schlamm des Neusiedler Sees. Tscherma's mineralogische und petrographische Mitteilungen III. Folge, Bd. 7, Heft 3, Wien 1960.
- STARIK, I. E., 1961: Das Alter von Gesteinen und der Erde, Moskau 1961.
- TAUBER, A. F., 1959a: Grundzüge der Tektonik des Neusiedlerseegebietes. Wiss. Arbeiten aus dem Bgd., Heft 23, pp. 26—31 Eisenstadt 1959.
- TAUBER, A. F., 1959b: Zur Oberflächengeologie des Seewinkels. Wiss. Arbeiten aus dem Bgd., Heft 23, pp. 24—26, Eisenstadt 1959.
- TAUBER, A. F., 1959c: Geologische Stratigraphie und Geschichte des Neusiedlerseegebietes. Wiss. Arbeiten a. d. Bgd., Heft 23, pp. 18—24, Eisenstadt 1959.
- TAUBER, A. F., 1961a: Ein Dezenium praktische Geologie im Burgenland. Burgenl. Heimatblätter, 23. Jg., Heft Nr. 3, Eisenstadt 1961.
- TAUBER, A. F., 1961b: Abschn.: „Die Entstehung der Salzwasserseen“. In: KOENIG, O. Das Buch vom Neusiedlersee, pp. 226—228, Wollzeilenverlag, Wien 1961.
- TAUBER, A. F., 1961c: „Die Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee“. Vortrag, gehalten im Szechenyi Palais, Sopron, am 9. Juni 1961 vor der ungar. hydrolog. Gesellschaft und der ung. Fertő-Kommission.
- TAUBER, A. F., 1961d: „Zur Hydrologie des Seewinkels“. Vortrag, gehalten an der Hochschule für Bodenkultur in Wien, am 6. Februar 1961.
- TAUBER, A. F., 1961e: Die Mineralwässer des Neusiedlersee-Gebietes — Europas wertvollster Heilquellenschatz, Neuland, Jg. 1961, Heft 2, pp. 53—58, Wien 1961.
- TAUBER, A. F., 1962a: Laterale Mineralwassermigration im Bereich der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee. Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Eisenstadt 1962, in Vorbereitung.

- TAUBER, A. F., 1962b: „Connate waters, Sedimentporenwässer, Ölfeldwässer“, Vortrag, gehalten an der Univ. Wien (Geolog. Gesellschaft) am 1962.
- TAUBER, A. F., 1962c: „Balneogeologische Forschungen im Neusiedlerseegebiet“, Vortrag, gehalten im Szechenyi-Palais, Sopron, am 12. Oktober 1962 vor der ungar. Hydrolog. Gesellschaft und der ung. Fertö-Kommission.
- TAUBER, A. F., 1962d: Geothermische Anomalien im Bereich der Mineralwasserlagerstätte Neusiedlersee und im Seewinkel (Burgenland). Wissensch. Arbeiten aus dem Burgenland, Eisenstadt 1962, in Vorbereitung.
- TAUBER, A. F., 1962e: Die Mineralwässer und die Mineralwasserlagerstätte im Neusiedlerseegebiet. Wiss. Arb. a. d. Bgld., Eisenstadt 1962, in Vorbereitung.
- TAUBER, A. F., 1962f: Connate water. Wiss. Arbeiten aus dem Burgenland, Eisenstadt, in Vorbereitung.
- TAUBER, A. F. & DALLER, W., 1962: Die ascendente Migration der Sedimentporenwässer. Wiss. Arbeiten a. d. Bgld., Eisenstadt 1962, in Vorbereitung.
- TAUBER, A. F., KNIE, K., GAMS, H. & PESCHEK, E., 1959: Die artesischen Brunnen im Seewinkel, Burgenland. Wasser und Abwasser Bd. III (1958), Wien 1959.
- TOMOR, J., 1957: Köolaj es földgázkutatások a dunántúlon. Ex: SZUROVY, G.: A köslajkutatás es feltáras modszerei magyarországon. Akademia kiado, Budapest 1957.
- VENDEL, M., 1930: Die Geologie der Umgebung von Sopron. II. Teil: Die Sedimentgesteine des Neogens und des Quartärs, Erdeszeti kiserletek Bd. 32, Sopron 1930.
- WEIS, W., 1958: Ergänzung zu der vorläufigen Beurteilung über das Mineralwasservorkommen in Mörbisch vom 14. 6. 1956 (unveröffentlicht) vom 14. 5. 1958.
- WEIS, W., 1961: Balneologisches Gutachten über die Schwefelquelle auf Parz. 5758 der Katastergemeinde Illmitz, Bgld. Zl. 948/61 vom 1. 12. 1961.
- WINKLER-HERMADEN, A. v., 1933: Über zwei interessante Gesteinsvorkommen bei Aschau im Bez. Oberwarth (Felsöör), Burgenland. Folia sabarensia 1933, Heft 1, Steinamanger 1933.
- WINKLER-HERMADEN, A. v., 1951: Die jungtertiären Ablagerungen an der Ostabdachung der Zentralalpen. Ex F. X. SCHAFFER, Geologie von Österreich, Verlag F. Deuticke, 2. Aufl., Wien 1951.

Anschrift des Verfassers:

Dr. A. F. Tauber
 Linzerstraße 342
 1140 Wien XIV



Grundlinien zu einem Naturschutzprogramm für das Landschaftsschutzgebiet Neusiedlersee

MASZSTAB 1:50.000

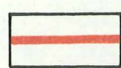




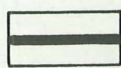




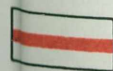
LEGENDE:



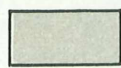
1



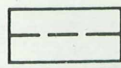
8



15



2



9



16

