

## Das System AB Doradus

Für den Versuch, einen Braunen Zwerg abzubilden und schließlich dessen Masse direkt zu bestimmen, wählte ein Team um Laird M. Close vom Steward Observatory in Tucson (Arizona) und Rainer Lenzen vom Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg (MPIA) das Sternensystem AB Doradus aus. Dieses ist mit einem Alter von ungefähr 50 Millionen Jahren ein sehr junges Sternensystem, und ist bei einer Entfernung von 48 Lichtjahren unserer Sonne recht nahe. Nach dem heutigen Wissen besteht es aus zwei engen Sternpaaren, die 135 Astronomische Einheiten (AE) von einander getrennt sind. Das untersuchte Paar setzt sich aus dem hellen Vorhauptreihenstern AB Dor A mit einer Masse von 0.89 Sonnenmassen und seinem lichtschwachen, sehr massearmen Begleiter AB Dor C zusammen. Schon in den neunziger Jahren ließ ein verräterisches Hin- und Herwackeln des Sterns AB Dor A darauf schließen, dass ihn ein massearmer Begleiter mit einer Periode von knapp 12 Jahren umkreist. Selbst mit dem Weltraumteleskop HUBBLE gelang es jedoch nicht, den lichtschwachen Begleiter AB Dor C abzubilden.

### Beobachtungen mit Naco-SDI

Die Beobachtungen des Teams um Close und Lenzen wurden im Februar 2004 mit YEPUN durchgeführt, einem der vier 8-Meter-Teleskope der Europäischen Südsternwarte (ESO) auf dem Paranal in Chile. An

diesem Teleskop ist die vom MPIA mit entwickelte, extrem hoch auflösende Kamera NACO installiert. Diese Kamera beiseitigt mit Hilfe Adaptiver Optik einen Großteil der Unschärfe, die durch die Turbulenzen in der Erdatmosphäre hervorgerufen werden. Der Schlüssel zum Erfolg lag jedoch in einer neuen, raffinierten Zusatzoptik für NACO, dem NACO-SDI (*Simultaneous Differential Imager*). SDI wurde für die Suche nach Exoplaneten entwickelt. Dieses Instrument spaltet das Bild eines Sterns in vier gleiche Lichtstrahlen auf, die dann durch einen jeweils verschiedenen Infrarot-Filter geschickt werden. Diese Filter sind durchlässig bei Wellenlängen der für junge, sehr massearme Sterne bzw. Braune Zwerge charakteristischen Methanbanden. Subtrahiert man nun diese Bilder voneinander, so werden als Resultat jene Objekte stark abgeschwächt, die im Spektrum kaum über Methanbanden verfügen, zum Beispiel heiße Sterne wie AB Dor A. Der Helligkeitsunterschied zwischen dieser Komponente und ihrem dunkleren Begleiter wurde dadurch scheinbar verringert, und so wurde der 120 Mal so lichtschwache Begleiter AB Dor C erkennbar (*Nature* **433**, 286 [2005]).

Die Aufnahmen ergaben, dass AB Dor A von seinem Begleiter AB Dor C zum Zeitpunkt der Beobachtung 2.3 AE entfernt war. Dies entspricht am Himmel einem Winkelabstand von nur 0.156 Bogensekunden! Das andere Sternepaar

wurde ebenfalls erst im Zuge dieser Beobachtungen aufgelöst: Die Komponenten AB Dor Ba und AB Dor Bb umkreisen einander in einem Abstand von wenig mehr als einer Astronomischen Einheit.

### Überraschend kühl

Nun konnte direkt die Leuchtkraft von AB Dor C im infraroten Spektralbereich gemessen werden. Diese war zum großen Erstaunen der Wissenschaftler wesentlich geringer, und zwar um den Faktor 2.5, als von den Modellen vorhergesagt. Ebenso erwies sich AB Dor C um 400K kühler als angenommen. Da der Abstand zu AB Dor A bekannt ist, konnte nun erstmals die Masse eines vermeintlichen Braunen Zwergs direkt bestimmt werden. Sie beträgt 93 Jupitermassen. Damit war sie doppelt so groß wie von der Theorie vorhergesagt. Demzufolge handelt es sich bei AB Dor C gar nicht um einen Braunen Zwerg, sondern um einen extrem massearmen, »normalen« jungen Stern.

Dieses überraschende Ergebnis, dass die Massen von Braunen Zwergen, beziehungsweise sehr massearmen Sternen größer sind als die Theorie vorhersagt, wirft eine Reihe von Fragen auf. Haben die Astronomen die Zahl der Braunen Zwerge überschätzt? Sind viele davon in Wirklichkeit etwa massearme, »normale« Sterne? Und sind einige der bereits entdeckten Riesenplaneten möglicherweise massearme Braune Zwerge?

FLORIAN RODLER

# Und sie bewegt sich doch...

## Entfernung und Raumbewegung der Dreiecks-Galaxie M 33

Der scharfe Blick moderner Radioteleskope ermöglicht es erstmals, die winzigen Winkelbewegungen von Galaxien am Himmel direkt nachzuweisen. Diese Beobachtungen liefern neue Erkenntnisse über die Entwicklung der Galaxien im nahen Universum.

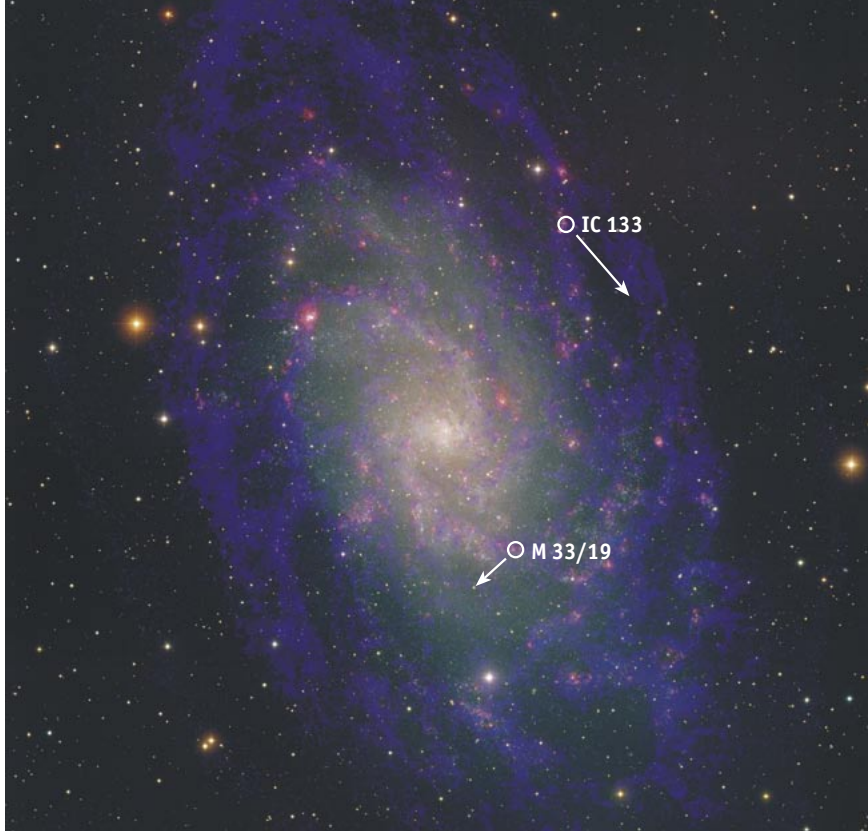
In den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts waren die so genannten »Spiralnebel« Gegenstand einer berühmten Debatte über die Größe des Universums. Einige Astronomen vermuteten, dass die Spiralnebel ein Teil unseres Milchstraßensystems sind, während andere davon überzeugt waren, dass es sich dabei vielmehr um eigenständige Welteninseln handeln müsse. Im Jahr 1923 veröffent-

lichte der niederländische Astronom Adriaan van Maanen eine Arbeit, in der er angab, die Rotation und Eigenbewegung von M 33, einer Spiralgalaxie im Sternbild Dreieck, bestimmt zu haben [1]. Da die gemessenen Winkelbewegungen recht groß waren, interpretierte er dies als den Nachweis einer geringen Entfernung und er behauptete, M 33 sei ein Teil des Milchstraßensystems.

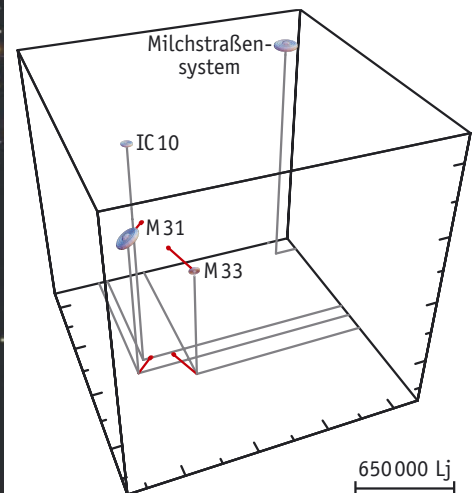
Kurze Zeit später konnte Edwin Hubble diese Beobachtungen jedoch widerlegen, indem er Cepheiden-Sterne in M 33 fand, die er aufgrund ihrer Perioden-Helligkeits-Beziehung als Entfernungsindikatoren benutzen konnte ([2]; siehe auch SuW 10/2003, S. 34–39). Hubble zeigte, dass sich M 33 und vermutlich alle anderen Spiralnebel außerhalb des Milchstraßensystems befinden. Auch zum Nachweis der Rotation von M 33 hätte die Genauigkeit der Daten von van Maanen nicht gereicht. Es bleibt rätselhaft, wie diesem erfahrenen Beobachter eine solche Fehleinschätzung passieren konnte.

### Das »van-Maanen-Experiment«

Erst 80 Jahre später ist es nun mit Hilfe des scharfen Blickes moderner Radioteleskope gelungen, das »van-Maanen-Experiment« zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen [3]. Unsere Arbeitsgruppe in Dwingeloo, Bonn und Cambridge (Massachusetts) verfolgt die Bewegung von zwei Wasserdampf Wolken in M 33 seit drei Jahren (Abb. 1). Der Wasserdampf wirkt als Maser-Quelle und verhält sich



◀ Abb. 1: Die Dreiecksgalaxie M33 mit den Positionen und den Bewegungsrichtungen der beobachteten Wasserdampfwolken. (Bild: T.A. Rector, D. Thilker und R. Braun, NRAO/NOAO/AURA/ASTRON).



▲ Abb. 2: Schematische Darstellung der Positionen der Galaxien IC 10, M 31 (Andromeda-Galaxie) und M 33 (Dreiecks-Galaxie) relativ zum Milchstraßensystem. Die Raumgeschwindigkeit von M 33 sowie die Radialgeschwindigkeit von M 31 sind als Vektoren dargestellt.

dabei wie ein natürlicher Laser, der Radiowellen bei einer Frequenz von 22 Gigahertz, entsprechend einer Wellenlänge von 1.4 Zentimetern, aussendet. Unsere Messungen zeigen, dass sich M 33 etwa 100-mal so langsam bewegt wie van Maanen behauptet hatte. Die Wasserdampf Wolken bewegen sich am Himmel zusammen mit der Galaxie im Jahr nur um etwa 30 Mikrobogensekunden. Die erreichte Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessung beträgt fünf Mikrobogensekunden pro Jahr. Aus einer Entfernung von 500 Kilometern könnte man noch eine Bewegung von 0.01 Millimeter pro Jahr entdecken. Eine solche Genauigkeit erreicht man nur, indem Radioteleskope, die mehrere tausend Kilometer voneinander entfernt sind, mit Hilfe der interkontinentalen Radiointerferometrie (*Very Long Baseline Interferometry*, VLBI) zu einem virtuellen Riesenteleskop zusammenschaltet werden.

### Raubewegung

Unser Ergebnis zeigt, dass sich M 33 mit 190 Kilometern pro Sekunde tangential zu unserem Milchstraßensystem und in Richtung der Andromeda-Galaxie, bewegt (Abb. 2). Vermutlich wird M 33 die Andromeda-Galaxie zunächst kaum treffen, sondern knapp verfehlen.

Bislang waren von unseren Nachbargalaxien nur die Radialgeschwindigkeiten, also die Geschwindigkeiten entlang der Sichtlinie, bekannt. Diese Information beruht auf dem Dopplereffekt. Damit allein ist es jedoch nicht möglich, die räumliche Bewegung einer Galaxie zu rekonstruieren. Will man etwas über die vergangene und zukünftige Entwick-

lung der Galaxien in der Lokalen Gruppe aussagen, so benötigt man Beobachtungen der Bewegungen der Galaxien am Himmel. Nach dem jetzigen Kenntnisstand wäre es durchaus möglich, dass das Milchstraßensystem in einigen Milliarden Jahren mit der Andromeda-Galaxie kollidieren und verschmelzen wird. Außerdem machen wir uns Hoffnungen, mit den neuen Beobachtungen die Masse des Milchstraßensystems und die Verteilung der Dunklen Materie in seiner Umgebung bald besser zu verstehen.

### Geometrische Entfernungsbestimmung

Neben der Bewegung kann aus den gemessenen Daten auch die Entfernung der Galaxie M 33 durch einfache geometrische Prinzipien direkt bestimmt werden, um das Universum in unserer Nachbarschaft neu zu vermessen. Dazu wird die Rotationsgeschwindigkeit der Galaxienscheibe von M 33, die man auch mit Hilfe des Dopplereffektes messen kann, mit der gemessenen Winkelbewegung am Himmel verglichen. Das Ergebnis: M 33 ist etwa 2.4 Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt.

Diese Entfernungsangabe wurde, in einem Schritt, geometrisch ermittelt, und nicht über den Umweg der kosmischen Entfernungsleiter, die auf direkte und indirekte Methoden zurückgreift, was zahlreiche Fehlerquellen mit sich bringt. Daher ist es besonders wichtig, direkte, geometrische Entfernungen zu ermitteln. Mit Hilfe solcher Messungen können wir die extragalaktische Entfernungsskala verlässlich eichen. Besonders interessant ist dabei, dass die Genauigkeit der Bestim-

mung der Eigenbewegung mit jedem weiteren Jahr des Experiments zunimmt.

Mit den heutigen Teleskopen können wir nur die hellsten extragalaktischen Wasserdampf Wolken in wenigen Galaxien beobachten. Dies wird sich erst durch die Inbetriebnahme des *Square Kilometer Array* (SKA) ändern. Dies ist ein geplanter Verbund von vielen Radioteleskopen mit einer Gesamtfläche von einem Quadratkilometer. Mit einem solchen Riesenteleskop wird man die genauen Entfernungen und Bewegungen der meisten benachbarten Galaxien messen können, und sich vielleicht sogar bis in den benachbarten Virgo-Galaxienhaufen vorarbeiten.

ANDREAS BRUNTHALER  
HEINO FALCKE

### Literaturhinweise

- [1] **Adriaan van Maanen:** *Astrophys. J.* **57**, 264 [1923].
- [2] **Edwin Hubble:** *Astrophys. J.* **63**, 236 [1926].
- [3] **Andreas Brunthaler, Mark J. Reid, Heino Falcke, Lincoln J. Greenhill, Christian Henkel:** *Science* **307**, 1440 [2005].