

Der **Physik-Preis 2016** wurde ELSE STARKENBURG, Potsdam, für ihre herausragenden Arbeiten auf dem Gebiet der Galaktischen Archäologie, mit denen sie maßgeblich zur Erforschung der Entstehung unserer Milchstraße beiträgt, verliehen.

## Else Starkenburg Milchstraßenarchäologie



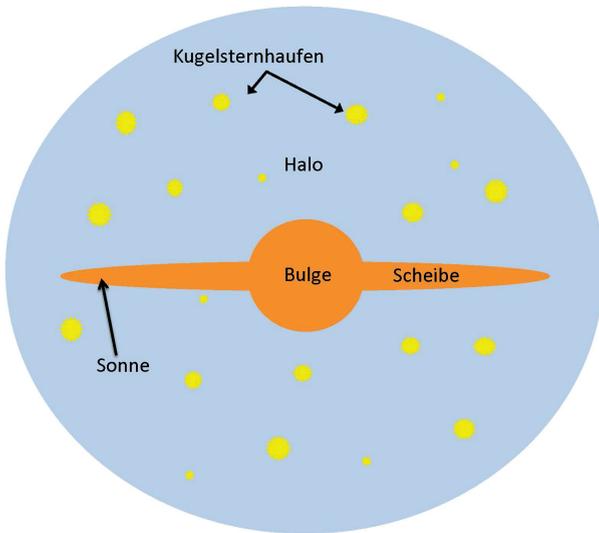
Dr. Else Starkenburg,  
 Emmy Noether Junior  
 Group Leader, Leibniz-  
 Institut für Astrophysik  
 Potsdam. Trägerin des  
 Physik-Preises 2016

Wir können viel lernen vom Studium unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße. Durch Beobachtung von Sternen verschiedenen Alters können wir die Geschichte der Galaxie rekonstruieren. Dieses Fachgebiet wird auch „Galaktische Archäologie“ oder „Milchstraßenarchäologie“ genannt. Der Blick in die Vergangenheit unserer eigenen Galaxie ermöglicht uns, mehr über die Entstehung von Galaxien im Universum sowie über den Ursprung aller verschiedenen chemischen Elemente zu lernen.

Die Milchstraße ist nur eine Galaxie aus den Milliarden von Galaxien in unserem Universum. Aber natürlich ist sie etwas ganz Besonderes, weil wir darin leben.

Das bedeutet aber auch, dass wir sie genauer studieren können als jede andere Galaxie. Und aus diesen sorgfältigen Studien können wir viele Sachen lernen, die auch für die anderen weiter entfernten Galaxien gelten können.

Stellen Sie sich vor, dass wir durch die Milchstraße fliegen. Wir beginnen im Zentrum der Galaxie, wo mehrere Sterne das zentrale Schwarze Loch umkreisen. Wenn wir ein bisschen mehr herauszoomen, sehen wir mehr und mehr Sterne, sie bilden die zentrale runde Region. Erst wenn wir diese sehr dichte Region der Sterne verlassen, sehen wir die Scheibe der Milchstraße. Unsere Sonne existiert am Rand dieser Scheibenstruktur. Insgesamt besteht unsere Milchstraße aus etwa 100 bis 300 Milliarden Sternen. Ihre Ausdehnung in der galaktischen Ebene beträgt etwa 100.000 Lichtjahre, die Dicke der Scheibe etwa 3.000 Lichtjahre und die der zentralen Ausbauchung (auf englisch „bulge“ genannt) etwa 16.000 Lichtjahre. Umgeben ist die Galaxie vom kugelförmigen galaktischen Halo – einer viel größeren, aber auch weniger dichten Struktur – mit einem Durchmesser von etwa 165.000 Lichtjahren. Dieser Halo ist einer Art von galaktischer „Atmosphäre“. In ihm befinden sich neben den etwa 150 bekannten Kugelsternhaufen viele alte Sterne.



Zu Beginn des Universums, kurz nach dem Urknall, war das Universum dunkel und es gab nur drei Atomarten: Wasserstoff, Helium und Lithium. Als das Universum sich ausdehnte und abkühlte, begann Materie zu klumpen und Strukturen zu bilden. Wir nennen diese Periode „das dunkle Zeitalter“, bis der erste Stern anfang zu leuchten. Weil die einzigen anwesenden Elemente Wasserstoff, Helium und Lithium waren, muss auch der erste Stern nur aus diesen Elementen gebildet worden sein. Aber Sterne verschmelzen in ihren Kernen chemische Elemente und verbrennen so diese leichten Elemente, woraus schwerere Elemente entstehen. Am Ende ihres Lebens haben massive Sterne Schalen mit verschiedenen schwereren Elementen. Wenn ein solcher Stern am Ende seines Lebens explodiert, gibt er dieses Material in seine Umgebung frei. Daraus entsteht ein Stern der nächsten Generation. Das kann man viele Generationen wiederholen. Viele Generationen solchen Staubs toter Sterne sind zum Beispiel die Bildung unserer Sonne und Erde vorausgegangen. Deshalb können wir wohl sagen: *wir sind alle Sternenstaub*.

Aus dem Studium des Lichtspektrums eines Sterns können wir erkennen, welche Elemente ein Stern in seiner Atmosphäre hat und wie viel davon. Weil ein Stern für sein ganzes Leben den chemischen Fingerabdruck der Wolke, aus der er gebildet wurde, behält, können wir Sterne verschiedener Altersstufen betrachten, um zu verstehen, wie die Milchstraße chemisch zum Zeitpunkt ihrer Entstehung aussah. Weil wir die Sterne, die es heute noch gibt, untersuchen, um damit die Vergangenheit zu erforschen, nennen wir dieses Forschungsgebiet Milchstraßenarchäologie.

Obwohl sie den gleichen chemischen Fingerabdruck behalten, bleiben die Sterne nicht immer am selben Ort. Galaxien ziehen einander durch ihre Schwerkraft an und manchmal kommen sie einander dadurch so nahe, dass sie verschmelzen. Auf diese Weise werden kleinere Galaxien zu größeren Galaxien. Auch eine Galaxie wie unsere eigene Milchstraße entstand auf diese Art. Mithilfe wissenschaftlicher Computersimulationen glauben wir, dass – insbesondere in den äußeren Regionen – viele kleinere Galaxien einfallen. Diese werden dann von der größeren Galaxie so zerrissen, dass ihre Sterne jetzt Teil der größeren Galaxie sind. Wir sehen das Produkt solcher Prozesse tatsächlich in Aufnahmen von Sternen in großer Tiefe der Milchstraße. Vor allem, wenn wir die Entfernungen zu den Sternen kennen, können wir deutlich sehen, dass sie sich manchmal in großen Sternenströmen befinden, vor allem im galaktischen Halo. Am offensichtlichsten ist der Sternenstrom *Sagittarius Stream*. Wenn wir diesem Strom folgen, finden wir tatsächlich eine Zwerggalaxie, aus der diese Sterne abgestreift werden. Das ist dagegen nicht der Fall für den so genannten *Orphan Stream*, der – wie der Name schon sagt – eine Waise ist. Wir haben noch immer keine Idee, wo seine Eltern zu finden sind, aus denen diese Sterne herkommen.

Sterne können sehr alt werden. Wenn sie von geringer Masse sind, können sie sogar so alt wie das Universum selbst sein. Das bedeutet, dass wir im Prinzip noch einen Stern sehen könnten, der gleich nach dem Urknall gebildet wurde. Wir haben aber leider noch nie einen Stern, der nur aus Wasserstoff, Helium und Lithium besteht, gefunden. Weil die Milchstraße überwiegend aus Sternen der jüngeren Generation besteht und es leider mit der aktuellen Instrumentierung nicht möglich ist, von jedem Stern ein Spektrum zu beobachten, ist es schwierig, diese möglichen Sterne der ältesten Generationen zu finden.

In meiner Forschung mit meiner Emmy Noether Gruppe und internationalen Mitarbeitern verwenden wir zu diesem Zweck das Canada France Hawaii Telescope, das mit einem speziellen Filter zugerüstet ist, der optimiert ist, um Sterne mit fast keinen schweren Elementen zu entdecken. Der spezielle Filter lässt nur das Licht in den Farben der sehr starken Absorptionslinien von Calcium durch. Wenn es wenig Calcium gibt, wissen wir, dass der Stern zu einer frühen Generation der Sterne des Universums gehört. Nur dann beobachten wir das Spektrum der vielversprechendsten Kandidaten sehr detailliert.

Das Ziel dieser Studie ist es, möglichst viele dieser Sterne der ersten Generation in allen Teilen unserer Galaxie im Detail zu beobachten. Diese Sterne erzählen Geschichten eines sehr jungen Universums. Wie sahen die ersten Sterne aus? Wie massiv waren sie? Gibt es in der Milchstraße irgendwo noch einen Stern nur aus Wasserstoff, Helium und Lithium? Darüber hinaus wird ihre Verteilung uns viel lehren über die Evolution der Galaxien. Wo sind die ältesten Sterne in unserer

Galaxie heute? Wie bewegen die Sterne sich in der Milchstraße? Und wie verhält sich diese ersten Generation zu den späteren Generationen der Sterne?

Um die Milchstraße zu verstehen, brauchen wir also vor allem zwei Dinge: die chemische Komposition, um herauszufinden, zu welcher Generation ein Stern gehört, und Himmelsmechanik, um zu verstehen wie sich alles in unserer dreidimensionalen Galaxie bewegt. In unserem dreidimensionalen Raum besteht eine Bewegung immer aus drei Komponenten, die senkrecht aufeinander stehen. Für die Sterne ist es oft einfacher dies als eine radiale Komponente und zwei Eigenbewegungen zu sehen. Eigenbewegungen werden gemessen, indem Bilder von zwei Zeitpunkten miteinander verglichen werden. Radialgeschwindigkeiten werden mithilfe der Linienverschiebung in Spektren gemessen. Im Fachbereich der Studien der Milchstraße freuen wir uns besonders auf die Ergebnisse der Gaia-Mission (<http://sci.esa.int/gaia/>). Gaia ist ein Satellit der Europäischen Weltraumagentur ESA; die Mission hat Ende 2013 angefangen. Gaia wird die Eigenbewegungen von Milliarden Sternen messen. Dieser Satellit misst mit einer Genauigkeit von etwa 20  $\mu$ arcsec (microarcsecond oder ein Millionste Bogensekunde) bei hellen Sternen von Größenklasse bis 15 und 200  $\mu$ arcsec bei Sternen bis Größenklasse 20. Das heißt, Gaia kann so präzise messen, dass es eine Euro-Münze auf dem Mond unterscheiden kann – von der Erde aus! Die Messungen des Gaia-Satelliten sind wirklich eine große Verbesserung gegenüber den alten Messungen. Der Bereich, in dem diese präzisen Messungen möglich sind, war vorher nur so groß wie das Gebiet in der Nähe der Sonne. Jetzt wird es sich aber über die ganze Galaxie ausstrecken.

Was noch fehlt, gerade auch nach Gaia, sind Messungen der Radialgeschwindigkeiten der meisten Sterne. Wir brauchen Spektroskopie, um unsere Milchstraße völlig verstehen zu können und die Herkunft und Verteilung der chemischen Elemente zu kartieren. Komischerweise befinden wir uns also in einer gleichen Situation wie vor etwa hundert Jahren der berühmte Göttinger Astrophysiker Karl Schwarzschild und seine Zeitgenossen. Auch diesen Wissenschaftlern standen mehr Informationen über Eigenbewegungen als Radialgeschwindigkeiten zur Verfügung (aber natürlich nur für sehr wenig Sterne verglichen mit heute). In den nächsten Jahren werden weitere umfassende Projekte geplant, um diese Spektren zu bekommen. Eins davon, geleitet von meinem Institut – das Leibniz Institut für Astrophysik Potsdam (AIP), ist 4MOST (*4-metre Multi-Object Spectroscopic Telescope*, <http://www.4most.eu>). 4MOST wird vier galaktische und vier extragalaktische Himmeldurchmusterungen machen und ist für 2022 geplant. In einer einzigen Beobachtung kann es 2400 Spektren messen, eine wesentliche Verbesserung gegenüber aktuellen Techniken.

Kurz gesagt sieht die Zukunft für uns Milchstraßenarchäologen vielversprechend aus. Hoffentlich können wir in Zukunft die Vergangenheit unseres Universums noch besser verstehen!