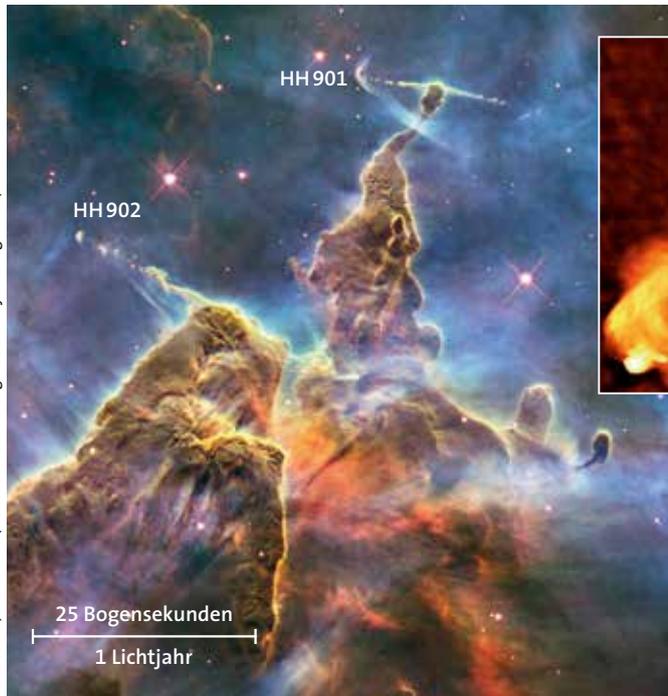
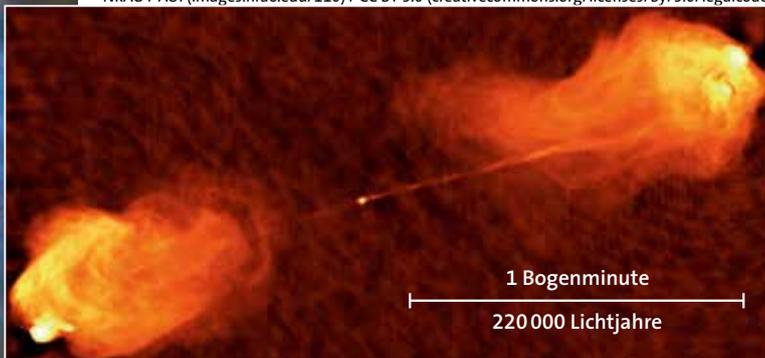


NASA, ESA, M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team (STScI) (www.spacetelescope.org/images/heic1007a/) / CC BY 4.0 (creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode)



NRAO / AUI (images.nrao.edu/110) / CC BY 3.0 (creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode)



**Von Milliparsec bis Megaparsec: Jets tragen Drehimpuls aus Akkretionsscheiben heraus. Links sind im sichtbaren Licht die nur den Bruchteil eines Lichtjahrs großen Gasstrahlen aus den Scheiben der jungen Sterne HH 901 und HH 902 im Sternbild Kiel des Schiffs abgebildet. Oben sind im Radiobereich die riesigen Jets des Quasars in der Galaxie Cygnus A und die von ihnen aufgeblähten heißen Gasblasen zu sehen.**

## Akkretionsscheiben

In beinahe jeder Ausgabe von »Sterne und Weltraum« ist die Rede von Akkretionsscheiben. Meist wird das so beschrieben, dass durch innere Reibung sich die Partikel der Scheibe immer mehr dem Zentralkörper nähern (junger Stern, Schwarzes Loch oder ähnliches) und schließlich von ihm verschluckt werden. Muss wohl so sein. Aber die Physik fordert Drehimpulserhaltung! Entweder muss der Zentralkörper die Partikel aktiv bremsen und sich dabei selbst enorm beschleunigen – beispielsweise durch Magnetfelder, die sollten aber wohl eher zu einer Beschleunigung der Partikel führen, da ein Magnetfeld Plasma mit sich führt – oder die Reibung in der Akkretionsscheibe bremst einen Teil der Partikel ab, während gleichzeitig ein anderer Teil entsprechend beschleunigt wird. Das hätte zur Folge, dass nur ein Teil der einfallenden Materie den Stern erreichen kann, während der andere Teil letztlich auf hohe Umlaufbahnen gebracht oder ganz aus dem System ausgestoßen wird. Wie ist es wirklich?

THOMAS SCHARNAGL, TIEFENBACH

*Es ist wirklich genau so, wie Herr Scharnagl sich den Sachverhalt vorstellt und sehr präzise und treffend beschreibt. Alle von ihm beschriebenen Mechanismen kommen vor und sind wichtig. Die*

*Beschleunigung des Zentralkörpers ist dabei der geringste Effekt zur »Entsorgung« von Drehimpuls, denn sie kann nur so lange wirken bis die Fliehkräfte seine Schwerkraft ausgleichen. Die Reibung in der Scheibe überträgt in der Tat Drehimpuls nach außen, so dass stets die äußersten Teile einer Scheibe letztlich das System verlassen müssen.*

*Die Natur hat aber zudem einen sehr effizienten Mechanismus erfunden, um Drehimpuls auch direkt von den innersten Teilen des Akkretionssystems abzuführen: Magnetfelder tragen einen sehr kleinen Teil der Materie – aber einen riesigen Teil des Drehimpulses! – der Scheibe entlang der Achse in Form von bipolaren Gasströmen (Jets) davon.*

*Wie dieser Mechanismus zur »Entsorgung« von Drehimpuls im Detail funktioniert, das ist noch Gegenstand aktiver Forschung. Aber die Beobachtung von tatsächlichen Scheiben im Universum – von den kleinsten bei Weißen Zwergen bis zu den größten bei Quasaren – zeigt, dass dieser Mechanismus universell zur »Anwendung« kommt.*

*Ein ganz neuer und in diesem Zusammenhang sehr wichtiger Beobachtungsbefund ist kürzlich in SuW 2/2018, S. 18, beschrieben worden.*

U. B.

## Heißer Rasensprenger Zeta Puppis: Die Spiralen

In SuW 1/2018, S.17, wird der interessante Mechanismus, der die Spiralen erzeugt, leider nicht näher beschrieben. Für tiefer interessierte Leser: Die spiralförmigen Windregionen erhöhter Dichte entstehen durch schlagartige Verdichtungen bei Überschallgeschwindigkeit im Fast-Vakuum. Regionen des generell radial ausströmenden Winds sind über den heißen

Flecken schneller als an anderen Stellen auf der Sternoberfläche (erhöhter Strahlungsdruck). Wegen der Sternrotation überholt der schnellere Wind während der Rotation dessen langsamere Anteile bei Überschallgeschwindigkeit (rund 1500 Kilometer pro Sekunde) und erzeugt eine Stoßfront mit starker Dichteerhöhung.

THOMAS EVERSBERG, BONN

## Freude an SuW

Ich möchte mich bei Ihnen bedanken für die tolle Arbeit, die Sie leisten. Ich bin 20 Jahre alt und durch Zufall in der Bibliothek auf ihre Zeitschrift gestoßen. Ich bin seitdem ein großer Fan und finde es toll, dass sie es schaffen, junge Menschen wie mich zu inspirieren. Ich wünsche weiterhin viel Erfolg.

MICHAEL ANDRÉ SKAIDE, BONN

Weitere Einsendungen finden Sie auf unserer Homepage unter [www.sterne-und-weltraum.de/leserbriefe](http://www.sterne-und-weltraum.de/leserbriefe), wo Sie auch Ihren Leserbrief direkt in ein Formular eintragen können. Zuschriften per E-Mail: [leserbriefe@sterne-und-weltraum.de](mailto:leserbriefe@sterne-und-weltraum.de)

## Zwei Jubiläen: Kopernikus und Kepler

Ich möchte auf zwei Jubiläen hinweisen, die es im Jahr 2018 zu feiern gibt: Einerseits hat Nikolaus Kopernikus vor 475 Jahren sein berühmtes Werk »De Revolutionibus Orbium Coelestium« (Nürnberg, 1543) veröffentlicht. Darin erläutert er seine Theorie zum heliozentrischen Weltbild.

Andererseits hat Johannes Kepler vor 400 Jahren sein berühmtes drittes Gesetz entdeckt. Er teilt uns in seinem Buch »Harmonices Mundi« auf Seite 189 mit: »Am 8. März die-

ses Jahres 1618, wenn man die genauen Zeitangaben wünscht, ist sie in meinem Kopf aufgetaucht. Ich hatte aber keine glückliche Hand, als ich sie der Rechnung unterzog, und verwarf sie als falsch. Schließlich kam sie am 15. Mai wieder ...« (Übersetzung von Max Caspar in »Johannes Kepler«, GNT-Verlag, Stuttgart 1995). Zu jener Zeit wohnte Kepler mit seiner Familie in Linz in der Hofgasse (1613–1620).

Seine Schaffenskraft war zu dieser Zeit unglaublich

hoch. In diesen sieben Jahren in der Hofgasse schuf er unter anderem: »Nova Stereometria Doliorum Vinariorum« (Linz, 1615), »Auszug aus der uralten Messkunst Archimedis« (Linz 1616), »Ephemerides Novae Motuum Coelestium ab anno vulgaris aerae 1617–1620« (Linz, 1616), »Epitome Astronomiae Copernicanae Libri

I-III« (Linz, 1618) Libri IV (Linz, 1620) und das schon erwähnte Werk »Harmonices Mundi Libri V« (Linz, 1619).

Die Johannes Kepler Universität Linz wird auf Grund dieses denkwürdigen Datums voraussichtlich am 8. Mai einen feierlichen Festakt begehen.

ERICH MEYER,  
LINZ, ÖSTERREICH

## Asteroid (3752) Camillo in Erdnähe erwischt

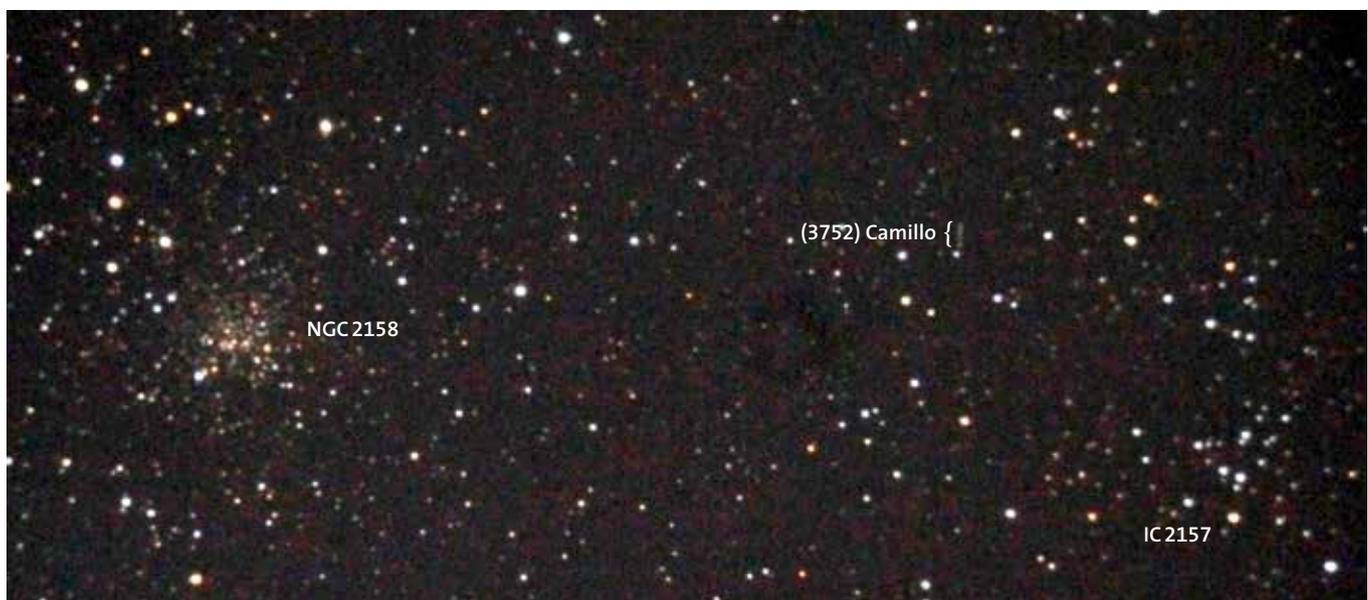
Vom Beobachtungshinweis in SuW 2/2018, S. 56, habe ich mich inspirieren lassen, den Erdbahnkreuzer (3752) Camillo aufzunehmen. Besonders interessant erschien mir die Passage zwischen den Sternhaufen NGC 2158 und IC 2157 im Sternbild Zwillinge unweit von Messier 35. Die Aufnahme wurde allerdings durch den neun Tage alten Mond erschwert, der sich nur neun Grad südwestlich im Sternbild Stier befand. Ich musste deshalb die Belichtungszeiten der einzelnen Aufnahmen auf 10 oder 15 Sekunden herabsetzen.

Aufgenommen habe ich das Bild in der Dachsternwarte in meinem Wohn-

haus. Die Sternwarte besteht aus einem großen Schiebefenster mit Blickrichtung Südost. Nachteile sind natürlich der eingeschränkte Himmel, und gelegentlich Seeingprobleme – gerade im Winter – durch das warme Wohnhaus. Die Vorteile überwiegen aber, da ich immer schnell meine Teleskope einsatzbereit habe. Gerade beim Überwachen von Zwergnovae und Quasaren komme ich dadurch sehr schnell zu Beobachtungsergebnissen ohne größeren Aufwand. Zum Beispiel sind im Winter morgens vor dem Dienst immer noch ein paar Beobachtungen – visuell oder digital – möglich.

KLAUS WENZEL,  
GROSSOSTHEIM WENIGUMSTADT

**Die Strichspur des Erdbahnkreuzer-Asteroiden (3752) Camillo im Sternbild Zwillinge wurde von Klaus Wenzel aufgenommen. Er verwendete ein 208-Millimeter-Newton-Teleskop mit einer Kamera des Typs Canon EOS 1300D. Das Aufnahmedatum war der 24. Februar 2018, die Zeit 19:02:36 bis 19:05:53 Uhr UT. Er addierte zwölf Aufnahmen mit einer Belichtungszeit von je 10 oder 15 Sekunden. Das isolierte Pünktchen unterhalb der Spur gehört zu Camillo. Es ist dadurch entstanden, dass nach der ersten Belichtung eine kurze Pause eingelegt wurde, um die Ausrichtung der Aufnahme zu überprüfen.**



Klaus Wenzel

## Massenverlust verschmelzender Schwarzer Löcher

Bei den Gravitationswellenereignissen wird viel Masse als Gravitationswellenenergie abgestrahlt. Auf den ersten Blick klingt das plausibel. Aber kann ich mir das auch irgendwie vorstellen? Bei der Kernfusion wird der Masseunterschied zwischen Ausgangs- und Endprodukten zu Energie. Bei der Vereinigung von Teilchen und Antiteilchen verschwinden zwei Teilchen und wandeln Masse in Energie (Gammastrahlung) um. Aber bei Gravitationswellen? So ein Elementarteilchen kann doch sicher nicht sagen: »Diese Wellen ums Schwarze Loch sind so hoch, da verschwinde ich mal ...«?

GERD KUNERT, CHEMNITZ

Nein, da sagen in der Tat nicht irgendwelche Elementarteilchen einfach »tschüs!« zu dem Schwarzen Loch. Nach der allgemeinen Relativitätstheorie sind bei Gravitationsfeldern keine Teilchen beteiligt. Das ist ganz analog zu den elektromagnetischen Wellen wie Licht, Wärmestrahlung, Radiowellen und so weiter der klassischen Elektrodynamik, die ebenfalls nicht aus Teilchen bestehen. Die abgestrahlte Energie der Gravitationswellen strömt in der allgemeinen Relativitätstheorie als Gravitationsfeld – also als Raumkrümmung – durch die vierdimensionale Raumzeit, genau wie die klassischen elektromagnetischen Wellen, die in einem elektromagnetischen Feld gespeicherte Energie durch den dreidimensionalen Raum abtransportieren. Der Auslöser der Wellen im Fall der Gravitation sind beschleunigt bewegte schwere Massen, in der Elektrodynamik sind es beschleunigt bewegte elektrische Ladungen.

So weit die klassische physikalische Sicht, die eine sehr gute Beschreibung der Natur auf makroskopischer Ebene darstellt. Es gibt bisher keinerlei Beobachtungsbefunde, die der allgemeinen Relativitätstheorie widersprechen. Und mit der klassischen Elektrodynamik als physikalischer Grundlage lassen sich wunderbar technische Geräte wie Elektromotoren, Radiosender und Mobiltelefone bauen.

Dennoch kann die allgemeine Relativitätstheorie aus vielerlei Gründen nicht die ganze physikalische Wahrheit sein. Für die

elektromagnetischen Phänomene gibt es seit den 1940er Jahren eine viel weitergehende Theorie, die Quantenelektrodynamik. In ihr wird die elektromagnetische Energie von masselosen Quanten getragen, den Photonen. Diese entstehen bei der Abstrahlung direkt aus dem lokalen elektromagnetischen Feld oder aus der Bewegung der Teilchen, die das Feld erzeugen. Sollte es der-einst – in vielleicht ferner Zukunft – einmal eine vollständige Quantentheorie der Gravitation geben, dann würde die Energie der Gravitationswellen wohl auch von masselosen Teilchen, den Gravitonen getragen, die bei der Abstrahlung erzeugt werden. Aber das muss man abwarten. Es wären jedenfalls keine vorher existenten materiellen Teilchen, die dem Schwarzen Loch einfach »auf Wiedersehen!« sagen würden.

Bei der von Herrn Kunert erwähnten Kernfusion wird die Massendifferenz ebenfalls von Teilchen davongetragen, die erst im Emissionsprozess entstehen: Einem Gammaphoton oder einem Neutrino und einem Positron. Die Energie, die dabei frei wird, ist hauptsächlich die Bindungsenergie aus der Kernkraft, von der die Atomkerne entgegen der elektrischen Abstoßung der in ihnen enthaltenen Protonen zusammengehalten werden.

ULRICH BASTIAN arbeitet am Astronomischen Rechen-Institut (Universität Heidelberg) an der Gaia-Mission der ESA und ist der SuW-Leserbrief-Redakteur.



The SXS (Simulating eXtreme Spacetimes) Project

Was haben verschmelzende Schwarze Löcher und Smartphones gemeinsam? Sie verlieren Masse, weil sie Wellen abstrahlen. Bei Smartphones ist der Massenverlust selbst nach mehreren Betriebstagen unwägbbar gering, bei verschmelzenden Schwarzen Löchern kann er mehrere Sonnenmassen innerhalb von Sekundenbruchteilen betragen.

Senden Sie uns Ihre Fragen zu Astronomie und Raumfahrt! Wir bitten Experten um Antwort und stellen die interessantesten Beiträge vor.



Sie möchten Lehrstühle oder Gremien besetzen? Sie suchen weibliche Experten, Gutachter oder Redner zum Thema?

Finden Sie die passende Kandidatin in unserer Datenbank mit über 2.700 Profilen herausragender Forscherinnen

**AcademiaNet** – das internationale Rechercheportal hoch qualifizierter Wissenschaftlerinnen

Die Partner

