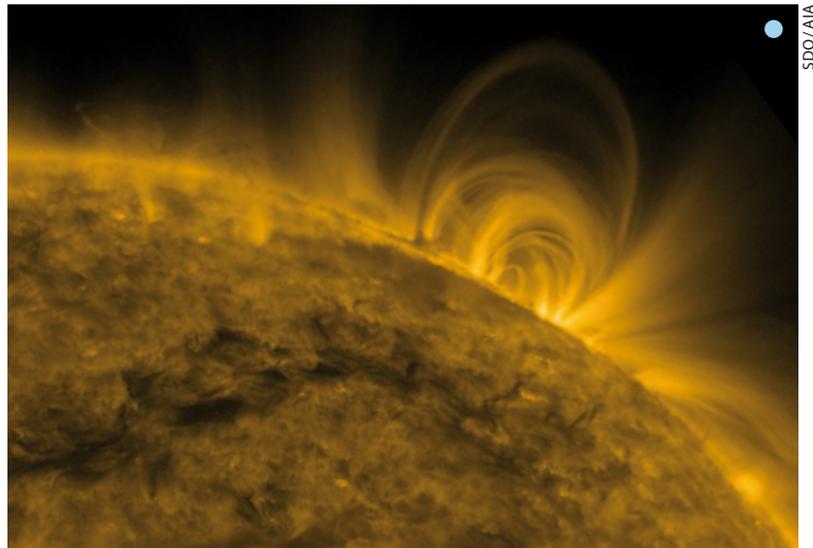


■ Die Sonne im Labor

In Laborexperimenten erzeugte Plasmabögen ähneln denen in der Sonnenkorona.

Naturwissenschaftliche Forschung lebt vom Wechselspiel zwischen Experiment und Theorie. Ein gutes Experiment muss reproduzierbar sein. Diese Forderung stellt die Astrophysiker vor ein Problem: So ist es natürlich nicht möglich, einen Stern immer wieder in einen bestimmten Zustand zu präparieren. Trotzdem spricht man von der Sonne und anderen Sternen als Plasmalabor, da sich dort gleichartige Ereignisse wiederholen, die sich als Folge von Experimenten betrachten lassen. Numerische Simulationen spielen eine zunehmend größere Rolle, da sie astrophysikalische Objekte immer realistischer beschreiben können. Auf diese Weise übernehmen sie die Rolle des Laborexperiments.

Weitere Fortschritte bei kleinskaligen Plasmaprozessen, die selbst auf dem uns nächsten Stern, der Sonne, nicht zu beobachten sind, erfordern neue Laborexperimente. Erfreulicherweise wurden in den letzten Jahren mehrere Aufbauten entwickelt, die Prozesse in der Sonnenkorona wiedergeben sollen, z. B. das Flarelab in Bochum [1]. Die Sonne und andere kühle Sterne sind von einer Million Kelvin heißen dünnen Atmosphäre umgeben, die sich eindrucksvoll bei einer Sonnenfinsternis zeigt. Eine der großen Fragen der stellaren



Die riesigen Plasmabögen, die vom Sonnenrand bis in die Korona ragen, sind hier auf einem Bild zu erkennen, das vom Solar Dynamics Observatory (SDO)

der NASA im extremen Ultraviolett bei 17,1 nm aufgenommen wurde. Zum Größenvergleich ist die Erde als hellblauer Kreis eingezeichnet.

Astrophysik ist, wie dieses Plasma auf Temperaturen aufgeheizt wird, die mehr als hundertmal höher sind als an der Oberfläche. Einigkeit herrscht darüber, dass sich im Magnetfeld gespeicherte Energie in thermische Energie des Plasmas umwandelt. Unklar ist aber, wie das vonstatten geht. In den letzten Jahren wurde deutlich, dass auch Massenaustausch zwischen der Korona und der darunterliegenden kühlen Chromosphäre von zentraler Bedeutung ist und dass ein Großteil des Heizens weit unten in

der Chromosphäre stattfindet [2]. Das dort aufgeheizte Material wird nach oben in die Korona injiziert. Es verteilt sich entlang der Magnetfeldlinien, da sich die ionisierten Teilchen nicht quer dazu bewegen können. So bilden sich die koronalen Bögen, in denen das heiße Gas im extremen UV und Röntgenlicht leuchtet.

An diesem Punkt setzen das Laborexperiment von Eve Stenson und Paul Bellan vom California Institute of Technology [3] sowie das Flarelab an [1]. In einer Vakuumkammer, die rund 1,5 Meter groß ist, erzeugen zwei Spulen ein hufeisenförmiges Magnetfeld, das sich nach oben aufweitet. Die Spulen sind unter zwei Elektroden angebracht, an die eine Hochspannung anliegt. Diese ionisiert das Gas, bis ein im Magnetfeld gefangenes Plasma entsteht, durch das ein Strom von der einen Elektrode zur anderen fließt. Der Bogen leuchtet auf und ähnelt einem koronalen Bogen. Stenson und Bellan geben erstmals eine einfache physikalische Erklärung für die Expansion und den eng bleibenden Durchmesser des Bogens (Kollimation) [3]: Das bogenförmige Magnetfeld expandiert durch die Wechselwirkung mit dem Strom

Prof. Dr. Hardi Peter,
Max-Planck-Institut
für Sonnensystem-
forschung, Max-
Planck-Straße 2
37191 Katlenburg-
Lindau

KURZGEFASST

■ Ein Exoplanet in der Nachbarschaft

Gibt es Leben außerhalb der Erde? Diese Frage treibt die Suche nach erdähnlichen Planeten außerhalb des Sonnensystems voran. Nun ist es am ESO-Observatorium La Silla in Chile gelungen, den bisher kleinsten Exoplaneten zu entdecken. Er hat etwa die Masse der Erde und umkreist unseren Nachbarstern α -Centauri B innerhalb von nur 3,236 Tagen. Extraterrestrisches Leben haben die Astronomen damit aber nicht entdeckt, denn der Exoplanet ist nur 0,04 Astronomische Einheiten von seinem Stern entfernt – damit sind die Temperaturen dort zu hoch für flüssiges Wasser.

X. Dumusque et al., Nature (2012), doi:10.1038/nature11572

■ Element 113 nachgewiesen

Am japanischen RIKEN haben Forscher das künstliche chemische Element 113 zweifelsfrei nachgewiesen. Dafür haben sie Zink-70-Kerne mithilfe eines Linearbeschleunigers auf eine Energie von 351 MeV gebracht und auf dünne Schichten aus Wismut-209 geschossen. Die entstehenden Kerne wurden getrennt und zu einem ortsauflösenden Siliziumhalbleiterdetektor geführt, der die Zerfallskaskade des 113-Isotops aufgezeichnet hat. Vorläufig heißt das Element 113 Ununtrium. Die japanischen Entdecker haben nun aber das Recht, einen neuen Namen vorzuschlagen.

K. Morita et al., J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 103201 (2012)

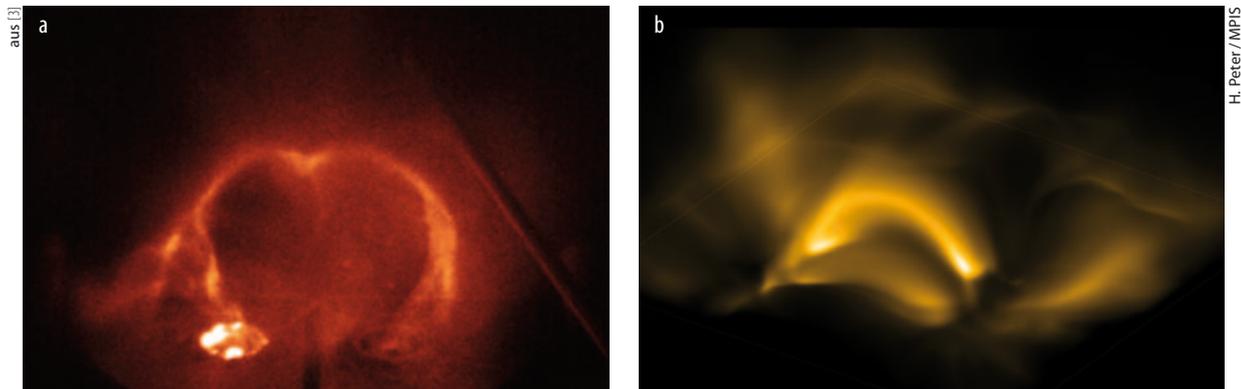


Abb. 1 In der Momentaufnahme des Laborexperiments erhebt sich über die kreisförmigen Elektroden der leuchtende Plasmabogen (a). Die numerische Simulation einer aktiven Region

auf der Sonne zeigt die synthetisierte Emission, wie sie bei 17,1 nm zu sehen wäre (b). In der Mitte dominiert ein koronaler Bogen.

über die Lorentz-Kraft. Gleichzeitig bewirken die Lorentz-Kraft und der Druckgradient, dass das Plasma im expandierenden Magnetfeld zusammengehalten wird und eine Art Schlauch formt. Im Labor ist es möglich, die Prozesse im Inneren des entstehenden Lichtbogens in situ zu untersuchen, z. B. mit Magnetfeldsonden. Ein solcher Zugang bleibt einem bei der Sonne verwehrt. Bei den ersten Experimenten dieser Art in den späten 1990er-Jahren wurden zwar Plasmabögen erzeugt, doch stimmten diese nur wenig mit der Sonne überein. Erst im Flarelab wurde der Bogen besser definiert [1] und zeigt sich nun auch klar in den Versuchen von Stenson und Bellan [3] (Abb. 1a).

Die wesentliche Frage ist, ob die Ähnlichkeiten rein äußerlich sind oder ob das Experiment tatsächlich die Prozesse auf der Sonne simuliert. Die Magnetohydrodynamik (MHD) fasst Hydrodynamik und Maxwell-Gleichungen zusammen, um die Wechselwirkung von Fluid und Magnetfeld zu beschreiben. Ein dreidimensionales MHD-Modell kann einen koronalen Bogen auf der Sonne [4] sowie ein entsprechendes Laborexperiment beschreiben [5] (Abb. 1b). Unter der Annahme eines idealen Plasmas (u. a. unendliche elektrische Leitfähigkeit, keine Viskosität) ist die MHD skaleninvariant: Das Experiment ließe sich also bis zur solaren Dimension skalieren. Dieses Argument wird dadurch unterstützt, dass im Experiment die magnetische Energiedichte höher ist als die thermische, wie es auch bei der Korona der Fall

ist. Allerdings bleiben Fragen offen, zudem beherbergt die solare Korona kein ideales Plasma.

Die meisten solaren koronalen Bögen („loops“) finden sich in aktiven Regionen, die mit Sonnenflecken assoziiert sind. Temperatur und Druck der Bögen sind im Wesentlichen bestimmt durch das Gleichgewicht von Heizung, Strahlungsverlusten und Wärmeleitung zurück zur Oberfläche. Innerhalb weniger Minuten läuft eine Störung im Magnetfeld durch den Bogen (Alfvén-Crossing-Time). Das ist ein Bruchteil der Lebensdauer der Bögen, die eine halbe Stunde und mehr betragen kann. In diesem Sinne sind koronale Bögen in aktiven Regionen langlebig. Die Laborbögen von Stenson und Bellan bleiben nur einige Mikrosekunden bestehen [3], was bei den Laborparametern etwa der Alfvén-Crossing-Time entspricht. Diese Zeit ist zu kurz, damit Wärmeleitung und Strahlungsverluste auf die Heizung reagieren können. Daher lassen sich wesentliche Eigenschaften der koronalen Bögen in aktiven Regionen auf der Sonne nicht erfassen.

Aufgrund ihrer Kurzlebigkeit sind Laborbögen mit solaren Flare-Loops vergleichbar, die bei kurzfristigen Strahlungsausbrüchen der Sonne entstehen und im Röntgenlicht hell leuchten. Auf der Sonne wird dabei in kurzer Zeit eine große Menge von magnetischer Energie umgewandelt – in thermische Energie, aber auch in Beschleunigung von Teilchen auf relativistische Energien. Letzterer Prozess zeigt sich im Labor (noch) nicht.

Natürlich ist ein koronaler Bogen im Labor nur schrittweise zu simulieren. In diesem Sinne bedeuten das Experiment von Stenson und Bellan [3] sowie das Flarelab in Bochum [1] einen wichtigen Fortschritt. In Zukunft wird es vielleicht möglich sein, einen Bogen mit längerer Lebensdauer zu erzeugen, z. B. indem der Expansion des Magnetfeldes entgegengewirkt wird. Dies würde neue Erkenntnisse liefern, die sich direkter mit Phänomenen auf der Sonne vergleichen ließen. Die jüngst erzielte Ähnlichkeit der Plasmabögen im Labor und auf der Sonne legt nahe, dass die grundlegenden Prozesse in beiden Fällen ähnlich sein könnten. Damit scheint es erfolgversprechend, den nun vorgeschlagenen Prozess zur Expansion und Kollimation des Laborbogens auf die Sonne zu übertragen [3]. Nach vielen Fortschritten in der Physik der Korona in den letzten zehn Jahren durch Weltraumobservatorien und numerische Experimente könnte nun Beistand aus dem Labor kommen.

Hardi Peter

- [1] H. Soltwisch et al., *Plasma Phys. Control. Fusion* **52**, 124030 (2010); <http://flarelab.ruhr-uni-bochum.de>
- [2] M. Aschwanden, A. Winebarger, D. Tsiklauri und H. Peter, *Astrophys. J.* **659**, 1673 (2007)
- [3] E. V. Stenson und P. M. Bellan, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 075001 (2012)
- [4] H. Peter und S. Bingert (2012), *Astron. & Astrophys.*, im Druck, <http://arxiv.org/abs/1209.0789>
- [5] L. Arnold et al., *Phys. Plasmas*. **15**, 042106 (2008)