

## Salzlagerstätten: War das Mittelmeer einst ausgetrocknet?

Michael KOTULLA

**Dieses PDF-Dokument enthält zu o. g. Artikel die Anmerkungen 1 bis 39 (Stand 03. 04. 2017).**

### Nr. Anmerkung

- <sup>1</sup> RYAN (2009, 95): „(...) to form a deposit more than 1 million km<sup>3</sup> in volume.“ – Das Volumen errechnet sich überschlägig aus einer angenommenen Flächenausbreitung von mehr als 1 Million km<sup>2</sup> und einer angenommenen Mächtigkeit von durchschnittlich 1000 m.
- <sup>2</sup> Die Bezeichnung „Hühnerdraht“-Anhydrit leitet sich von einer Textur ab, bei welcher helle Anhydrit-Knollen dominieren und nur durch ein dünnes (dunkles) Karbonat-„Netzwerk“ voneinander getrennt sind. Diese Netzstruktur ist mit Maschendraht assoziiert worden, den Bauern für Hühnerställe und Hühnerzäune verwenden. Vgl. HSÜ (1984, 24-25 sowie seine Abb. 6, unten rechts).
- <sup>3</sup> HARDIE & LOWENSTEIN (2004, 454) mit Bezug auf HSÜ (1972a,b), FRIEDMAN (1973) und GARRISON et al. (1978).  
HSÜ (1984, 24-25): „Daß Anhydrit niemals unter Tiefseebedingungen abgesondert wird, steht so gut wie fest“. (...) „Wir dürfen demnach getrost ‚Hühnerdraht-Anhydrit‘ als typisches Sebcha-Merkmal ansehen“.
- <sup>4</sup> HARDIE & LOWENSTEIN (2004, 456) mit Bezug auf HSÜ (1973c), DELLWIG (1955) und SHEARMAN (1970).
- <sup>5</sup> HARDIE & LOWENSTEIN (2004, 457) mit Bezug auf HSÜ et al. (1978), FRIEDMAN (1973) und GARRISON et al. (1978).  
HSÜ (1984, 24-27): „Unsere ‚Säule von Atlantis‘ beispielsweise bestand aus Anhydrit und Stromatolith – Sedimenten, die nur auf ariden (wüstenartig trockenen, ausgedörrten) Küstenebenen nachgewiesen wurden.“ (...) „Da aber Algen nicht ohne Photosynthese leben können, betrachtet man auch Stromatolith als Beweis für eine Gesteinsbildung in sehr flachen, in der Regel weniger als zehn Meter tiefen Gewässern.“ (...) „Als ich an jenem denkwürdigen Augustmorgen gerufen wurde, um die ‚Säule von Atlantis‘ zu bestaunen, erblickte ich haargenau das gleiche. Auch hier hatte ich es mit teilweise von Knollen-Anhydrit verdrängtem Stromatolith zu tun. Was hätte schlagender beweisen können, daß diese Sedimente in einer Überflutungszone auf dem Boden eines nahezu ausgetrockneten Mittelmeeres entstanden

**Nr. Anmerkung**

waren?“ – Des Weiteren Beschriftung zu deiner Abb. 8 (S. 23): „Der Stromatolith, den Abb. 6 zeigt [oben rechts], besteht aus versteinerten Algenmatten.“

<sup>6</sup> HARDIE & LOWENSTEIN (2004, 459) mit Bezug auf HSÜ (1972a) und HSÜ et al. (1973a, Fig. 3).

Siehe auch HSÜ (1984, 160-168). Am Ende des Kapitels: „Es war das erstmal, daß je vom Meeresboden Steinsalz gefördert wurde. Wir hatten das ‚Stierauge‘ im Balearen-Becken getroffen – 3000 Meter unter dem Meeresspiegel!“ (S. 168).

<sup>7</sup> HARDIE & LOWENSTEIN (2004, 459) mit Bezug auf HSÜ (1972a) und HSÜ et al. (1973c).

Siehe auch HSÜ (1984, 22, seine Abb. 7, unten rechts).

<sup>8</sup> Siehe HSÜ et al. (1973a): „The common absence of turbidites in the Mediterranean evaporite (...)“ (S. 1212). Und: „(...) the absence of clastic interbeds in the Mediterranean evaporite“ (S. 1220).

<sup>9</sup> Siehe HSÜ et al. (1973a, 1214ff).

<sup>10</sup> Im Original (HSÜ et al. 1973a, 1214): „A desiccated deep basin model“. U. a. auch als „Theorie eines austrocknenden tiefen Beckens“ bezeichnet (HSÜ 1972a).

<sup>11</sup> Auch als „Tiefbecken/Tiefwasser“- , „Flachbecken/Flachwasser“- und „Tiefbecken/Flachwasser“-Modell bezeichnet; auch in umgekehrter Reihenfolge verwendet, zuerst „Wasser“, dann „Becken“.

<sup>12</sup> HSÜ (1984, 186-187): „Auch die ersten beiden Alternativen kommen nicht in Frage. Die bei unserer Bohrexpedition im Jahre 1970 gewonnenen geologischen Daten reichen hin, um auch sie als unmöglich zu erweisen. Wendet man Sherlock Holmes Grundsatz an, so bleibt Möglichkeit 3, das tiefe Becken mit flachem Wasser – unsere Theorie, wonach das Mittelmeerbecken ausgetrocknet war, so unwahrscheinlich manchem dies auch vorkommen mag.“

<sup>13</sup> HSÜ et al. (1973b, 243): „A detailed computation of the material balance budget let us to conclude that eight or ten marine invasions, represented by the interbeds of marine marls in the Upper Miocene evaporite-formation of Sicily, could have been sufficient to account for all the salts under the Mediterranean abyssal plains.“

<sup>14</sup> Siehe Table 1, Volumes and Thicknesses of Salts Precipitated (HSÜ et al. 1973a, 1214), nach SCHMALZ (1969).

<sup>15</sup> Anhand einer (kontinuierlichen) Sedimentfolge aus Bohrloch 132 „rekonstruieren“ HSÜ et al. (1973a, 1217-1219) die „finale Flut“. Die Flutsedimente sollen durch einen etwa 15 cm mächtigen, grauen Pyrit-führenden Mergel mit zwischengeschalteten Siltlagen (in Summe 5 cm) repräsentiert sein. Aus Überlegungen über den [theoretischen] Flutmechanismus leiten sie

**Nr. Anmerkung**

für die mergeligen Partien (in Summe 10 cm) eine Sedimentationsrate von etwa 10 cm/1000 Jahre ab, die sie als gut begründet erachten: „Such rates seem reasonable.“

In ihrer Konklusion heißt es (S. 1228): „We have shown that the Mediterranean was not filled in one day, although the duration of the refill was probably less than 1000 years.“

– Siehe auch weiter unten in diesem Artikel, Textabschnitt „Die Megaflut“ (S. 27).

<sup>16</sup> Auch als eustatische Meeresspiegelschwankung bezeichnet. Eustasie ist ein Konzept der historischen Geologie (vgl. WAGREICH et al. 2014). Der Begriff wird häufig als „Letztbegründung“ für sich mutmaßlich wiederholende Vorgänge verwendet.

<sup>17</sup> In Bremen befindet sich eines der drei internationalen Bohrkernlager der internationalen Tiefseeprogramme DSDP, ODP, IODP und IODP (aktuell). Sie werden vom Zentrum für Marine Umweltwissenschaften (MARUM) der Universität Bremen verwaltet.

<sup>18</sup> Siehe GARRISON et al. (1978).

<sup>19</sup> ROVERI et al. (2014b, 774): „The presence of resedimented evaporites in ODP-DSDP cores (...) contradicts the claimed absence of current structures and turbidites associated with deep basin evaporites (Hsü and others, 1973a) and is in good agreement with outcrop (...) and borehole data (...)“

<sup>20</sup> Zahlreiche Beispiele in LUGLI et al. (2015).

<sup>21</sup> Konkretisiert z. B. durch Co-Autorin M. B. CITA in CITA (1973, 208): „The next topic is: what was living in the Mediterranean during the evaporite deposition or – according to our model – during the approximately 1.5 million years when the Mediterranean underwent dessication?“

<sup>22</sup> Zu den Zeitangaben: Einfügungen in eckigen Klammern dienen – unter Inkaufnahme einer Verschlechterung der Lesbarkeit – zur Konkretisierung oder Klarstellung.

<sup>23</sup> CIESM (2008, 20): „If these considerations are correct, then the role of very quickly aggrading salt has to be taken into consideration when evaluating (...)“

<sup>24</sup> MANZI et al. (2012) betten ihre Interpretation in den durch die zyκλοstratigraphische Methode vorgegebenen Zeitrahmen: In ihrem Abschnitt 4 – überschrieben mit „Temporal hypotheses (...) – heißt es: „Consequently, we suggest that the evaporite-shale couplets of stage 2 can be interpreted as varves, and we assume as a working hypothesis for the statistical analyses that they have annual duration.“ Aus der Arbeitshypothese wird dann eine Tatsache, so der zweite Satz in der Zusammenfassung: „The study of two Late Miocene evaporite successions (one halite and the other gypsum) consisting of annual varves (...)“

In ROVERI et al. (2014a, 35) heißt es dann – als „bestätigt“: „Statistical studies carried out on these primary evaporites in (...) and, in a longer record, in Sicily (based on petrographic and sedimentological characterization of gypsum and halite; Manzi et al., 2012; Fig. 10b)

**Nr. Anmerkung**

- confirmed the annual periodicity of the cycles.“
- 25 Die Begriffe “abscheiden” bzw. “Abscheidung” verwenden z. B. FÜCHTBAUER & MÜLLER (1977, 418).
- 26 Siehe DIETZ & WOODHOUSE (1991).
- 27 MANZI et al. (2012) beschreiben die 400 m mächtige Halit-führende Einheit in Realmonte als „dreiteilig“ und „symmetrisch“: Halit, K-Mg-Salze, Halit. Die gesamte Folge interpretieren sie als einen einzigen „Evaporit-Zyklus“.
- 28 Siehe des Weiteren Fig. 2C, 2G, 2H, 3C, 3D und 3E (LUGLI et al. 2015).
- 29 Ein weiteres Kriterium für rasche Sedimentation nennen HOVLAND et al. (2006, 867): Demnach sei in submarinen Umgebungen eine relativ rasche Sedimentation günstig, das würde das Salz vor einer Wiederauflösung schützen.
- 30 Zur stratigraphischen Einordnung der wahrscheinlichen Megaflut (GARCIA-CASTELLANOS et al. 2009, 779): „(...) this erosive channel is incised into Miocene deposits and filled by Pliocene-Quaternary sediments, and merges laterally with the basin-wide Messinian Erosional Surface (MES).“ – Die sog. MES (Erosionsfläche) liegt in der Modellgliederung (ROVERI et al. 2014a, Fig 3; dieser Artikel, Tab. 1) zwischen Einheit 1 und Einheit 2, sodass hier eine Unklarheit besteht.
- Weiter unten heißt es (S. 779): „We therefore postulate that the erosion channel observed in Gibraltar (Fig. 1) was excavated by the Zanclean Flood.“ – Die „finale Flut“ (HSÜ et al. 1973b) wird auch als „Zancleum-Flut“ bezeichnet. Zur Grenze Messinium/Zancleum siehe VAN COUVERING et al. (2000).
- 31 Siehe z. B. BAKER (2009) und KOTULLA (2014).
- 32 Siehe z. B. NESTEROFF (1973).
- 33 HSÜ (1972a): „Instead we should explore the feasibility of adopting the desiccating Mediterranean as a reference standard“ (S. 389). Und: „It seems to me, perhaps in my over-enthusiasm, that we might recognize the desiccating deep-basin theory as a unifying idea, or a new paradigm“ (S. 391).
- 34 Z. B. ROVERI et al. (2014b, 751): „In the following years, their *shallow-water deep-basin* (SWDB) model became the paradigm (Roveri and Manzi, 2006) for the Messinian salinity crisis (MSC) (...)“.
- 35 Im Original eine andere Formulierung (LUGLI et al. 2015): „Indizien für ein nicht-ausgetrocknetes Mittelmeer“; in der Überschrift: „(...) Evidence for a non-desiccated Mediterranean Sea“.
- 36 Es ist interessant und bemerkenswert, dass das Wort „Realität“ (bzw. „Wirklichkeit“)

**Nr. Anmerkung**

überhaupt einmal Verwendung findet; im Original (HARDIE & LOWENSTEIN 2004, 460): „We must add to this that there is far from a general agreement among workers as to whether the Mediterranean basin was in reality a deep basin during Miocene times.“

<sup>37</sup> Polyhalit: Ein komplexeres Sulfat –  $K_2Ca_2Mg[SO_4]_4 \cdot 2H_2O$ .

<sup>38</sup> Für „Einheit“ wird in ROVERI et al. (2014a) der Begriff „Stufe“ verwendet; „Stufe“ wird allerdings mit genetischen Attributen versehen. Einheit 3 wird zusätzlich gegliedert in 3.1 und 3.2.

Es gibt weitere Bezeichnungen für die Einheiten 1-3, z. B. (ROVERI et al. 2008):

Einheit 1: Primary Lower Gypsum, PLG.

Einheit 2: Resedimented Lower Gypsum, RLG.

Einheit 3: Upper Gypsum, UG.

<sup>39</sup> Für die Entstehung von Aufwölbungen in Sedimentfolgen mit mächtigen Salzlagern (Salztektonik, Diapirismus) werden unterschiedliche Mechanismen diskutiert: u. a. rein gravitativ (Dichteinversion), Extension und Kompression (Tektonik), ungleichmäßige Auflast. Salz hat i. d. R. eine geringere Dichte als das überlagernde Sedimentgestein; es verhält sich unter bestimmten Bedingungen plastisch und mobil.

## Literatur

- BAKER VR (2009) The Channeled Scabland – a retrospective. *Ann. Rev. Earth. Planet. Sci.* 37, 6.1-6.19.
- CIESM (2008) Executive Summary. In: BRIAND F (Ed.) The Messinian Salinity Crisis from mega-deposits to microbiology – A consensus report. CIESM Workshop Monographs 33, 7-28.
- CITA MB (1973) Mediterranean evaporite: paleontological arguments for a deep-basin desiccation model. In: DROOGER CW (Ed) Messinian events in the Mediterranean. Amsterdam, 206-228.
- DIETZ RA & WOODHOUSE M (1991) Mediterranean sub-bottom giant Messinian salt as a precipitate. *Carbonates and Evaporites* 6, 119-120.
- DELLWIG LF (1955) Origin of the Salina Salt of Michigan. *Journal of Sedimentary Petrology* 25, 83-110.
- GARCIA-CASTELLANOS D, ESTRADA F, JIMÉNEZ-MUNT I, GORINI C, FERNÁNDEZ M, VERGÉS J & DE VICENTE R (2009) Catastrophic flood of the Mediterranean after the Messinian salinity crisis. *Nature* 462, 778-782.
- FRIEDMAN GM (1973) Petrographic data and comments on the depositional environment of the Miocene sulfates and dolomites at Sites 124, 132 and 134, western Mediterranean Sea. In: RYAN WBF, HSÜ KJ et al. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. XIII, Washington, 695-708.
- FÜCHTBAUER H & MÜLLER G (1977) *Sedimente und Sedimentgesteine*. 3. Auflage, Stuttgart.
- GARRISON RE, SCHREIBER BC, BERNOULLI D, FABRICIUS FH, KIDD RB & MÉLIÈRES F (1978) Sedimentary petrology and structures of Messinian evaporite sediments in the Mediterranean Sea. In: HSÜ KJ et al. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 42, Washington, 571-612.
- HARDIE LA & LOWENSTEIN TK (2004) Did the Mediterranean Sea dry out during the Miocene? A reassessment of the evaporite evidence from DSDP Legs 13 and 42A cores. *Journal of Sedimentary Research* 74, 453-461.
- HOVLAND M, RUESLÄTTEN HG, JOHNSEN HK, KVAMME B & KUZNETSOVA T (2006) Salt formation associated with sub-surface boiling and supercritical water. *Marine and Petroleum Geology* 23, 855-869.
- HSÜ KJ (1972a) Origin of Saline Giants: a critical review after the discovery of the Mediterranean evaporite. *Earth Science Reviews* 8, 371-396.
- HSÜ KJ (1972b) When the Mediterranean dried up. *Scientific American* 227, 26-36.
- HSÜ KJ (1984) *Das Mittelmeer war eine Wüste*. München.
- HSÜ KJ, CITA MB & RYAN WBF (1973a) The origin of the Mediterranean evaporites. In: RYAN WBF, HSÜ KJ et al. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. XIII, Washington, 1203-1231.
- HSÜ KJ, CITA MB & RYAN WBF (1973b) Late Miocene Desiccation of the Mediterranean. *Nature* 242, 240-244.
- HSÜ KJ, CITA MB & RYAN WBF (1973c) Petrography of a halite sample from Hole 134 – Balearic abyssal plain. In: RYAN WBF, HSÜ KJ et al. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. XIII, Washington, 708-711.
- HSÜ KJ, MONTADERT L, BERNOULLI D, CITA MB, ERICKSON A, GARRISSON RE, KIDD RB, MÉLIÈRES F, MÜLLER C & WRIGHT R (1978) History of the Mediterranean salinity crisis. In: HSÜ KJ et al. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 42, Washington, 1053-1078.
- KOTULLA M (2014) Megafloten. *Studium Integrale Journal* 21, 4-11.
- LUGLI S, MANZI V, ROVERI M & SCHREIBER BC (2015) The deep record of the Messinian salinity crisis: Evidence of a non-desiccated Mediterranean Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 433, 201-218.

- MANZI V, GENNARI R, LUGLI S, ROVERI M, SCAFETTA N & SCHREIBER C (2012) High-frequency cyclicity in the Mediterranean Messinian evaporites: evidence for solar-lunar climate forcing. *Journal of Sedimentary Research* 82, 991-1005.
- NESTEROFF WD (1973) Mineralogy, petrography, distribution, and origin of the Messinian Mediterranean evaporites. In: RYAN WBF, HSÜ KJ et al. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. XIII, Washington, 673-694.
- ROVERI M, BERTINI A, COSENTINO D, DI STEFANO A, GENNARI R, GLIOZZI E, GROSSI F, IACCARINO SM, LUGLI S, MANZI V & TAVIANI M (2008) A high-resolution stratigraphic framework for the latest Messinian events in the Mediterranean area. *Stratigraphy* 5, 323-342.
- ROVERI M, FLECKER R, KRIJGSMAN W, LOFI J, LUGLI S, MANZI V, SIERRO FJ, BERTINI A, CAMERLENGHI A, DE LANGE G, GOVERS R, HILGEN FJ, HÜBSCHER C, MEIJER PT & STOICA M (2014a) The Messinian Salinity Crisis: Past and future of a great challenge for marine sciences. *Maine Geology* 352, 25-58.
- ROVERI M. & MANZI V (2006) The Messinian salinity crisis: Looking for a new paradigm? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 238, 386-398.
- ROVERI M, MANZI V, BERGAMASCO A, FALCIERI FM, GENNARI R, LUGLI S & SCHREIBER BC (2014b) Dense shelf water cascading and Messinian canyons: a new scenario for the Mediterranean Salinity Crisis. *American Journal of Science* 314, 751-784.
- RYAN WBF (2009) Decoding the Mediterranean salinity crisis. *Sedimentology* 56, 95-136.
- SCHMALZ RF (1969) Deep-water evaporite deposition: a genetic model. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists* 53, 798-823.
- SHEARMAN DJ (1970) Recent halite rock, Baja California, Mexico. *Institute of Mining and Metallurgy, Transactions Series B* 79, 155-162.
- VAN COUVERING JA, CASTRADORI D, CITA MB, HILGEN FJ, & RIO D (2000) The base of the Zanclean stage and of the Pliocene series. *Episodes* 23, 179-187.
- WAGREICH M, LEIN R & SAMES B (2014) Eustasy, its controlling factors, and the limno-eustatic hypothesis – concepts inspired by Eduard Suess. *Austrian Journal of Earth Sciences* 107, 115-131.