

Die Entstehung und sedimentologische Bedeutung von Steinsalzkristallmarken im fossilen Beleg

Rainer Albert

02/2014



Publiziert auf
Steinkern.de

Plastische Ausformungen von würfelförmigen Steinsalzkrystallen finden sich häufig in klastischen Sedimentgesteinen, die unter semiariden und ariden Klimabedingungen entstanden. Auf den ersten Blick lässt sich ihre Entstehung scheinbar einfach erklären: Halitwürfel wuchsen in einer eindampfenden salinaren Lösung auf der Sedimentoberfläche; nachfolgend zutretendes Süßwasser löste sie wieder auf, und die verbleibenden Negativformen wurden von Sediment ausgefüllt. Dieses Modell stimmt aber weder vollständig mit Beobachtungen an rezenten Salzseen und Salinen überein, noch liefert es Erklärungen für bestimmte Phänomene, die im fossilen Beleg auftreten. Im Folgenden wird die Entwicklung der Erklärungsmodelle nachvollzogen sowie der aktuelle Wissensstand aufgezeigt.

Begriffsbildung

Hartnäckig hält sich in der Literatur die Bezeichnung *Steinsalzpseudomorphosen* für das eingangs beschriebene Phänomen. In den Geowissenschaften ist der Begriff *Pseudomorphose* definiert als Ersetzung eines Minerals durch ein anderes, entweder nach Weglösung oder im Zuge einer allmählichen Verdrängung oder Umkristallisation, unter Beibehaltung der ursprünglichen Kristallform (Tracht). Da die sog. Steinsalzpseudomorphosen lediglich Sedimentabformungen der Kristalle darstellen, ist der Begriff irreführend und verschleiert die Abgrenzung zu echten Pseudomorphosephänomenen in Verbindung mit Halitkrystallen (Abb. 17). Ebenfalls gebräuchlich ist die Bezeichnung *Steinsalznachkristalle*, die jedoch auch fälschlich eine pseudomorphe Natur der Bildungen andeutet.

Streng genommen handelt es sich bei dem im Folgenden diskutierten Phänomen um Marken, die von Steinsalzkrystallen verursacht wurden. Daher ist der Begriff *Steinsalzkrystallmarken* anzuwenden, wie dies auch verstärkt in der neueren Literatur geschieht (HAUSCHKE & VATH, 2003).

Rezente Entstehung von Steinsalzkrystallen

In ariden Klimata wird unter geeigneten geochemischen Bedingungen bei der Eindampfung salinärer Lösungen in marinen Lagunen oder terrestrischen Salztonebenen bzw. Salzseen neben anderen löslichen Stoffen auch Steinsalz ausgeschieden. Meist kommt es lediglich zur Ausbildung mikrokristalliner Salzkrusten, da Faktoren wie hohe Keimzahl, schnelle Austrocknung, Rücklösung durch zutretende untersättigte Wässer oder starke Wasserbewegung das ungestörte Wachstum größerer Kristalle verhindern (Abb. 6, Abb. 8 unten).

Fehlen Störfaktoren weitgehend, wachsen kubische Halitkrystalle an der Grenzfläche von Sediment und Lösung. Dazu kommt noch die Bildung kleinster Kristalle an der Oberfläche der Sole, die häufig als Skelettkristalle (sog. *Hopper*) ausgebildet sind, und die bei weiterer Gewichtszunahme oder durch Turbulenzen schließlich zu Boden sinken (Abb. 9 oben).

Bei einer hohen Entstehungsrate von Hoppert bilden sich am Grund des Beckens mit der Zeit eine kompakte Lage aus miteinander verwachsenen Kristallen, sog. „reifer Halit“ (HAUSCHKE et al., 2011). Aber auch bei strömungsbedingter Wegführung im Entstehen begriffener Hopper erreichen die epibenthischen Halitwürfel nur Kantenlängen von ca. 5 mm (LINCK, 1946), bevor sie aus physikalischen Gründen entweder zu einem auf die Kanten beschränkten Skelettwachstum übergehen oder ihr Wachstum zugunsten kleinerer Kristalle im Umfeld einstellen (Abb. 4, Abb. 7, Abb. 9 unten).

In größerer Tiefe unter der Sedimentoberfläche salinärer Becken wurden große, gut ausgebildete Steinsalzwürfel beobachtet. In tonigen Sedimenten liegen sie in Reinform vor, infolge der Verdrängung des umgebenden Sediments durch Kristallisationsdruck, während in schluffiger oder sandiger Matrix sog. *Granokristalle* auftreten, deren Wachstum nur in den Porenhohlräumen unter Einschluss der Sedimentkörner erfolgen konnte (LINCK, 1946).

Das Vorkommen gut ausgebildeter, großer Halitkuben in Sedimenten ist also an sehr spezifische Rahmenbedingungen geknüpft.

Rezente Beispiele

In semiariden und ariden Gebieten finden sich salinar-evaporitische Becken, meist als Playas – Inland-Salztonebenen, denen mineralreiches Wasser periodisch oder ephemer zugeführt wird – ausgebildet, in denen verschiedene Kristallisationsarten von Steinsalz und deren sedimentologische Rahmenbedingungen beobachtet werden können. Ihnen gegenüber stehen (künstliche) Meerwassersalinen, in denen die Kristallisation des Halits unter kontrollierten Bedingungen statt findet.



Abb. 1: Badwater Basin, ein Playabecken im Death Valley (Kalifornien, USA). Unten: Die Oberfläche der Salztonebene ist von Risspolygonen mit aufgebogenen Rändern überzogen, die durch Evaporation sowie Gefrier- und Auftauzyklen entstehen. Gesättigte Lösung steigt bevorzugt entlang der Klüfte auf, erhöhte Salzabscheidung in diesen Bereichen führt zu der Aufwölbung der Ränder (sog. *teepee structures* wegen ihres zeltförmigen vertikalen Querschnitts). Mangels freiem Wasser unterbleibt in diesem Milieu die Ausbildung epibenthischer Halitwürfel.

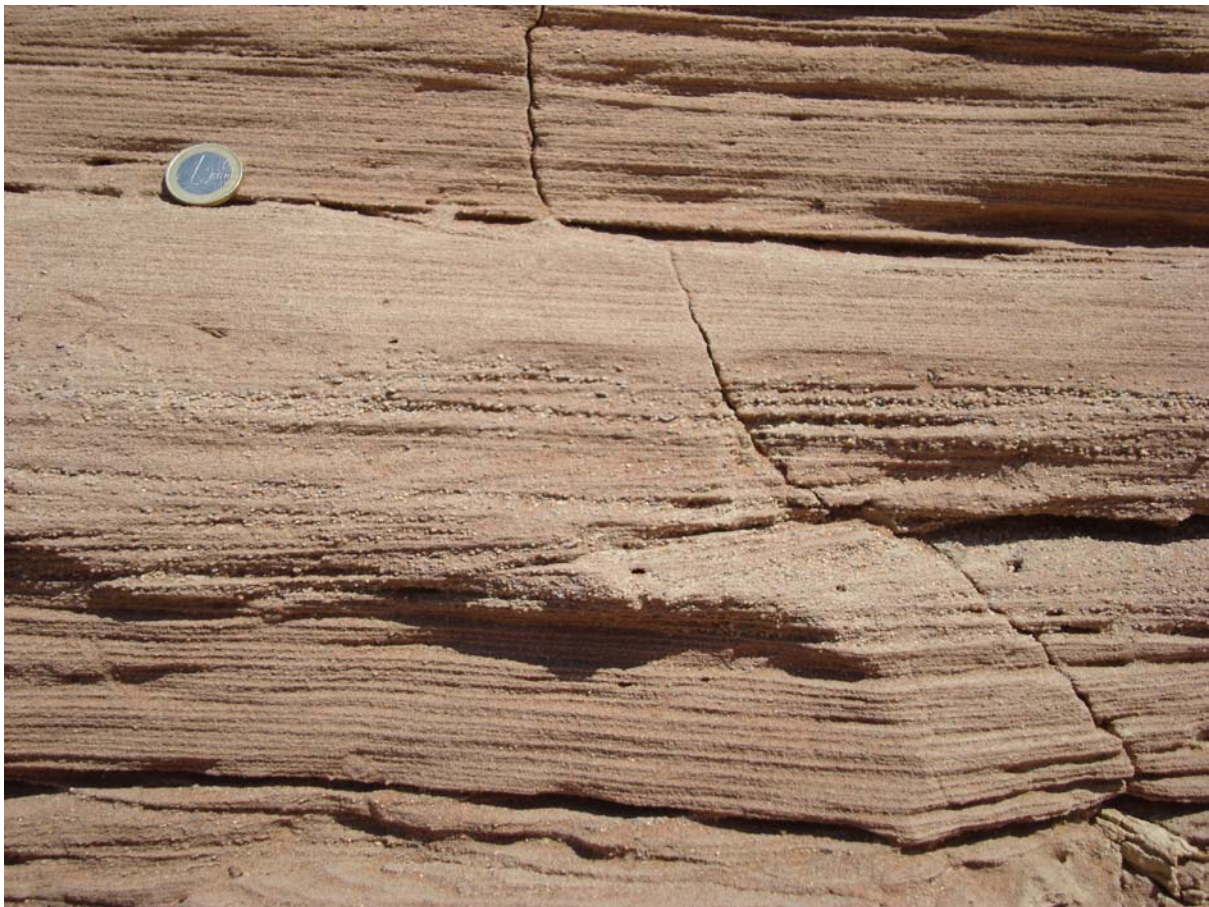


Abb. 2: Das Sossusvlei, ein Playabecken des blind in der Namibwüste endenden Tsauchab River (Namibia). Oben: Gesamtansicht der Salzpflanze. **Unten:** Fein geschichtete Sande und Silte als Beckensedimente, in der Bildmitte eine Lage mit Grobsandführung und Schrägschichtung, die während einer Überflutungsphase entstand. Die Bildung von oberflächlichen Steinsalzkrystallen ist von dort nicht bekannt.



Abb. 3: Saline Los Cocoteros (Lanzarote, Spanien). In einem mehrstufigen Prozess wird Meerwasser auf dem Weg durch mehrere Becken zu einer Salzlake reduziert, aus der sich durch weitere Verdunstung schließlich verhältnismäßig reines Steinsalz abscheidet. Feststoffe und schlechter lösliche Salze wie Dolomit und Gips werden bereits in vorgelagerten Verdunstungsbecken ausgefällt, während in dem Prozessschritt, der zur Steinsalzkristallisation führt, eine bestimmte Konzentration der Lake nicht überschritten werden darf, um das Ausfällen des besser löslichen, unerwünschten Sylvins (Kaliumchlorid, KCl) zu vermeiden. Unter diesen kontrollierten, in der freien Natur nur selten anzutreffenden Bedingungen entstehen gut ausgebildete Halitwürfel auf der Sedimentoberfläche.





b

Abb. 4: a) Handstück mit Steinsalzkrystallen von Los Cocoteros. Die Würfel erreichen kaum 5 mm Kantenlänge, b) Detailaufnahme des Handstücks: Jüngere Kristallgenerationen überwachsen ältere, die ab einer gewissen Kristallgröße aus energetischen Gründen ihr Wachstum verlangsamen und schließlich einstellen. Dies gilt ebenfalls für ähnliche natürliche Vorkommen.



Abb. 5: Saline von Walvis Bay (Namibia). Gewinnung von Steinsalz aus Meerwasser. Im Vergleich zur o. g. Saline Los Cocoteros herrschen in den großen Verdunstungsbecken wechselhaftere Bedingungen. Schwefelbakterien färben das Wasser.



Abb. 6: Salzbildungen in der Saline von Walvis Bay. **Oben:** Abscheidung von Salzkrusten in leicht bewegtem Wasser; episodische partielle Rücklösung zerstört vorhandene Kristallformen und verhindert die ungestörte Ausbildung idimorpher Kristalle (Bildbreite ca. 50 cm). **Unten:** Teepee structures und Salzkrusten in einem als Salztonebene ausgebildeten Randbereich der Saline. Die Oberflächenstrukturen werden durch Windschliff und häufigen Nebel erodiert.



Abb. 7: Halitkristalle aus der Saline von Walvis Bay. Oben: Handstück mit großen „Würfeln“ (Kantenlänge bis 1,7 cm). **Unten:** Detail des Handstücks. Bei näherer Betrachtung zeigen sich die großen „Würfeln“ als Skelettkristalle und orientierte Verwachsungen mehrerer kleiner Würfel. Die Bedingungen waren nicht zur Ausbildung echter großer Halitwürfel geeignet.

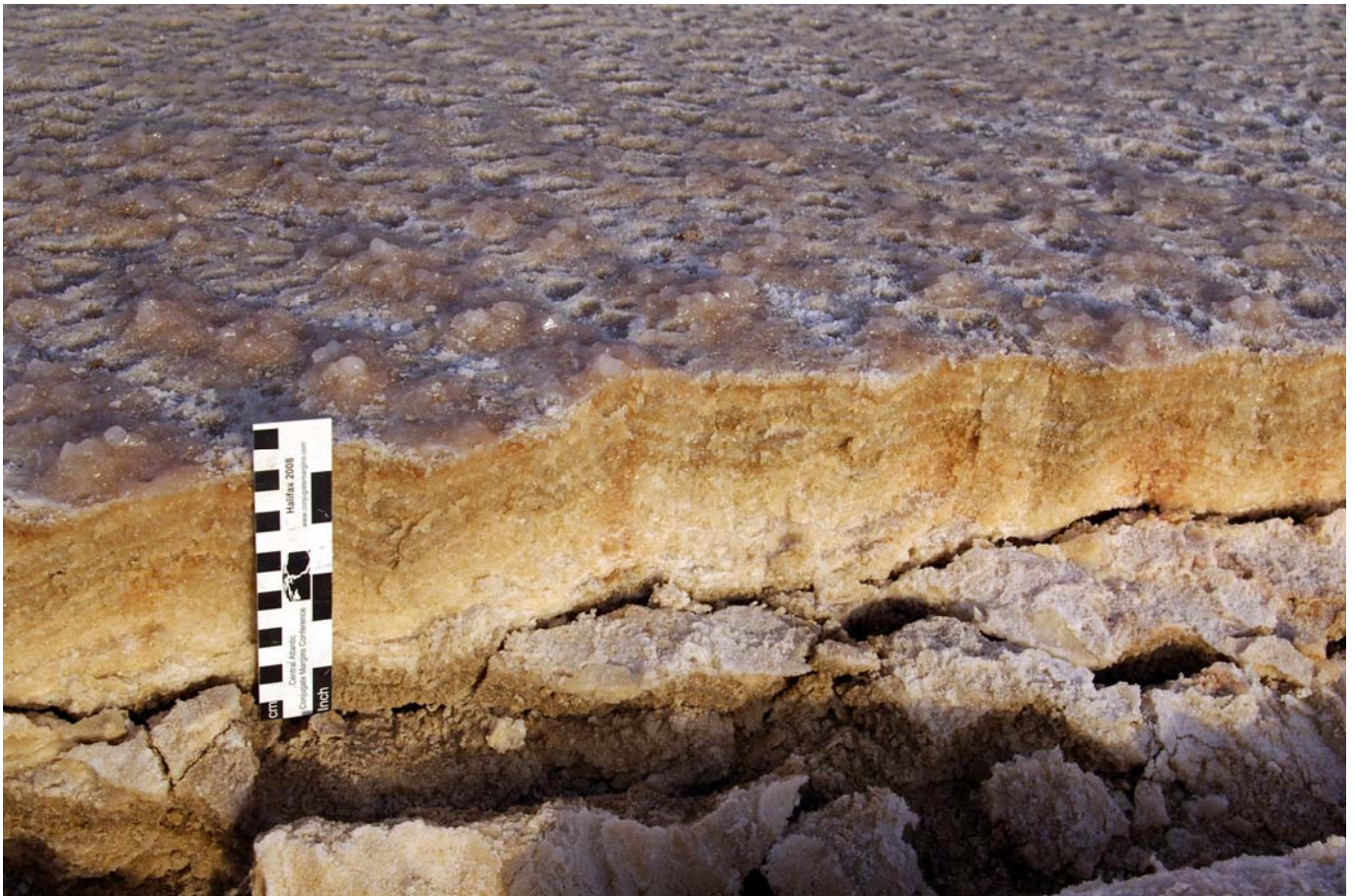


Abb. 8: Ostufer des Toten Meeres (Jordanien). Oben: Uferterrasse mit Salzablagerungen. Unten: Detail der Salzablagerungen: Reifer Halit, der vor der Seespiegelabsenkung im flachen Uferbereich zyklisch als dicke Schicht kristallisierte (Fotos: Johannes Kalbe, Potsdam).



Abb. 9: Totes Meer. Oben: Kruste aus aggregierten Halit-Hopperkristallen. **Unten:** Halitwürfel mit wenigen Millimetern Kantenlänge auf einem Treibholzstück (Fotos: Johannes Kalbe, Potsdam).

Steinsalzkristallmarken im fossilen Beleg

Steinsalzkrystallmarken treten als positive Reliefs von würfelförmigen Kristallen oder Hoppfern auf Silt- oder Sandsteinschichten auf, und zwar sowohl auf Schichtober- als auch Unterseiten (Epi- bzw. Hyporelief), wobei die lithologische Zusammensetzung der Marken und der sie tragenden Bänke identisch ist. Bei dünnen Sedimentlagen kann dieselbe Kristallmarke sogar durchgängig sein. Die jeweils angrenzende Schicht ist immer tonig. Häufig sind Kantenlängen von wenigen Millimetern, sie können aber auch mehrere Zentimeter erreichen. Zusammen mit den Steinsalzkrystallmarken finden sich in der Regel weitere Sedimentstrukturen, die auf ein salinares, zeitweilig auch trockenfallendes Flachwassermilieu hinweisen, wie Wellenrippel, Trockenrisse, Sulfatknollen oder Bodenbildungen. In Dünnschliffen konnten Verfüllungsstrukturen beobachtet werden, die auf das Nachsacken von Sediment in die Hohlräume rückgelöster Halitkristalle zurückzuführen sind (HAUDE, 1970; HAUSCHKE & VATH, 2003).

Entstehungsmodelle

Ein Modell der Entstehung von Steinsalzkrystallmarken muss folgende Charakteristika erklären können:

- Die Beschränkung auf schluffige und sandige Sedimente.
- Kantenlängen, die bei rezenten epibenthischen Steinsalzkrystallen nicht beobachtet wurden.
- Das mitunter gleichzeitige Auftreten von Marken auf Schichtunter- und Oberseite sowie das Phänomen der durchgängigen Marken, die sowohl als Epi- als auch als Hyporelief vorliegen.
- Verfüllungsstrukturen an und in den Marken.

Das einfachste Modell – Steinsalzkrystallmarken als einfache Sedimentausgüsse rückgelöster epibenthischer Halitkristalle, zuerst 1846 formuliert von NOEGGERATH (HAUDE, 1970) – erklärt weder die Überlieferung als Epirelief noch das Vorhandensein von Verfüllungsstrukturen. Auch bleibt die Frage offen, warum solche Ausgüsse nicht auch von tonigen Sedimenten erzeugt wurden.

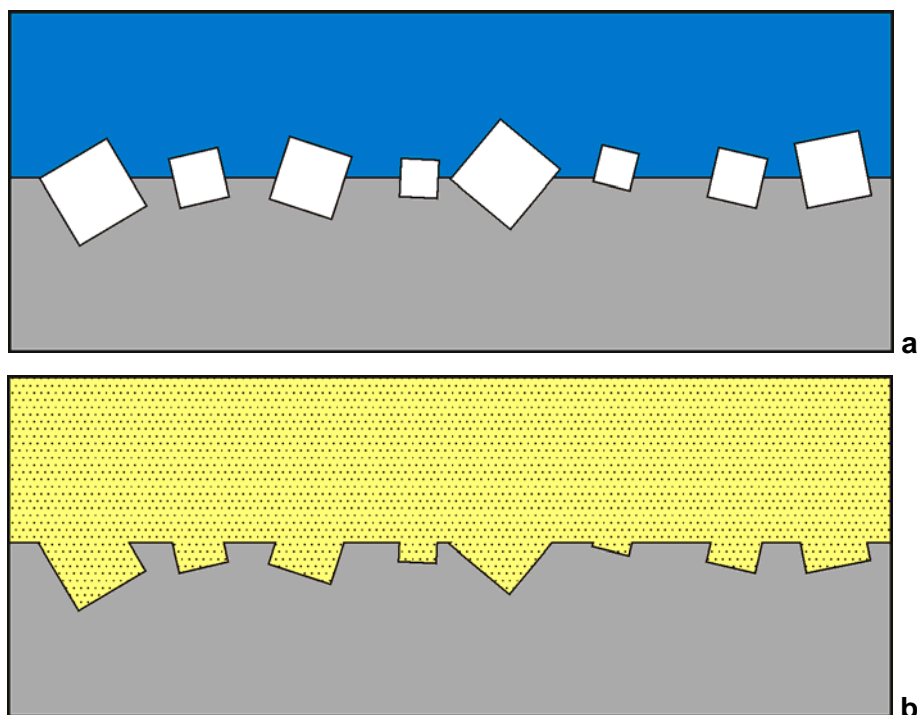


Abb. 10: Ältestes Entstehungsmodell nach NOEGGERATH (1846): a) Auf der Sedimentoberfläche bilden sich Halitwürfel, die nach Auflösung Teilabdrücke hinterlassen; **b)** diese werden in der Folge von einer Sandschicht verfüllt (blau: offenes Wasser, weiß: Halit, grau: Ton, gelb: Sand oder Schluff).

LINCK (1946) ging wegen der Kantenlängen der Marken von bis zu mehreren Zentimetern von einem ungestörten Kristallwachstum über längere Zeit aus, wie es am ehesten unter gleichbleibenden endobenthischen Bedingungen stattfinden könne, möglicherweise sogar in Tiefen von mehreren Metern unter der Sedimentoberfläche. Das gleichzeitige Vorkommen von Epi- und Hyporeliefs auf derselben

Schicht gehe auf intrasedimentäre Granokristalle zurück: Diese würden bei der auflastbedingten Kompaktion ihrer Mutterschicht in die Hangend- und Liegendsschichten hineingedrückt. Nach der Rücklösung des Halits verbleibe die Schluff- oder Sandmatrix der Granokristalle als Füllung in den so erzeugten Eindrücken. In diesem Modell sollten keine Verfüllungsstrukturen entstehen, und Linck konnte solche in den von ihm untersuchten Proben auch nicht nachweisen. Allerdings wären Schleppungen um die herausgedrückten Kristalle zu erwarten, die LINCK aber nicht erwähnt (HAUDE, 1970).

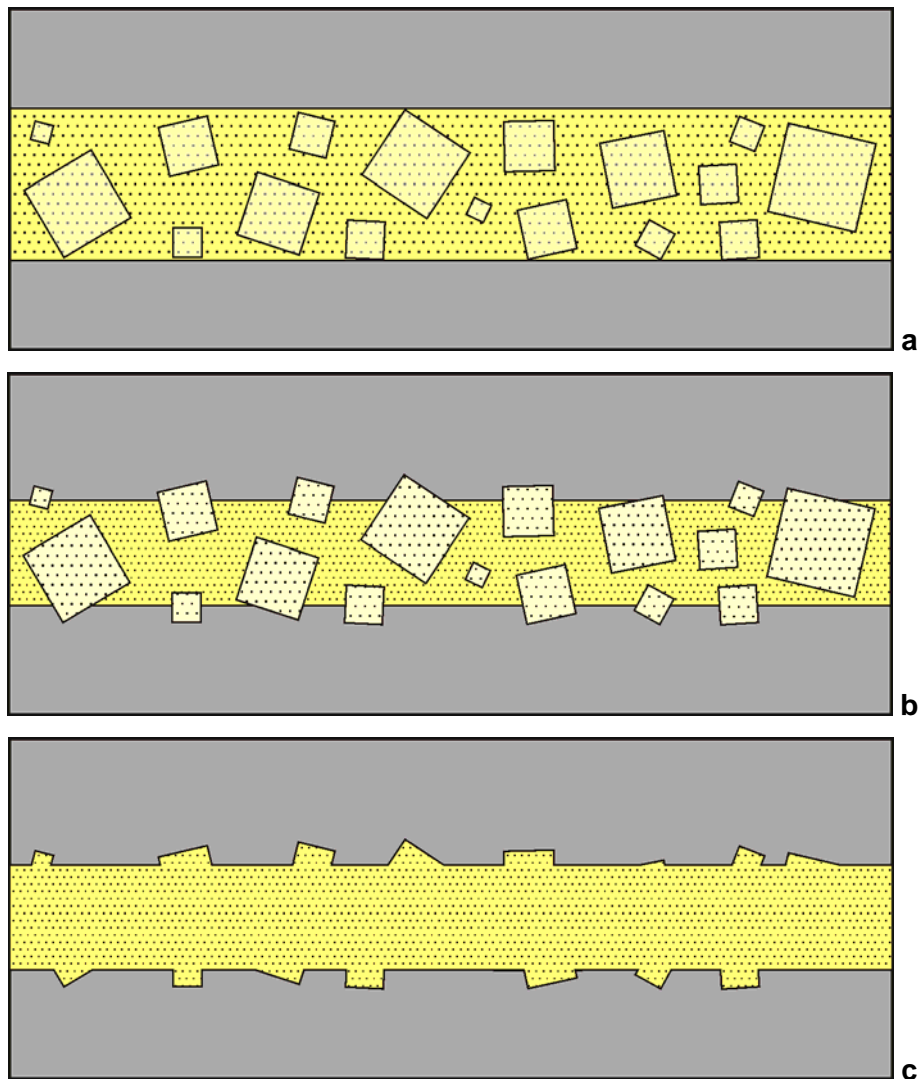


Abb. 11: Modell nach Linck (1946, verändert): a) Innerhalb einer Sand- oder Schluffschicht entstehen spezifisch Steinsalz-Granokristalle; **b)** bei der diagenetischen Kompression des Sedimentkörpers werden diese aus ihrer Mutterschicht teilweise herausgedrückt und dringen in die benachbarten Horizonte ein; **c)** nach Rücklösung des Steinsalzes verbleibt der Sandkörper der Granokristalle als Füllung der in die Hangend- und Liegendhorizonte eingepprägten Kristallmarken (grau: Ton, gelb: Sand oder Schluff, hellgelb: Halit-Granokristalle).

Schließlich konnte gezeigt werden, dass bei vielen Marken die Menge des zur Verfüllung nachgesackten Sediments (beim Hyporelief) bzw. diapirartig aufgestiegenen Sediments (beim Epirelief) größer ist als der weggelöste Salzanteil eines entsprechenden Granokristalls (HAUDE, 1970). Der Regelfall dürften demzufolge zweiteilige Kristalle an der Grenzfläche zwischen Sand/Schluff und Ton sein, wobei der im Ton befindliche Teil als reiner Halitkristall ausgebildet ist, während der in das gröber klastische Material übergreifende Teil als Granokristall vorliegt. Gemäß dieser Theorie waren nur diejenigen Kristalle als Marken erhaltungsfähig, die über die Sedimentgrenzflächen hinaus wuchsen.

Das Playa-Faziesmodell

HAUSCHKE & VATH (2003) verbanden die Feststellungen HAUDES (1970) mit eigenen lithostratigraphischen und sedimentologischen Befunden aus dem Röt und dem Gipskeuper zu einem Modell, das Steinsalzkristallmarken als Grenzflächenphänomen in einer Playa-Fazies interpretiert.

In einem Playasee (ephemerer oder periodischer See in einer Salztonebene der semiariden bis ariden Klimazonen) kommt es üblicherweise zur Ablagerung von zunächst einer Wechsellagerung von Sand-/Silt- und Tonschichten während einer Phase verstärkten fluvialen Sedimenteintrags. Gleichzeitig weisen die zuströmenden Wässer eine überdurchschnittlich hohe Konzentration an gelösten Salzen auf, die aus dem Verwitterungsschutt des Umlands stammen. Lässt der Wasserszustrom nach, entsteht eine Abfolge von Tonen und lakustrinen Karbonaten in einer Stillwasserfazies (Playasee-Phase). Das ephemere Gewässer trocknet schließlich aus (Playa-Phase), und Grundwasser steigt kapillar in dem Sedimentkörper auf. Hierbei kommt es zur Steigerung des Salzgehalts im Grundwasser. Auf der Oberfläche der Playa entsteht eine Salzkruste, im Bereich des kapillaren Wasseraufstiegs (vadose Zone) bilden sich Sulfatknollen, während im Grundwasserbereich (phreatische Zone), bevorzugt in den sandig-siltigen Schichten, Steinsalzwürfel aus der übersättigten Lösung kristallisieren. Hierbei kommt es zur Ausbildung von zweiteiligen Kristallen: Im sandig-siltigen Schichtglied wachsen Granokristalle, ihre Fortsetzung in das tonige Hangend- bzw. Liegendsediment kann sich als reiner Halitkristall bilden.

Während der nächsten Feuchtphase wird vor allem der leicht lösliche Halit rückgelöst, in dem noch unverfestigten Sediment kommt es zu den von HAUDE (1970) beschriebenen Sackungs- und Diapireffekten, die die Negative der Steinsalzwürfel in der angrenzenden Tonschicht verfüllen. Während dieser Phase kann in den oberflächennahen Sedimenten außerdem Bodenbildung stattfinden. Die weitere Diagenese führt schließlich zur Verfestigung der Sedimente und damit zur Fixierung der Marken.

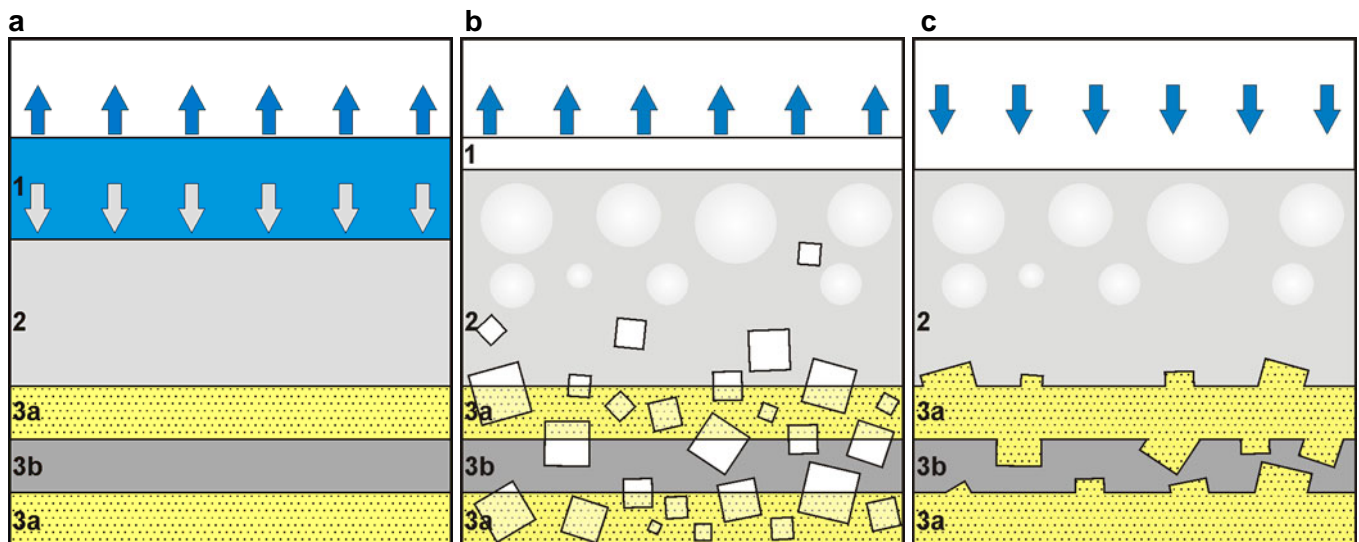


Abb. 12: Playa-Modell nach HAUSCHKE & VATH (2003, verändert):

a) Späte Playasee-Phase: Tonige und karbonatische Sedimentation bedeckt die Sedimente der frühen Phase, der freie Wasserkörper wird durch Verdunstung reduziert (1: Wasserkörper, 2: tonige und karbonatische Sedimente, 3: Sand oder Schluff (a), Ton (b)).

b) Playa-Phase: Im Bereich des Grundwasserkörper wachsen intrasedimentäre Steinsalz-Kristalle, die im Bereich der sandig-schluffigen Horizonte als Granokristall und in den tonigen Horizonten als reiner Halitkristall ausgebildet sind, aus der übersättigten Lösung (3a/b), in der darüber liegenden vadosen Zone fallen Sulfate aus dem kapillar aufsteigenden Wasser aus (2, mit Sulfatknollen), an der Oberfläche führt die Evaporation zur Entstehung einer Salzkruste (1).

c) Erneut zutretende, untersättigte Wässer lösen die leicht löslichen Salze an der Oberfläche und in den noch unverfestigten Sedimenten. Das Material der Sand-/Schluffhorizonte verfüllt gravitativ und durch den Auflastdruck die von den reinen Halitkristallen hinterlassenen Hohlräume in den jeweils hangend und liegend angrenzenden tonigen Horizonten.



Abb. 13: Playa-Fazies im Mittelkeuper (Coburger Sandstein, Ebelsbachtal). Oben: Zyklische Abfolge von Sandsteinen, Tonen und Mergeln. **Unten:** Sandsteinbank mit Steinsalzkrystallmarken auf der Grenzfläche zu den liegenden Tonen (Fotos: Ralf Hildner, Bayreuth).



Abb. 14: Handstück aus der in Abb. 13 gezeigten Sandsteinbank. Oben: Gesamtansicht der Bankunterseite mit Steinsalzkristallmarken. **Unten:** Detail der Oberfläche mit Marken, die teilweise Skelettkristalle abbilden (Kantenlänge max. 7 mm).



Abb. 15: Sandsteinplatte mit Wellenrippeln und Steinsalzkristallmarken auf der Oberseite (Gipskeuper, Untere Bunte Estheriensichten, Speinshart). Oben: Gesamtansicht der Platte. Unten: Marke eines Skelettkristalls.



Abb. 16: Sandsteinplatte mit Wellenrippeln und Steinsalzkrystallmarken auf der Oberseite (Gipskeuper, Untere Bunte Estheriensichten, Speinshart). Oben: Gesamtansicht der Platte, die Rippelkämme sind erosiv gekappt. **Unten:** Detailaufnahme der Oberfläche.



Abb. 17: Echte Steinsalzpseudomorphosen von Gips und Calcit nach Halit (Permoskyth, Altenmarkt (Österreich)). Die Marmorierung des Mergels rührt von Paläo-Bodenbildungsprozessen her, wie sie während Feuchtphasen in den oberflächennahen Sedimenten einer Playa ablaufen. Innerhalb des homogenen Sediments fand keine Verfüllung der von rückgelösten Halitwürfeln hinterlassenen Hohlräume statt, so dass darin später andere Mineralien xenomorph auskristallisieren konnten.

Dank

Herrn Ralf Hildner, Bayreuth, und Herrn M. Sc. Johannes Kalbe, Universität Potsdam, für die Erlaubnis zur Verwendung ihrer Fotos. Herrn Berthold Lumplecker, Großraming, für die Überlassung des Belegstücks von Abb. 17. Herrn Dipl.-Geol. Robert Ernst für Literaturhinweise.

Literatur

HAUDE, R. (1970): Die Entstehung von Steinsalz-Pseudomorphosen. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **H.1**: 1-10, Stuttgart.

HAUSCHKE, N., STRAUB, C. & WITZKE, T. (2011): Die Bildung pyramidaler Halit-Hopper in eindunstenden Wasserpfützen bei Teutschenthal (Sachsen-Anhalt), in der Saline von Halle (Saale) und im Keuper Nordwestdeutschlands. - Der Aufschluss, **62/6**: 333-344, Heidelberg.

HAUSCHKE, N. & VATH, U. (2003): Zur Bildung und geologischen Überlieferung würfelförmiger und pyramidaler Steinsalzkristalle in der Germanischen Trias. - Beitr. Geol. Thüringen, N. F. **10**: 53-73, Jena.

LINCK, O. (1946): Die sogenannten Steinsalz-Pseudomorphosen als Kristall-Relikte. – Abh. senckenberg. naturf. Ges., **470**: 1-50, Frankfurt.