

# **Die hydrothermal - sedimentäre Entstehung der Salzablagerungen des Zechsteins am Beispiel des Werra-Kaligebietes - ein Modell.**

ANDREAS JÄGER, Erfurt - Schwerborn

## **1. Vorbemerkungen**

Die Erkenntnisse, welche mit dem vorliegenden Aufsatz vorgestellt werden, erzielte der Verfasser überwiegend im Rahmen seiner Diplomarbeit an der Bergakademie Freiberg im Jahre 1985. Sie wurden mit Forschungsarbeiten nicht weiter verfolgt.

Unter der Themenstellung, anhand von unterschiedlichen Methoden (insbesondere Mächtigkeiten von Steinsalzpaketen) synsedimentäre Bewegungen während der Salzausscheidung in den Zechsteinablagerungen des Werra- Kaligebietes nachzuweisen, wurde ein völlig neues Ablagerungsmodell herausgearbeitet.

Anläßlich einer Befahrung der Grube „Ernst Thälmann“ Merkers im Februar 1994 faßte der Verfasser den Entschluß, seine Erkenntnisse der Öffentlichkeit vorzutragen, weil mit dem Niedergang der ostdeutschen Kaliindustrie die Salzablagerungen des Zechsteins im Werra-gebiet voraussichtlich in absehbarer Zeit nicht mehr zugänglich sein werden. Da der Verfasser bereits neun Jahre im Bereich der angewandten Geologie arbeitet, liegt ihm keine umfangreiche Literaturübersicht (insbesondere international) vor, so daß möglicherweise Literaturzitate nicht dem aktuellsten Stand entsprechen.

Die hier vorgelegte Arbeit möchte ich meinem sehr verehrten Lehrer, Mitarbeiter und Nestor der angewandten Geologie Thüringens, Herrn Diplom - Geologen Dr. Christian Engels widmen, dem ich meine praktische Ausbildung nach dem Studium verdanke. Er verstarb im Frühjahr 1994 kurz vor Vollendung seines 66. Lebensjahres.

## **2. Einleitung**

Die marine Herkunft der mächtigen Salzablagerungen des Zechsteins ist bisher in der wissenschaftlichen Diskussion zur Genese weitgehend unumstritten.

Ältere Autoren (z.B. BORCHERT 1959) sprechen von einem präformierten Becken (Beckenstruktur vor der Salzablagerung vorhanden). Jüngere Publikationen beweisen wenigstens zeitweise eine sehr geringe Wasserbedeckung und schließen daraus auf eine Absenkung während der Sedimentation (KOCH 1980, ZÄNKER 1979).

SCHARBRODT u.a. (1989) erklären die stark unterschiedliche Mächtigkeit von Steinsalzpaketen durch eine synsedimentär unterschiedliche Absenkung einzelner Schollen und gehen ebenfalls von einem flachen Salzablagerungsbecken aus.

Auch speziell zu den gut untersuchten Kalisalzflözen gibt es unterschiedliche Entstehungsmodelle. Hier gaben die engräumigen Mächtigkeitsschwankungen und die Fazieswechsel in vertikaler und horizontaler Richtung Anlaß zu verschiedenen Genesemodellen.

- DITTRICH (1966): Die Faziesverteilung der Kaliflöz ist primär angelegt, randlich und an Schwellen befindet sich Hartsalz, in tieferen Teilen entsteht Carnallit. Zur Beckentiefe wird keine Aussage getroffen.
- BORCHERT (1959): Die Faziesverteilung ist sekundär. Es wird ein System von "metamorphen" Beeinflussungen erarbeitet und begründet; er nimmt größere Wassertiefen an und schließt synsedimentäre Bewegungen aus.
- WALJASCHKO (1958): Es wird eine primäre Faziesverteilung vertreten. Zur Zeit der Flözabscheidung sei das Becken sehr flach (randliche Trockenlegung), er prägt den Begriff der Metamorphisation des Meerwassers.
- RICHTER - BERNBURG (1968): Er prägt den Begriff Saturationsschelf und hält eine Salzabscheidung im Flachschild oder im Tiefschild für möglich. Die großräumige Faziesverteilung sei primär.

In letzter Zeit setzen sich Auffassungen von einer primären Faziesverteilung der Kaliflöz durch. Mit den vorhandenen Salzgenesemodellen lassen sich jedoch Ausbildung, Mächtigkeitsverteilung und Abfolgen nicht zufriedenstellend erklären, so daß sich auch heute noch kein Modell vollständig durchgesetzt hat.

Der Verfasser möchte mit der vorliegenden Arbeit ein weitgehend abweichendes Modell vorstellen, in welches sich die durch umfangreiche Arbeiten (Literatur) vorliegenden Erkenntnisse, angefangen von den sogenannten „Zechsteinriffen“ über die Kupferschiefersedimentation bis zur Kalisalzablagerung, umfassend einordnen.

Die Salzablagerungen des Zechsteins im Werra - Kaligebiet sind aufgrund zahlreicher Erkundungsbohrungen und des Kalisalzabbaues gut bekannt. Grundlegende komplexe Arbeiten, welche bereits die wesentlichen Gesetzmäßigkeiten der Lagerstätte (Salzverteilung, Verbreitung und Ausbildung der Kalisalzlager) erkannten, wurden von DITTRICH (1966) und KÄSTNER (1969) vorgelegt.

Das Werrasteinsalz ist im Untersuchungsgebiet dreigegliedert. Es sind zwei Kalisalzflöz ausgebildet (z.B. DITTRICH 1966, KÄSTNER 1969).

	ca. Mächtigkeiten aus KÄSTNER (1969)
Oberes Werra - Steinsalz	60 - 150 m
Kaliflöz Hessen	
Mittleres Werra - Steinsalz	20 - 80 m
Kaliflöz Thüringen	
Unteres Werra - Steinsalz	50 - 150 m
Werra - Anhydrit (Anhydritknottenschiefer)	7 - 14 m
Werra - Karbonat (Zechsteinkalk)	4,5 - 12,1 m
Kupferschiefer	

Die Mächtigkeiten der einzelnen Steinsalzpakete und der Kalisalzflöz (insbesondere Flöz „Thüringen“) sind starken Schwankungen unterworfen. Die Mächtigkeiten nehmen meist kontinuierlich ab und zu.

### 3. Die hydrothermal - sedimentäre Entstehung der Ablagerungen des Zechsteins - Modellvorstellung -

Der Verfasser möchte an dieser Stelle einer Erläuterung einzelner Schichtpakete und Sonderentwicklungen im Zechstein I des Werra - Kaligebietes eine grobe Beschreibung des Genesemodelles voranstellen.

Die Sedimentation der Gesteine des Zechsteins erfolgte weitgehend analog den Verhältnissen in rezenten Salzseen (z.B. Totes Meer). An die randliche klastische Sedimentation schließt sich in zentralen Beckenteilen die chemische Sedimentation an.

Die Ablagerung der Sedimente des Zechsteines erfolgte (im Werra - Kaliegebiet) in einer nach der variszischen Gebirgsbildung vorhandenen intramontanen Senke (abflußlose Senke zwischen Gebirgszügen). Von den Rändern her wurde die Senke mit Schuttmassen (Molassen des Rotliegenden) der in Abtragung befindlichen Gebirge (z. B. Ruhla - Schmalkalder Insel nach DITTRICH 1966) zugeschüttet. Die Schuttmassen gingen zum Beckenzentrum hin schnell in sandige, schluffige und tonige Sedimente über. Im Beckenzentrum bildete sich ein Endsee, in welchem bedingt durch den hohen Salzgehalt der Wässer (Verdunstung größer als Niederschlag, hohes Salzangebot) die klastische Sedimentation durch die chemische Sedimentation abgelöst wurde. Der Salzsee war anfänglich sehr klein, wurde jedoch mit zunehmender Auffüllung des Beckens stetig größer. Eine Verzahnung der Sedimente (z.B. Molasseschüttungen in den Salzsee) konnte nicht stattfinden, da sich der See mit der Auffüllung ständig ausbreitete. Die Salzablagerung (Zechstein) fand somit **zeitgleich** mit den seitlichen klastischen Schüttungen (wenigstens der oberen Teile des Rotliegenden) statt.

Ein modellhafter Zeitschnitt sei in nachfolgender Skizze (Abb. 1) dargestellt. Es ist von einem relativ gleichmäßigen Relief auszugehen, wobei die Oberfläche der randlichen Molasseschüttungen weit über der Oberfläche des Salzsees gelegen haben dürfte (analog heutiger Salzseen). Eine Verzahnung einzelner Schuttfächer trat überwiegend in den mittleren Hangbereichen auf.

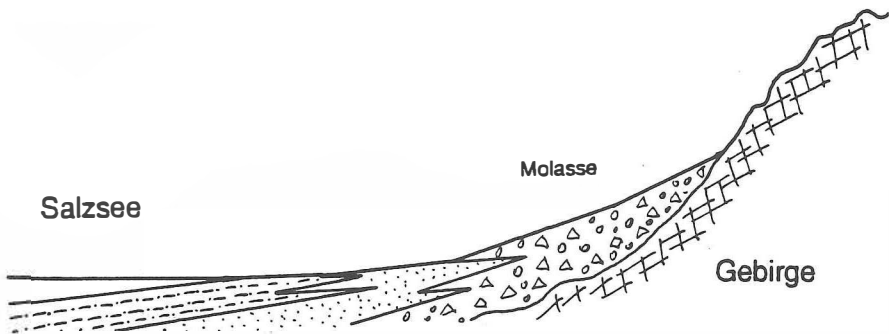


Abb. 1: Faziesabfolge am Rande des permischen Salzsees

Ein Gefälle der Geländeoberfläche war außerhalb des Salzsees stets vorhanden und nahm in Richtung Gebirge zu. Wahrscheinlich stellte sich das Gefälle in der näheren Umgebung des Salzsees auf einen relativ einheitlichen Betrag ein, so daß sich der Salzsee gleichmäßig mit jeder Ablagerungsschicht weiter ausbreitete.

Nach der variszischen Gebirgsbildung und in bzw. nach einer Zeit starker vulkanischer Tätigkeit (Porphyre des Rotliegenden) „blutete“ die Erde regelrecht. An zahlreichen Störungszonen im möglicherweise sehr großen Einzugsgebiet des Salzsees traten aufgesalzene Hydrothermalwässer oberflächlich aus bzw. flossen (wenn klastiale Sedimentgesteine auflagerten) als Grundwässer ab. Das so insgesamt sehr große Salzangebot war die Ursache der starken Ausbreitung der Salzsedimentation und der Zurückdrängung der klastischen Sedimentation.

Die sogenannten „Zechsteinriffe“ sind Erstausscheidungen der austretenden Hydrothermen. Bereits LOTZE (1957) zweifelte am Riffcharakter. Die „Riffe“ bestehen im Zentrum aus Calciumkarbonat, welches in Dolomit übergeht. Zum Becken hin tritt eine Verzahnung mit Anhydrit und Steinsalz auf. Auch im Beckenzentrum sind Zeugen austretender Hydrothermalwässer vorhanden. Sogenannte „Anhydritklippen“ im Bereich der Kalisalzflöze, welche früher als tektonische Aufpressungen interpretiert wurden, sieht ZÄNKER (1987) (Kaliflöze außerhalb des Betrachtungsgebietes) als das Ergebnis von während der Sedimentation aufgestiegenen Wässern an. ZÄNKER (1987) leitet den Ursprung jedoch aus Grundwässern ab, welche ihren Mineralgehalt durch Auflösung aus tieferen Zechsteinschichten entnehmen.

Im Salzsee selbst wurden vom Rand zum Beckenzentrum hin alle Glieder einer vertikalen Abfolge (Ton - Karbonat - Anhydrit - Steinsalz - Kalisalze) **gleichzeitig** nebeneinander abgelagert. Die chemische Sedimentation erfolgte vom Rand zum Beckenzentrum in der gesetzmäßigen Abscheidungsfolge. Die leichtlöslichen Kalisalze blieben naturgemäß am längsten in Lösung. Wahrscheinlich (aber nicht zwingend) waren mehrere flache Teilbecken vorhanden. Randlich fanden Tonablagerungen statt (Kupferschiefer), welche sich gleichmäßig mit der Auffüllung des Salzsees auf das Vorland schoben. Die Kalisalzablagerung war auf (im Verhältnis zum Salzsee) kleine Bereiche im jeweiligen Beckenzentrum beschränkt.

Analog den Verhältnissen in heutigen Salzseen (LOTZE 1957) **wanderte** der beckenzentrale Bereich mit einer Kalisalzabscheidung in gewissen Grenzen im Salzabscheidungsraum. Als Ursachen für diese Wanderung (Fazieswanderung, wie auch in jeder klastischen Sedimentation) sind Änderungen von Hauptschüttungsrichtungen (oder ähnliche Ursachen) anzusehen. Die Bedeutung von Fazieswanderungen im Bereich chemischer Sedimente wurde bereits von PISKE & SCHRETZENMEYER (1984) für die Karbonatsedimentation herausgearbeitet.

Im Ablagerungsbereich der Kalisalze wird wiederum randlich Hartsalz und zentral Carnallit abgelagert. Wandert das Beckenzentrum, schiebt sich über die randliche Hartsalzfazies die Carnallitfazies, welche wiederum von der Hartsalzfazies des gegenüberliegenden Beckenrandes überfahren wird. Bleibt das Beckenzentrum über größere Zeiträume stabil, entstehen mächtige Carnallitabscheidungen.

Die starken Mächtigkeitsunterschiede der einzelnen Sedimentpakete (z.B. Anhydrit, Steinsalz, Kalisalze) werden durch diesen einfachen Mechanismus hervorgerufen.

Es ist nicht erforderlich, unterschiedliche Setzungsbeträge im diagenetischen Bereich (Kompaktion und Zementation im Anhydrit nach LANGBEIN 1978), Salzfließbewegungen (HAASE 1971/72) oder die Auf und Abbewegung einzelner Schollen während der Sedimentation (SCHARBRODT u.a. 1989) als Erklärungen für die Mächtigkeitsunterschiede heranzuziehen.

Nach dieser groben Modellvorstellung sollen einzelne Schichtglieder und Sonderentwicklungen etwas näher besprochen werden. Um den Rahmen dieses Aufsatzes nicht zu sprengen, können die verschiedenen Problemkreise jedoch nur kurz angerissen werden. Die umfangreichen Untersuchungsarbeiten (Literatur), welche zu fast jedem hier zu besprechenden Schichtglied vorliegen, können an dieser Stelle nicht ausdiskutiert werden. Ziel der vorliegenden Veröffentlichung soll es lediglich sein, ein Modell der hydrothermal - sedimentären Salzgenese in groben Zügen darzustellen und zu begründen.

## 4. Besprechung einzelner Schichtglieder

### 4.1 Kupferschiefer

Der Kupferschiefer ist als Abbauegegenstand des Erzbergbaues detailliert untersucht worden. Eine umfangreiche Kenntnisstandsanalyse wurde von HAUBOLD & SCHAUMBERG (1985) zusammengestellt. Der Kupferschiefer ist über weite Räume sowohl in seiner Mächtigkeit als auch in seiner Ausbildung relativ einheitlich aufgebaut.

HAUBOLD & SCHAUMBERG (1985) schließen daraus auf eine weitgehend **synchrone** Entstehung in relativ kurzer Zeit. Es wird zwischen einer Beckenfazies, einer Schwellenfazies und einer Randfazies unterschieden.

Am marinen Charakter des Kupferschiefers wird in neuerer Zeit kaum gezweifelt. Jedoch war die Genese der Metallkonzentrationen lange Zeit Zielpunkt verschiedener Theorien („Rote Fäule“, primärer oder sekundärer Charakter der Vererzung). In letzter Zeit hat sich der primäre Charakter der Erzbildung durchgesetzt. Der wissenschaftliche Meinungsstreit bezieht sich nur noch auf die Herkunft der erzbringenden Lösungen.

- HAUBOLD & SCHAUMBERG (1985) sehen den Ursprung in zufließenden Grundwässern und leiten Metallgehalt aus den Molassen ab
- HAMMER u. a. (1988): Zufluß von sauerstoffreichen Tiefen- und Grundwässern über die „Rote Fäule“, Wässer seien salinar beeinflusste meteorische Wässer, Metallherkunft aus durchströmten Gesteinen

Andere Autoren diskutieren eine Herkunft der Metalle aus dem normalen Meerwasser, dem variszischen Fundament oder aus dem Aufstieg hydrothormaler Lösungen.

Nach dem im Abschnitt 3 vorgestellten Genesemodell handelt es sich bei der Kupferschiefer-sedimentation **nicht** um ein zeitgleich abgelagertes Sediment. Die Bildung erfolgte in flachen Randbecken des jeweiligen Salzabscheidungsraumes bei geringer Wassertiefe (Abb. 2).

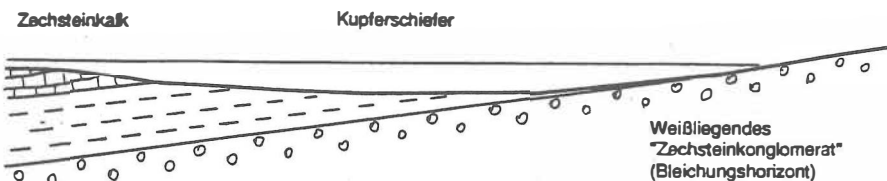


Abb. 2: Faziesabfolge im Randbereich des Salzabscheidungsraumes (Kupferschiefer und Zechsteinkalk)

Erläuterungen zur Bildung und Interpretation von Einzelerkenntnissen:

- Fauna und Flora

Bemerkenswert sind zahlreiche Pflanzenfunde, welche durch Einspülungen und Einwehungen (HAUBOLD & SCHAUMBERG 1985) entstanden sind. Sie stimmen weitgehend mit den bereits im Rotliegenden bekannten Formen überein (zeitgleiche Sedimentation!). Es werden Calamiten, Cordaiten, Koniferen, Ginkgophyten, Pteridospermen u. a. beschrieben. Eine Erhaltung von in ein tiefes Kupferschiefermeer über viele Kilometer verdrifteten Pflanzen erscheint doch sehr fraglich.

Als weiteres Indiz sei der bekannte Fisch des Kupferschiefers *Palaeoniscum freieslebeni* genannt. Er ist bei den Fischfunden mit etwa 90 % beteiligt. Typisch ist eine verkrümmte Form vieler Funde, welche von einigen Autoren auf eine Vergiftung zurückgeführt wird. Hinsicht-

lich der Verteilung von Fischfunden deutet sich folgende Gesetzmäßigkeit an (HAUBOLD & SCHAUMBERG 1985):

„So finden sich vor allem kleine Fische häufig in den unteren Lagen; Unterschiefer..., seltene Funde großer Fische im Oberschiefer und den ... Nebenbergern.“

Über die Einordnung von *Palaeoniscum* seien wiederum HAUBOLD & SCHAUMBERG (1985) zitiert:

„Innerhalb der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Actinopterygier repräsentieren die im Kupferschiefer bei weitem überwiegenden Palaeonisciformen die letzte paläozoische Hauptphase. Nach fast 200 Millionen Jahren während der Existenz vollzieht diese Ordnung im ausgehenden Paläozoikum die Eroberung des marinen Lebensraumes. Unter dem Eindruck der Tatsache, daß die Vorläufer von *Palaeoniscum* im höchsten Karbon und tiefen Rotliegenden Süßwasserbewohner waren, wurde bis vor wenigen Jahrzehnten der marine Charakter des Kupferschiefermeeres stark angezweifelt.“

Vom Verfasser wird *Palaeoniscum freieslebeni* als Süßwasserfisch in Flüssen (und Seen) außerhalb des Salzsees (Rotliegendes) angesehen. Nach Einspülung in den versalzenen, euxinischen Kupferschieferabscheidungsraum stirbt er schnell ab (verkrümmte Funde!). Kleinere Exemplare werden schnell getötet, einigen größeren gelingt es noch eine gewisse Strecke zurückzulegen.

Die übrige Fauna des Kupferschiefers und des Zechsteinkalkes (Mollusken, Arthropoden, Anthozoen, Bryozoen, Brachiopoden, Echinodermen) stellen nach Ansicht des Verfassers keinen Widerspruch zum vorgestellten Modell dar. Da Salzwasser vorhanden war, fanden sich also im Randbereich des Salzsees Entwicklungsmöglichkeiten für eine „marine“ Fauna. Es stellt sich nur die Frage nach dem Einwanderungsmechanismus, welche an dieser Stelle nicht plausibel beantwortet werden kann. (Denkbar wäre z.B. eine eigenständige Entwicklung einiger Formen oder eine Einwanderung über versalzene Flüsse vor oder während der intramontanen Senkenbildung bzw. -auffüllung.)

- „Rote Fäule“ / Erzbildung

Paläogeographisch liegen die Lagerstätten des Kupferschiefers nach HAUBOLD & SCHAUMBERG (1985) an den Rändern von Saxon - Senken in der Nähe flacher Höhenrücken des variszischen Grundgebirges. Die gesetzmäßige horizontale und vertikale Abfolge der Vererzung im Umfeld der sogenannten „Roten Fäule“ ist seit langem bekannt.

Nachfolgende Prinzipskizze (Abb. 3) wurde aus KNITZSCHKE u.a. (1986) entnommen.

Im Bereich der „Roten Fäule“ ist eine „Schwelle“ vorhanden, und es treten verstärkt Klastika auf (höhere Sandführung). Das Milieu ist oxidierend (rote Gesteinsfarbe). Die Metallherkunft und die Abfolgen der Erzbildungen werden vom Verfasser auf folgende Abläufe zurückgeführt:

- Die Metalle sind überwiegend hydrothermalen Herkunft, sie erreichen über Störungszonen im variszischen Gebirge die Oberfläche und gelangen (ggf. mehrfach umgelagert) über Flüsse in den Salzabscheidungsraum (sauerstoffreiche, salinar beeinflusste meteorische Wässer nach HAMMER u.a. 1988).
- Die „Rote Fäule“ bildet sich als eine in den Kupferschieferablagerungsraum vorspringende Deltabildung (rel. Anreicherung von Klastika), welche sich mit fortschreitender Sedimentation im Salzsee zurückzieht. Die Bergleute fanden so im Gestein eine langgestreckte (in Fließrichtung des einmündenden Flusses bzw. Baches) „Schwelle“ vor.

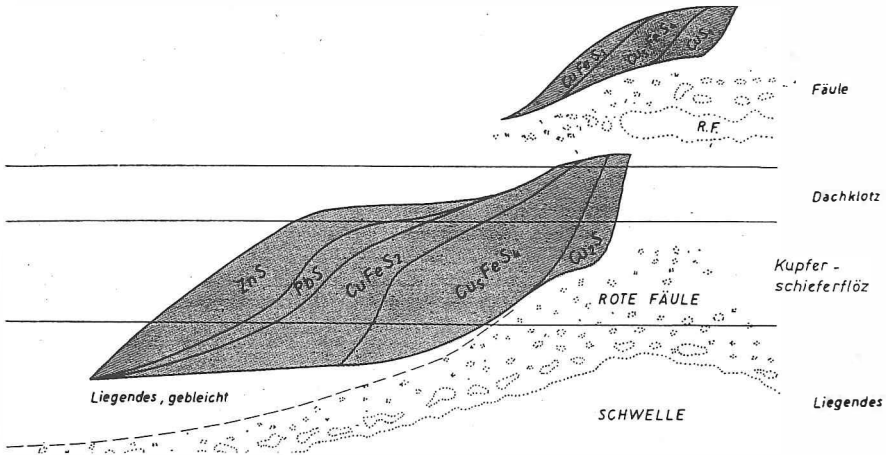


Abb. 3: Mineralisationszoning im Kupferschiefer, schematisch (aus KNITZSCHKE u. a. 1986)

- Das Flußwasser (Transportmedium für Salze, Metalle, Fische und Pflanzenreste) vermischte sich mit dem stagnierenden, stärker versalzenen, sauerstoffarmen Wasser des randlichen Salzabscheidungsraumes. Die Folge war eine Ausfällung der Metalle in der gesetzmäßigen Reihenfolge in horizontaler Richtung (Rote Fäule, Kupfererze, Blei - Zink - Erze). Die „Schräglage“ der Vererzung ergibt sich durch eine Milieuvverschiebung, welche nicht mit der Fazieswanderung im petrologischen Sinne konform geht.
- Außerhalb der Zuflußgebiete herrschte bei relativ geringer Wassertiefe stark reduzierendes Milieu, welches auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden kann. Als Beispiele seien ein Massensterben von eingespülten Lebewesen (Algen) durch das wechselnde Milieu oder/ und Zuflüsse von reduzierenden schwefelwasserstoffhaltigen (Grund- bzw.) Tiefenwässern genannt.

## 4.2 Zechsteinkalk und Anhydritknotenschiefer

Vom randlichen Kupferschiefer-Abscheidungsraum in Richtung Beckenzentrum erfolgte durch die Verdunstung des Wassers eine Erhöhung der Salzkonzentration. Durch die als erstes einsetzende Karbonatfällung entstand wahrscheinlich eine Schwelle durch Sedimentationsverstärkung, welche den Kupferschiefer-Ablagerungsbereich als randliches Becken abtrennte oder zumindest ein Zurückfließen von stärker aufgesalzenen Wässern verminderte bzw. verhinderte. Ein zumindest zeitweises bzw. lokales Trockenfallen dieser Schwelle ist wahrscheinlich.

Im Bereich bzw. hinter dieser Schwelle beginnt bereits in zunehmendem Maße die Sedimentation von Anhydrit. In folgendem Zeitschnitt (Abb. 4) sollen die von KÄSTNER (1969) beschriebenen Gefügetypen des Zechsteinkalkes und des Anhydritknotenschiefers einer möglichen Position im Salzabscheidungsraum zugeordnet werden.

Die Zuordnung der einzelnen Petrotypen zu Positionen im Abscheidungsraum wurde lediglich schematisch vorgenommen, wobei sich bereits eine bestimmte Logik ableiten läßt. Die

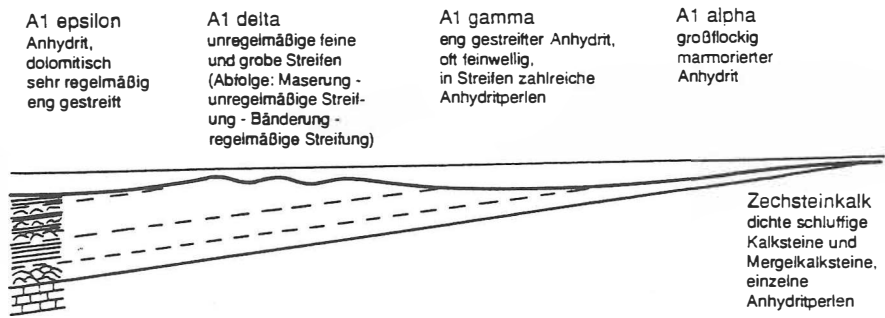


Abb. 4: Faziesabfolge Zechsteinkalk und Anhydritknottenschiefer

tatsächlichen Verhältnisse können von diesem beispielhaften Bildungsmodell in Einzelheiten abweichen. Der Verfasser möchte an dieser Stelle lediglich deutlich machen, daß die unterschiedlichen Texturen im Zechsteinkalk und im Anhydritknottenschiefer durch das hier vorgestellte Modell wesentlich besser zu erklären sind als z.B. eine zeitlich nacheinander stattfindende Ausscheidung aus einem tiefen, sich aufkonzentrierenden marinen Abscheidungsraum.

Der Zechsteinkalk bildet eine erste Schwelle im Salzabscheidungsraum. Die Sedimentation erfolgt am festlandzugewandten Abhang der Schwelle (Abfolge: dicht, schluffig - gebändert - Dolomitbank). Diese Schwelle bleibt durch Sedimentationsverstärkung ständig erhalten und wandert mit dem übergreifenden Salzabscheidungsraum.

Auf der Schwelle bzw. an dem den Beckenzentrum zugewandten Abhang bildet sich großfleckig marmorierter Anhydrit (Zone A 1 $\alpha$  nach KÄSTNER 1969; Flachwasserbildung, möglicherweise überfließendes Wasser, auch Dünenbildung ist nicht völlig ausgeschlossen). Im Randbereich der Schwelle ist (beckenwärts) wieder eine Dolomitbank ausgebildet.

Eng gestreifter Anhydrit der Zone A 1 $\gamma$  bildet sich in einem nächsten Teilbecken, an welches sich eine weniger deutlich ausgeprägte Schwelle mit gegliederter Hochfläche (untergeordnete Schwellen und Senken) anschließt. Die Texturen der hier ausgebildeten Zone A 1 $\delta$  wechseln zwischen Maserung, unregelmäßiger Streifung, Bänderung und regelmäßiger Streifung in mehrfacher Abfolge. Gestreifter Anhydrit der Zonen A 1 $\epsilon$  und  $\zeta$  bildet sich wahrscheinlich wieder in einem folgenden Becken. Insgesamt läßt sich verallgemeinern, daß sich geflaserte bzw. wolkige Gesteine im Schwellenbereich bilden, feingestreifte in zentralen Bereichen von Teilbecken. Die gebänderten Texturen und Dolomitbänke sind den Übergangsbereichen zuzuordnen.

Auch das von KÄSTNER (1969) beschriebene lokale Fehlen der Zone A 1 $\alpha$ , verbunden mit brekziöser Struktur an der Basis der Zone A 1 $\gamma$  (Trockenfallen im Schwellenbereich!) läßt sich gut in die Modellvorstellung einordnen.

### 4.3 Steinsalz- und Kalisalzsedimentation

Die größte Mächtigkeit der Zechsteinablagerungen des Werra - Kaligebietes nehmen die Steinsalzablagerungen mit den beiden eingeschalteten Kalisalzflözen ein. KÄSTNER (1969) beschreibt die stark unterschiedliche Mächtigkeit und Ausbildung der drei Steinsalzpakete



sowie der eingeschalteten Kalisalzflöze. Den weiteren Ausführungen sei ein „Normalprofil“, wie es von DITTRICH (1966) erkannt wurde, in sehr grober Verallgemeinerung vorangestellt.

Na 1	$\gamma_2$ $\gamma_1$	mit Anhydrit - und Tonlagen hellbräunlichgrau bis hellrotbraun dunkelgraue Bänder; grau
K 1 H		Hartsalz, z.T. nicht ausgebildet
Na 1	$\beta_3$ $\beta_2$ $\beta_1$	dunkelgraue Bänder; hell- dunkelgrau „Notenliniensalz“, scharenweise Linien, grau dunkle Bänder, oft in sich sulfatisch feingestreift, hellrotbraun, lokal graubraun
K 1 Th		Carnallit über Hartsalz / Hartsalz / nicht ausgebildet
	$\alpha_4$	- weißes Salz mit undeutlichen Bändern in sehr großen Abständen (nur lokal ausgebildet)
	$\alpha_3$	- schmale Bänder und Linien in weiten Abständen, rotbraun bis lachsrot; mit einer oder mehreren Tonlagen
Na 1	$\alpha_2$ $\alpha_1$	- schärfere Bänder in größeren Abständen als unten, grau - undeutlich, breit gebändert, z.T. mit Sulfatstreifen, Schwefelwasserstoffgeruch, grau - dunkelgrau

#### 4.3.1 Position der einzelnen Petrotypen im Salzabscheidungsraum bis zur Kalisalzabscheidung

Eine breite Bänderung (geringe Sedimentationsrate) und eingeschaltete Anhydritlagen kennzeichnen die übergreifende Sedimentation des Steinsalzes über die Anhydritablagerungen. Die Grenze ist meist relativ scharf. In Richtung Beckenzentrum nimmt die Bandbreite ab (im vertikalen Profil von unten nach oben) bis im Na 1  $\alpha$  3 nur noch Linien zwischen den einzelnen Salzschieben vorhanden sind.

Von der Basis der Salzablagerung (Randbereich), welche durch das **Auftreten von Schwefelwasserstoff** und dunkelgrauer Färbung gekennzeichnet ist, bis zu den **roten Salzen** des Na 1  $\alpha$  3 ändert sich offensichtlich das Milieu. Beim Übertritt der Wässer aus dem Anhydritabscheidungsraum in den Steinsalzabscheidungsraum kam es wahrscheinlich wieder zum Absterben von Lebewesen (Algen, Bakterien), wodurch das stark reduzierende Milieu verursacht wird. Weiter zum Zentrum setzt sich, bedingt durch den Einfluß des Luftsauerstoffs, oxidierendes Milieu durch. Das Einsetzen der roten Farben, welche bis zu einem kräftigeren Lachsrot aufschwimmen, geht analog der Vererzung im Kupferschiefer nicht mit der petrographischen Ausbildung konform. Das Einsetzen der Rotfärbung in unterschiedlichem Niveau im Vertikalprofil wurde bereits mehrfach beschrieben (z.B. KÄSTNER 1969, KONITZ u.a. 1968).

RICHTER (1962/64), der sich intensiv mit der Rotfärbung in den Salzen der deutschen Zechsteinlagerstätten beschäftigte, deutet sie als epigenetisch („metamorph“) entstanden, da eine primäre Rotfärbung mit Laugenüberdeckung nicht möglich sei. Bei einer primären Rotfärbung „müßte also eine nicht mögliche Trockenlegung des Beckens einkalkuliert werden.“

Im Bereich der roten Salze schaltet sich eine (z.T. zwei bis drei) markante, bis mehrere Zentimeter starke Tonlage ein. Der Ton befindet sich immer zwischen Steinsalz mit den kräftigsten Oxidationsfarben und zeigt im Gegensatz dazu eine Pyritführung und graue Färbung (Bildung in reduzierendem Milieu). Die Tonsedimentation wird als Ablagerung in einem Bereich ohne Laugenüberdeckung gedeutet (Schwelle im Salzabscheidungsraum). Ein großer Teil der Komponenten im Ton sind synsedimentäre Neubildungen, zusätzlich hat wahr-

scheinlich äolischer Eintrag und Ablagerung aus überfließendem Wasser stattgefunden. Hinter dieser Schwelle (z.T. mehrere Teilschwellen) bildet sich anfänglich wiederum Steinsalz, welches sich vom vorher beschriebenen nicht unterscheidet. Weiter beckenzentral setzt schließlich die Kalisalzablagerung mit der gesetzmäßigen Abfolge vom Rand zum Zentrum ein (langbeinitisches Hartsalz, kieseritisches Hartsalz, sylvinitisches Hartsalz, Trümmernallit, ungeschichteter Carnallit). Der ungeschichtete Carnallit ist eine Ablagerung des Beckenzentrums.

Zwischen dem oben beschriebenen roten Steinsalz und den Kalisalzablagerungen ist ausschließlich im **südlichen Werragebiet** noch hellgraues und weißes Steinsalz mit Bändern in weiten unregelmäßigen Abständen (Zone Na 1 a 4 nach DITTRICH 1966) eingeschaltet. KÄSTNER (1969) weist auf die Verbreitung dieses Petrotypes in Bereichen mit großer Mächtigkeit des Unteren Werra - Steinsalzes hin. Nach Ansicht des Verfassers handelt es sich in Anlehnung an KOCH (1980) um Ausfällungen aus verdünnenden Zuflüssen von reduzierenden Wässern.

Am jenseitigen Beckenrand war die Abfolge spiegelbildlich ähnlich vorhanden, wobei Abweichungen durch eine andere Schüttungsrichtung bzw. durch die noch zu beschreibende **Wanderung des Beckenzentrums** verursacht wurden.

### 4.3.2 Fazieswanderung durch Verschiebung des Beckenzentrums

Zu Beginn dieses Abschnittes sei nur am Rande erwähnt, daß sich im Zentrum des Salzabscheidungsraumes eventuell mehrere Becken befanden bzw. eine langgestreckte Form oder andere Formen vorhanden gewesen sein können.

In jedem Fall ist mit mehreren Richtungen zu rechnen, aus welchen der Salzsee mit der Mutterlösung gespeist wurde (Flüsse, Bäche, Grundwasser). Die nachfolgende vereinfachte Betrachtung verkompliziert sich demzufolge in den tatsächlich vorgefundenen Verhältnissen. Das Vorhandensein von mehreren Teilbecken und die Wanderung dieser in einem Zeitraum von nur wenigen Jahren wurde bereits von LOTZE (1957) am Beispiel von rezenten Salzseen nachgewiesen. Als Ursache müssen nicht zwingend endogene Absenkungen vorhanden sein. Die Sedimentation selbst ist in der Lage, eine Beckenverschiebung zu verursachen (unterschiedliche Sedimentationsrate an verschiedenen Randbereichen). Das Gesagte trifft dabei auf den gesamten Salzabscheidungsraum, wie auch auf zentrale Endbecken oder randliche Teilbecken zu.

Die vorhandene vertikale Abfolge des Zechsteins, wie sie in Bohrungen vorgefunden wird, ist das Ergebnis von Wanderungen der einzelnen Faziesbereiche. Die Rolle von Fazieswanderungen in Sedimenten des Zechsteins wurde bereits von PISKE & SCHRETZENMAYER (1984) für das Staßfurtkarbonat hervorgehoben.

Ein zeitlich unterschiedliches Einsetzen der Salzsedimentation erkannte LÖFFLER (1962) im Staßfurt - Zyklus. BAAR (1952) folgert aus Bromwerten, daß am Südhaz die Salzabscheidung erst begann, als im Hauptbecken mehrere 100 m abgelagert waren.

Der Verfasser erkannte die Bedeutung von Fazieswanderungen durch Vergleiche und genetische Fallunterscheidungen der im Werra - Kaligebiet vorliegenden Bohrungen mit Bromkurven. Die Ergebnisse von Bromanalysen der Steinsalzprofile in Abständen von 2 - 3 m liegen für zahlreiche Bohrungen vor.

Die bekannte „Brommethode“ wurde dahingehend verfeinert, daß Bohrungen untereinander hinsichtlich des Auf und Ab der Bromwerte verglichen wurden. Es zeigt sich, daß

- die Salzsedimentation an der Basis in unterschiedlichen Niveaus einsetzte
- das betrachtete Kaliflöz „Thüringen“ eine unterschiedliche Position inne hatte (keine Zeitgleichheit der Kalisalzablagerung)
- die Salzsedimentation in unterschiedlichen Niveaus beendet wurde.

Diese Verhältnisse lassen sich mit einer Fazieswanderung sehr einfach erklären. Zur Verdeutlichung sei folgende Prinzipskizze (Abb. 5) gezeigt:

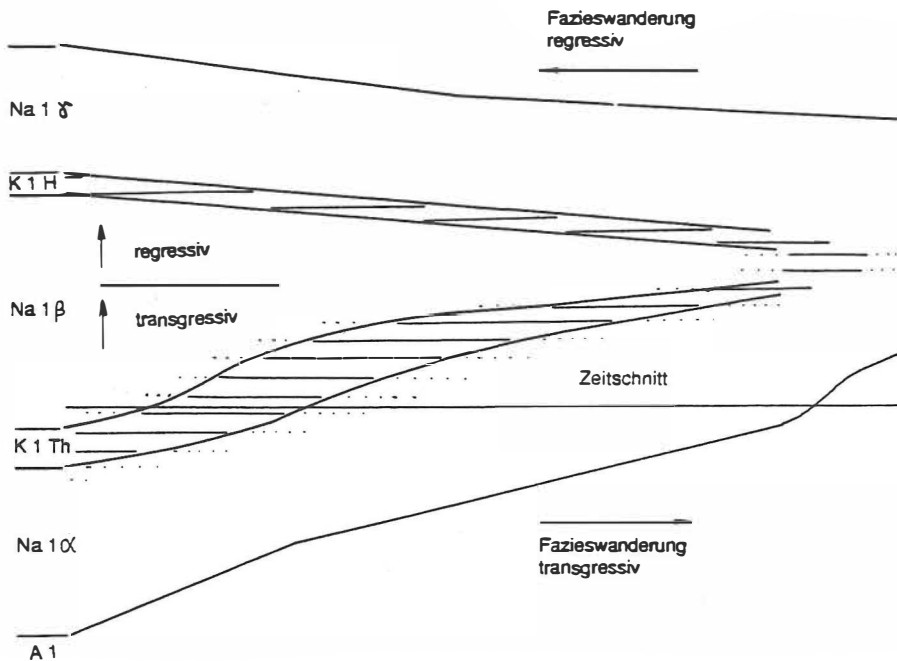


Abb. 5: Fazieswanderung im Bereich des Werrasteinsalzes (Profilskizze)

In der Skizze wird angedeutet, wie z.B. erhöhte Mächtigkeiten des Flözes „Thüringen“ entstehen können. Die Verschiebung des Beckenzentrums mit Kalisalzabscheidungen stagniert lediglich über einen größeren Zeitraum.

### 4.3.3 Mittleres Werrasteinsalz bis Ende der Salzsedimentation

Das Mittlere Werrasteinsalz wird im Salzbecken am jenseitigen Ufer des Kalisalzabscheidungsraumes (Flöz „Thüringen“) gebildet. Es schiebt sich meist ohne eine bedeutende Hartsalzbildung über das Flöz „Thüringen“. Da über dem Flöz in Carnallititausbildung meist eine Tonlage („Löser“) ausgebildet ist, lag der Carnallit vor dem Übergreifen trocken. Trockenrisse und Rippelmarken im Ton des „Lagerlösers“ wurden bereits von KOCH (1980) beschrieben. Mit der obigen Skizze wird angedeutet, daß die Fazieswanderung in diesem Beispiel zunächst in eine Richtung verläuft (in obiger Skizze als transgressiv bezeichnet), bis schließlich der Flözabscheidungsraum wieder zurückgedrängt wird. Theoretisch wäre es so möglich, daß an einzelnen Stellen die Kaliflöze „Thüringen“ und „Hessen“ unter völligem Fehlen des Mittleren Werrasteinsalzes „zusammenstoßen“. Tatsächlich ist im Südwesten des Werra - Kali-

gebietes das Mittlere Werrasteinsalz nur 20 m mächtig, es ist abweichend rot gefärbt (in obiger Abb. punktiert), die unteren beiden Zonen fehlen bzw. sind nur undeutlich ausgebildet (KÄSTNER 1969).

Das Kaliflöz „Hessen“ wurde wahrscheinlich durch eine gegenläufige Wanderung des Flözabscheidungsraumes gebildet und liegt heute deshalb in **stark unterschiedlichen Abständen** über dem Flöz „Thüringen“. Das Kaliflöz „Hessen“ besteht überwiegend aus Hartsalz, zu Carnallitabscheidungen kam es nur lokal. Wahrscheinlich wurde durch das Übergreifen des „aktiven“ Randes (mit Lösungszufuhr) der Carnallit nicht ausgeschieden bzw. konnte immer wieder gelöst werden. Stellenweise sind im Bereich des Flözes „Hessen“ mehrere Begleitflöze vorhanden. Diese Erscheinungen werden durch ein Pendeln des Flözabscheidungsraumes verursacht.

Das Obere Werra - Steinsalz entsteht durch ein Übergreifen der Randfazies. Die regressiven Tendenzen werden durch Ton- und Anhydritlagen sowie durch niedrige Bromwerte angezeigt. Beim Vergleich einzelner Bromkurven von Steinsalzprofilen wird lokal ein früheres Ende der Steinsalzsedimentation deutlich (geringmächtiges Oberes Werrasteinsalz mit geringen Bromwerten, Anhydrit- und Tonlagen in tiefen Bereichen). Analog der „Roten Fäule“ des Kupferschiefers drängen nun „Deltabildungen“ vor, welche sich mit fortschreitender Sedimentation über den Salzsee schieben. Über dem Steinsalz ist eine Abfolge von Ton, Anhydrit- und Salzablagerungen vorhanden, welche als Ausscheidungen kleinerer randlicher Teilbecken zu deuten wären. Der Plattendolomit ist das Ergebnis der nun über den Salzabscheidungsraum wandernden randlichen Karbonatsedimentation.

Die klastische Sedimentation drängt die chemische Sedimentation zurück, der Salzabscheidungsraum wird von randlichen Ton- und Sandablagerungen (Unterer Buntsandstein) „überfahren“. Das Fehlen der oberen Teile des Steinsalzprofils in einigen Bereichen wurde bereits früher erkannt und als nachträgliche Ablaugung („Auslaugungssenken“) interpretiert. Die Auslaugungserscheinungen (Salzhang, Salzspiegel, Auslaugungssenken) möchte der Verfasser nicht umdeuten - diese sind zweifellos ebenfalls vorhanden. Jedoch ging der primäre Salzabscheidungsraum wahrscheinlich nicht sehr weit über den parallel zum Thüringer Wald verlaufenden Salzhang hinaus (engräumiges Nebeneinander von Molassebildung und Salzabscheidung ist wahrscheinlich).

Die Ausbreitung und Zurückdrängung des Salzabscheidungsraumes hinterläßt im Werra - Kaliegebiet stark abstrahiert ein geologisches Profil als **spiegelbildliche Abfolge**, wobei die Spiegelachse vom Zentrum des Mittleren Werrasteinsalzes gebildet wird.

Die Zurückdrängung der chemischen Sedimentation entstand entweder durch ein abklingendes Mineralangebot (nachlassende hydrothermale Tätigkeit) oder z. B. durch eine Auffüllung der Teilsenke und einen Abfluß der Salzwässer in ein nächstes Becken (Thüringer Becken).

## 5. Besprechung von Sonderentwicklungen im Salzabscheidungsraum

### 5.1 Einführung

Als Sonderentwicklungen möchte der Verfasser folgende Erscheinungen im Salzabscheidungsraum etwas näher beleuchten:

- Anzeichen für einen hydrothermalen Lösungsaufstieg im Salzabscheidungsraum an Störungszonen

- synsedimentärer Basaltvulkanismus

- „Zechsteinriffe“ als Ergebnis von Ablagerungen austretender Hydrothermalwässer

Bereits das oben vorgestellte petrogenetische Modell läßt nur eine Speisung des Salzabscheidungsraumes aus Richtung Festland zu. Es ist mit einer marinen Ingression nicht vereinbar. Der Verfasser erkannte den großen stofflichen Einfluß von synsedimentär aufsteigenden Wässern jedoch an Erscheinungsbildern im Salzabscheidungsraum selbst, welche in der Literatur bereits z.T. beschrieben wurden. Diese Erscheinungen, wie Vertaubungen der Flöze, Kohlensäureführung, Carnallitkuppen usw., wurden bisher jedoch überwiegend auf eine jüngere „Hydrometamorphose“ zurückgeführt bzw. in Zusammenhang mit dem tertiären Basaltvulkanismus gebracht. Durch unvoreingenommene, komplexe analytische Betrachtungen und Fallunterscheidungen näherte sich der Verfasser in einem schrittweisen Prozeß immer mehr dem hier bereits beschriebenen Modell an.

## **5.2 Anzeichen für einen hydrothermalen Lösungsaufstieg im Salzabscheidungsraum**

- „Anhydritklippen“ im Niveau der Kalisalzflöze

Interessant ist das Auftreten von sogenannten „Anhydritklippen“ oder „Anhydritaufwölbungen“ im Steinsalz weit über dem Niveau des Anhydritnotenschiefers. Die Erscheinungen, welche im Werra - Kaligebiet zweimal angefahren wurden, sah man zunächst als tektonische Aufpressungen an. KOCH (1980) untersuchte ein derartiges Vorkommen und deutete die Bilder als Ergebnis von Bewegungsvorgängen im synsedimentären bis diagenetischen Bereich. Er hält subaquatische Rutschungen für wahrscheinlich.

Von ZÄNKER (Vortrag 1987) wird auf der Grundlage von Untersuchungen an zahlreichen „Anhydritklippen“ (außerhalb des Werra-Kaligebietes) die Entstehung durch während der Salzsedimentation aufsteigende verdünnende Wässer bewiesen. Durch den Austritt der Wässer im Salzabscheidungsraum fällt sofort der Anhydrit aus. Randlich entwickelt sich eine gesetzmäßige Abscheidungsabfolge. ZÄNKER (1987) führt die Mineralisation der aufsteigenden Wässer auf Lösungsvorgänge eines zechsteinzeitlichen Grundwassers in tieferen Zechsteinschichten zurück.

Der Verfasser kam zu einer analogen Deutung, wobei er die Wässer als aufsteigende Hydrothermalwässer ansieht.

- Kleinvertaubungen im Bereich der Kalisalzflöze

Im Bereich der Kalisalzflöze treten Kleinvertaubungen auf, welche vom Zentrum zum Rand die Abfolge von Halit - langbeinitisches Hartsalz - kieseritisches Hartsalz zu sylvinitischem Hartsalz und schließlich Carnallit zeigen. Die Kleinvertaubungen werden als das Ergebnis von kleineren Quellaustritten (hydrothormaler Lösungen) entlang von Störungszonen gedeutet. Die Analogie zur lateralen Abfolge am Rand des Flözabscheidungsraumes wurde bereits von mehreren Autoren aufgezeigt (z. B. KOCH 1980).

- fehlende Rotfärbung im Unteren Werra - Steinsalz

Im Bereich von Störungszonen fehlt lokal die sonst charakteristische Rotfärbung des Steinsalzes der Zone Na 1  $\alpha$  3. Die Ursache ist wiederum in aufsteigenden Wässern während der Salzabscheidung zu sehen. Durch deren reduzierendes Milieu wurden die Oxidationsfarben (Hämatit) nicht ausgebildet.

### 5.3 Synsedimentärer Basaltvulkanismus

Im Werra - Kaligebiet stieß man bei der Kalisalzgewinnung auf eingeschaltete Basaltgänge. Man unterscheidet senkrecht verlaufende „Saigergänge“ und parallel zur Schichtung verlaufende „Lagergänge“. Die angetroffenen Basalte wurden mit dem tertiären Rhönvulkanismus in Zusammenhang gebracht.

Nach einer geologischen Analyse von Bohrunterlagen und der in der Literatur beschriebenen Erscheinungsbilder der „Basaltlagergänge“ schließt der Verfasser auf ein zechsteinzeitliches Alter und eine Entstehung als kleinere Deckenergüsse während der Salzablagerung.

Bisher wurden die „Lagergänge“ als seitlich in Schichten mit Kristallwassergehalt vordringende tertiäre Basalte angesehen. KOCH & VOGEL (1980) beschreiben das Auftreten von Basaltpillows und einen horizontalen Übergang von dichtem Basalt über zerspratzte Randbereiche zu tonreichen Partien. „Der Intrusionsmechanismus ist also zusammenfassend, zumindest nach den Erscheinungsformen mit den in der Literatur beschriebenen subaquatischen und subglazialen Basaltintrusionen, sowie annähernd auch ... den Intrusionen in frische Geosynklinalsedimente vergleichbar“.

Hinsichtlich der Flächenausdehnung der Basaltdecken sei KÄSTNER (1969) zitiert. „Seismische Profile deuten an, daß sich solche Lagergänge über eine Länge von 300 bis 400 m ausdehnen können“. Die Basaltlagergänge wurden im Bereich des Kalisalzflözes „Thüringen“ beobachtet. FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT (1959) haben montmorillonitische Tone im Werra - Anhydrit als Tuffhorizonte gedeutet.

Die aufgestellte Hypothese eines zechsteinzeitlichen Vulkanismus im Werra-Kaligebiet läßt sich mit einfachen Routineuntersuchungen schnell beweisen (Altersdatierungen, geologische Methoden), so daß hier auf die Darstellung weiterer Indizien verzichtet wird.

Bereits LOTZE (1957) beschreibt die enge Verknüpfung von Salzgesteinen und Vulkanismus (z.B. in Spanien und Algerien). Die Ursache dieser Verknüpfung ist nach dem hier vorgestellten Modell in der endogenen Herkunft der Salzmutterlösung zu sehen.

### 5.4 „Zechsteinriffe“ / hydrothermale Gangmineralisation

Das Vorhandensein von „Zechsteinriffen“ am Rande des Salzabscheidungsraumes stellt scheinbar einen Widerspruch zum vorgestellten Sedimentationsmodell dar.

Betrachtet man die geotektonische Position von „Zechsteinriffen“, z.B. in Thüringen, fällt sofort auf, daß sie

- an große Störungszonen bzw. an Kreuzungspunkte solcher gebunden sind und
- unmittelbar kristallinem Grundgebirge aufsitzen.

Als Beispiel sei der „Riffkomplex“ Bad Liebenstein - Trusetal am Rande des Betrachtungsgebietes genannt. Hier kreuzt sich die „Fränkische Linie“ (Südwestrand-Störung des Thüringer Waldes) mit großen Nord - Süd gerichteten Störungen.

Nach dem Erscheinungsbild und der allgemein anerkannten Lehrmeinung handelt es sich nicht um echte Riffbildungen. Die „Zechsteinriffe“ bestehen im Zentrum aus Calciumkarbonat, gehen randlich in Dolomit über und verzahnen sich beckenwärts mit Anhydrit und Steinsalz. Bereits LOTZE (1957) zweifelt am Riffcharakter. Er sieht die „aufragenden Dolomitmassen mit reichem Tierleben am Rande der deutschen und englischen Zechsteinsee“ als Ergebnis von kalkhaltigen Süßwasseraustritten im mehr und mehr versalzenden Becken an.

Der Verfasser schließt sich dieser Meinung an. Die Wässer haben jedoch ihren Ursprung in austretenden mineralisierten juvenilen Wässern (Hydrothermalwässer). Das reiche Tierleben ist auf ein ständiges Wasserangebot mit hohem Nährstoffgehalt und ggf. erhöhten Temperaturen zurückzuführen.

Der Weg der Salzmutterlösung läßt sich von den Kalisalzablagerungen des Beckenzentrums bis zu deren Quellgebieten entsprechend der gesetzmäßigen Abscheidungsfolge der chemischen Sedimentation zurückverfolgen. Die großen zechsteinzeitlichen Hydrothermalquellen im Raum Bad Liebenstein haben jedoch nur zu einem Bruchteil der abgelagerten Salzmenge geführt. Die Hauptmenge ist ähnlichen Vorgängen in einem großen Einzugsgebiet zuzurechnen. Im Bereich mit Molassebildungen konnten Hydrothermalwässer nicht die Erdoberfläche erreichen. Der Mineralgehalt erreichte über Grund- und Oberflächenwasser den Salzabscheidungsraum. Die Karbonatsedimentation erfolgte hier als großflächige randliche Sedimentation.

Der örtliche und zeitliche Zusammenhang der „Riffbildungen“ mit den hydrothermalen Eisen - Fluorit - Baryt - Lagerstätten im Raum Bad Liebenstein - Trusetal ist offensichtlich. Wahrscheinlich haben auch die metasomatisch eingestuft Vererzungen der „Riffe“ teilweise primären Charakter. Das Auftreten von Anhydrit in der hydrothermalen Gangmineralisation in großen Tiefen fügt sich in das vorgestellte Modell problemlos ein.

In diesem Zusammenhang sei noch auf die hohe Salinität in Flüssigkeitseinschlüssen z.B. in Fluoritkristallen verwiesen, welche bei Forschungsarbeiten an der Bergakademie Freiberg festgestellt wurden. LEEDER (1983) untersuchte unter minerogenetischen Aspekten die Beziehung Mantel - Kruste. Am Rande der Analyse des Zusammenhanges vieler endogener Lagerstätten und der Arkogenese (Aktivierung von Tafelbereichen) weist er auf eine mögliche Verbindung zu Salzlagerstätten hin. Er hält eine endogene Erklärung der Entstehung salinar - bildender Salzlösungen für möglich.

- Die Zusammensetzung der Salzgesteine entspricht nicht der Zusammensetzung der im Meerwasser gelösten Salze.
- Seltene Elemente können aus dem Meerwasser nicht im erforderlichen Maße angereichert werden.
- In Gebieten tektono - magmatischer Aktivierung treten subaquatisch heiße Salzlösungen aus.
- Die Salinität in Einschlüssen endogen gebildeter Minerale ist sehr hoch.
- Salare und Salinare treten häufig im Nachklang ausgedehnter vulkanischer Aktivität auf.

Die „Zechsteinriffe“ und die Gangmineralisation der Eisen - Fluorit - Baryt - Lagerstätten weisen zusammenfassend also den Weg zum Herkunftsort der Salzmutterlösung, dem Oberen Erdmantel.

## 6. Schlußbemerkungen und Ausblick

Der Verfasser möchte mit diesem Aufsatz einen Beitrag zur Salzgeologie liefern, welcher dem traditionsreichen Streit der Geologen zwischen Neptunisten (Entstehung aus dem Meer) und Plutonisten (Entstehung aus dem Feuer) im Hinblick auf die Entstehung der Salzlager der Erde einen Impuls in Richtung einer **endogenen** Lösungszufuhr (vgl. LEEDER 1983) verleihen soll. In das hier vorgestellte Modell ordnen sich zweifellos zahlreiche Einzelerkenntnisse (Lithologie,

Paläontologie, Geochemie, Tektonik) so gut ein, daß das zur Zeit überwiegend noch vorherrschende Modell der marinen Entstehung der Zechsteinsalze verworfen werden muß.

Sicher läßt sich das Modell der hydrothermal - sedimentären Salzgenese auf die überwiegende Zahl von fossilen und rezenten Salzablagerungen übertragen.

Im großen Rahmen ist die Herkunft des Salzgehaltes der Ozeane, wie auch deren Wasser selbst, aus Differenzierungsprozessen im Laufe der Erstarrung des ehemals flüssigen Erdkörpers unumstritten. Bekannt ist auch, daß die leicht löslichen Elemente (Alkalien, Erdalkalien, Chlor) beim hydrothermalen Stofftransport stark beteiligt sind. Warum soll nun die Salzsedimentation den Umweg über das Meerwasser nehmen?

TRUSHEIM (1971) beschäftigte sich mit der Bildung der Salzlager im Rotliegenden und im Mesozoikum Mitteleuropas. Er zweifelt bereits die marine Herkunft dieser Salzlager (Sulfatdefizit) an und führt die Salzmutterlösung auf ältere (Devon, Zechstein) Salzlager zurück, welche einer Ablaugung unterzogen wurden. Den fehlenden kleinen Schritt zur hydrothermalen Lösungszufuhr geht er noch nicht, da auch damals viele rezente Salzablagerungen allein auf die Auflösung von Salzdiapieren zurückgeführt wurden.

In der modernen Geologie (z.B. Tiefseeforschung) sind die submarin austretenden Salzwässer („Schwarze Raucher“) bereits seit einigen Jahren Zielpunkt intensiver Arbeiten. Hier wurde auch der enorme Stofftransport bekannt.

Der Ausblick soll jedoch an dieser Stelle auf die weitere Sedimentation des Germanischen Beckens beschränkt bleiben. Die am Werra - Kaligebiet dargestellte horizontale Zonierung einzelner Petrotypen (randlich Klastika, zentral chemische Sedimentation, Speisung vom Festland) und die Beckendynamik (Wanderung beckenzentraler Bereiche, Fazieswanderungen) sowie die jeweilige Stärke der hydrothermalen Lösungszufuhr sind nach Ansicht des Verfassers die vorherrschenden Wirkmechanismen bei der Ausbildung des heute vorgefundenen Sedimentpaketes (Zechstein, Germanische Trias). Auch hier wurde wahrscheinlich die Nichtzeitgleichheit der Lithostratigraphie als eine Grundweisheit der Geologie unterschätzt.

Das im Werra - Kaligebiet vorhandene engräumige Nebeneinander von sich **zeitgleich** ablagernden Molassen des Rotliegenden und der Kalisalze des Zechstein I auf einer geringen Entfernung von nur ca. 10 bis 20 Kilometern bewegt sich räumlich im sich auffüllenden und damit ausbreitenden Becken in größeren Dimensionen. Das Prinzip bleibt jedoch erhalten. Ohne daß sich der Verfasser intensiv mit den jüngeren Sedimentpaketen beschäftigt hat, möchte er an dieser Stelle die Vermutung wagen, daß sich z.B. die Tonsteine des Oberen Buntsandsteins, die Kalksteine des Unteren Muschelkalkes und die Salzlager des Mittleren Muschelkalkes zeitgleich nebeneinander gebildet haben. Diese Aussage möchte der Verfasser jedoch stark an den Rand dieses Aufsatzes gestellt wissen. Die Aussage soll lediglich die erforderliche konsequente Herangehensweise bei einer analogen becken-dynamischen Analyse dieses beispielhaft ausgewählten Schichtpaketes vermitteln.

In jedem Fall ist es bei einer derartigen Analyse nicht ausreichend, von ausgewählten Schichtpaketen Mächtigkeitkarten zu konstruieren, bewußt oder unbewußt die Ober- und Unterkante als zeitgleich anzusehen, bei geringen Mächtigkeiten von Schwellen sowie bei hohen Mächtigkeiten von Senken zu sprechen.

Ein letzter Exkurs sei noch zur Problematik „Salzstöcke“, „Salzmauern“ erlaubt. TRUSHEIM (1971) beschreibt verschiedene Salzlager in Norddeutschland in einzelnen Schichtgliedern



des Mesozoikums, welche z.T. sehr große Mächtigkeiten erreichen. Lokal sollen Profile von mehr als 1000 m Steinsalz erbohrt worden sein. Nach Auffassung des Verfassers wird wahrscheinlich fast über den gesamten Zeitraum z.B. der Trias oder sogar des Mesozoikums im Bereich des Germanischen Beckens eine Salzablagerung stattgefunden haben. Die jeweiligen Salzabscheidungsräume wanderten jedoch und nahmen (in Abhängigkeit vom Mineralangebot) zeitweise größere bzw. kleinere Areale ein. Ohne den sicher vorhandenen Einfluß einer Salztektonik völlig anzuzweifeln, sind primäre Mächtigkeitsunterschiede analog dem hier besprochenen Modell von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Bleibt ein relativ kleiner Salzabscheidungsraum über größere Zeiträume am gleichen Ort, entstehen durchaus ähnliche Bilder, wie bei einer tektonischen Salzaufpressung (z.B. Salzmauern, Salzstöcke).

## Zusammenfassung

Am Beispiel des Werra - Kaligebietes wird ein Modell der hydrothermal - sedimentären Entstehung von Salzlagerstätten vorgestellt. Die Salzsedimentation findet in einem Salzsee in einer intramontanen Senke gleichzeitig mit den Molasseablagerungen des Rotliegenden statt.

## Summary

The Werra - Kaligebiet (Western Thuringia, Germany) is an example for the hydrothermal - sedimentary origin of salt deposits.

The salt sedimentation of the Zechstein (Upper Permian) is happening in a saltlake inside of an intramontan basin at the same time as the clastic deposition of the Rotliegendes (Lower Permian).

## Literatur

- BAAR, A. (1952): Entstehung und Gesetzmäßigkeiten der Fazieswechsel im Kalilager am Südharz (II). Bergakademie 4. Leipzig, S. 138 - 150.
- BORCHERT, H. (1959): Ozeane Salzlagerstätten. Berlin, 237 S.
- DITTRICH, E. (1966): Einige Bemerkungen über Rand- und Schwellenausbildung im Zechstein Südwest - Thüringens. - Ber. dt. Gesellsch. geol. Wiss. 11, Berlin, S. 185 - 198.
- FÜCHTBAUER, H. & GOLDSCHMIDT, H. (1959): Die Tonminerale der Zechsteinformation. - Beitr. Min. u. Petrogr. 6. Berlin, S. 320 - 345.
- HAASE, G. (1971/72): Beitrag zur Kenntnis der Salzlagerstätte im Thüringischen Werra - Kaligebiet. - Jahrb. für Geologie 7/8, Berlin, S. 211 - 261.
- HAMMER, J., u.a. (1988): Besonderheiten der Spurenelementführung des Kupferschiefers der Sangerhäuser Mulde und Versuche ihrer Deutung. - Zeitschr. angew. Geol. 34 (11), S. 339 - 343.
- HAUBOLD, H. & SCHAUMBERG, G. (1985): Die Fossilien des Kupferschiefers. - Wittenberg, Ziemsen, 1. Aufl., 224 S.
- JÄGER, A. (1985): Die Beckenentwicklung während der Salzausscheidung des Zechsteins im Bereich des Werra-Kaligebietes. - Dipl.-Arb. Bergakademie Freiberg.
- KÄSTNER, H. (1969): Zur Geologie der Kalisalz- und Kohlen säurelagerstätten im südlichen Werra - Kaligebiet. - Abh. zentr. geol. Inst. 11, Berlin, 96 S.
- KNITZSCHKE, G. u.a. (1986): Zur Bestimmung der Mindestvorratsmenge auf der Basis einer technisch - ökonomischen Lagerstättenbewertung am Beispiel des Kupferschieferbergbaus. - Z. geol. Wiss. 14, Berlin, S. 405-416.
- KOCH, K. (1980): Prozesse der Abscheidung und Umbildung von Kaliflöz, dargestellt am Beispiel des Werra-Kaligebietes. - Dissertation, Freiberg.
- & VOGEL, J. (1980): Zu den Beziehungen von Tektonik, Sylvinitbildung und Basaltintrusionen im Werra - Kaligebiet (DDR). Freiburger Forschungsh. C 347, Leipzig, 104 S.
- KONITZ, O.; OETTEL, S.; JAHNE, H. (1968): Zur Feinstratigraphie des Werra - Salinars im thüringischen Werra - Kaligebiet unter besonderer Berücksichtigung des Kaliflözes „Thüringen“ und seiner Genese. - Zeitschr. f. angew. Geologie 14, Berlin, S. 578 - 587.

- LANGBEIN, R. (1978): Petrologisch bedingte Veränderungen der Zusammensetzung von Anhydritgesteinen.- Z. geol. Wiss. **6**, Berlin, S. 889 - 896.
- LEEDER, O. (1983): Einflüsse von Mantelprozessen auf Paragenesen in Gesteinen und Lagerstätten.- Freiburger Forschungshefte **C 383**, Leipzig, 144 S.
- LOTZE, F. (1957): Steinsalz und Kalisalze I. - Berlin, Gebr. Borntraeger, 465 S.
- PISKE, J. & SCHRETZENMAYR, S. (1984): Sedimentationszyklen im Staßfurtkarbonat und ihre Modifikation durch azyklische Vorgänge.- Zeitschrift geol. Wiss. **12** (1), Berlin, S. 83 - 100.
- RICHTER, A. (1962/64): Die Rotfärbung in den Salzen der deutschen Zechsteinlagerstätten - Teil I / II. Chemie der Erde **22/23**, S. 509 - 546 / S. 179 - 203.
- RICHTER - BERNBURG, G. (1968): Salzlagerstätten. in: BENZ, A.; MARTINI, H.J.: Lehrbuch der angew. Geologie, 2. Bd., Teil I. Stuttgart, Enke, S. 918 - 1061.
- SCHARBRODT, TH. u.a. (1989): Zur Rekonstruktionsmethodik von Paläobruckstrukturen im Salinar.- Z. geol. Wiss., Berlin **17** (2), S. 89 - 96.
- TRUSHEIM, F. (1971): Zur Bildung der Salzlager im Rotliegenden und Mesozoikum Mitteleuropas.- Beih. z. Geol. Jahrb. **112**, Hannover, 51 S.
- WALJASCHKO, M.G. (1958): Zur Geochemie der Salzlagerstätten.- Geologie **7**, Berlin, S. 223 - 231.
- ZÄNKER, G. (1979): Zur Frage der Beckentiefe und synsedimentärer Beckenabsenkung im höheren Zechstein II des Südharzgebietes.- Zeitschrift geol. Wiss. **7**, Berlin, S. 861 - 869.
- ZÄNKER, G. (1987): Vortrag zur Jahrestagung der Gesellschaft für Geologischen Wissenschaften in Erfurt.

Anschrift des Autors:  
 Dipl.-Geol. Andreas Jäger,  
 Jäger & Partner KG, Dorfstraße 68  
 99195 Erfurt - Schwerborn

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Veröffentlichungen des Naturkundemuseums Erfurt \(in Folge VERNATE\)](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [13](#)

Autor(en)/Author(s): Jäger Andreas

Artikel/Article: [Die hydrothermal - sedimentäre Entstehung der Salzablagerungen des Zechsteins am Beispiel des Werra-Kalgebietes - ein Modell 31-48](#)