

Priv.-Doz. Dr. Axel Pelster, Fachbereich Physik und Forschungszentrum OPTIMAS, Technische Universität Kaiserslautern, Erwin-Schrödinger-Straße 46, 67663 Kaiserslautern

Den Bonner Physikern ist es außerdem gelungen, den Reservoirtyp und damit die Ensemblebedingungen gezielt zu verändern: Zum einen ist die Zahl der Farbstoffmoleküle variierbar. Zum anderen lässt sich über die chemische Zusammensetzung der Moleküle deren Anregungsfrequenz gegenüber der Frequenz der Kavitätsmode verschieben, was die Kopplung des Photonengases an das Teilchenreservoir beeinflusst. Diese beiden Kontrollparameter erlauben es, die effektive Größe des Teilchenreservoirs um etwa drei Größenordnungen zu modifizieren. Ist das Teilchenreservoir klein ge-

nug, verschwinden schließlich die relativen Fluktuationen der Kondensatteilchenzahl  $\delta N_0/N_0$  sogar, was dem kanonischen Ensemble entspricht (Abb. 1b). Die gemessene Photonenstatistik beim kontinuierlichen Übergang zwischen großkanonischem und kanonischem Ensemble lässt sich mit Hilfe eines einfachen statistischen Modells sogar quantitativ verstehen [8]. Damit ist es erstmalig gelungen, einen vom Ensemble abhängigen statistischen Effekt in einem Bose-Einstein-Kondensat experimentell zu detektieren. In Zukunft wird zu untersuchen sein, inwieweit ein solches gezieltes Reservoirdesign

auch bei anderen Bose-Einstein-Kondensaten möglich ist.

Axel Pelster

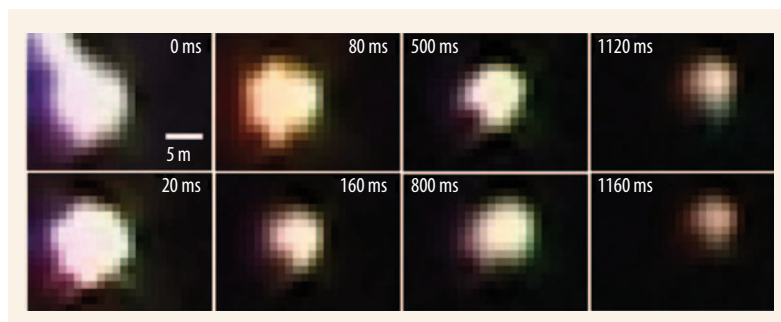
[1] J. Klaers, J. Schmitt, F. Vewinger und M. Weitz, *Nature* **468**, 545 (2010)  
 [2] A. Pelster, *Physik Journal*, Januar 2011, S. 20  
 [3] J. Schmitt et al., *Phys. Rev. Lett.* **112**, 030401 (2014)  
 [4] F. Schwabl, *Statistische Mechanik*, 3. Auflage, Springer, Berlin (2006)  
 [5] M. Holthaus, E. Kalinowski und K. Kirsten, *Ann. Phys. (N.Y.)* **270**, 198 (1998)  
 [6] R.M. Ziff, G.E. Uhlenbeck und M. Kac, *Phys. Rep.* **32**, 169 (1977)  
 [7] J. Klaers, F. Vewinger und M. Weitz, *Nat. Phys.* **6**, 512 (2010)  
 [8] J. Klaers et al., *Phys. Rev. Lett.* **108**, 160403 (2012)

## ■ Kugelblitz in freier Wildbahn

In China ist es erstmals gelungen, einen Kugelblitz gleichzeitig zu filmen und spektroskopisch zu untersuchen.

Nach jedem meiner Vorträge über Entladungen in und um Gewitterwolken [1] fragt unvermeidlich jemand aus dem Publikum nach Kugelblitzen. Das ist eigentlich erstaunlich, denn die meisten Menschen – zumindest in West-Europa – haben noch nie einen gesehen. Dennoch scheinen sie interessanter zu sein als die gewaltigen Blitze, die sich vor unseren Augen ereignen – insbesondere bei einem Urlaub am Mittelmeer oder in den Tropen. Wahrscheinlich liegt die Attraktion darin, dass Kugelblitze sich durch ihre Seltenheit bislang der wissenschaftlichen Erforschung im Wesentlichen entzogen haben und die Wissenschaft herauszufordern scheinen.

Chinesischen Wissenschaftlern ist es jetzt aber gelungen, einen Kugelblitz „in freier Wildbahn“ genau zu beobachten und zu vermessen – ein echter Glückstreffer [2]. Das eigentliche Ziel der Untersuchung auf einer Hochebene im Nordwesten Chinas war, das Spektrum von Wolke-Erde-Blitzen zu messen, die dort sehr häufig auftreten. Bei einer Messung erzeugte ein solcher Blitz an seinem Einschlagpunkt eine runde Leuchterscheinung, die anschließend noch 1,64 Sekunden lang zu



Die vergrößerten Farbbilder des Kugelblitzes zeigen einen deutlichen Farb-

wechsel, der im Einklang mit den spektroskopischen Beobachtungen ist.

sehen war. Das Ereignis hielt eine digitale Videokamera mit 50 Bildern pro Sekunde fest und zeitweise auch eine Hochgeschwindigkeitskamera mit 3000 Bildern pro Sekunde. Vor den Kameralinsen waren jeweils Transmissionsbeugungsgitter montiert, um das Spektrum aufzunehmen. Die Beobachtung war zudem GPS-kontrolliert.

Anhand der Verzögerung des Donners gegen den Blitz und aufgrund der Bilder des Blitzereignisses in einen Hang ließ sich die Entfernung auf 900 Meter abschätzen. Der glühende Ball hatte demnach einen Durchmesser von etwa fünf Metern und bewegte sich in der Bildebene mit 8,6 m/s seitwärts und gleichzeitig leicht aufwärts, wobei er wahrscheinlich vom Boden abhob.

Die neuseeländischen Chemiker John Abrahamson und James Dinniss schlugen vor 15 Jahren eine viel versprechende Theorie dafür vor, wie bei einem Blitzeinschlag im Boden eine runde, sekundenlange Leuchterscheinung entstehen kann [3, 4]. Ausgangspunkt ist die bekannte Tatsache, dass Blitze die Gesteine an ihrem Einschlagpunkt aufschmelzen und im Boden Fulgurite („Blitzverglasung“) bilden können. Dabei verdampft ein Teil des in der Regel silikathaltigen Bodens. In Folgeereignissen löst der ebenfalls enthaltene Kohlenstoff den Sauerstoff der Silikate. Es entsteht ein heißes Gas aus Siliziumatomen. Diese können filamentartige Netzwerke bilden, ähnlich wie aus Kohlenstoff ausgedehnte Struk-

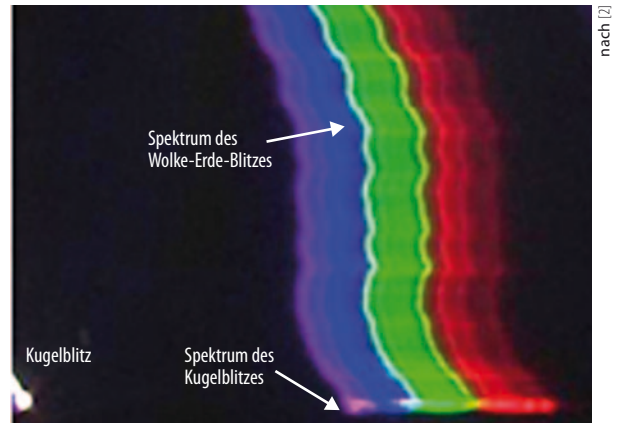
turen (Graphen, Bucky Balls etc.) entstehen. Die Silizium-Filamente oxidieren an der Luft, glühen und könnten so als Kugelblitze wahrgenommen werden. In diesem Fall sollten atomare Emissionslinien von Silizium und anderen Elementen aus dem Boden im Spektrum nachzuweisen sein.

Die spektroskopischen Beobachtungen in China zeigen solche Linien. Der Wolke-Erde-Blitz selbst emittierte die erwarteten Stickstoff- und Sauerstofflinien. Die waren auch im Kugelblitz noch zu sehen, zusammen mit zusätzliche Linien von Silizium, Eisen und Kalzium, also von typischen Elementen des Erdbodens. Aluminium wäre als Bodenelement ebenfalls zu erwarten gewesen, aber Aluminium hat keine wesentlichen Emissionslinien im erfassten Spektralbereich.

Da direkte Beobachtungen so selten sind, gibt es Versuche, Kugelblitze im Labor herzustellen. Inspiriert durch die Ideen von Abrahamson und Diniss haben Paiva et al. mit einer Bogenentladung einen Teil

eines Silizium-Wafers verdampft [5, 6]. Die entstandenen glühenden Bälle hatten eine Lebensdauer von bis zu 8 Sekunden, waren allerdings nur 1 bis 4 cm groß. In einer anderen Art von Experimenten wurde Salzwasser Hochspannungsimpulsen ausgesetzt [7, 8]. Dabei entstehen aufsteigende Bälle von 10 bis 20 cm Durchmesser, die allerdings nur rund eine halbe Sekunden bestehen und in ihrer Endphase durch die aufsteigende Bewegung eher einem Atompilz ähneln. All diese Erscheinungen haben gemeinsam, dass hohe elektrische Spannungen und Ströme Materie verdampfen, die danach eine kugelförmige glühende relativ stabile Struktur bildet, die über Sekunden stabil ist. Welche Materialien noch auf eine solche Weise verdampfen können und danach stabile Strukturen formen, ist bislang nicht untersucht.

Weil verschiedene Materialien Kugelblitz-artige Erscheinungen hervorrufen können, lässt sich verstehen, warum Kugelblitze so eine breite Skala von Farben, Größen



Das erste Bild der Videokamera zeigt die Erzeugung des Kugelblitzes (unten links). Das dazugehörige Spektrum ist unterhalb des Spektrums des Blitzes als schmaler Streifen zu erkennen.

und Lebensdauern zeigen. Allerdings erklärt die Verdampfungstheorie nicht, wie Kugelblitze ohne Blitzeinschläge in ihrer unmittelbaren Nähe entstehen können, wie zuweilen auch berichtet wird [9].

Ein interessantes Detail der chinesischen Beobachtung ist übrigens eine Oszillation des Kugelblitzes mit einer Frequenz von ungefähr 99,4 Hz. Das konnte die schnelle Filmkamera festhalten [2]. Wie Cen et al. vermuten, könnte eine 50 Hz-Hochspannungsleitung, die in horizontaler Richtung nur 20 Meter entfernt war, eine Resonanz im Kugelblitz angeregt haben. Ob diese Hochspannungsleitung auch eine Rolle bei der Erzeugung des Phänomens spielte, war nicht festzustellen. Aber vielleicht gelangen weitere glückliche Beobachtungen von Kugelblitzen oder neue Experimente, die uns ein besseres Verständnis beschieren.

Ute Ebert

## PRÄHISTORISCHE MUSTERBILDUNG

MPI für Dynamik und Selbstorganisation



In Namibia, im schwedischen Öland, aber auch in der Nähe von Helmstedt und Göttingen sind solche Muster aus geschwungenen, parallel verlaufenden Rillen in der Oberfläche von Sand- oder Schluffstein zu finden. Forscher des MPI für Dynamik und Selbstorganisation und der Universität Göttingen haben kürzlich gezeigt, wie diese sog. Kinneyia-Formationen vor mehr als 2500 Millionen Jahren entstanden sind. Demnach bilden sich die Rillen durch

Selbstorganisation, wenn Wasser über 0,5 bis 4 Millimeter dünne Biofilme aus Mikroben, Algen und Pilzen strömt, weil die Grenzfläche zwischen Wasser und Biofilm instabil ist. Unter günstigen geologischen Bedingungen versteinerten die Muster und blieben so bis heute erhalten.

K. Thomas, S. Herminghaus, H. Porada und L. Goehring, Phil. Trans. R. Soc. A 371, 20120362 (2013)

- [1] U. Ebert, Wenn der Funke überschlägt, Physik Journal, Dezember 2009, S. 39
- [2] J. Cen, P. Yuan und S. Xue, Phys. Rev. Lett. **112**, 035001 (2014)
- [3] J. Abrahamson und J. Diniss, Nature **403**, 519 (2000)
- [4] Themenheft über Kugelblitze, Phil. Trans. Roy. Soc. A **360**, 1 (2002)
- [5] G. Paiva et al., Phys. Rev. Lett. **98**, 048501 (2007)
- [6] U. Ebert, Kugelblitz ohne Plasma?, Physik Journal, März 2007, S. 18
- [7] A. E. Egorov, S. I. Stepanov und G. D. Shabanov, Phys. Usp. **47**, 99 (2004)
- [8] A. Versteegh et al., Plasma Sources Sci. Technol. **17**, 024014 (2008)
- [9] V. A. Rakov und M. A. Uman, Lightning, Cambridge University Press, Cambridge (2003)

Prof. Dr. Ute Ebert,  
Centrum Wiskunde &  
Informatica (CWI),  
Science Park 123,  
1098 XG Amsterdam,  
Niederlande