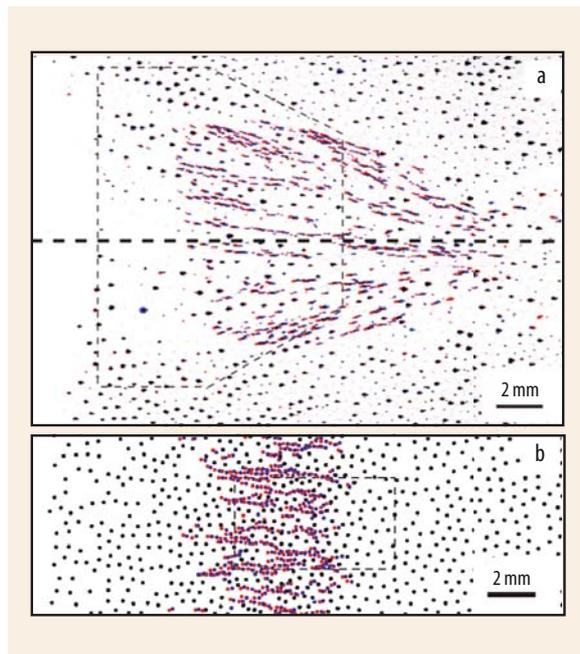


## Linienbildung bei Gegenverkehr

Experimente und Simulationen zur Spurenbildung in einem komplexen Plasma stimmen gut überein.

Im Straßenverkehr ist jeder Fahrbahn eine eindeutige Richtung zugeordnet, sodass man unbehindert von Gegenverkehr vorwärts kommt. Linienartige Strukturen wie die Fahrbahnen treten bei entgegenlaufenden Strömungen jedoch auch selbstorganisiert auf. So bewegen sich Passanten in Fußgängerzonen bei mittleren Dichten auf Spuren, damit sie sich aneinander vorbei bewegen können. Bei kleinen Dichten gibt es keine Linien, bei großen Dichten stockt die Bewegung [1]. Auch auf mikroskopischer Ebene scheinen entgegenlaufende Teilchenströme quasi von selbst Linien auszubilden, in denen sich die Teilchen wie Autos auf der Straße in entgegengesetzte Richtungen bewegen [2–4].

Um diese Phänomene besser zu verstehen, wurden insbesondere kolloidale Systeme untersucht, deren  $\mu\text{m}$ -großen Teilchen sich videomikroskopisch gut verfolgen lassen [3]. Zudem erlauben es elektrische Felder, aber auch häufig magnetische Felder, Licht- oder Scherfelder, die kolloidalen Systeme von außen gezielt zu steuern. So kann ein elektrisches Feld z. B. Gegenströmungen bei Teilchen unterschiedlicher elektrischer Ladung induzieren.



Kleine Teilchen, die von links in eine Wolke größerer Teilchen injiziert wurden, treiben zum Zentrum und bilden Spuren (a). Die Abbildung ist eine Superposition zweier aufeinander folgender Bilder im Abstand von  $1/50$  s. Auch in der zugehörigen Simulation bilden sich Linien (b). Der Schnappschuss zeigt den stationären Zustand.

Auf der Internationalen Raumstation ISS, also ohne die störende Schwerkraft, wurden kürzlich Experimente zur Linienausbildung in einem Plasma mit suspendierten, unterschiedlich großen Teilchen (Binary Complex Plasma) durchgeführt [5]. Die Partikeldynamik ist hauptsächlich durch die Teilchen-Teilchen-Wechselwirkung getrieben und nur schwach durch das Restplasma gedämpft. Ein elektrisches Feld trieb die  $3,4 \mu\text{m}$  kleinen, geladenen Plasmateil-

chen in das Zentrum einer Wolke aus großen Teilchen, deren Durchmesser etwa  $9,2 \mu\text{m}$  betrug. Die Teilchen bewegten sich dabei auf definierten Linien. Anhand der Videofilme konnten die Forscher die ersten Phasen der Linienbildung bestimmen und verfolgen, wie zu einem späteren Zeitpunkt einzelne Linien zu größeren Strukturen nahe des Zentrums der Probenkammer zusammen liefen, da dort das Feld abfällt (Abb. a).

Die leicht schwankende Teilchengröße und Zusammensetzung der Systeme sowie störende Felder begrenzen die Genauigkeit der Experimente mit Teilchen. Exakter lässt sich das kollektive Verhalten mit maßgeschneiderten Modellsystemen im Rahmen von Computersimulationen analysieren, bei denen sich Teilchenzahlen und -eigenschaften sowie Felder exakt vorgeben lassen. Dafür stehen auch ausgefeilte numerisch exakte Methoden der Statistischen Physik zur Verfügung. Die aktuelle Arbeit beinhaltet daher Molekulardynamik-Simulationen mit Langevin-Dynamik für eine binäre Mischung aus rund 18 000 Teilchen, die über ein abgeschirmtes Coulomb-Potential wechselwirken. Im Ruhesystem der großen Teilchen erfahren die klei-

### KURZGEFASST

#### ■ Dunkle Materie auf dem Prüfstand

Die Dunkle Materie, die rund 25 Prozent der Materie im Universum ausmacht, ist noch immer rätselhaft. Das Satelliten-Experiment PAMELA und das Ballon-Experiment ATIC detektierten kürzlich einen Überschuss bei den primären Elektronen und den sekundären Positronen in der kosmischen Strahlung bei Energien bis etwa  $100 \text{ GeV}$ .<sup>+) Diese könnten bei der Vernichtung von Teilchen der Dunklen Materie entstanden sein. Neuere Ergebnisse des Weltraum-Röntgenteleskops Fermi lassen nun den durch ATIC gemessenen besonders hohen Überschuss unwahrscheinlich erscheinen, sind aber konsistent mit den Daten von PAMELA. Die Fermi-Wissenschaftler gehen jedoch davon aus, dass der Überschuss an Elektronen und</sup>

Positronen aus anderen Quellen (z. B. Supernovae) als der Annihilation von Dunkler Materie stammt.

A. A. Abdo et al., Phys. Rev. Lett. **102**, 181101 (2009)

#### ■ Enträtseltes Röntgenlicht

Der Großteil der diffusen Röntgenstrahlung in der Milchstraße, die seit rund 25 Jahren bekannt ist, stammt nicht aus einer einzigen Quelle, sondern von so genannten Weißen Zwergen und von Sternen mit aktiven äußeren Gasschichten. Dieser Nachweis gelang einem internationalen Forscherteam um Mikhail Revnivtsev vom Exzellenzcluster Universe an der TU München mit Hilfe des Röntgenteleskops Chandra.

M. Revnivtsev et al., Nature **458**, 1142 (2009)

<sup>+) Karl Mannheim und Dominik Elsässer, Physik Journal, Februar 2009, S. 19</sup>

nen Teilchen eine konstante Kraft, die sie in das System der großen Teilchen getrieben hat. Die Ergebnisse der Simulationen stimmen qualitativ mit den experimentellen Befunden überein und liefern ebenfalls einen stationären Zustand mit Linienstrukturen (Abb. b).

Um diese Ergebnisse zu quantifizieren, schlagen die Autoren einen Ordnungsparameter vor [5]. Eine statistische Auswertung der experimentellen Daten sowie der Simulationsergebnisse zeigt, dass Theorie und Experiment gut übereinstimmen. Der Ordnungsparameter lässt sich durch einen sog. anisotropen Skalenindex konstruieren, der bereits erfolgreich bei der Analyse der großräumigen Verteilung von Galaxien und Knochenstrukturen zum Einsatz kam und nun mit den in Linienrichtung verlaufenden nematischen Richtungsvektoren kombiniert wurde.

In binären Systemen mit gegenläufigen Strömungen, die äußeren Feldern ausgesetzt sind, bilden sich aber nicht in allen Parameterbereichen Linien. Wie man intuitiv richtig vermutet, gibt es Feldbereiche, in denen Staus auftreten, und andere, in denen sich geordnete Linienstrukturen entlang

der äußeren Felder bilden [2–4]. In oszillierenden elektrischen Feldern segregieren binäre geladene kolloidale Mischungen auch in Linien senkrecht zur Feldrichtung [9].

Die bisherigen Ergebnisse gelten für Systeme, die geometrisch nicht eingeschränkt sind (abgesehen von z. B. der Wand der Plasmakammer). In begrenzten Systemen wie Rutschen definierter Breite ordnen sich nahe des Randes selbst kolloidale Teilchen nur einer Sorte und ohne äußere Felder in Schichten mit lokaler kristalliner Struktur [6]. Bei einer Fehlanpassung der Rutschenbreite und der Gitterkonstanten treten neuartige Verzerrungsfelder auf [7]. Kippt man die Rutsche im Gravitationsfeld, stellen sich entlang der Fließrichtung stationäre Regionen der Umordnung ein, in denen sich die Anzahl der Schichten quer zur Rutsche verringert. Die Teilchen fließen dann über diese Regionen hinweg wie Fußbälle über die Stufen einer Treppe [8].

In der aktuellen Arbeit stimmen Simulation und Experiment zur Linienstrukturbildung erstmals überzeugend überein. Nun gilt es, die Phasendiagramme und die Bedingungen zu bestimmen, unter denen sich diese interessanten Strukturen

bilden. Damit lässt sich ihre Entstehung besser verstehen. Die untersuchten Fragen erweitern nicht nur das Wissen über Strukturbildungsphänomene im Nichtgleichgewicht, sondern sie haben auch praktische Relevanz. So könnten Aussagen über das komplexe Verhalten binärer Mischungen unter äußeren Feldern oder beim Zusammenströmen aus unterschiedlichen Kanälen dazu beitragen, Lab-on-a-Chip-Vorrichtungen besser zu steuern oder kolloidale Materialien gezielt zu konstruieren.

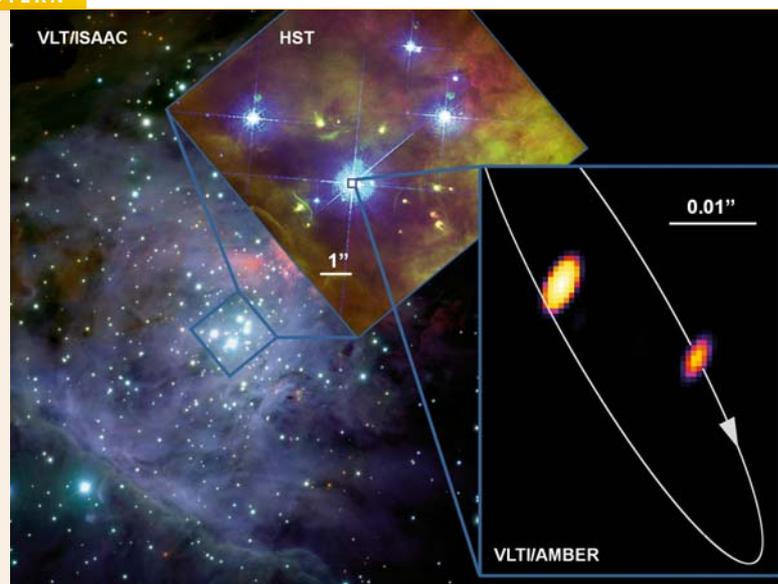
Peter Nielaba

- [1] M. Schreckenberg und S. D. Sharma (Hrsg.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer, Berlin (2002), S. 21
- [2] D. Helbing et al., *Phys. Rev. Lett.* **84**, 1240 (2000)
- [3] M. E. Leunissen et al., *Nature* **437**, 235 (2005)
- [4] M. Rex und H. Löwen, *Phys. Rev. E* **75**, 051402 (2007)
- [5] K. R. Sütterlin et al., *Phys. Rev. Lett.* **102**, 085003 (2009)
- [6] R. Haggoe und P. S. Doyle, *Phys. Rev. E* **72**, 011405 (2005); A. Ricci et al., *Phys. Rev. E* **75**, 011405 (2007)
- [7] Y. H. Chui et al., *Europhys. Lett.* **83**, 58004 (2008)
- [8] M. Köppl et al., *Phys. Rev. Lett.* **97**, 208302 (2006)
- [9] A. Wysocki und H. Löwen, *Phys. Rev. E* **79**, 041408 (2009)

Prof. Dr. Peter Nielaba, Lehrstuhl für Theoretische Physik, Fachbereich Physik, Universität Konstanz, 78457 Konstanz

## SCHARFBlick ENTHÜLLT DOPPELSTERN

Ein internationales Team von Astronomen unter der Leitung von Stefan Kraus und Gerd Weigelt vom Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie hat mit dem „Very Large Telescope Interferometer“ (VLTI) der Europäischen Südsternwarte ESO das bisher schärfste Bild des jungen Doppelsterns Theta 1 Ori C im Trapez-Sternhaufen im Sternbild Orion erstellt. Es handelt sich dabei um den hellsten Stern im nächstgelegenen Entstehungsgebiet masse-reicher junger Sterne. Die neuen Resultate zeigen deutlich voneinander getrennt zwei Einzelsterne in einem Doppelsternsystem. Die extrem hohe Winkelauflösung des VLTI von ca. 2 Milli-Bogensekunden entspricht derjenigen eines virtuellen Weltraumteleskops mit 130 Metern Spiegeldurchmesser. Das Forscherteam war in der Lage, aus den neuen Messungen die Bahndaten des Doppelsternsystems zu bestimmen sowie die Massen der beiden Einzelsterne (38 bzw. 9 Sonnenmassen) und die Entfernung des Systems (1350 Lichtjahre). (AP/MPG)



Im Zentralbereich des Großen Orion-Nebels (Sternentstehungsgebiet M 42) befinden sich die vier Trapez-Sterne (Theta 1 Ori A–D). Erst bei Beobachtung im nahinfraroten Spektralbereich mit dem Very Large Telescope Interferometer ist zu er-

kennen, dass es sich bei Theta 1 Ori C um ein Doppelsternsystem handelt. Bei konventionellen optischen Aufnahmen mit dem Very Large Telescope (VLT) oder dem Hubble Space Telescope (HST) erscheint Theta 1 Ori C dagegen nur als Einzelstern.

S. Kraus (MPfFR), M. McCaughrean (VLT/ISAAC), J. Bally et al. (HST)