

WIS wissenschaft
in die schulen!

Eine Milliarde Sternpositionen

Ein erster Katalog der Gaia-Mission liegt vor

Lange haben die Astronomen darauf gewartet: Am 14. September 2016 wurde Gaias erster Sternkatalog, genannt Gaia DR1 (»Data Release 1«), mit hochgenauen Positionen und Helligkeiten von 1,143 Milliarden Sternen veröffentlicht. Das Weltraumobservatorium Gaia ist das große Projekt der Europäischen Raumfahrt-Agentur ESA, mit dem unser Milchstraßensystem räumlich vermessen werden soll.

Von Ulrich Bastian und Stefan Jordan

IN KÜRZE

- Der Astrometriesatellit Gaia misst seit Juli 2014 die Positionen, Eigenbewegungen, Entfernungen, Helligkeiten und Farben von mehr als einer Milliarde Sternen mit bisher unerreichter Genauigkeit.
- Zu den Zielen der Mission gehört, die räumliche Struktur sowie die Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte unseres Milchstraßensystems aufzuklären.
- Nach aufwändigen Kalibrationen und Auswertungen wurde ein erster, noch vorläufiger Sternkatalog der Wissenschaft und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Für die Astronomen ist es, als fielen Weihnachten und Ostern auf einen Tag: Die Fülle an Daten, die der Satellit Gaia bisher geliefert hat, ist ein willkommenes Geschenk, auf das viele Forscher schon sehnsüchtig gewartet haben. Dabei ist der jetzige »Data Release 1«, wie er genannt wird, nur ein klitzekleines Appetithäppchen. Er bietet nur einen Vorgeschmack von dem, was schon die nächste Version des Gaia-Sternkatalogs enthalten soll, deren Erscheinen für Ende 2017 vorgesehen ist. Aber verglichen mit dem, was den Astronomen der Welt bisher an genauen Sternpositionen, -bewegungen und -entfernungen zur Verfügung stand, ist er ein beachtlicher Fortschritt – er bildet eine reichhaltige Fundgrube für die gesamte Astrophysik.

Gaia ist ein Astrometriesatellit, dessen Aufgabe es ist, den gesamten Himmel genau zu vermessen (siehe Kasten S. 33). Der erste, noch vorläufige Sternkatalog, der am 14. September 2016 mit dem »Data

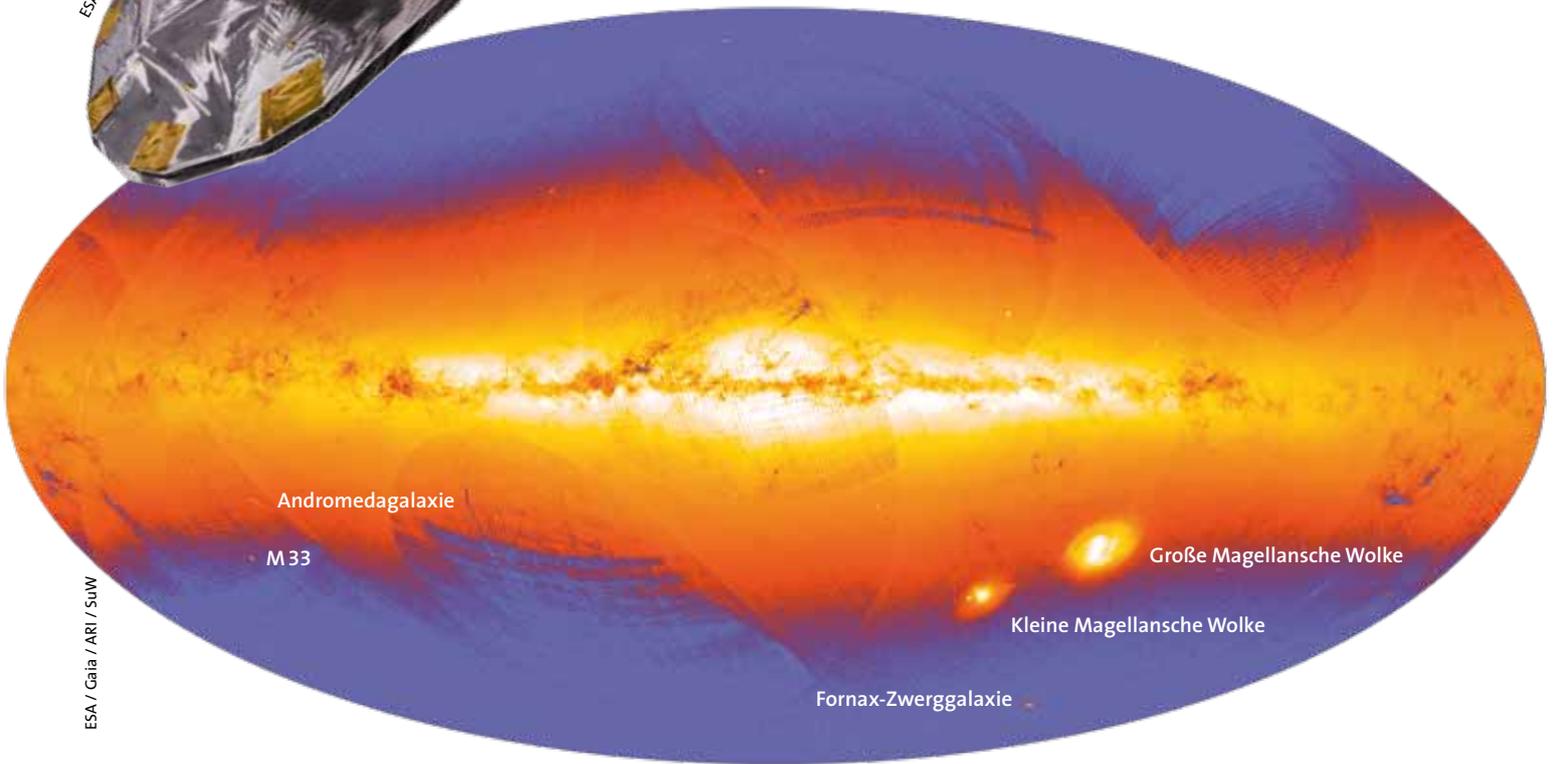
Release 1« freigegeben wurde, ist von vornherein für alle potenziellen Nutzer verfügbar. Dies ist gegenüber den meisten Weltraummissionen eine Besonderheit: Üblicherweise können die an den Missionen beteiligten Wissenschaftler (welche die von ihnen gebauten Instrumente über nationale Mittel selbst finanzieren) für eine bestimmte Zeit exklusiv mit den Daten arbeiten, bevor die übrigen Astronomen der Welt darauf zugreifen können. Bei Gaia ist dies anders: Das Raumfahrzeug und die Instrumente sind hier so eng verzahnt, dass die Europäische Raumfahrtorganisation ESA nicht nur den Start und den Betrieb des Satelliten, sondern auch die wissenschaftlichen Instrumente finanziert hat. Deshalb hat die ESA entschieden, die Gaia-Forschungsergebnisse sofort frei zugänglich zu machen.

Von dieser Regelung profitieren nicht nur alle Wissenschaftler gleichermaßen, sondern auch die zahlreichen Amateur-astronomen. Gerade für diejenigen, die



ESA / ATC mediatlab

Der Astrometriesatellit Gaia (links) hat den gesamten Himmel vermessen. Die Dichte aller im »Data Release 1« enthaltenen Sterne ist in dieser Darstellung farbkodiert. Die Sterndichte läuft von wenigen hundert (blau) bis zu fast einer Million Sterne (weiß) pro Quadratgrad.



ESA / Gaia / ARI / SuW

Die Gaia-Mission

Gaia ist ein Astrometriesatellit der Europäischen Raumfahrtorganisation ESA. Seit Juli 2014 misst er die Positionen von mehr als einer Milliarde Sternen mit zuvor nicht erreichter Genauigkeit.

Um die hohen Anforderungen an die Genauigkeit erfüllen zu können, gibt es an Bord keinerlei bewegliche Teile. Zwei gleichartige Teleskope erfassen simultan zwei weit (um 106,5 Grad) voneinander entfernte Himmelsareale und überlagern die Abbildungen der Sterne auf demselben CCD-Detektor. Während des Messbetriebs rotiert Gaia langsam (mit 60 Bogensekunden pro Sekunde) um eine Achse senkrecht zu den beiden Blickrichtungen, so dass ständig Sterne von einer Seite in die Gesichtsfelder der Teleskope hinein- und zur anderen wieder hinauswandern. Auf diese Weise hat Gaia nach sechs Stunden einen Großkreis von 360 Grad am Himmel abgetastet. Durch die allmähliche Verlagerung der Rotationsachse im Raum wird während der Missionsdauer von fünf Jahren der gesamte Himmel mehrmals erfasst.

Jedes Mal, wenn ein Stern in eines der beiden Gesichtsfelder der Teleskope eintritt, nimmt der Satellit vollautomatisch

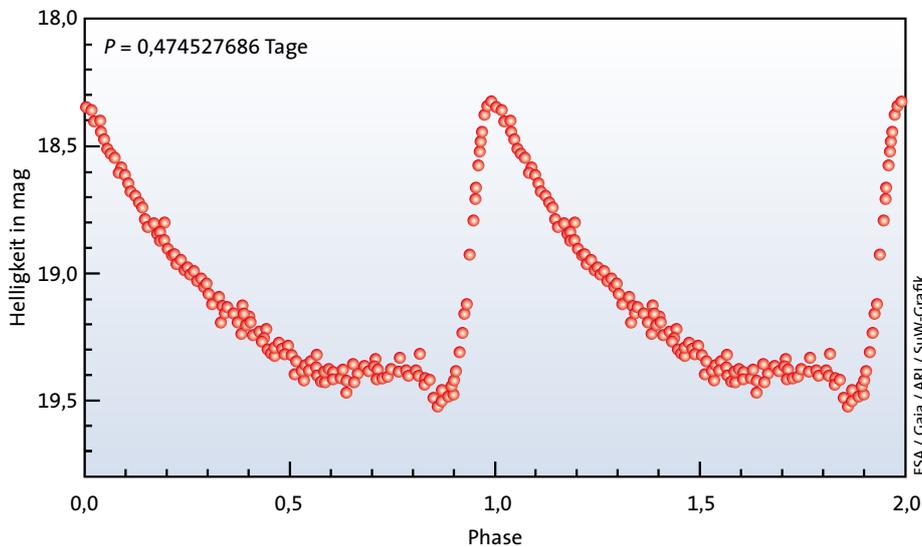
neun astrometrische Einzelmessungen und zwei fotometrische Vielfarbmessungen vor. Für die hellsten zehn Prozent der Sterne werden meist noch drei Spektren aufgenommen. Diese Messungen sind sowohl für die korrekte Auswertung der astrometrischen Daten als auch für die astrophysikalische Charakterisierung der Objekte nötig.

Für die Auswertung und Kalibration der Daten ist das Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC) zuständig. In sechs über Europa verteilten Datenverarbeitungszentren laufen die daten- und rechenintensiven Prozesse ab; ihre Ergebnisse werden von den DPAC-Wissenschaftlern analysiert, interpretiert und für die Übergabe an die Forschungsgemeinde aufbereitet.

Am Ende steht ein Katalog, der von mehr als einer Milliarde Sternen die hochgenauen Positionen, Entfernungen und Bewegungen verzeichnet.



Video »Stellar Parallaxes – How to measure stellar distances with the Gaia satellite«: <http://goo.gl/LLGoqz>



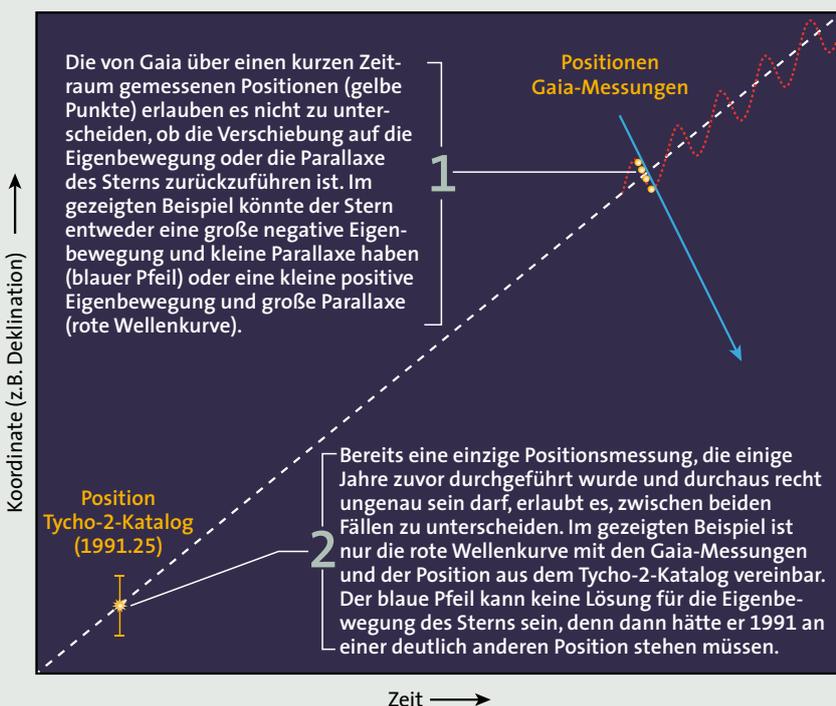
In der Nähe des ekliptikalen Südpols konnte Gaia die Lichtkurven von 3194 pulsationsveränderlichen Sternen registrieren (386 davon hat Gaia neu entdeckt). Als Beispiel ist hier die Lichtkurve eines RR-Lyrae-Sterns gezeigt, der zur Großen Magellanschen Wolke, unserer Nachbargalaxie am Südhimmel, gehört. Der Stern zeigt eine Schwingungsperiode von 11,4 Stunden. Um die Schwingung zu verdeutlichen, wurden in dieser Grafik alle Messungen verdoppelt und in den Zeitraum zweier Perioden zusammengeschoben. Die senkrechte Skala zeigt die von Gaia gemessene Helligkeit in Magnituden (mag).

Trennung von Parallaxe und Eigenbewegung

Bisher liegen nur für eine Auswahl von 2,06 Millionen Sternen neben den Positionen auch hochgenaue Eigenbewegungen und Parallaxen vor. Dies liegt an der bisher recht kurzen Messzeit von Gaia.

Da sich Gaia gemeinsam mit der Erde einmal im Jahr um die Sonne bewegt, scheint die gemessene Position eines Sterns eine Pendelbewegung am Himmel durchzuführen. Diese Parallaxe liefert direkt eine besonders wichtige Größe der Sterne: ihre Entfernung. Dagegen stellt die Eigenbewegung die scheinbare Verschiebung eines Sterns auf Grund seiner Bewegung im Milchstraßensystem relativ zur Sonne dar.

Um Parallaxe und Eigenbewegung zugleich bestimmen zu können, muss Gaia mindestens 18 Monate lang gemessen haben. Für den »Data Release 1«, dessen Grunde liegende Messzeit kürzer ist, haben die Astronomen zu einem Trick gegriffen: Sie zogen die Positionen des Tycho-2-Katalogs hinzu, die um 1991 vom Satelliten Hipparcos gemessen wurden. Durch die große Zeitdifferenz zwischen 1991 und 2015 konnten sie gewissermaßen die Eigenbewegung vorab bestimmen – und sie so von dem Effekt der Parallaxe sauber trennen (siehe Bild).



Astronomie aus Neugier und als Hobby betreiben, ist der Gaia-Sternkatalog von direktem Interesse. So können zum Beispiel Sternbedeckungen durch Planeten oder Kleinplaneten nur dann präzise vorhergesagt werden, wenn die Position des verfinsterten Sterns genau bekannt ist. Aus diesem Grund wurde schon vor einigen Monaten die Gaia-Position eines einzigen Sterns vorab bekannt gegeben, weil er am 19. Juli 2016 vom Zwergplaneten Pluto bedeckt wurde. Da auch die Position von Pluto selbst sehr genau bekannt war – auf Grund des kürzlichen Vorbeiflugs der Raumsonde New Horizons –, gelangen sowohl den Amateuren der International Occultation Timing Organisation (IOTA) als auch einigen professionellen Sternwarten sehr gute Messungen dieses seltenen Ereignisses. Im Bereich der teuren professionellen Astronomie können genaue Sternpositionen zum Beispiel verhindern, dass das Spektroskop des Weltraumteleskops Hubble ins Leere schaut, weil man zu ungenau gezielt hat.

Der Positionskatalog

Umfangreichster Teil des »Data Release 1« ist ein Positionskatalog mit mehr als einer Milliarde Sternen. Er beruht auf Messungen, die Gaia zwischen dem Beginn des wissenschaftlichen Betriebs am 25. Juli 2014 und dem 16. September 2015 durchgeführt hat. Die Helligkeit der gemessenen Sterne liegt zwischen 5 und 21 mag, reicht also von knapp oberhalb der Sichtbarkeitsgrenze für das bloße Auge bis etwa millionenfach darunter. Die typische Positionsunsicherheit für Sterne bis 16 mag liegt unter einer Millibogensekunde und für die lichtschwächsten Sterne bei eini-

Internetformulare und praktische Weblinks

Über Internet-Formulare lässt sich auf die Gaia-Daten zugreifen. Im gezeigten Beispiel sind in der Suchmaske des Astronomischen Rechen-Instituts (ARI) in Heidelberg der Name und die Koordinaten des auf S. 69 in diesem Heft als »Veränderlicher des Monats« vorgestellten Sterns RR Lyrae eingetragen. Eine der beiden Angaben genügt; wenn man den Namen angibt, dann wird im Hintergrund des Formulars die Datenbank SIMBAD in Straßburg nach den Koordinaten befragt. Mit dem gewählten Suchradius von 0,1 Grad finden sich im ersten Gaia-Katalog 1285 Sterne um den Stern RR Lyrae herum, bei 0,01 Grad (36 Bogensekunden) sind es immer noch zehn.

Astronomisches Rechen-Institut

Serviceseiten und Freeware

Zugang zu den Gaia-Daten am Astronomischen Rechen-Institut (ARI) in Heidelberg: <http://gaia.ari.uni-heidelberg.de>

Zugang zu den Gaia-Daten beim ESAC in Villafranca in Spanien: <http://archives.esac.esa.int/gaia/>

Gaia Sky ist ein Freeware-Computerprogramm zur interaktiven, animierten, dreidimensionalen Visualisierung des Gaia-Katalogs für Windows, Mac OS und Linux. Seit dem 14. September 2016 stehen dort auch Videos zur Verfügung, die virtuelle Flüge durch den Katalog erlauben:

<https://zah.uni-heidelberg.de/gaia/outreach/gaiasky>



Kurze Einführung in die Abfragesprache ADQL und ihre Benutzung mittels des Visualisierungsprogramms TOPCAT (Freeware): <http://goo.gl/LMj8lc>

So tauschen sich Fachastronomen aus



Video »Gaia – Teamwork for a billion stars«, mit deutschen Untertiteln: <http://goo.gl/8aZGyO>

gen Millibogensekunden. (Zum Vergleich: Eine Millibogensekunde entspricht dem Winkel, unter dem man die Größe eines Menschen aus der Entfernung des Mondes sehen würde.)

Bisherige Sternkataloge vergleichbarer Sternzahlen haben Ungenauigkeiten von einigen hundert bis zu mehr als tausend Millibogensekunden. Und selbst beim bisher präzisesten Sternkatalog des Astrometriemissionen Hipparcos, der nur 118200 helle Sterne enthält, liegen die zeitlich anwachsenden Unsicherheiten heute bei einigen Dutzend Millibogensekunden.

Von allen Sternen, die Gaia am Himmel registriert hat, ist im Katalog des »Data Release 1« nur die Untermenge enthalten, für die genügend Messungen zu einer guten astrometrischen Lösung geführt haben. Eine grafische Darstellung lässt das Gewimmel der Sterne im Band der Milch-

straße erkennen, das von Dunkelwolken durchzogen ist (siehe Bild S. 33). Ebenfalls auszumachen sind extragalaktische Objekte wie die beiden Magellanschen Wolken, die Andromedagalaxie und die Galaxie M33 im Sternbild Dreieck sowie einige Kugelsternhaufen (kleine helle Punkte). Auch gut erkennbar ist die in dieser frühen Phase der Gaia-Mission noch recht ungleichmäßige Erfassung des Himmels. Sie erzeugt die Bögen und die schmalen dunklen Streifen in einigen Bereichen des Bildes.

Zwei Millionen Eigenbewegungen und Parallaxen

Wissenschaftlich viel interessanter als der Positionskatalog für mehr als eine Milliarde Sterne ist die Auswahl von 2,06 Millionen Sternen, für die neben den Positionen auch hochgenaue Eigenbewegungen und

Parallaxen bestimmt werden konnten. (Die Parallaxe eines Sterns ist die winzige perspektivische Pendelbewegung seiner Position am Himmel, die durch den jährlichen Umlauf der Erde um die Sonne entsteht.) Aus guten Parallaxenmessungen lässt sich eine für das Verständnis der Sterne besonders wichtige Größe bestimmen: die Entfernung. Und aus den Eigenbewegungen der Sterne können beispielsweise Rückschlüsse auf die Zugehörigkeit zu Sternpopulationen und die Mitgliedschaft in Sternhaufen gezogen werden sowie ganz allgemein die wirkenden Kräfte und Bewegungen im Milchstraßensystem erforscht werden.

Aber warum konnte man bisher nur für etwa zwei Millionen Sterne diese wichtigen Größen ermitteln? Die scheinbare Positionsverschiebung durch die Parallaxe kommt dadurch zu Stande, dass sich der

Gaia-Satellit mit der Erde einmal im Jahr um die Sonne bewegt. Dagegen stellt die Eigenbewegung die scheinbare Verschiebung eines Sterns auf Grund seiner Bewegung in der Milchstraße relativ zur Sonne dar. Um beide Bewegungen zugleich zu bestimmen, benötigt man wenigstens 18 Monate an Gaia-Messungen – also mehr als die bisherige Zeitspanne, welche die Grundlage für den »Data Release 1« bilden.

Aus den Gaia-Daten allein war eine solche astrometrische Lösung also noch nicht möglich. Nur mit Hilfe zusätzlicher Informationen gelang der Trick: Man benutzte die Positionen des Tycho-2-Katalogs, die um 1991 vom Hipparcos-Satel-

lit durch Pulsieren der äußeren Schichten ihren Durchmesser, ihre Oberflächentemperatur und ihre Leuchtkraft innerhalb von Tagen beziehungsweise Stunden ändern.

Die Gaia-Daten: anschauen und benutzen

Jedermann kann auf die Gaia-Daten zugreifen. Mehrere Datenzentren in Europa, unter anderem das ESA-Astronomiezentrum ESAC in Villafranca (Spanien), das astronomische Datenzentrum CDS in Straßburg und das Astronomische Rechen-Institut am Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg erlauben einen Zugriff per Internet (siehe Bild und



ULRICH BASTIAN und **STEFAN JORDAN** arbeiten in der Gaia-Gruppe am Astronomischen Rechen-Institut des Zentrums für Astronomie der Universität Heidelberg. Ulrich Bastian ist langjähriges Vorstandsmitglied des Gaia-Konsortiums, und Stefan Jordan ist der Leiter der Öffentlichkeitsarbeit desselben Konsortiums.

Im kommenden Jahr wird eine ganz neue Ära in der Milchstraßenforschung eingeläutet.

liten gemessen wurden. Durch die große Zeitdifferenz zwischen 1991 und 2015 konnte man gewissermaßen die Eigenbewegung vorab bestimmen und sie so vom Effekt der Parallaxe sauber trennen (siehe Kasten S. 34).

Dies gelang für etwas mehr als zwei Millionen Sterne. Deren typische Genauigkeit beträgt bei den Eigenbewegungen rund 1,3 Millibogensekunden pro Jahr, bei den Positionen und Parallaxen etwa 0,3 Millibogensekunden. Dies ist zwar noch weit von der angestrebten Präzision des endgültigen Gaia-Katalogs entfernt, entspricht aber beim Zwanzigfachen an Sternzahl etwa der dreifachen Genauigkeit der Hipparcos-Parallaxen.

3200 pulsierende Sterne

Während der ersten 28 Tage der regulären Messzeit führte Gaias Himmelsabtastung bei jeder Rotation des Satelliten über die beiden ekliptikalen Pole. Dabei wurde eine etwa ein Grad große Gegend in der Großen Magellanschen Wolke nahe am ekliptikalen Südpol mehr als 200-mal von Gaias beiden Gesichtsfeldern gesehen.

Aus den dabei entstandenen Helligkeitsmessungen konnten Lichtkurven für 3194 veränderliche Sterne aus der Klasse der Cepheiden und RR-Lyrae-Sterne gewonnen werden, die als kleine Zugabe zusammen mit den astrometrischen Daten am 14. September veröffentlicht wurden (siehe Bild S. 34). Cepheiden und RR-Lyrae-Sterne sind Veränderliche, die

Kasten S. 35). Nach Eingabe eines Objektens oder einer Position am Himmel lassen sich zum Beispiel die Daten aller Sterne in einem frei wählbaren Umkreis herunterladen.

Mit Hilfe der astronomischen Datenabfragesprache ADQL (Astronomical Data Query Language) sind auch komplexere Anfragen möglich. So kann man sich zum Beispiel die wahrscheinlichen Mitglieder der Plejaden ausgeben lassen, indem man in einem Umkreis von einigen Grad um das Zentrum dieses Sternhaufens alle Sterne mit einer Eigenbewegung von etwa +20 Millibogensekunden pro Jahr in West-Ost-Richtung und -45 Millibogensekunden pro Jahr in Süd-Nord-Richtung auswählt. Im Kasten auf S. 35 findet sich der Hinweis auf eine Einführung in ADQL mit Beispielen.

Und nächstes Jahr ...

Für Ende 2017 ist der erste Gaia-Katalog (Gaia DR2) geplant, der nicht mehr auf die Daten des Vorgängersatelliten Hipparcos zurückgreifen muss. Er wird auf Grund einer immer besser werdenden Kalibration des Satelliten und eines Messzeitraums von 22 Monaten noch deutlich präzisere Sternpositionen enthalten. Vor allem wird dieser zweite Katalog für mehr als eine Milliarde Sterne auch Eigenbewegungen und Parallaxen in bisher unerreichbarer Genauigkeit enthalten. Damit wird in der Erforschung der Geschichte und Struktur unseres Milchstraßensystems eine ganz neue Ära beginnen.

Literaturhinweise

- Bastian, U.:** Projekt Gaia: die sechsdimensionale Milchstraße. Teil 1: Warum und wozu Gaia gebaut wird. In: *Sterne und Weltraum* 5/2013, S. 36–44
- Bastian, U.:** Projekt Gaia: die sechsdimensionale Milchstraße. Teil 2: Wann und wie Gaia arbeiten soll. In: *Sterne und Weltraum* 6/2013, S. 48–55
- Bastian, U.:** Ein Sternhaufen wird zerlegt. Gaia sieht erste Einzelheiten der Milchstraße. In: *Sterne und Weltraum* 3/2016, S. 34–39
- Jordan, S.:** Gaia in der Testphase. In: *Sterne und Weltraum* 5/2014, S. 26–28
- Jordan, S.:** Gaia beginnt mit den wissenschaftlichen Messungen. In: *Sterne und Weltraum* 9/2014, S. 26–29
- Jordan, S.:** Gaia – ein Jahr wissenschaftlicher Messungen. In: *Sterne und Weltraum* 11/2015, S. 20–22

Dieser Artikel und Weblinks im Internet: www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1420516

W I S Didaktische Materialien: www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1156162

AstroViews 8 – Gaia und die Vermessung der Galaxis

www.sterne-und-weltraum.de/astroviews8

SciViews

Die besten Wissenschaftsvideos im Netz.



Neu: Die aktuellen
xeNEWS-Folgen von ARTE Future

SciViews ist das neue Videoportal von **Spektrum der Wissenschaft**. Hier finden Sie die besten Webvideos rund um Wissenschaftsthemen, ausgewählt von unseren Redakteuren und vorgestellt von Fachjournalisten und Wissenschaftsbloggern.

www.SciViews.de

Spektrum
DER WISSENSCHAFT

Mit den besten Videos unserer nationalen und internationalen Medienpartner:

HZB
Helmholtz
Zentrum Berlin



nature



dasgehirn.info
Der Kosmos im Kopf