

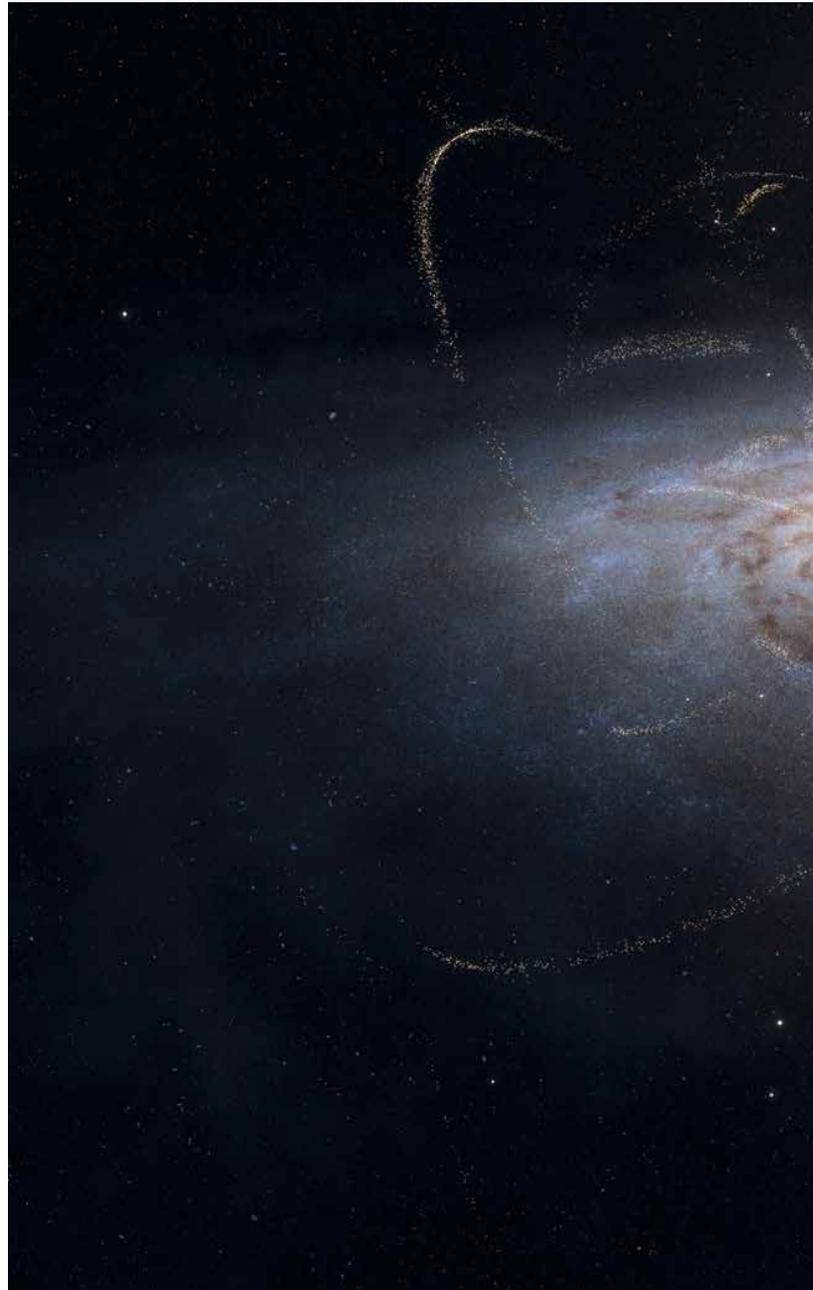
# AM URSPRUNG DER MILCHSTRASSE

TEXT: MARKUS PÖSSEL

64

Galaxien, wie wir sie heute kennen, blicken auf eine bewegte Vergangenheit zurück. Es gab schwungvolle Kollisionen, mächtige Gasströme und Phasen heftiger Sternentstehung – auch in unserer Heimatgalaxie. Deren Geschichte rekonstruiert ein Team um Hans-Walter Rix am Max-Planck-Institut für Astronomie und betreibt damit eine Art kosmischer Archäologie.

BILD: S. PAYNE-WARDENHAR, K. MALHAN / MPI FÜR ASTRONOMIE





**Zeugen vergangener Kollisionen: In der künstlerischen Darstellung unserer Milchstraße sind Sternenströme zu erkennen, die in weiten Bögen aus der scheibenförmigen Spiralgalaxie ragen und Relikte von Verschmelzungen mit anderen Galaxien darstellen.**

65

Unsere Milchstraße ist beinahe so alt wie das Universum und blickt auch auf eine ähnlich turbulente Geschichte zurück. Wie die meisten Galaxien existiert sie bereits seit rund 13 Milliarden Jahren, sie ist also schon

während der ersten Milliarde Jahre nach dem Urknall entstanden. Ihre Entwicklung lässt sich dabei in mancher Hinsicht mit der Historie vieler Städte und Staaten vergleichen. Details ihrer Geschichte können Astro-

nominnen und Astronomen anhand von Beobachtungsdaten inzwischen recht gut rekonstruieren. „Dabei lernen wir nicht nur etwas über Anfang und Frühzeit unserer Heimatgalaxie, sondern auch über die Entwicklung



ferner Galaxien, die wir nicht so gut beobachten können“, erklärt Hans-Walter Rix, Direktor am Max-Planck-Institut für Astronomie. Sein Team schreibt an einer ausführlichen Chronik der Milchstraße mit. Dabei gehen die Forschenden ähnlich vor, wie Historikerinnen oder Archäologen die Geschichte einer Stadt rekonstruieren: Für einige Gebäude gibt es eindeutige Baudaten. Bei anderen deuten die Verwendung primitiverer Baumaterialien oder die Merkmale älterer Baustile darauf hin, dass sie früher entstanden sind. Auch der Umstand, dass Überreste von Gebäuden unter neueren Strukturen gefunden werden, gibt bedeutende Anhaltspunkte. Nicht zuletzt sind räumliche Muster wichtig: In vielen Städten gibt es eine zentrale Altstadt, die umgeben ist von deutlich neueren Stadtteilen.

Nicht viel anders verhält es sich in der Milchstraße und anderen Galaxien. Zeugnis von deren Vergangenheit legen ihre Sterne ab: Auch unter diesen gibt es einige, deren Alter die Astronomie recht genau bestimmen kann. Geht das nicht, lässt sich aus der Zusammensetzung der Sterne gewissermaßen ihr Baustil bestimmen, der zumindest ungefähre Rückschlüsse auf das Alter erlaubt. Und wie Städte einen Bauboom oder intensive Umbauphasen durchlaufen können, wird die Geschichte von Galaxien durch Kollisionen und Verschmelzungen geprägt sowie durch große Mengen an frischem Wasserstoffgas, das über Milliarden Jahre hinweg von außen in eine Galaxie einströmen kann – das Rohmaterial, aus dem sich neue Sterne bilden. Ganz am Anfang der Geschichte einer Galaxie stehen dabei kleinere Protogalaxien: Regionen, in denen bereits in der ersten Milliarde Jahre nach dem Urknall Sterne entstanden. Sie bildeten die Keime der Galaxien, die wir heute kennen.

Die Milchstraße nahm vermutlich ihren Anfang, als drei oder vier solcher Protogalaxien verschmolzen, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander gebildet hatten. Eine solche Entstehungsgeschichte einer Galaxie rekonstruieren Astronominnen und Astronomen mithilfe von Beobachtun-

gen und Simulationen. „Dabei haben uns Himmelsdurchmusterungen sehr geholfen“, sagt Hans-Walter Rix. „Sie haben uns dramatisch bessere und umfassendere Daten geliefert, als zuvor verfügbar waren.“ Bei Durchmusterungen rastern Teleskope Teile des Nachthimmels und sammeln damit Informationen etwa über die Position und die Helligkeit von Sternen. Die Sterne der Milchstraße lassen sich dabei naturgemäß am besten und detailliertesten untersuchen.

---

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Ein Team des Max-Planck-Instituts für Astronomie rekonstruiert die frühe Geschichte der Milchstraße unter anderem anhand von Daten des Weltraumteleskops Gaia, das Positionen und Bewegungen von Sternen bestimmt sowie Informationen über deren Alter liefert.

Im Alter von wenigen Milliarden Jahren vereinigte sich die Milchstraße mit der Gaia-Enceladus/Sausage-Galaxie, in der Folge durchlief sie eine Phase intensiver Sternentstehung.

Im Kern der Milchstraße finden sich Sterne, die älter sind als 12,5 Milliarden Jahre und kurz nach der Verschmelzung der Protogalaxien, das heißt der Vorläufer unserer Galaxie, entstanden.

---

Für die archäologischen Arbeiten in der Milchstraße nutzte das Team um Hans-Walter Rix die Durchmusterungen des ESA-Satelliten Gaia, des Sloan Digital Sky Survey und des chinesischen Teleskops Lamost. Gaia hat bis heute die Positionen, Bahnen und Helligkeiten von fast zwei Milliarden Sternen der Milchstraße bestimmt – das entspricht rund einem Prozent der gesamten Sternpopulation unserer Heimatgalaxie. Lamost wiederum misst die Spektren von etwa zehn Millionen Sternen, indem

es deren Licht in die Regenbogenfarben aufspaltet. Anhand dieser Daten ermittelten Hans-Walter Rix und Maosheng Xiang, der ebenfalls am Max-Planck-Institut für Astronomie forscht, zunächst die Oberflächen-temperatur, die Leuchtkraft und die chemische Zusammensetzung von 250 000 sogenannten Unterriesen. Diese befinden sich in einer relativ kurzen Phase der Sternentwicklung, in der sich das Alter der Sterne anhand der verfügbaren Daten sehr genau bestimmen lässt. Indem die Forschenden die Gaia- und Lamost-Daten genauer betrachteten, erhielten sie ein klares Bild der frühen Entwicklung unserer Heimatgalaxie. Im Alter von wenigen Milliarden Jahren durchlief die Milchstraße eine turbulente Phase, denn damals verschmolz sie mit einer anderen Galaxie, genauer gesagt der Gaia-Enceladus/Sausage-Galaxie.

Die beiden Galaxien führten enorme Gasmengen mit sich, die sich bei der Verschmelzung verdichteten, sodass innerhalb kurzer Zeit zuhauf neue Sterne entstanden. Diese sammelten sich in einem Bereich der Galaxie an, der in der Astronomie die dicke Scheibe der Milchstraße heißt. Später ging es in puncto Sternentstehung viel ruhiger zu: „Nach der turbulenten Frühzeit fand sich deutlich weniger Wasserstoffgas in der Galaxie“, sagt Maosheng Xiang. „Es sammelte sich in derjenigen Struktur an, die wir heute die dünne Scheibe unserer Galaxie nennen.“

Als Maosheng Xiang und Hans-Walter Rix die Verschmelzung mit Gaia-Enceladus/Sausage rekonstruierten, fiel ihnen auf, dass daran auch schon relativ alte Sterne beteiligt waren. Das stellten sie anhand der Bauart dieser Sterne fest, um im Bild der Archäologie zu bleiben. Zumindest ein grobes Maß für das Alter eines Sterns liefert dessen Metallizität, das heißt die Menge an chemischen Elementen in der Sternatmosphäre, die schwerer sind als Helium. Solche Elemente, die in der Astronomie Metalle heißen, entstehen im Sterninneren durch Kernfusion und werden am Ende des Lebens massereicher Sterne in einer

Supernova freigesetzt. Dadurch reichert sich das interstellare Gas mit schwereren Elementen an, und aus jenem Gas entsteht die nächste Generation von Sternen, dann mit höherer Metallizität. Sterne mit höherer Metallizität sind deswegen tendenziell jünger als solche mit geringerer Metallizität. Einige Sterne aus der Zeit der Verschmelzung mit Gaia-Enceladus/Sausage weisen eine Metallizität auf, die darauf hindeutet, dass sie aus den Überresten einer früheren Sternengeneration entstanden sind.

„Dass es diese früheren Sternengenerationen gab, hat uns nicht überrascht“, sagt Hans-Walter Rix. „Auf deren Existenz deuteten bereits aufwendige Simulationen der kosmischen Geschichte hin.“ Die Simulationen sagen auch voraus, wo sich heute noch Vertreter der früheren Sternengenerationen finden lassen sollten: in der relativ kompakten Kernregion der Milchstraße, nur ein paar Tausend Lichtjahre im Durchmesser. Dieser uralte Kern im Zentrum unserer Galaxie dürfte sich aus den ersten Protogalaxien gebildet haben, als diese zur Milchstraße verschmolzen. Und dort dürften sich die frühen Sterne auch heute noch finden lassen.

„Wir haben also überlegt, wie wir diese Sterne aus dem alten Kern unserer Galaxie aufspüren können“, sagt Rix, der dieses Projekt gemeinsam mit René Andrae, Forscher am Max-Planck-Institut für Astronomie, und Vedant Chandra, einem Gastdoktoranden der Harvard University, an-

ging. „Es war klar, dass wir dabei mit den Daten der Unterriesen nicht weiterkommen würden.“ Unterriesen sind zu lichtschwach, als dass sie jenseits von Entfernungen von etwa 7000 Lichtjahren beobachtet werden könnten. Daher konzentrierten sich die Forscher auf einen anderen Typ von Sternen – die Roten Riesensterne. Typische Rote Riesen sind etwa hundertmal heller als Unterriesen und damit auch in der Entfernung des galaktischen Zentrums und seiner Nachbarschaft gut zu beobachten. In den Gaia-Messungen finden sich Informationen über zahlreiche Rote Riesen, und seit der jüngsten Datenveröffentlichung im Sommer 2022 sogar die zugehörigen Spektren. Eine präzise Altersbestimmung wie bei den Unterriesen ist bei den Roten Riesen zwar nicht möglich, doch über ihre Metallizität, die sich anhand der Spektren bestimmen lässt, kann man ihr Alter zumindest ungefähr abschätzen.

## Künstliche Intelligenz analysiert Spektren

Allerdings sind die Spektren von Gaia zu schlecht aufgelöst, als dass sich die Spektrallinien verschiedener Elemente mit herkömmlichen Analysemethoden identifizieren ließen. Aus diesem Grund setzte Rix' Team auf künstliche Intelligenz, kurz KI, denn diese kann in Daten wesentlich subtilere Unterschiede erkennen als andere Methoden. Allerdings muss der ent-

sprechende Algorithmus für jede dieser Aufgaben gut trainiert werden. Hier kam den Forschenden zugute, dass die Metallizität eines Teils der Sterne, von denen Gaia Spektren aufzeichnete, bereits aus einer anderen Himmelsdurchmusterung bekannt war. Mithilfe dieser Trainingsdaten

## GLOSSAR

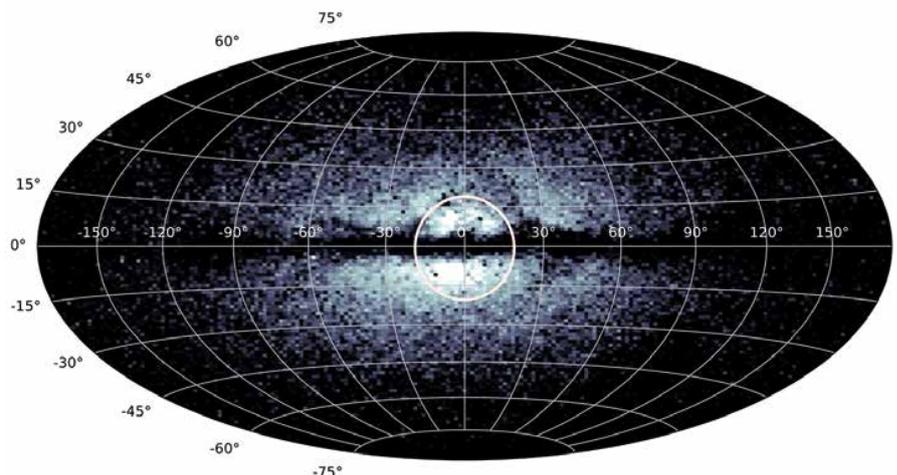
**METALLIZITÄT** beschreibt in der Astronomie die Häufigkeit chemischer Elemente, die schwerer sind als Wasserstoff und Helium. Sie lässt sich aus dem Spektrum eines Sterns bestimmen und ist ein grobes Maß für dessen Alter.

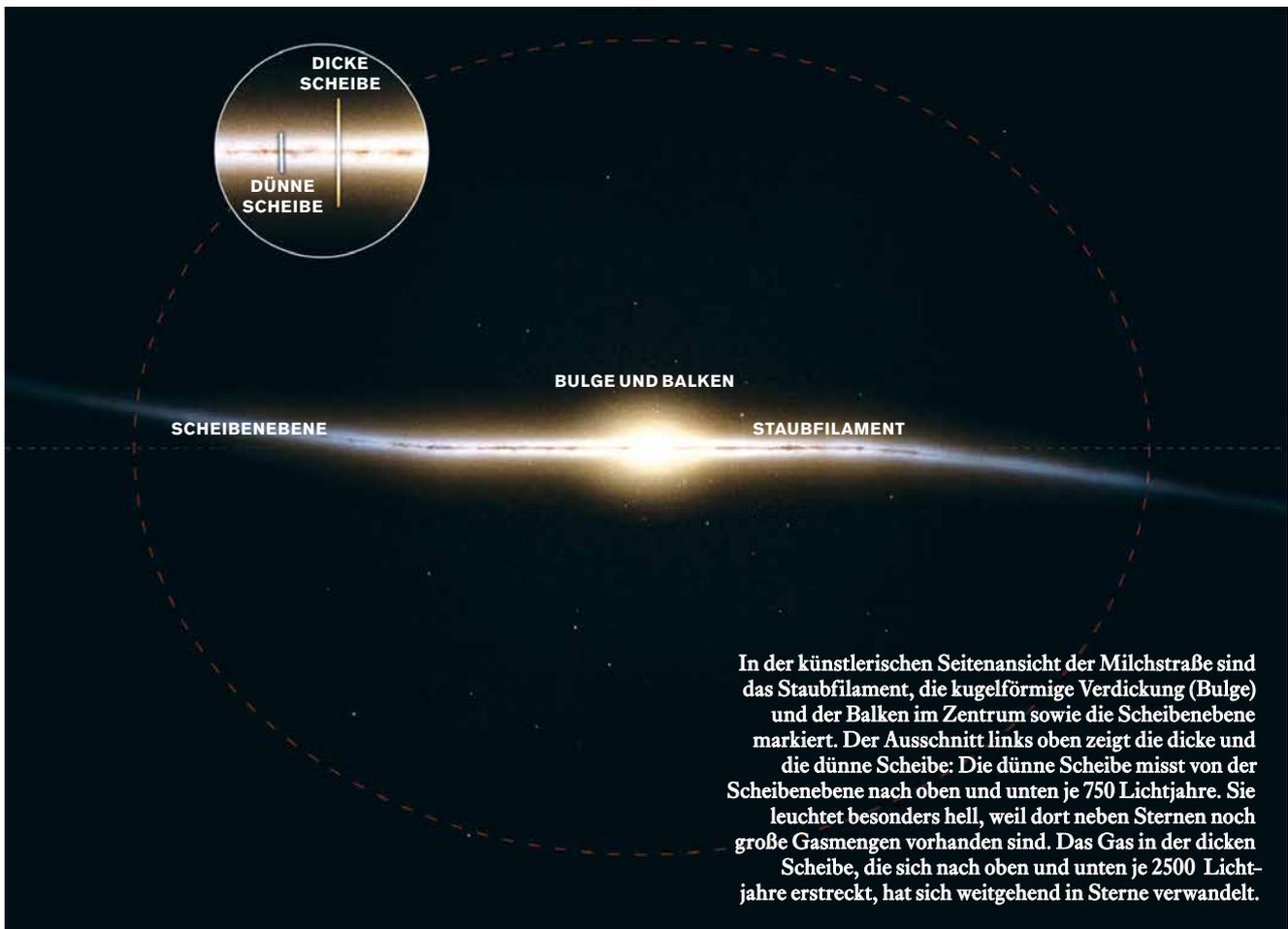
**RIESENSTERNE** heißen sonnenähnliche Sterne, deren Brennvorrat zur Neige gegangen ist und die sich daher aufblähen. Die Astronomie unterscheidet Unterriesen und Rote Riesen. Unterriesen befinden sich in einem relativ kurzen Entwicklungsstadium, sodass sich ihr Alter genau bestimmen lässt. Rote Riesen sind bis zu 100-mal größer und bis zu 1000-mal leuchtkräftiger als unsere Sonne, aber relativ kühl und erscheinen daher rötlich.

**SPEKTRUM** bezeichnet die Intensitätsverteilung etwa von Licht abhängig von der Wellenlänge. Die Linien im Spektrum eines Sterns sind charakteristisch für chemische Elemente in dessen Atmosphäre.

67

Der alte galaktische Kern: Die Karte zeigt die Verteilung Roter Riesensterne in der Milchstraße in ähnlicher Weise, wie bestimmte Weltkarten die Oberfläche der Erde darstellen. Im Äquator liegt die Scheibe der Galaxie, in der Gas und Staub die Sicht auf die Sterne verdecken. Im Zentrum (weißer Kreis) befinden sich Sterne, die schon mehr als 12,5 Milliarden Jahre alt sind.





lernte der Algorithmus, die Metallizität auch aus den Gaia-Spektren herauszulesen. Ob die künstliche Intelligenz nach dem Training fit für die Aufgabe war, überprüften die Forschenden an Spektren von Sternen, deren Metallizität ebenfalls bekannt war, die aber nicht fürs Training verwendet worden waren. Wie sich zeigte, konnte der Algorithmus die Metallizität aus den Gaia-Spektren mit beeindruckender Genauigkeit ermitteln.

So konnte das Team sicher sein, dass die KI auch für die zwei Millionen Gaia-Spektren von Roten Riesen in den inneren Regionen der Milchstraße zuverlässige Werte hinsichtlich der Metallizität liefern würde. Damit konnte das Team dann in der Tat eine Population von Sternen mit der passenden Metallizität identifizieren, die den uralten Kern unserer Heimat-

galaxie bilden. Der Vergleich mit den Unterriesen, deren Alter Rix und Xiang in der früheren Studie bestimmt hatten, zeigt, dass dieser alte Kern der Milchstraße älter als circa 12,5 Milliarden Jahre sein muss. Die Sterne befinden sich alle in maximal rund 15 000 Lichtjahren Entfernung vom Zentrum – zum Vergleich: Die gesamte Milchstraße erstreckt sich über fast 200 000 Lichtjahre.

## Gesucht sind Sterne der Protogalaxien

Weitere Analysen der chemischen Zusammensetzung zeigten, dass diese Sterne trotz ihres hohen Alters sehr wahrscheinlich erst in der Milchstraße entstanden sind, kurz nachdem die Protogalaxien verschmolzen

waren. „Damit haben wir bestätigt, was kosmologische Simulationen über die Frühgeschichte unserer Heimatgalaxie vorhergesagt hatten“, sagt Hans-Walter Rix.

Als Nächstes hoffen die Forschenden, mit hochaufgelösten Spektren weiterer Himmelsdurchmusterungen die Positionen und sogar die Bewegungsmuster der Sterne im Kern der Milchstraße genau zu bestimmen. Lassen sich die Sterne bei einer solchen Analyse unterscheidbaren Gruppen mit jeweils charakteristischem Bewegungsmuster zuordnen, so könnten diese Gruppen den Protogalaxien entsprechen, aus denen die Milchstraße entstanden ist. Hans-Walter Rix und sein Team wären in ihrer kosmischen Archäologie dann tatsächlich am Ursprung der Milchstraße angelangt.

