

Elektrisierende Turbulenz

Numerische Simulationen erklären, wie die starken elektrischen Felder entstehen, die Sandstürme begleiten.

Eric Parteli

Der äolische Sandtransport, also der Transport von Sand durch Wind, erzeugt riesige Sanddünen, formt die Küstengebiete der Erde und nimmt eine zentrale Rolle bei der Ausbreitung von Wüstengebieten ein. Der wichtigste Transportmechanismus ist dabei die Saltation. Vom Wind beschleunigt, bewegen sich die Sandkörner sprungweise und verursachen bei der Kollision mit dem Sandboden einen Splash, der neue Partikel in Bewegung setzt. Dabei entsteht nahe dem Boden eine etwa 10 bis 20 Zentimeter hohe Saltationswolke, durch die Sandwüsten entstehen können [1].

Doch nicht nur der Wind agiert als treibende Kraft. Bereits im 19. Jahrhundert untersuchte Michael Faraday, warum Sandstürme oft von heftigen Blitzen begleitet werden: Die elektrischen Felder erreichen Feldstärken von 100 kV/m bis mehrere MV/m [2, 3]. Experimente haben belegt, dass solche Feldstärken die minimale Windgeschwindigkeit, die für den Sandtransport notwendig ist, deutlich reduzieren können [4]. Nun haben Simulationen gezeigt, dass Turbulenz die elektrischen Felder stabilisiert [5].

Die statische Elektrizität im äolischen Sand scheint auf der spontanen



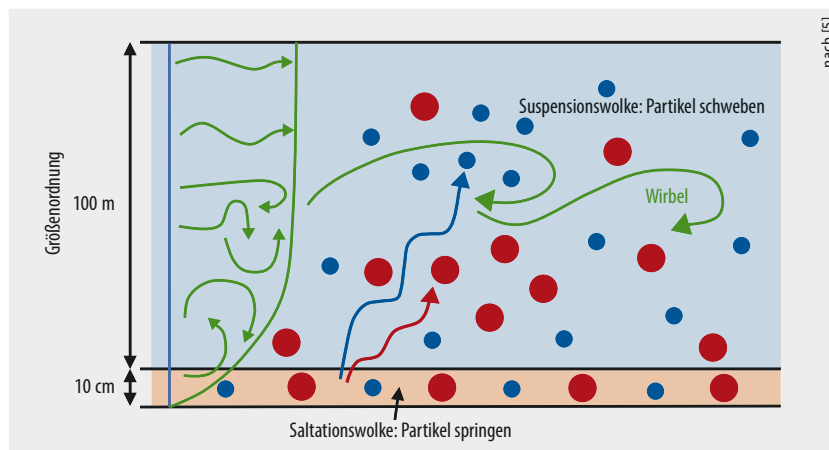
Adobe Stock / LBB-Stadt-Land-Foto

Sandsturm im israelischen Nationalpark Timna am Rande der Negev-Wüste

Reibungsaufladung der Sandkörner zu beruhen. In der Saltationswolke laden sich die Körner durch zahlreiche Partikel-Partikel-Stöße gegenseitig elektrisch auf. Dieser triboelektrische Effekt ist trotz großer Anstrengung bisher nur wenig verstanden [6]. Er sorgt für Gewitter in Aschewolken bei Vulkanausbrüchen und für verheerende Explosionen in der industriellen Fertigung. Selbst Planeten entstehen durch Triboelektrizität, die es ermöglicht, stabile Planetesimale aus interstellarem Staub zu bilden [7].

Bisher ist unklar, wie sich Isolatoren bzw. Partikel aus identischen Materialien gegenseitig durch bloße Kollisionen aufladen können. Theoretische Ansätze aus Quantenmechanik, Oberflächenchemie und Statistische Physik versuchen zu erklären, wie Elektronen und Ionen ausgetauscht werden und welche Teilchen sich positiv bzw. negativ aufladen. Fraglich ist, wieviel Ladung beim Kontakt übertragen wird und welche Rolle die Materialeigenschaften und Partikelform spielen [6]. In granularen Systemen beruht das aktuelle Wissen über die Reibungsaufladung hauptsächlich auf Experimenten. Zum Beispiel zeigen rein empirische Beobachtungen, dass die kleineren Partikel in einem polydispersen Ensemble gleicher chemischer Zusammensetzung sich eher negativ aufladen, während die größeren Teilchen die positive Ladung transportieren. Das passiert auch im äolischen Sand: Die kleinsten Körnchen der Saltationswolke – Feinsandpartikel mit Durchmessern von etwa 0,07 bis 0,2 mm – tragen die negative Ladung, Mittelsandpartikel mit 0,2 bis 0,6 mm Durchmesser die positive [8].

Aber wie entstehen aus den Stößen in der Saltationswolke stabile elek-



nach [5]

Abb. 1 Die turbulenten Verwirbelungen der Luftströmung verursachen eine Teilchensegregation nach deren Größe. So entstehen Gruppierungen negativ geladener Feinsand (blau) und positiv geladener Mittelsandkörner (rot) in der Suspensionswolke.

trische Felder mehrere Meter über dem Boden? Die strömungsmechanischen Large-Eddy-Simulationen von Mustafa Rahman und Kollegen von der King Abdullah University of Science & Technology in Saudi-Arabien haben gezeigt, dass Turbulenz dafür verantwortlich ist [5]. Während eines Sandsturms entstehen in der turbulenten atmosphärischen Grenzschicht großflächige Luftverwirbelungen mit einer charakteristischen Höhe von etwa hundert Metern. Heben solche Verwirbelungen ein Teilchen über die Saltationswolke hinaus, bewegt es sich schwebend weiter (Suspension). Je kleiner das Teilchen ist, umso empfindlicher reagiert seine Flugbahn auf turbulente Fluktuationen der Luftströmung.

Typische Winderosionsmodelle konzentrieren sich auf die Saltation und ignorieren die Dynamik von Sandteilchen in der Schwebelage völlig. Die neuen Large-Eddy-Simulationen untersuchen diese Dynamik, die sich als Schlüssel zum Verständnis der Elektrizität in Sandstürmen herausstellte. Die Feinsandkörner folgen aufgrund ihrer geringeren Größe den turbulenten Luftströmungen besser als die Mittelsandkörner, was zu Gruppierungen von Partikeln unterschiedlicher Größen innerhalb der Suspensionswolke mehrere Meter über dem Boden führt (Abb. 1). Weil die Feinsandkörner sich jedoch zuvor negativ aufgeladen haben und die Mittelsandkörner positiv, führt die-

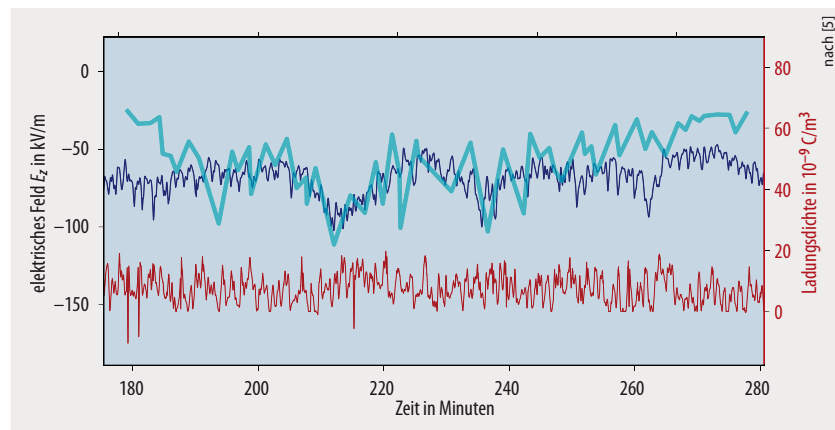


Abb. 2 Ein Vergleich der vertikalen Komponente E_z des elektrischen Feldes in einer Höhe von 14,2 Metern zeigt, dass die Messung während eines Sandsturms in der Tengeli-Wüste (hellblau) gut zu der Large-Eddy-Simulation (dunkelblau) passt. Die Simulation stellt als weiteres Ergebnis auch die Ladungsdichte auf dieser Höhe zur Verfügung (rot).

se Teilchensegregation nach Größe letzten Endes zur Ladungstrennung. Nach den Simulationen verhalten sich die dadurch entstehenden elektrischen Felder hinsichtlich ihrer Intensität und zeitlicher Fluktuationen genauso wie diejenigen eines echten Sandsturms (Abb. 2).

Die Simulationen zeigten auch, dass die elektrische Feldstärke E mit der Partikelkonzentration n in der Suspensionswolke gemäß $E \propto n^{2/3}$ skaliert. Denn es gilt für den charakteristischen Abstand R der Teilchen: $R \propto n^{-1/3}$ und $E \propto R^{-2}$ [5]. Es steht noch aus, diese Vorhersage experimentell zu bestätigen. Im Modell treten die Felder ausschließlich bei turbulenten Strömungen auf und nicht bei laminaren [5].

Mit den neuen Large-Eddy-Simulationen lassen sich bisherige Winderosionsmodelle um den turbulenten Partikeltransport in der Schwebelage und die damit verbundene statische Elektrizität erweitern. Das erlaubt es, die Frage anzugehen, welche Rolle kleinere Staubpartikel ($< 70 \mu\text{m}$) spielen, die sich grundsätzlich schwebend bewegen. Interessant ist zudem, ob die Vorgänge auch bei der Bildung von Dünen auf Mars oder Pluto auftreten [9]. Dazu ist es nötig, die Reibungsaufladung besser zu verstehen [6].

Einen empirischen Test könnte der Klimawandel liefern: Wenn in dessen Folge die atmosphärische Turbulenz zunimmt, sollten in Zukunft auch Wüstengewitter öfter auftreten.

Kurzgefasst

Älteste Karbonate nachgewiesen

Der 2019 in Norddeutschland niedergegangene Flensburg-Meteorit enthält die ältesten Karbonate unseres Sonnensystems. Aus dem 24,5 Gramm schweren, wenige Zentimeter großen Bruchstück eines kohligen Chondriten konnten Forschende aus Europa, Australien und den USA winzige Karbonatkörner extrahieren und mithilfe des radioaktiven Isotops ^{55}Mn auf ein Alter von 4,5 Mrd. Jahren datieren. Darüber hinaus belegt die Zusammensetzung der Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope, dass die Karbonate in einem heißen Fluid entstanden, also flüssiges Wasser vorlag.

A. Bischoff et al., *Geochim. Cosmochim. Acta* **293**, 142 (2021)

Tausend Jahre Sonnenaktivität

Mithilfe uralter Baumscheiben rekonstruierte ein internationales Forschungsteam die Sonnenaktivität lückenlos bis ins Jahr 969. Die zeitliche Auflösung beträgt ein Jahr. Das gelang durch den hochpräzisen Nachweis von ^{14}C in jedem Jahresring mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie. Das radioaktive Isotop entsteht in der Atmosphäre in Abhängigkeit von der Sonnenaktivität. Die Daten zeigen, dass die Sonne in den Jahren 993, 1052 und 1279 besonders aktiv war. Mit den Baumring-Archiven für die letzten 14 000 Jahre soll nun die Aktivität bis zum Ende der letzten Eiszeit bestimmt werden.

N. Brehm et al., *Nat. Geosci.* **14**, 10 (2021)

- [1] J. F. Kok et al., *Rep. Prog. Phys.* **75**, 106901 (2012)
- [2] D. S. Schmidt et al., *J. Geophys. Res.* **103**, 8997 (1998)
- [3] H.-F. Zhang et al., *Chin. J. Geophys.* **47**, 53 (2004)
- [4] J. F. Kok und N. O. Renno, *Geophys. Res. Lett.* **33**, L19S10 (2006)
- [5] M. M. Rahman et al., *Phys. Rev. Res.* **3**, L012008 (2021)
- [6] D. J. Lacks und T. Shinbrot, *Nat. Rev. Chem.* **3**, 465 (2019)
- [7] T. Steinpilz et al., *Nat. Phys.* **16**, 225 (2020)
- [8] X. J. Zheng et al., *J. Geophys. Res.* **108**, 4322 (2003)
- [9] M. Telfer et al., *Science* **360**, 992 (2018)

Der Autor

Dr. Eric Parteli, Fakultät für Physik, Universität Duisburg-Essen, Lotharstr. 1, 47057 Duisburg