

Auf diesem Bild von MAGIC treten die roten Lichtstrahlen der Laser hervor, die hinter jedem der 239 Spiegelsegmente montiert sind und der Fokussierung des Teleskops dienen. Jeder Laser erzeugt einen roten Lichtpunkt, der mit einer Videokamera beobachtet wird. Damit kennt man die Orientierung jedes Segments. Abweichungen der Segmente von der Soll-Position lassen sich durch Motoren schnell nachjustieren.

## Kompakte Energieschleuder im Krebsnebel

*Der Pulsar im Krebsnebel lässt sich im gesamten elektromagnetischen Spektrum, bis zu hohen Energien im Gammabereich, nachweisen. Mit dem weltweit größten Gammastrahlen-Teleskop MAGIC brachen die Astronomen nun den bisherigen Energierekord von fünf Gigaelektronvolt: Sie entdeckten Lichtblitze des schnell rotierenden Neutronensterns noch oberhalb von 25 Gigaelektronvolt.*

Im Jahr 1054 beobachteten chinesische Astronomen einen sehr hellen Stern, der einige Wochen lang, sogar tagsüber, zu sehen war. Den Überrest dieser Supernova bildet heute der Krebsnebel, in dessen Herzen der Krebspulsar tobt. Er befindet sich rund 6300 Lichtjahre von der Erde entfernt im Sternbild Stier, rotiert rund 30 Mal pro Sekunde und versorgt den ihn umgebenden Krebsnebel mit Energie.

Das Licht eines Pulsars erscheint einem Beobachter nicht als kontinuierliche Quelle, sondern als eine schnelle Folge von Blitzen. Der Grund hierfür liegt in der schnellen Rotation des Objekts. Da

die Rotationsachse des Pulsars einen Winkel mit der Achse seines Magnetfelds bildet, entstehen bei der schnellen Drehung extrem starke elektrische Felder, die elektrisch geladene Teilchen beschleunigen können (siehe Infokasten rechts). Letztere strahlen zum Beispiel im Radiobereich elektromagnetische Wellen ab.

Die Strahlen des Pulsars, deren Energien sich vom Radio- bis in den Gammabereich erstrecken, streifen die Sichtlinie zum Beobachter wie der Lichtkegel eines Leuchtturms. Die beobachteten Pulse sind kurz, und ihre Pulsfrequenz ist extrem stabil, so dass nur die besten ir-

dischen Atomuhren mit ihrer Regelmäßigkeit konkurrieren können.

Sowohl der Pulsar als auch der Krebsnebel senden hochenergetische Gammastrahlung aus. Im Unterschied zum Pulsar emittiert der Nebel jedoch einen konstanten starken Fluss. Entdeckt wurde die Strahlung im Jahr 1989 mit dem Zehn-Meter-Spiegel des abbildenden Luft-Tscherenkow-Teleskops am Fred Lawrence Whipple Observatory im US-Bundesstaat Arizona. Heute gilt diese Entdeckung als Geburtsstunde der Gammastrahlenastronomie, und seitdem nutzen die Astronomen den Krebsnebel als Eichquelle für Gammastrahlenteleskope.



Wissenschaft in die Schulen!

gesprochenen Themen im Rahmen des Physikunterrichts in der gymnasialen Oberstufe behandelt werden können. Unser Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« führen wir in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Bad Wildbad durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig gefördert.

Zu diesem Beitrag stehen jedem Interessierten auf unserer Internetseite [www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de) didaktische Materialien zur freien Verfügung. Darin wird gezeigt, wie einige der hier ange-

### Rätselhaftes Blinken

Wie die Pulse des Krebspulsars speziell im hochenergetischen Gammabereich entstehen, ist noch ungeklärt. Wertvolle Informationen über den Entstehungsmechanismus und den Entstehungsort der Gammastrahlung lassen sich aus der Beobachtung des Spektrums bei hohen Energien gewinnen. Alle Modelle zur Emission von Pulsaren sagen voraus,



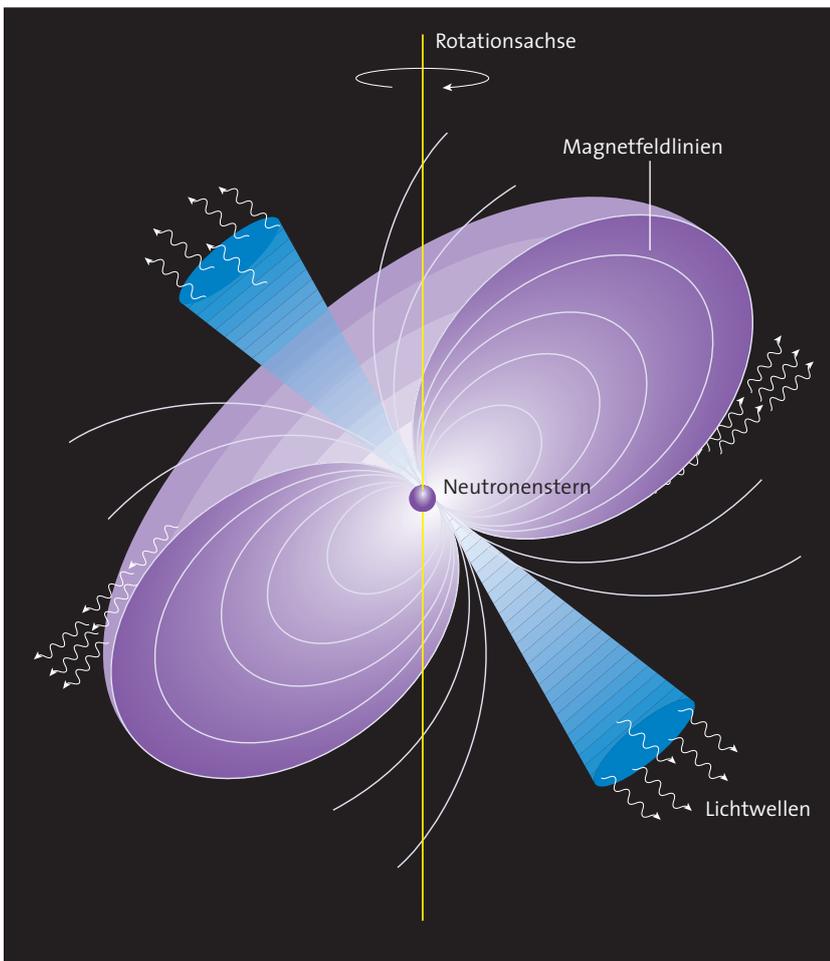
## Ein kosmischer Leuchtturm

**M**assereiche Sterne, die ihren nuklearen Brennstoff verbraucht haben, enden in einem gewaltigen Gravitationskollaps, den man als Supernova-Explosion kennt. Beim Zusammenbrechen des sterbenden Sterns werden in seiner Kernregion Elektronen mit Protonen dicht aneinandergedrückt. Dabei wandeln sich die Protonen in Neutronen um. So entsteht ein rund zwanzig Kilometer großer, massereicher und schnell rotierender Neutronenstern mit enormer Dichte, ein so genannter Pulsar.

Ähnlich wie bei einer Pirouette im Eiskunstlauf bleibt der Drehimpuls erhalten, so dass der vergleichsweise winzige Neutronenstern unvorstellbar schnell rotiert, typischerweise einige wenige Male bis einige zehn Male pro Sekunde. Auch das Magnetfeld des ursprünglichen Sterns wird beim Kollaps komprimiert, so dass ein Pulsar eine gigantische Magnetfeldstärke von rund hundert Millionen Tesla besitzt, etwa eine Billion Mal höher als das Erdmagnetfeld.

Die Grafik zeigt, wie sich die Astronomen einen Pulsar vorstellen. Das Magnetfeld des Pulsars und seine Rotationsachse bilden einen Winkel. Entlang der Magnetfeldlinien können Teilchen auf höchste Energien beschleunigt werden. Speziell in Richtung der magnetischen Pole strahlen sie kegelförmig Lichtwellen ab, die zusammen mit der schnellen Rotation einen Leuchtturmeffekt ergeben: Jedesmal, wenn ein Kegel die Sichtlinie zum Beobachter streift, sieht dieser einen Puls.

Bisher nahmen Forscher an, dass Gammastrahlung entweder sehr nahe an den magnetischen Polen entsteht oder aber an den äußersten Rändern des Magnetfelds, weit weg vom Neutronenstern. Da die Absorption im starken Magnetfeld an den Polarkappen für hohe Gammastrahlungsenergien am größten ist, legt die mit MAGIC oberhalb von 25 Gigaelektronvolt beobachtete Gammastrahlung nahe, dass diese nicht direkt an den Polarkappen entstehen kann.



## 4. Internationale Astronomie-Messe

### Kommen Sie zur AME2009

#### • Rahmenprogramm

Freuen Sie sich wieder auf ein attraktives Rahmenprogramm mit Stefan Seip, Siegfried Haberer, Prof. Dr. Hans-Ulrich Keller, Dr. Geffert und Gernot Meiser.

#### • Feiern Sie mit uns 100 Jahre Kosmos-Himmelsjahr

#### • Meetingpoints und „Treffpunkt Buch“

#### • Wann?

26. September 2009, 10 bis 17.00 Uhr

#### • Wo?

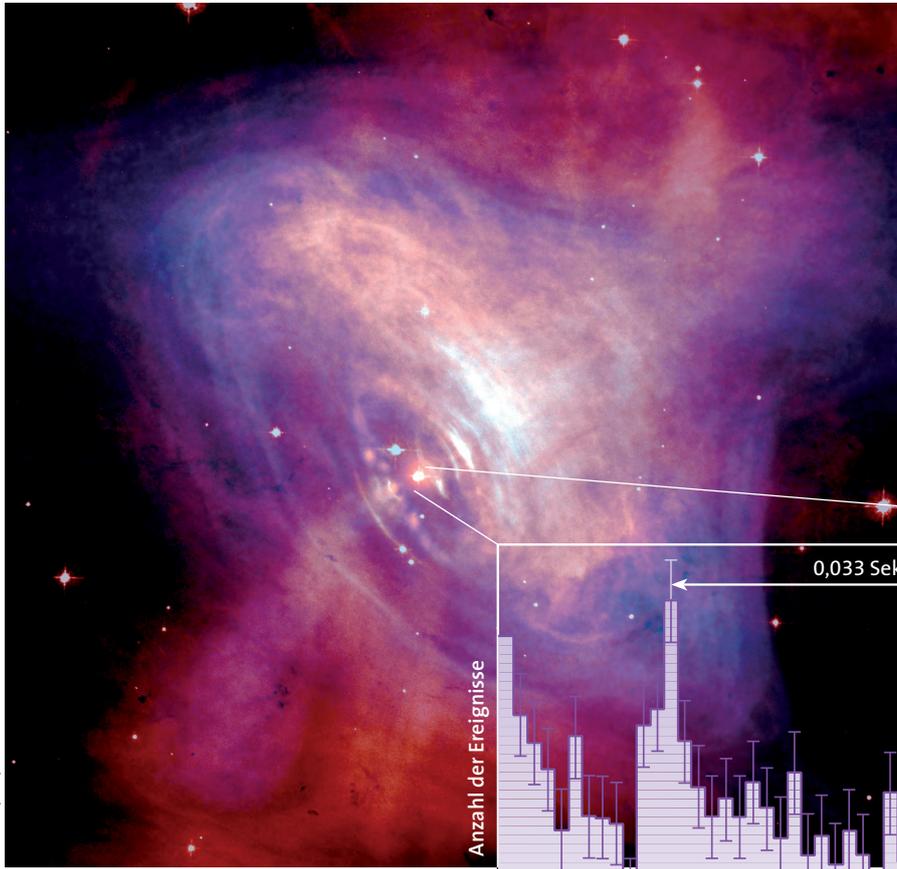
78054 VS-Schwenningen, Messegelände. Mit 6000 kostenlosen Parkplätzen direkt vor den Messehallen.

#### • Jetzt anfordern

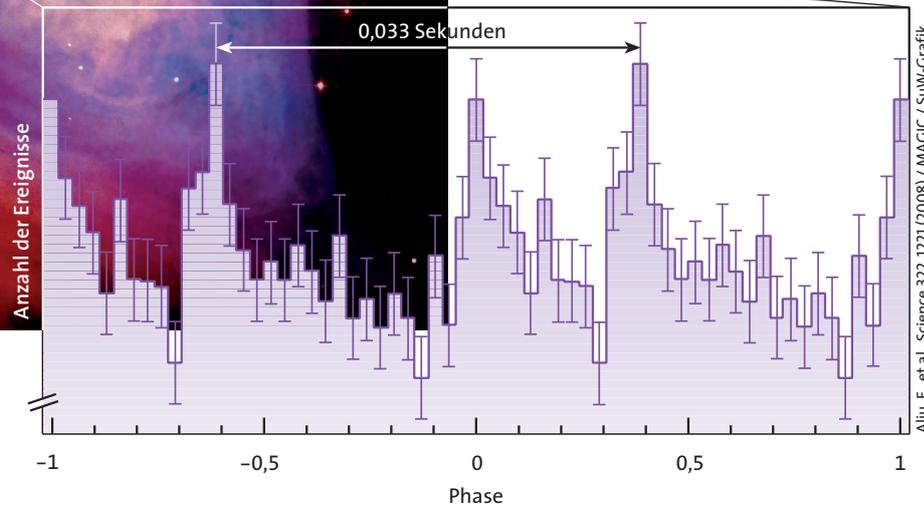
Unsere Infobroschüre zur AME2009 schicken wir Ihnen auf Wunsch gerne kostenlos zu.



Ansprechpartner: Siegfried Bergthal • Walburga Küchler  
Tel.: 0741 270 62 10 • Email: info@astro-messe.de



Dieses Bild des Krebsnebels zeigt die Überlagerung einer Aufnahme des Weltraumteleskops Hubble (rot) mit einer Röntgenaufnahme des Satelliten Chandra (blau). Im Zentrum leuchtet der Pulsar. Das Diagramm unten zeigt die mit MAGIC oberhalb von 25 Gigaelektronvolt gemessenen Pulse der Gammastrahlung. Diese weisen eine noch nicht erklärte Doppelstruktur auf. Die waagerechte Achse gibt den Periodenbruchteil (Phase) an. Eine Phase von 0,5 entspricht einer halben Periode, eine Phase von 1,0 einer vollen Periode von 0,033 Sekunden.



Allu, E., et al., Science 322, 1221 (2008) / MAGIC / SuW-Grafik

dass das Energiespektrum der gepulsten Emission im Bereich zwischen einigen wenigen und einigen Dutzend Gigaelektronvolt abbricht. Entsprechende Beobachtungen werden jedoch dadurch erschwert, dass hier der Fluss schon so stark reduziert ist, dass er sich nur sehr schwer nachweisen lässt.

Der Gammastrahlendetektor EGRET (Energetic Gamma Ray Experiment Telescope) an Bord des in den Jahren 1992 bis 2001 aktiven Compton Gamma Ray Observatory der NASA konnte das Spektrum des Krebspulsars bis zu Energien von rund fünf Gigaelektronvolt messen. Jedoch ließ sich nicht feststellen, wo und ob überhaupt das Spektrum im hochenergetischen Bereich abbricht. Andererseits ließ sich bis vor Kurzem mit abbildenden Luft-Tscherenkow-Teleskopen trotz mehrfacher Versuche kein Signal oberhalb von 300 Gigaelektronvolt nachweisen.

Die Voraussagen physikalischer Modelle lassen sich durch Beobachtungen mit dem Gammastrahlenteleskop MAGIC (Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov) überprüfen. Mit einem Spiegeldurch-

messer von 17 Metern ist MAGIC das weltweit größte alleinstehende Gammastrahlenteleskop. Betrieben wird das in den Jahren 2002 bis 2004 gebaute Instrument von Instituten in Deutschland, Italien, Spanien, der Schweiz, Polen, Finnland, Bulgarien, Armenien und den USA. Dieser Kollaboration gehören mehr als 150 Forscher an. Die deutschen Partner von MAGIC sind das Max-Planck-Institut für Physik in München, die Universität Würzburg, die Universität Dortmund und das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY) in Zeuthen.

MAGIC befindet sich am Standort der europäischen Nordsternwarte auf dem 2200 Meter hohen Roque de Los Muchachos auf der kanarischen Insel La Palma. Von hier aus beobachten die Astronomen ultrakurze bläuliche Blitze von Tscherenkow-Strahlung mit einer typischen Dauer von einer hundertmillionstel Sekunde. Diese entstehen innerhalb der Erdatmosphäre, wenn die hochenergetische Gammastrahlung des beobachteten Objekts und andere kosmische Elementarteilchen in die Luftschichten eindringen und da-

bei Schauer sekundärer elektrisch geladener Teilchen auslösen. Mit Hilfe einer raffinierten Auswertungstechnik lässt sich Gammastrahlung vom Untergrund der elektrisch geladenen Teilchen trennen und der Himmelsposition des Objekts zuordnen (siehe SuW 8/2007, S. 26 ff.).

Seit 1995 wurden mehrere neue Technologien für MAGIC entwickelt, von denen sich die meisten nach jahrelangen Tests als Standards in der Gammaastronomie etablierten. Diese einzigartigen Hightech-Entwicklungen und der riesige Reflektor von MAGIC ermöglichten eine extrem niedrige Energieschwelle von 50 bis 60 Gigaelektronvolt. Vor zwei Jahren beobachtete das MAGIC-Team den Pulsar im Krebsnebel und fand einen ersten Hinweis auf gepulste Strahlung bei höchsten Energien oberhalb von 65 Gigaelektronvolt. Um diese Beobachtung zu bestätigen oder zu widerlegen, musste die Energieschwelle weiter verringert werden.

Einer weiterentwickelten Nachweiselektronik verdankt MAGIC eine Halbierung dieser Schwelle. Damit gelang im Jahr 2008 einem Forscherteam um den Di-

rektor für Astroteilchenphysik, Masahiro Teshima vom Max-Planck-Institut für Physik in München, in einer 22-stündigen Beobachtung des Krebspulsars erstmals der eindeutige Nachweis eines gepulsten Gammastrahlensignals oberhalb von 25 Gigaelektronvolt. Diese Entdeckung veröffentlichten sie im November 2008 im Fachmagazin »Science«. Die mit MAGIC durchgeführten Messungen belegen, dass das Spektrum der Strahlung erst bei relativ hohen Energien, im Bereich von 15 bis 20 Gigaelektronvolt, abfällt.

Als Ursache hierfür vermuten die Forscher eine starke Undurchlässigkeit der Magnetosphäre des Pulsars. Die Gammastrahlung tritt in Wechselwirkung mit den ultrastarken Magnetfeldern in der Nähe der Oberfläche des Pulsars und auch mit niederenergetischen Photonen in dortiger Umgebung. Besonders die Absorption in den Magnetfeldern führt zu einer totalen Undurchlässigkeit bei Gammaenergien im Gigaelektronvoltbereich.

Da das Magnetfeld mit zunehmender Entfernung zum Neutronenstern abnimmt, kann die beobachtete Strahlung oberhalb von 25 Gigaelektronvolt nur in einer Entfernung von einigen Neutronensternradien, in den äußeren Bereichen der Magnetosphäre entstanden sein, wo die Absorption geringer ist. Deshalb schließen die mit MAGIC erhaltenen Daten alle Modelle aus, die einen Entstehungsort nahe an der Oberfläche des Pulsars zu Grunde legen, insbesondere das so genannte Polarkappenmodell. Diesem Modell zufolge soll die Strahlung in der Umgebung des magnetischen Nord- und Südpols entstehen.

Die weitere Aufmerksamkeit des MAGIC-Teams wird dem noch weitgehend unbekanntem Pulsverhalten oberhalb von 60 Gigaelektronvolt und der Erforschung der noch rätselhaften Doppelstruktur der Pulse (siehe Bild links) gelten.

### Großangriff im Gammabereich

Das Mitte 2008 in Betrieb genommene Weltraumobservatorium Fermi entdeckte bereits rund 200 Gammaquellen. Die Astronomen erwarten, dass Fermi bald das Spektrum des Krebspulsars direkt messen und damit die Beobachtungen von MAGIC vervollständigen könnte. Damit ließen sich die Messtechniken beider Teleskope untereinander kalibrieren.

Vor Kurzem wurde am Standort von MAGIC ein zweites baugleiches Instrument fertig gestellt, das sich derzeit in der Testphase befindet. Der gleichzeitige Betrieb beider Teleskope wird die Empfindlichkeit der bisherigen Beobachtungen auf das Zwei- bis Dreifache erhöhen.

Außer MAGIC gibt es noch zwei weitere Großobservatorien für den Gammabereich, die jeweils vier Teleskope mit jeweils zwölf Meter Durchmesser nutzen: HESS in Namibia und VERITAS (Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System) im US-Bundesstaat Arizona. Die weltweit führenden Wissenschaftler in der Gammaastronomie von MAGIC und HESS planen zusammen mit vielen anderen Instituten ein noch größeres Gammaobservatorium zu errichten. Dieses Cherenkov Telescope Array (CTA) soll aus rund hundert Teleskopen bestehen.

RAZMIK MIRZOYAN,  
THOMAS SCHWEIZER

### Literaturhinweise

**Aliu, E., et al. (MAGIC Collaboration):** Observation of Pulsed Gamma-rays Above 25 GeV from the Crab Pulsar with MAGIC. In: Science 322, S. 1221–1224, 2008.

**De Angelis, A., Peruzzo, L.:** Das Gammastrahlen-Teleskop MAGIC. In: Sterne und Weltraum 8/2007, S. 26–36.

**Kramer, M.:** Pulsare als kosmische Uhren. In: Sterne und Weltraum 10/2006, S. 30–37.

**Kraus, U.:** Röntgenpulsare. In: Sterne und Weltraum 10/2006, S. 38–45.

**Kunzl, Th. et al.:** Gleichschritt im All – Wie entsteht die Radiostrahlung von Pulsaren? In: Sterne und Weltraum 11/2000, S. 936–944.

**Wagner, R., Mazin, D.:** Kosmische Archäologie mit Gammalicht. In: Sterne und Weltraum 8/2008, S. 24–28.

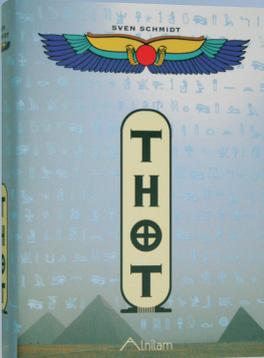
**Weekes, T. C. et al.:** Observation of TeV gamma rays from the Crab nebula using the atmospheric Cherenkov imaging technique. In: Astrophysical Journal 342, 379–395, 1989.

**Völk, H.:** Gamma-Astronomie mit abbildenden Tscherenkow-Teleskopen, Teil 1. In: Sterne und Weltraum 11/1999, S. 948–953; Teil 2 in: Sterne und Weltraum 12/1999, S. 1064–1070.

**Völk, H.:** Neue Ergebnisse der Gamma-Astronomie. In: Sterne und Weltraum 8/2006, S. 36–45.

**Hofmann, W., van Eldik, C.:** Ein neues Fenster zum Kosmos. In: Sterne und Weltraum 3/2009, S. 46–47.

Weblinks unter [www.astronomie-heute.de/artikel/992847](http://www.astronomie-heute.de/artikel/992847)



# THOT-SPUREN AUS STEIN

## EIN SPANNENDER THRILLER UM DAS RÄTSEL DER PYRAMIDEN

IN EINER GEHEIMEN HÖHLE WERDEN URALTE PAPYRUSCHRIFTEN GEFUNDEN, DIE BERICHTEN, DASS THOT DIE PYRAMIDEN ERBAUEN LIESS, WEIL EINE RIESIGE KATASTROPHE DIE MENSCHEN BEDROHTE. DOCH DAS ARCHÄOLOGENTEAM UM SARAH KRÖGER ERKENNT, DASS DIES NUR DIE HALBE WAHRHEIT IST. UM DIE GANZE GEOPYRAMIDEN EINBRECHEN, WO DAS ERBE DER HIMMELMENSCHEN SEIT JAHRTAUSENDEN AUF SIE WARTET...

**AUTOR: SVEN SCHMIDT**  
**FÜR 24,95 € DIREKT IM BUCHHANDEL ODER UNTER:**  
**WWW.ALNILAM.BIZ**  
**ISBN: 978-3-9811676-0-3**

Anilam