

Radioschüssel APEX in Chile: Das Teleskop Atacama Pathfinder Experiment ist empfindlich für den Millimeter- und Submillimeterbereich. Es befindet sich auf dem Chajnantor-Plateau in der chilenischen Atacamawüste in 5100 Meter Höhe. Der Parabolspiegel hat einen Durchmesser von zwölf Metern.



Carlos A. Durán / ESO (www.eso.org/public/images/dsc_45781001-cc/) / CC BY 4.0 (creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode)

3-D-Blick auf dichtes Gas in unserer Galaxis

W I S wissenschaft in die schulen!

Im Projekt SEDIGISM untersuchen Astronominnen und Astronomen mit dem Teleskop APEX in Chile Molekülwolken und die Entstehung von Sternen im inneren Bereich des Milchstraßensystems und enthüllen dabei dessen dreidimensionale Struktur.

Sterne entstehen im Milchstraßensystem auch gegenwärtig noch im Inneren von dichten und kalten Molekülwolken. Wahre Giganten mit der vielfachen Masse der Sonne bilden sich dabei in den dichtesten und massereichsten Wolken, nämlich den Riesenmolekülwolken. Im Vergleich zu ihren sonnenähnlichen Geschwistern entstehen zwar viel weniger dieser massereichen Sterne, aber ihr Einfluss auf die Galaxien, in denen sie geboren werden, ist groß. In ihrem kurzen, aber oft dramatischen Leben dominieren sie ihre Umgebungen: Dies geschieht durch starke Sternwinde und energiereiche Ultraviolettstrahlung, die ihre Geburtsstätten ionisiert. An ihrem Ende ste-

hen spektakuläre Supernova-Explosionen, durch die sie dem interstellaren Medium und damit den nächsten Sternenerationen schwere Elemente zuführen (siehe SuW 3/2020, S. 30).

Die Erforschung der Geburt dieser massereichen Sterne hat daher für die Astrophysik große Bedeutung. In ihrer Jugend sind sie noch tief in die elterlichen Molekülwolken eingebettet und so im optischen Spektralbereich nicht sichtbar. Erst bei längeren Wellenlängen im Submillimeter-Bereich lassen sich ihre Geburtsstätten aufspüren. Für eine galaxisweite Suche und Charakterisierung dieser Orte sind deshalb großräumige, neue Kartierungen in solchen Wellenlängenbereichen erforderlich.

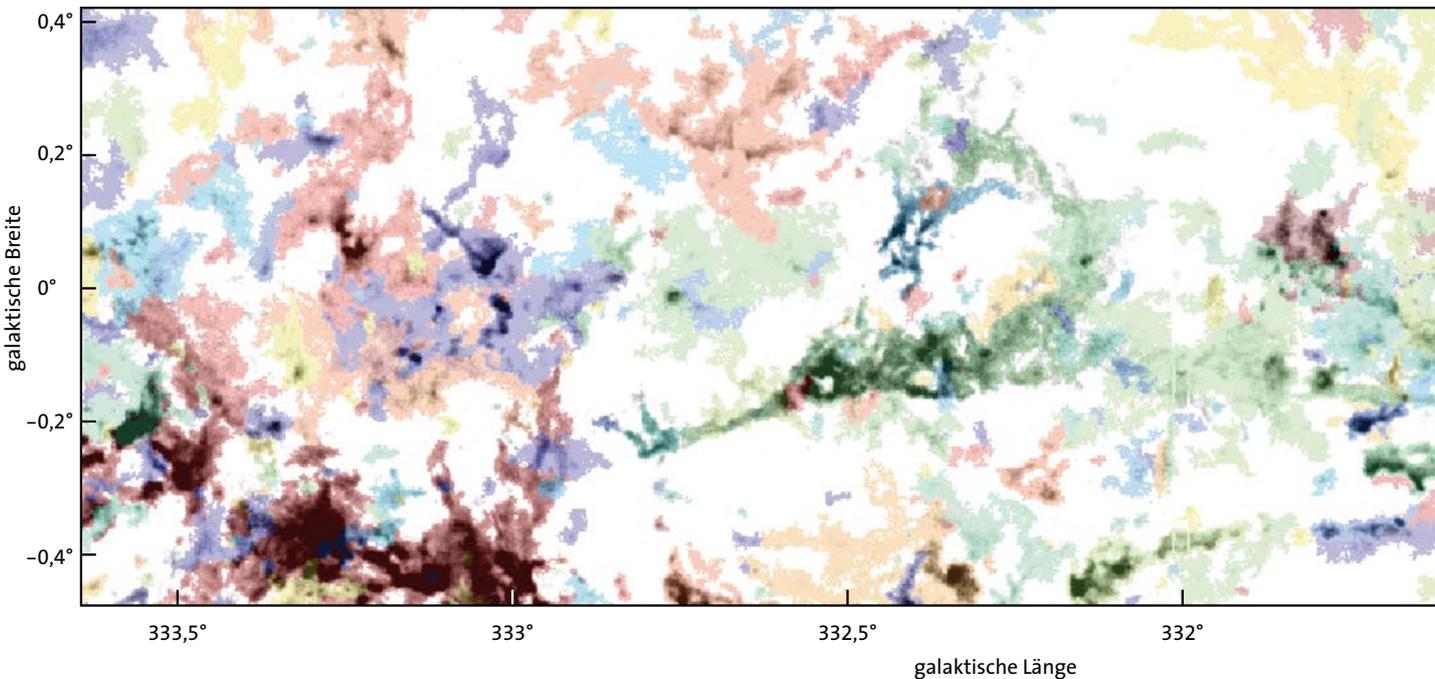
Den Südhimmel mit APEX erkunden

Das Zwölf-Meter-Radioteleskop APEX (siehe »Radioschüssel APEX in Chile«) mit seiner extrem glatten Oberfläche ist versehen mit hochmodernen Instrumenten und wurde an einem der weltweit besten Standorte für Submillimeter-Astronomie errichtet. Teleskop und Standort erlauben gemeinsam hochempfindliche, großräumige Kartierungen des Südhimmels bei Millimeter- und Submillimeter-Wellenlängen. Auf der trockenen Chajnantor-Ebene in der chilenischen Atacamawüste findet sich in 5100 Meter Höhe über dem Meeresspiegel ein extrem geringer Wasserdampfgehalt. Damit herrscht dort eine

Blick in die Tiefe der Milchstraße

Interstellare Wolken enthüllen die dreidimensionale Struktur unserer Galaxis (unten). Die Karte zeigt einen kleiner Bereich von rund fünf Prozent der gesamten Kartierung durch SEDIGISM. Jede dieser Wolken ist in einer bestimmten Farbe dargestellt, und kann über die gemessenen Radialgeschwindigkeiten einer Entfernung auf der Sichtlinie zugeordnet werden, wobei die Intensität der ^{13}CO -Strahlung durch die Sättigung der jeweiligen Farben gekennzeichnet ist. Damit sind die dunkelsten der Wolken besonders massereich. Die

schematische Darstellung rechts stellt den Verlauf der Spiralarme in unserem Milchstraßensystem dar. Ganz innen liegt der Drei-Kiloparsec-Arm, der in eine nahe und eine ferne Komponente aufgespalten ist. Die Position des galaktischen Zentrums und die Lage des zentralen Balkens der Milchstraße (graue Ellipse) sind angegeben. Die hellgrau eingefärbte Region markiert den kompletten Bereich der SEDIGISM-Kartierung; die Richtung des Ausschnitts (unten) in der vorliegenden Abbildung ist blau eingefärbt.



Duarte-Cabral, A. et al.: The SEDIGISM survey: molecular clouds in the inner Galaxy, MNRAS 500, 2021, fig. 4 oben; Bearbeitung: SuW-Grafik

exzellente Transparenz der Atmosphäre, die für solche Beobachtungen erforderlich ist. APEX, das Atacama Pathfinder Experiment, ist als Gemeinschaftsprojekt des Bonner Max-Planck-Instituts für Radioastronomie (MPIfR), der Europäischen Südsternwarte (ESO) und des schwedischen Onsala Space Observatory (OSO) seit dem Jahr 2005 in Betrieb.

Das Teleskop wurde schon sehr früh zur Kartierung des kalten Staubs in unserem Milchstraßensystem eingesetzt. Ermöglicht wurde das Projekt durch die am MPIfR gebaute Submillimeter-Kontinuum-Kamera LABOCA (Large APEX Bolometer Camera). Mit dem Projekt ATLASGAL, dem APEX Telescope Large Area Survey of the Galaxy, wurde in den Jahren 2007 bis 2010 der innere Teil unserer Galaxis bei Submillimeter-Wellenlängen kartiert. Dort misst man größtenteils die thermische Emission von kaltem Staub, der etwa ein Prozent der Masse des interstellaren Mediums ausmacht. Der Rest ist Gas, das in dichten Wolken überwiegend aus mo-

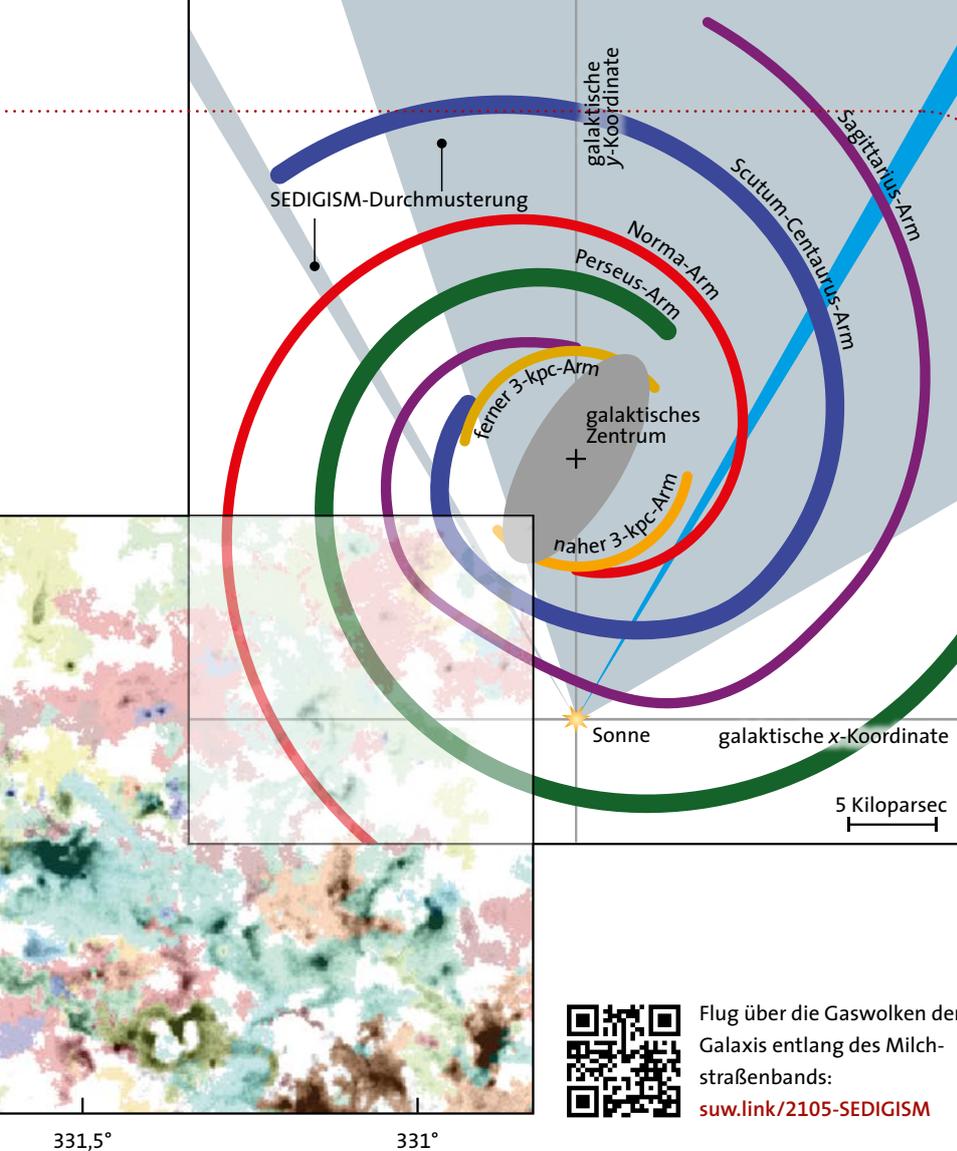
lekularem Wasserstoff besteht. Diese Kartierung erlaubte einen vollständigen Zensus kalter, dichter Wolken in der inneren Milchstraße und ist komplementär zu großen weltraumgebundenen Kartierungen bei Infrarotwellenlängen mit den Weltraumobservatorien Spitzer und Herschel. Trotz des großen Erfolgs dieser Kartierungen fehlt ihnen eine entscheidende Information, nämlich die Entfernung der Wolken. Damit ist unklar, wo sie auf der jeweiligen Sichtlinie zu finden sind. Diese Distanzen lassen sich aber mit zusätzlichen Beobachtungen der Linienstrahlung von Molekülen in den Wolken bestimmen.

SEDIGISM – die Distanzen der Molekülwolken in der Galaxis

Um diese Information zu erhalten, initiierte ein internationales Forscherteam unter der Leitung des MPIfR großräumige Beobachtungen von Moleküllinien mit dem APEX-Teleskop in unserer Galaxis. Die Analyse von Spektrallinien des Kohlenmonoxidmoleküls ermöglicht die Messung

der Verteilung von kaltem und dichtem molekularem Gas im interstellaren Medium, in dem neue Sterne gebildet werden. Darüber hinaus kann die Radialgeschwindigkeit des Gases über den Dopplereffekt bestimmt werden. Auf diese Weise lässt sich das molekulare Gas in Verbindung mit der Rotation der Spiralarme in unserer Milchstraße bringen, und das wiederum ermöglicht einen dreidimensionalen Blick auf seine Verteilung.

Dieses Beobachtungsprojekt nahm mehrere Jahre in Anspruch und überdeckt einen Bereich von 84 Quadratgrad am Himmel. Beobachtet wurde der südliche Bereich des inneren Milchstraßensystems in einem Intervall von -60 bis $+18$ Grad galaktischer Länge mit einer Winkelauflösung von 30 Bogensekunden – das entspricht dem 60. Teil des scheinbaren Durchmessers unseres Mondes am Himmel. In der dritten Dimension gelang eine Geschwindigkeitsauflösung von 0,25 Kilometern pro Sekunde. Die Analyse der Daten liefert Informatio-



Flug über die Gaswolken der Galaxis entlang des Milchstraßenbands:
[suw.link/2105-SEDIGISM](https://www.suw.link/2105-SEDIGISM)

Duarte-Cabral, A. et al.: The SEDIGISM survey: molecular clouds in the inner Galaxy. MNRAS 500, 2021, fig. 4 oben

nen über die Morphologie, die Entfernung und die Geschwindigkeit für alle galaktischen Molekülwolken in einem Bereich von etwa zwei Drittel der inneren Scheibe unseres Milchstraßensystems. Die Kartierung trägt die Bezeichnung SEDIGISM: Structure, Excitation and Dynamics of the Inner Galactic Interstellar Medium, also Struktur, Anregungs- und Bewegungszustand des interstellaren Mediums im inneren Bereich der Galaxis. Sie beinhaltet Beobachtungsdaten aus den Jahren 2013 bis 2017, die nun, begleitet von drei wissenschaftlichen Veröffentlichungen, den Forschenden weltweit zur Verfügung gestellt wurden.

Die Beobachtungen mit APEX richteten sich auf die seltenen Isotope ^{13}CO und C^{18}O des Kohlenmonoxidmoleküls. Sie ermöglichen eine wesentlich genauere Abschätzung der Masse der untersuchten Wolken, erfordern aber auch ein entsprechend hochempfindliches Teleskop. Insgesamt zeigt sich eine Vielzahl von Strukturen wie Filamenten und Aushöhlungen, die von

unterschiedlichen physikalischen Effekten bei der Gestaltung des interstellaren Mediums herrühren (siehe »Blick in die Tiefe der Milchstraße«). Auf der Grundlage dieser Daten wurde ein Katalog von mehr als 10000 Gaswolken in der Milchstraße zusammengestellt, der eine deutlich strukturierte Verteilung aufzeigt. Die abgeleiteten physikalischen Eigenschaften erscheinen allerdings ziemlich gleichförmig, mit nur schwachen Hinweisen auf die Abhängigkeit einiger der Wolkeneigenschaften von ihrer Umgebung. In Verbindung mit ATLASGAL kann man nun den Anteil der Wolken mit hoher Gasdichte abschätzen: Nur zehn Prozent dieser Wolken sind Orte laufender Entstehung massereicher Sterne.

Molekülwolken enthalten das Rohmaterial, aus dem neue Sterne entstehen. Die Kartierung dieser Wolken ist daher erforderlich, um wichtige Parameter wie zum Beispiel die Effizienz der Sternentstehung in unserer Milchstraße zu bestimmen. Die Morphologie und die physikalischen Bedingungen innerhalb der Wolken geben

die Rahmenbedingungen, die für Theorien der Sternentstehung berücksichtigt werden müssen. Es ist daher unabdingbar, die einzelnen Wolken räumlich aufzulösen und voneinander zu unterscheiden. Das wird durch die hohe Winkelauflösung der APEX-Kartierung ermöglicht.

Die neuen Daten sind nicht nur für sich gesehen interessant, sondern ergänzen auch eine Reihe ausgedehnter Kartierungen der galaktischen Ebene, die im vergangenen Jahrzehnt im mittel- bis ferninfraroten Wellenlängenbereich mit Weltraumteleskopen erstellt wurden. In allen diesen Projekten fehlte jedoch die Geschwindigkeitsinformation. Diese Beobachtungsdaten können nun in Verbindung mit den neuen Kohlenmonoxid-Liniendaten erneut analysiert werden. Sie spielen so eine wesentlich stärkere Rolle bei der detaillierten Untersuchung von Sternentstehung und Sternhaufen in der Milchstraße, und somit bei der Bestimmung von Struktur und Dynamik unserer Galaxis.

FRIEDRICH WYROWSKI ist Astronom am Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) und Projektwissenschaftler des APEX-Teleskops.

DARIO COLOMBO ist Astronom am MPIfR und Teil des Managementteams der SEDIGISM-Kartierung.

NORBERT JUNKES ist als Astronom am MPIfR für die Öffentlichkeitsarbeit verantwortlich.

Literaturhinweise

Duarte-Cabral, A. et al.: The SEDIGISM survey: molecular clouds in the inner Galaxy. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 500, 2021

Schuller, F. et al.: The SEDIGISM survey: first data release and overview of the galactic structure. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 500, 2021

Urquhart, J. S. et al.: SEDIGISM-ATLASGAL: dense gas fraction and star formation efficiency across the Galactic disc. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 500, 2021

SEDIGISM-Datenquelle: sedigism.mpifr-bonn.mpg.de/index.html

W I S Didaktische Materialien:
www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051383