


# Inventur im Universum

Mit bisher unerreichter Präzision vermisst das europäische Weltraumteleskop *Gaia* an die zwei Milliarden Sterne – ein Datenschatz, der schon jetzt unser Bild der Milchstraße verändert. Ein Mann der ersten Stunde ist **Coryn Bailer-Jones** vom **Max-Planck-Institut für Astronomie** in Heidelberg. Er hat einen Teil des Himmelskatalogs erstellt und darin unter anderem auch nach Sternen gesucht, die unserem Sonnensystem sehr nahe gekommen sind oder dies zukünftig tun werden.



Die Milchstraße  
im Blick: Das  
Satellitenteleskop  
*Gaia* durchmustert  
den Himmel mit  
bisher unerreichter  
Präzision in drei  
Dimensionen. Im  
Fokus der Mission  
stehen die Sterne  
unserer Galaxis.

TEXT THOMAS BÜHRKE

In das *Gaia*-Projekt bin ich reingereutscht“, sagt Coryn Bailer-Jones über den Beginn dieser Erfolgsstory. An der Universität Cambridge hatte er sich mit der Frage beschäftigt, wie man anhand großer Datensätze effektiv Sterne klassifizieren könnte: „Das Verfahren, das ich dort entwickelt habe, basierte im Prinzip auf neuronalen Netzwerken.“ Nach seiner Promotion kam der gebürtige Brite im Jahr 1998 an das Heidelberger Max-Planck-Institut für Astronomie, wo er zunächst Braune Zwerge erforschte. Ein heißes Thema, weil man diese Art von Himmelskörpern erst wenige Jahre zuvor entdeckt hatte.

Doch dann hörte der Wissenschaftler von dem Projekt *Gaia* und fuhr zu

einem von der Europäischen Weltraumorganisation ESA veranstalteten Meeting. Dort wurde der Mitbegründer des Projekts, Michael Perryman, auf ihn aufmerksam und erkannte sofort sein Potenzial. „Er hat mich davon überzeugt, bei *Gaia* einzusteigen“, erinnert sich Bailer-Jones, dessen weitere Karriere damit vorgezeichnet war.

### DAS TELESKOP, DAS KEINE BILDER MACHT

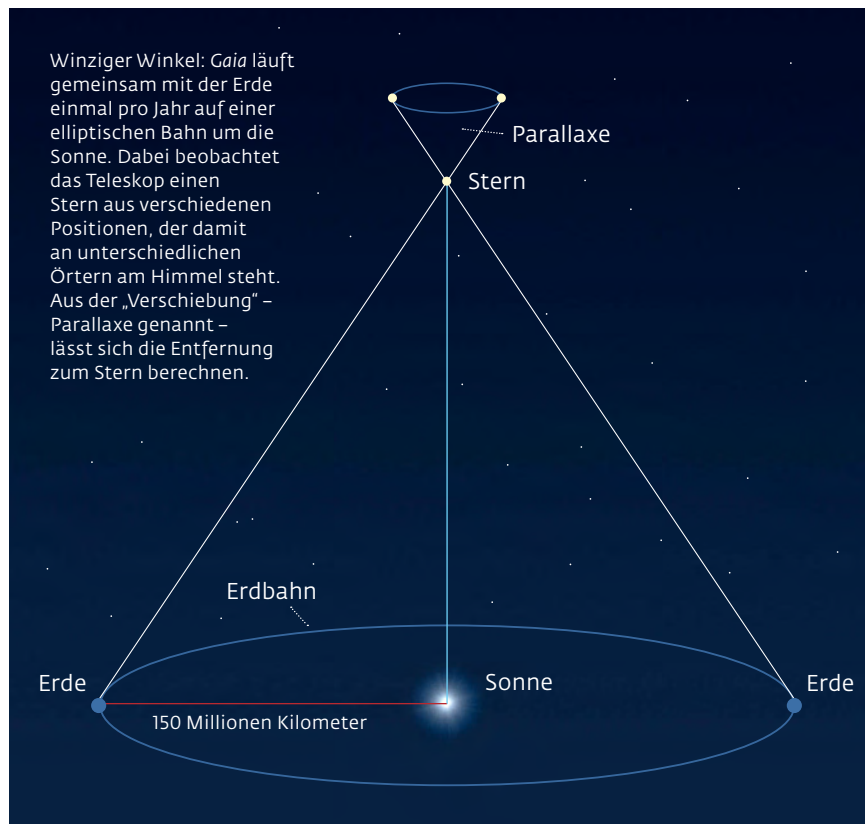
Das Ende 2013 ins All gestartete Teleskop besitzt die größte jemals im Welt- raum eingesetzte Kamera. Doch sie liefert keine einzige Himmelsaufnahme wie etwa das Weltraumobservatorium *Hubble*. *Gaias* Aufgabe besteht vielmehr

darin, in unserer Milchstraße die Positionen, Bewegungen, Helligkeiten und Farben von mehr als einer Milliarde Sternen zu vermessen – ein kosmischer Zensus nie gekanntes Ausmaßes und nie erreichter Präzision.

Das Teleskop *Gaia* arbeitet so genau, dass es die Bewegung eines hypothetischen Käfers auf dem Mond über eine Distanz von wenigen Zentimetern messen könnte. Es rotiert langsam um die eigene Achse und bildet den jeweils im Blickfeld befindlichen Teil des Himmels auf die Gigapixel-Kamera ab. Diese besteht aus 106 CCD-Chips und besitzt die Ausmaße von einem halben auf einen Meter. Am Ende der Mission wird jeder Himmelskörper etwa hundertmal vermessen worden sein.

Das Weltraumteleskop arbeitet nach dem einzigen Verfahren, das auf reiner Geometrie beruht und ohne astrophysikalische Annahmen auskommt. Es funktioniert so: *Gaia* bewegt sich zusammen mit der Erde um die Sonne. Dabei beschreibt das Teleskop eine Bahn mit rund 300 Millionen Kilometern Durchmesser und vermisst die Positionen der Sterne. Da die Himmelskörper während dieses Umlaufs von unterschiedlichen Orten aus beobachtet werden, wandern ihre Positionen am Firmament auf einer winzigen Ellipse – in der sich *Gaias* Bewegung um die Sonne widerspiegelt.

Diesen Effekt kann man sich leicht veranschaulichen. Hierzu halte man einen Finger vor sein Gesicht und betrachte ihn abwechselnd erst mit dem linken, dann mit dem rechten Auge. Dabei scheint der Finger vor dem Hintergrund hin und her zu springen. Die Augen entsprechen zwei Positionen von *Gaia* auf der Umlaufbahn und der Finger einem Stern. Je näher der Stern ist, desto größer ist diese perspektivische Verschiebung, die Parallaxe genannt wird. Mit dem bekannten Durchmesser der Umlaufbahn und den



gemessenen Parallaxen lassen sich die Entfernungen der Sterne berechnen.

Im September 2016 veröffentlichte das *Gaia*-Konsortium den ersten Katalog mit etwa zwei Millionen Sternen. Schon dieser noch sehr unvollständige Datensatz ließ die Astronomen jubeln, doch der zweite Katalog vom April 2018 übertraf die Erwartungen: Er enthält die Positionen, Helligkeiten, Parallaxen und Bewegungen von 1,3 Milliarden Objekten! Ein ungeahnter Datensatz, den die ESA und die europäischen Astronomen des *Gaia*-Projekts allen Forschern weltweit zur Verfügung stellen – ein großzügiges Novum.

Innerhalb der ersten zehn Monate nach der Veröffentlichung der Daten waren bereits mehr als tausend wissenschaftliche Aufsätze erschienen, der erste bereits wenige Stunden nach der Öffnung des Datenarchivs – zwei historische Rekorde. Dies war nur mit einer umfassenden Vorbereitung möglich.

Im Jahr 2006, also lange vor *Gaias* Start, gründete die ESA neun sogenannte Coordination Units (CU). In ihnen bereiten Astronomen und Softwarespezialisten die Daten so auf, dass sie sich ohne weitere Prozessierung für die Forschung nutzen lassen. Zwei dieser CU stehen unter Heidelberger Leitung: CU3

betreut das Astronomische Rechen-Institut des Zentrums für Astronomie Heidelberg. Dort landen rund eine Billion Einzelmessungen und werden so weit verarbeitet und kalibriert, dass am Schluss astrometrische Werte wie Positionen, Bewegungen und Geschwindigkeiten der Sterne vorliegen.

Bis Mitte 2018 leitete Coryn Bailer-Jones CU8. Ihre Aufgabe besteht darin, die astrophysikalischen Größen zu destillieren. „Wir verwenden die bereits prozessierten Endprodukte der Messdaten und müssen deshalb auf die Kollegen warten“, erklärt Bailer-Jones. „Aber wir haben uns natürlich schon lange vor dem Start überlegt, wie wir vorgehen werden.“ So haben die Experten Softwarepakete entwickelt, die miteinander kompatibel sind – und diese Software anhand von simulierten Daten getestet.

Alle an *Gaia* interessierten Astronomen wussten schon seit Langem, in welcher Form die Daten erscheinen würden. Sie hatten ihre Programme rechtzeitig geschrieben und konnten die Katalogdaten mit mehr oder weniger Aufwand verwenden. Die Bandbreite umfasst so gut wie alle astronomischen Fachgebiete – von der Entdeckung von Asteroiden in unserem Sonnensystem über das Aufspüren von Sternströ-

Themenwechsel: Ursprünglich untersuchte Coryn Bailer-Jones sogenannte Braune Zwerge, eine besondere Art von Sternen. Doch dann erfuhr der Astronom von dem Satelliten *Gaia* – und stieg schließlich in das Projekt ein.



## RENDEZVOUS MIT EINEM ZWERG

In den 1970er-Jahren machten sich die Raumsonden *Pioneer 10* und *11* sowie *Voyager 1* und *2* auf den Weg ins äußere Sonnensystem. Sie sind derzeit mehr als hundertmal weiter von der Sonne entfernt als die Erde und fliegen in den interstellaren Raum hinaus. Zu den beiden *Voyagers* besteht noch Funkkontakt.

Für den Fall, dass Außerirdische eine der Sonden aus dem All fischen, befinden sich Botschaften an Bord. Coryn Bailer-Jones hat kürzlich zusammen mit einem Kollegen des Jet Propulsion Laboratory der US-Raumfahrtbehörde NASA berechnet, wann die Sonden in den nächsten Jahrmillionen in die Nähe eines bekannten Sterns geraten. Das Ergebnis: Keine wird einem Stern näher als 0,6 Lichtjahre kommen. Den dichtesten Vorbeiflug wird *Pioneer 11* in 920 000 Jahren in dieser Distanz zu einem Zwergstern namens TYC 992-192-1 erleben.

» Das Team um Coryn Bailer-Jones hat aus *Gaias* Helligkeitsmessungen unter anderem die Temperatur für mehr als 160 Millionen ferne Sonnen bestimmt.

men in der Milchstraße bis hin zur Vermessung der Dunklen Materie.

Das Team um Coryn Bailer-Jones hat aus *Gaias* Helligkeitsmessungen die Temperatur für mehr als 160 Millionen sowie Leuchtkraft und Radius für 77 Millionen ferne Sonnen bestimmt. „Das ist der bisher größte einheitliche Satz von physikalischen Eigenschaften für Sterne“, sagt der Max-Planck-Astronom stolz. Neben den Sternen lassen sich auch Asteroiden, Galaxien und 560 000 Quasare identifizieren. Letztere sind extrem helle Zentralbereiche von Galaxien, in denen jeweils ein schwarzes Loch sitzt. Es zieht Materie aus der Umgebung an, die sich erhitzt und hell aufleuchtet.

Asteroiden zu finden – also Kleinkörper in unserem Planetensystem –, erfordert eine spezielle Auswertestrategie, weil diese sich anders als die Sterne

am Himmel vergleichsweise schnell bewegen. Rund 14 000 dieser Objekte sind bisher ins Netz gegangen. „*Gaia* kann man mit Fug und Recht als Entdeckungsmaschine bezeichnen“, sagt Bailer-Jones.

### EINE WOLKE AUS MILLIARDEN VON BROCKEN

Der Heidelberger Astronom liefert zwar das Material für die Entdeckungen anderer. Er selbst hat sich aber auch ein paar Spezialgebiete geschaffen, die ihn seit Jahren interessieren. Dazu zählt die Frage, ob in der Vergangenheit Sterne nahe an der Sonne vorbeigezogen sind und dabei etwa Kometenschauer ausgelöst haben.

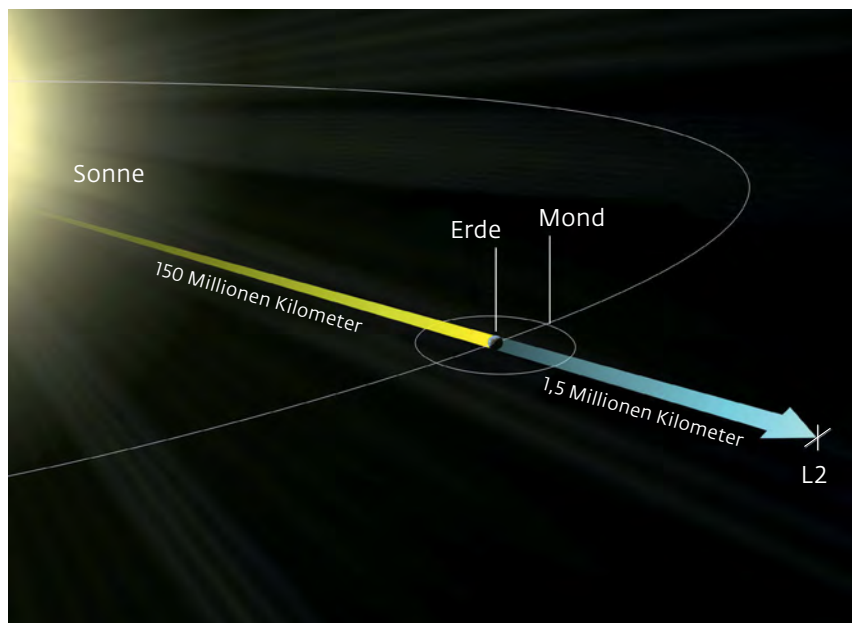
Die Idee dahinter ist schon alt: Unser Sonnensystem ist von einer kugelschalenförmigen Region umgeben, in der sich viele Milliarden Brocken aus

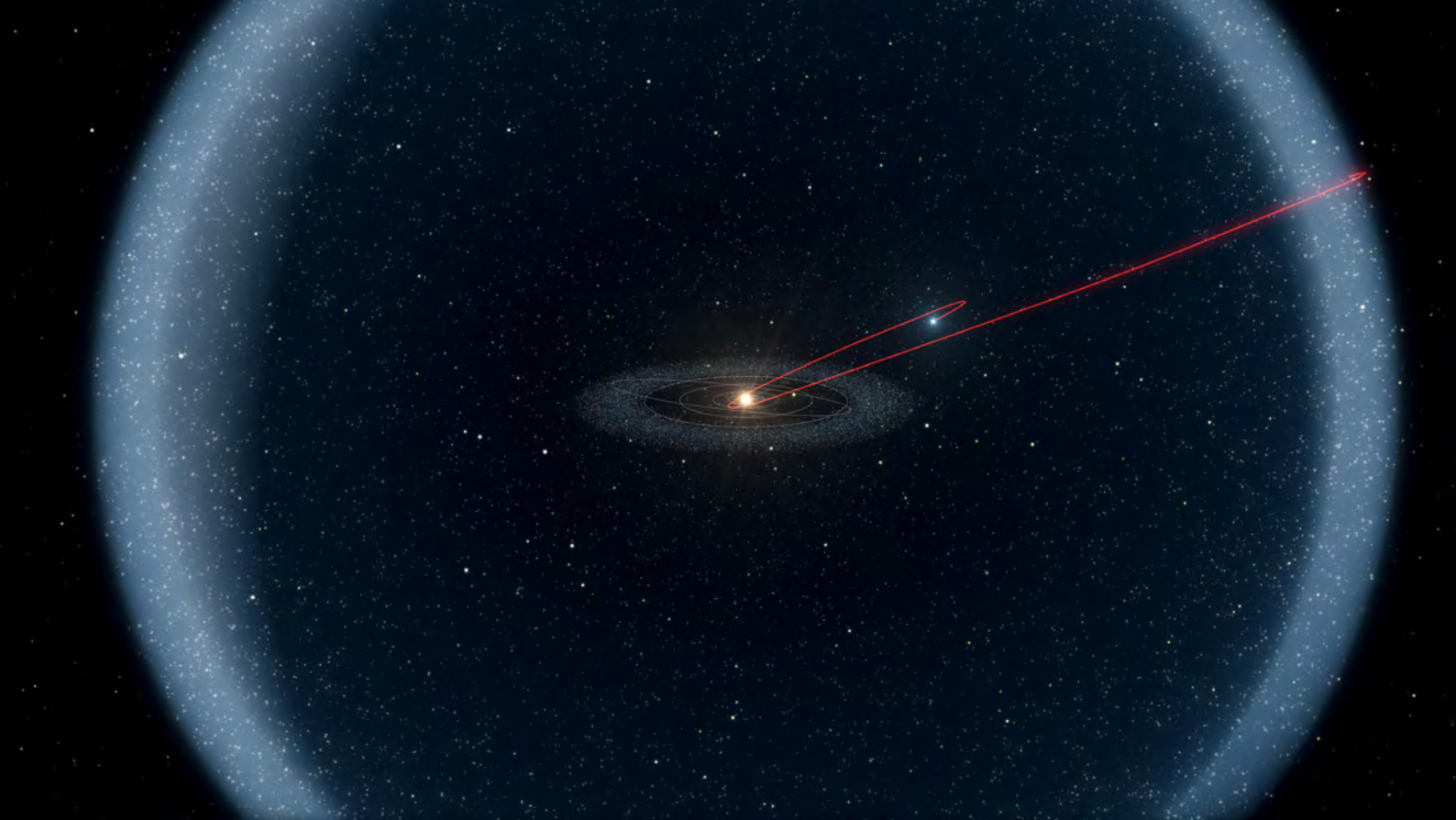
Eis und Gestein aufhalten. Astronomen nennen sie Oortsche Wolke. Normalerweise ziehen die Körper dort ungestört ihre Kreise. Fliegt aber ein Stern durch diese Wolke, so kann er mit seiner Schwerkraft einige der Körper aus ihren Bahnen schleudern. Geraten sie in Sonnennähe, so erwärmen sie sich. Eis verdampft aus dem Innern und reißt Staub mit: Ein Komet ist entstanden.

Was am Himmel faszinierend wirkt, kann aber auch verheerende Folgen haben – nämlich dann, wenn ein kilometergroßer Brocken mit der Erde zusammenstößt. Solche Ereignisse haben die Evolution des Lebens auf unserem Planeten beeinflusst. So führt man das Aussterben der Dinosaurier vor 65 Millionen Jahren zumindest zum Teil auf den Einschlag eines solchen kosmischen Körpers zurück. Allerdings ist nicht bekannt, ob der damalige Besucher ein Komet aus der Oortschen Wolke oder ein Asteroid aus dem inneren Sonnensystem war.

Die *Gaia*-Daten eignen sich in einzigartiger Weise dafür, nach Sternen zu suchen, die vielleicht solche Kometenschauer ausgelöst haben könnten – oder es in der Zukunft tun werden. Die Daten lassen sich ebenso gut in die Vergangenheit wie in die Zukunft extrapolieren. Astronomen vermuten, dass sich die Oortsche Wolke bis in 100 000 Erdbahnradien von der Sonne erstreckt. Das entspricht eineinhalb Lichtjahren und damit rund einem Drittel der Strecke bis zum erdnächsten Stern Alpha Centauri.

Draußen im All: Viele Wissenschaftssatelliten umkreisen die Erde, *Gaia* hingegen bewegt sich um den Lagrangepunkt 2 (L2). Dieser liegt etwa 1,5 Millionen Kilometer von unserem Planeten entfernt und erlaubt weitgehend störungsfreie Beobachtungen.





Kosmisches Trümmerfeld: Vor rund 70 Jahren postulierte der niederländische Astronom Jan Hendrik Oort eine kugelförmige Schale aus unzähligen Eis- und Gesteinsblöcken. Diese Oortsche Wolke soll sich bis zu eineinhalb Lichtjahre ins All erstrecken.

Coryn Bailer-Jones hat also im *Gaia*-Katalog nach Sternen gesucht, die diesen Raumbereich durchquert haben, und konnte auf diese Weise erstmals systematisch angeben, wie häufig so etwas vorkommen kann. In einer Schar von mehr als sieben Millionen Sternen identifizierte er sieben mögliche Eindringlinge. Am interessantesten ist ein Stern namens Gliese 710. „Ein alter Bekannter unserer bisherigen Untersuchungen, dessen Daten wir aber erst jetzt in ausreichender Genauigkeit haben“, sagt Bailer-Jones.

Nach seinen Berechnungen wird sich Gliese 710 in 1,3 Millionen Jahren der Sonne bis auf nur 14 000 Erdbahnradialen nähern. „Außerdem ist er der Stern mit dem größten bekannten Impulsübertrag auf die Oortsche Wolke“, sagt der Astronom. Gliese 710 besitzt etwa 70 Prozent der Sonnenmasse und bewegt sich verhältnismäßig langsam, sodass genügend Zeit vorhanden ist, um Kometenkerne aus ihren Bahnen zu schleudern.

Sensationell wäre es natürlich, wenn die Forscher jenen Stern identifizieren könnten, der den Einschlag vor 65 Millionen Jahren verursachte. „Das ist

aber aus mehreren Gründen unmöglich“, erklärt Bailer-Jones. So lassen sich die Bahnen der Sterne nur innerhalb eines Zeitraums von jeweils etwa fünf Millionen Jahren in die Vergangenheit und in die Zukunft berechnen.

#### FREMDE STERNE ZIEHEN AN UNSERER SONNE VORBEI


Über längere Zeiträume hinweg wird das Ergebnis zu unsicher. Das liegt zum einen an der Genauigkeit der Messdaten, vor allem der Sternradialgeschwindigkeiten; zum anderen am Schwerkraftfeld der Milchstraße, in dem sich alle Sterne bewegen. Dazu tragen nicht nur die Sterne bei, sondern auch große Staubwolken und die rätselhafte Dunkle Materie. Deren räumliche Verteilung muss aus anderen Beobachtungen erschlossen werden, was sehr unsicher ist.

Überdies beobachtet *Gaia* nur Sterne innerhalb eines bestimmten Helligkeitsbereichs: Zu helle blenden den Detektor, zu lichtschwache sieht das Teleskop nicht. Die Zahl dieser entgangenen Sterne lässt sich aber aus anderen Beobachtungen abschätzen. Auf

diese Weise kommt Coryn Bailer-Jones auf eine statistische Häufigkeit, wonach im Mittel alle 200 000 Jahre ein Stern in höchstens eineinhalb Lichtjahren Abstand an der Sonne vorbeizieht. Darunter sind sehr viele Zwergsterne, die mit ihrer geringen Masse in der Oortschen Wolke kaum Verwirrung stiften können.

Bedenkt man aber, dass zwischen der Störung einer Kometenbahn und dem Eintreffen des betroffenen Kometenkerns in Erdnähe mehrere Millionen Jahre vergehen können, befindet sich die Oortsche Wolke eigentlich in ständigem Aufruhr. Auch wenn Bailer-Jones den Dinosaurierkiller wohl nie dingfest machen wird, so hat er doch erstmals solide die Häufigkeit stellarer Eindringlinge in das Kometenreservoir abgeschätzt.

Eine weitere Möglichkeit, den *Gaia*-Datenschatz für eine Analyse zu nutzen, eröffnete kürzlich ein geheimnisvoller Sternbote. Am 19. Oktober 2017 entdeckten Astronomen mit einem Teleskop auf Hawaii einen schwachen Lichtpunkt, der sich über den Himmel bewegte. Zunächst klassifizierten sie ihn als einen weiteren unter be-



Unbekannter Botschafter:  
Im Oktober 2017 entdeckten  
Forscher auf Hawaii einen  
ungewöhnlichen Himmels-  
körper, der durch unser  
Planetensystem flog.  
Handelte es sich um einen  
Asteroiden, einen Kometen  
oder gar um das Sonnensegel  
einer fremden Zivilisation?  
Fest steht, dass dieses  
'Oumuamua genannte  
Objekt von einem fernen  
Stern zu uns kam.

reits 800 000 bekannten Asteroiden. Doch als sie die Bahn dieses Körpers berechneten, wunderten sie sich gewaltig.

Das Objekt bewegte sich nicht wie die Asteroiden um die Sonne, sondern flog mit einer extrem hohen Geschwindigkeit von 95 000 Kilometern pro Stunde fast senkrecht zur Ebene der Planetenbahnen aus unserem Sonnensystem hinaus. Es musste von einem fernen Stern zu uns gekommen sein, hatte das Planetensystem kurz besucht und befand sich bereits wieder auf seiner interstellaren Reise. Der Himmelskörper erhielt den Namen 'Oumuamua, die hawaiianische Bezeichnung etwa für Bote.

Nachdem die Astronomen 'Oumuamua als interstellaren Reisenden identifiziert hatten, alarmierten sie umgehend Observatorien in aller Welt, um ihn eingehend zu untersuchen, solange er sich noch in Sichtweite befand. Die Forscher fanden heraus, dass er eine ungewöhnliche Form besitzen muss, die entweder an eine Zigarre oder an einen Pfannkuchen mit 400 bis 800 Me-

ter Länge beziehungsweise Durchmesser erinnert. Er rotiert nicht fest um eine Achse, sondern taumelt durchs All.

### STAMMT DER EINDRINGLING ETWA VON DER WEGA?

Umgehend stellten sich die Astronomen die Frage, woher der Eindringling wohl gekommen sein mochte. Die ersten Bahnberechnungen deuteten in die Richtung des hellen Sterns Wega im Sternbild Leier. Doch innerhalb einer Reisedauer von etwa 300 000 Jahren haben sich die Sterne weit gegeneinander verschoben, sodass sich Wega nicht in der Nähe dieser Position befand, als 'Oumuamua dort mutmaßlich startete. Das war natürlich ein klassischer Fall für *Gaia*, denn das Teleskop vermisst Sternbewegungen sehr exakt.

„Als ich von 'Oumuamua zum ersten Mal hörte, dachte ich, dass in den nächsten Tagen oder Wochen schon ein Kollege die Frage bearbeiten und veröffentlichen werde“, erinnert sich Bailer-Jones. Erste Versuche im Herbst

2017 stützten sich noch auf den ersten *Gaia*-Katalog, der für diese Analyse zu wenige Sterne besaß. Doch nachdem der zweite Katalog veröffentlicht worden war, passierte nichts.

„Mitte Juli 2018 bekam ich eine E-Mail von Karen Meech, in der sie mich fragte, ob ich die Frage nach 'Oumuamuas Herkunft nicht angehen wolle“, sagt der Heidelberger Wissenschaftler. Meech vom Institut für Astronomie der Universität von Hawaii leitete die 'Oumuamua-Forschung von Beginn an.

Umgehend machte sich Bailer-Jones an die Arbeit und verfasste zusammen mit Kollegen binnen vier Wochen eine Veröffentlichung, in der er vier Kandidaten für jenen Stern fand, bei dem 'Oumuamuas Reise vor mehr als einer Million Jahren begonnen haben könnte. Es bedurfte hierfür eines weiteren wichtigen Beobachtungsbefundes: Im Juni 2018 hatten Astronomen entdeckt, dass 'Oumuamua sich offenbar nicht ausschließlich unter dem Einfluss der Schwerkraft durch das Sonnensystem bewegte hatte. In Son-

»» Das Verfahren erinnert ein wenig an Tontaubenschießen mit Tausenden von möglichen Zielen – Astronomen sprechen lieber von Monte-Carlo-Simulationen.

nennnähe muss eine zusätzliche Kraft aufgetreten sein. Forscher kennen das von Kometen. Diese bestehen zum Teil aus Eis, das bei Erwärmung durch Sonnenlicht zu Gas wird und aus dem Kometenkern herausschießt. Dies verleiht dem Himmelskörper einen Rückstoß ähnlich einer Rakete.

#### AM ENDE BLEIBEN VIER KANDIDATEN ÜBRIG

Erst nachdem Bailer-Jones und Kollegen diesen Effekt berücksichtigt hatten, konnten sie die Bahn korrekt beschreiben und in die Vergangenheit zurückverfolgen. Hierfür mussten sie auch berücksichtigen, ob 'Oumuamua auf dem Weg zu uns durch die Schwerkraft anderer Sterne abgelenkt worden ist.

Für die Analyse wählte das Team zunächst 7,2 Millionen Sterne aus, von denen letztlich rund 4500 heiße Kandidaten übrig blieben. Deren Bewegungen berechneten die Forscher für die vergangenen Millionen Jahre. Das Verfahren erinnert ein wenig an Tontaubenschießen mit Tausenden von möglichen Zielen – Astronomen sprechen lieber von Monte-Carlo-Simulationen.

Letztlich machten Bailer-Jones und Kollegen vier ferne Sonnen als mögliche Herkunftsorte ausfindig. Die eine ist der rötliche Zwergstern HIP 3757. An ihm lief 'Oumuamuas Bahn vor etwas mehr als einer Million Jahren vorbei. Dem sonnenähnlichen Stern HD 292249 hat sich 'Oumuamua vor 3,8 Millionen Jahren noch etwas weiter genähert. Zwei weitere Kandidaten, über die bisher wenig bekannt ist, passierte er vor 1,1 und 6,3 Millionen Jahren. In allen Fällen lag 'Oumuamuas Bahn in einem Abstand von zwei Lichtjahren oder weniger.

Damit ist längst nicht bewiesen, dass einer dieser Kandidaten 'Oumuamuas Heimatstern war. Unklar ist zu-

dem, wie dieser aus dem System herauskatapultiert worden ist. „Er könnte sich in einem Doppelsternsystem befunden haben, und als er dem einen Stern zu nahe kam, wurde er von dessen Schwerkraft ins All geschleudert“, erklärt Coryn Bailer-Jones. Allerdings ist bei keinem der vier Kandidaten bisher ein Begleitstern bekannt. „Denkbar ist auch, dass ein Riesenplanet wie Jupiter 'Oumuamua hinausgeworfen hat.“

All diese Diskussionen sind indes müßig, wenn der Sternenwanderer sich schon vor weit mehr als fünf Millionen Jahren auf die Reise begeben hat. „Wenn das schon vor vielleicht hundert Millionen Jahren passiert ist, hat er eine halbe Runde um das Zentrum der Milch-

straße zurückgelegt, und dann lässt sich sein Weg nicht mehr zurückverfolgen“, sagt Bailer-Jones.

In zwei Jahren wird *Gaias* dritte Datenveröffentlichung erfolgen. Der neue Katalog soll dann Radialgeschwindigkeiten für die zehnfache Menge an Sternen sowie genauere Parallaxen und genauere Eigenbewegungen enthalten. Das könnte zur Identifizierung weiterer Kandidaten führen. Die Suche nach 'Oumuamuas Heimat wird also weitergehen ebenso wie die vielen anderen Forschungen mit *Gaia*-Daten. „Wir haben gerade erst begonnen, den ungeheuren Datenschatz zu sichten“, sagt Bailer-Jones. „Wir werden noch Jahrzehnte davon zehren.“ ◀

#### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Der europäische Astrometriesatellit *Gaia* misst von mehr als einer Milliarde Himmelskörpern Positionen, Helligkeiten, Parallaxen und Bewegungen mit bisher ungekannter Genauigkeit.
- Der Datenschatz ermöglicht tiefgehende Einblicke in Struktur und Entwicklung der Milchstraße.
- Die Bahnen von Sternen lassen sich über Millionen von Jahren in Vergangenheit und Zukunft berechnen.
- Ein Projekt galt der Herkunft von 'Oumuamua. Der Himmelskörper kam aus den Weiten des Weltalls und war vor Kurzem in unser Sonnensystem eingedrungen.

#### GLOSSAR

**Asteroiden**, häufig auch Kleinplaneten oder Planetoiden genannt, sind astronomische Kleinkörper, die auf Keplerschen Umlaufbahnen um die Sonne laufen. Sie haben in der Regel eine kartoffelförmige Gestalt und Durchmesser zwischen einigen Metern und etwa tausend Kilometern.

**Astrometrie** ist ein Teilgebiet der Astronomie und beschäftigt sich mit der Messung und Berechnung von sogenannten Sternörter, also den Positionen der Gestirne am Firmament. Dieser auch Positionsastrometrie genannte Zweig ist die Grundlage vieler astronomischer Forschungen, insbesondere der Himmelsmechanik.

**Radialgeschwindigkeit** ist die Bewegung eines Sterns direkt auf den Beobachter zu oder von ihm weg. Diese Geschwindigkeit lässt sich mittels des sogenannten Dopplereffekts messen, weil sich die Wellenlänge bei Annäherung in den kurzwelligen blauen, beim Entfernen vom Betrachter in den langwelligen roten Bereich des Spektrums verschiebt.