

Salzige Fliesen

Im Badwater Basin des Death Valley entstehen durch dichtegetriebene Konvektionsrollen regelmäßig geformte Strukturen.

Ralf Stannarius



Die Natur überrascht uns auf vielfältige Weise mit regelmäßigen, wie von Menschenhand geformten Strukturen, die einen faszinierenden Reiz auf den Betrachter ausüben und nicht selten den Wunsch erwecken, die zugrundeliegenden physikalischen Mechanismen zu verstehen. Beispiele dafür sind fliesenartige Texturen in Salzwüsten [1], aber auch wandernde Dünen [2], Basaltsäulen [3], Risse auf ausgetrocknetem Boden [4], Frostmusterböden [5], Erosionsmuster an Böschungen und viele mehr, auf sehr unterschiedlichen Größenskalen.

Das Death Valley im Osten Kaliforniens versammelt eine Vielzahl solcher Strukturen. Ein Besuch lohnt sich also auch bei Interesse an außergewöhnlichen Naturphänomenen. Extreme klimatische Bedingungen sorgen dafür, dass selbstorganisierte Muster nicht nur spontan entstehen, sondern auch ausdauernd konserviert bleiben. So formt der zum großen Teil unterirdisch verlaufende Amargosa-Fluss ausgeprägte Mäander [6] im

Süden des Tales (**Abb. 1b**), bevor er im Badwater Basin endet. Ein beeindruckendes Rätsel, für das erst 2014 eine mögliche Lösung präsentiert wurde [7], stellen die wandernden Steine (**Abb. 1d**) auf dem Racetrack dar, einem fast immer trockenen ebenen Seeboden im Norden. Die teilweise Dutzende Kilogramm schweren Steine hinterlassen Spuren, die sich über hunderte Meter erstrecken können. Zudem bildet dieser ungewöhnliche See beim Austrocknen nach den seltenen Niederschlägen sehr regelmäßige polygonale Muster von Trocknungsrisse aus (**Abb. 1e**), typischerweise in der Größenordnung von zehn Zentimetern.

Ebenso faszinierend ist das Badwater Basin, eine etwa hundert Quadratkilometer große Salztonebene inmitten des Death Valley. Einen großen Teil davon bedecken polygonale Salzschollen mit Durchmesser von etwa einem Meter. Jede der Schollen umgibt ein um wenige Zentimeter erhöhter Grat der Salzkruste (**Abb. 1a,c**).

Es erscheint zunächst naheliegend, für diese Muster ähnliche physikalische Ursachen zu vermuten wie für Trocknungsrisse in Lehm Böden oder austrocknendem Maisstärkebrei in einer flachen Schale. Für die Risse sorgen dort Spannungen in der Oberfläche, die auftreten, wenn sich das Material durch Flüssigkeitsverlust zusammenzieht.

Unter Federführung von Jana Lasser von der TU Graz hat sich ein Forschungsteam aus Göttingen und Großbritannien nun genauer mit der Entstehung dieser Salzkrustenwaben beschäftigt [1]. Sein Modell legt nahe, dass es sich um einen vollkommen anderen physikalischen Mechanismus handelt, nämlich um dichtegetriebene Konvektion. Damit solche Strukturen entstehen, muss zum Beispiel die Verdunstungsrate deutlich über der mittleren lokalen Niederschlagsmenge liegen. Das ist im Badwater Basin zweifellos erfüllt: Die Verdunstung übersteigt den jährlichen Niederschlag von etwa 50 mm

◀ **Abb. 1** Das Death Valley ist reich an faszinierenden Strukturen, wie den Mäandern des Amargosa-Flusses (b), wandernden Steinen im Racetrack Valley (d), polygonalen Mustern von Trocknungsrisen auf dem Racetrack (e) sowie polygonalen Salzschohlen von ungefähr einem Meter Durchmesser im Badwater Basin (a, c). Alle Fotos: Ralf Stannarius

um fast das Achtzigfache, wobei der Grundwasserzufluss die Wasserbilanz ausgleicht. Die Verdunstung hinterlässt an der Oberfläche eine salzigere, schwerere Salzlösung als in der Tiefe. Diese instabile Schichtung führt zur Ausbildung von Konvektionszellen – ähnlich wie bei einer von unten geheizten Flüssigkeitsschicht, bei der es zur Rayleigh-Bénard-Konvektion kommt. Die schwerere Salzlösung sinkt an den Rändern der Wabenzelle nach unten, während weniger salzhaltige Lösung in der Mitte der Zelle aufsteigt (**Abb. 2**). An der Oberfläche bildet auskristallisierendes Salz fliesenartige Polygone. In der aktuellen Arbeit hat das Team um Jana Lasser Feldstudien mit Experimenten und numerischen Simulationen kombiniert [1]. Das Wachsen dieser Strukturen ist in einem Zeitraffer-Video festgehalten [8].

Ihr neu entwickeltes Modell basiert auf drei gekoppelten Differentialgleichungen: der Kontinuitätsgleichung für inkompressible Fluide, einer Advektions-Diffusionsgleichung für die Salzkonzentration und dem Darcy-Gesetz für die Strömung eines Fluids durch ein poröses Medium. Das Gleichungssystem verknüpft die

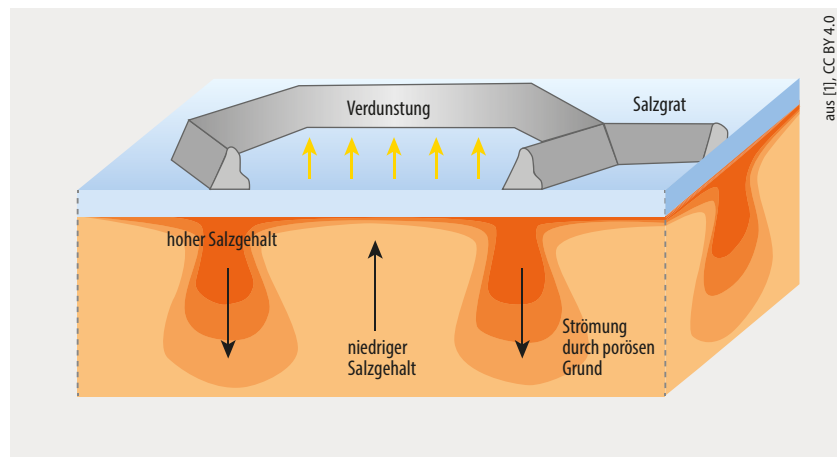


Abb. 2 In der strukturierten Salzkruste fließt die Salzlösung je nach Salzgehalt des Wassers (Orangetöne) in verschiedene Richtungen (schwarze Pfeile). An der Oberfläche verdunstet das Wasser (gelbe Pfeile) und flache Platten mit Graten aus Salz bleiben zurück.

Transportgeschwindigkeit der Flüssigkeit mit dem Salzgehalt, der wiederum die lokale Dichte bestimmt. Eine unter anderem von der Porosität des Bodens und der Verdunstungsrate abhängige dimensionslose Rayleigh-Zahl entscheidet über die Stabilität dieses Systems. Um das Modell zu überprüfen, haben die Forscherinnen und Forscher die Rayleigh-Zahl in Feldversuchen vor Ort bestimmt. Zur weiteren Bestätigung diente ein Laborexperiment in einer flachen Hele-Shaw-Zelle, in der Glaskügelchen unterschiedlicher Größen das poröse Medium bilden.

Ähnliche regelmäßige Salzschohlen wie die hier beschriebenen finden sich in vielen anderen Salzwüsten, zum Beispiel im Owens Lake in Kalifornien oder im Salar de Uyuni in Bolivien. Die vorliegende Studie könnte somit einen wichtigen Schlüssel für

die Erklärung von regelmäßigen geologischen Mustern liefern, die an vielen Stellen der Erde zu finden sind.

- [1] J. Lasser et al., Phys. Rev. X **13**, 011025 (2023)
- [2] J. F. Kok et al., Rep. Prog. Phys. **75**, 106901 (2012)
- [3] I. J. Smalley, Geological Mag. **103**, 110 (1966)
- [4] L. Goehring et al., Desiccation Cracks and their Patterns, Wiley-VCH, Weinheim 2015
- [5] M. A. Kessler et al., J. Geophys. Res. **106**, 13287 (2001); M. A. Kessler und B. T. Werner, Science **299**, 380 (2003)
- [6] A. Ielpi, GSA Bulletin **131**, 782 (2019)
- [7] R. D. Norris et al., PLOS One **9**, e105948 (2014)
- [8] <https://youtu.be/66Dymcm18VU>

Der Autor

Prof. Dr. Ralf Stannarius, Institut für Physik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg

Kurzgefasst

Mehr Temperatur macht suprafest

Ein dipolares Gas von Dysprosium-Atomen liegt nahe des absoluten Temperatur-Nullpunkts als Suprafluid vor. Beim Erwärmen geht es in einen suprafesten Zustand über. Dieses der Intuition widersprechende Verhalten hat eine österreichische Forschungsgruppe nachgewiesen und in Kollaboration mit einer dänischen Theoriegruppe nun erklärt. Gemäß ihrem Modell sorgen thermische Fluktuationen und die anisotrope Dipol-Dipol-Wechselwirkung dafür, dass die Dy-Atome zwischen 80 und 120 nK kristall-

artige Strukturen bilden. Damit liegt erstmals ein Phasendiagramm vor, das zeigt, wie suprafeste Zustände in Abhängigkeit von der Temperatur entstehen.

J. Sánchez-Baena et al., Nat. Commun. **14**, 1868 (2023)

Perfekt aufgebrüht

Um Espresso mit feiner Crema aufzubrühen, braucht es die richtigen Bohnen und den perfekten Mahlgrad. Immer feiner gemahlene Körner garantieren nur bis zu einem

Grenzwert, dass sich diese im heißen Wasser lösen und die mehr als 2000 Inhaltsstoffe ausgewogen abgeben. Das neue Modell eines britischen Trios erklärt dies mit dem komplizierten Wechselspiel von Porosität und Durchlässigkeit des Pulvers: Wo anfangs zwischen den Körnern mehr Raum ist, bilden sich schneller Lücken. Das Wasser strömt nicht überall gleich schnell, sodass sich im Mittel weniger Inhaltsstoffe lösen.

W. T. Lee et al., Phys. Fluids **35**, 054110 (2023)

