Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 74 (2016)

Heft: 392

Artikel: Über 90'000 Spektren in einem Schnappschuss : Multi Unit Spectroscopic Explorer

Autor: Tacchella, Sandro

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-897130

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Über 90'000 Spektren in einem Schnappschuss

Multi Unit Spectroscopic Explorer

Von Sandro Tacchella

Der Multi Unit Spectroscopic Explorer, kurz MUSE, ist ein Instrument der 2. Generation am Very Large Telescope (VLT) der Europäischen Südsternwarte (engl. European Southern Observatory, kurz ESO) in Chile. Das MUSE-Instrument wurde im Frühjahr 2014 am VLT installiert und ist bereits heute eines der beliebtesten Instrumente. Das neue Instrument deckt ein breites Spektrum von Objekten und Entfernungsskalen ab, vom Sonnensystem bis hin zu über 12 Milliarden Lichtjahre entfernten Galaxien. Damit erlaubt MUSE bisher unmögliche Beobachtungen auf vielen Gebieten der modernen Astrophysik.

Astronomische Beobachtungen im optischen Bereich werden üblicherweise in Fotografie und Spektroskopie unterteilt. Fotografien können ein grosses Sichtfeld aufnehmen, aber dies auf Kosten einer sehr groben spektralen Auflösung (typische Filter haben eine Bandweite von ca. 100 Nanometer). Im Gegensatz dazu liefert die Spektroskopie eine hohe spektrale Auflösung, aber kaum räumliche Auflösung. Erst seit ein paar Jahren ist es möglich, dank sogenannten Integralfeldspektrographen für jeden Punkt am Himmel spektrale Informationen zu erhalten, also in einer dritten Dimension der Farbe oder Lichtwellenlänge.

Mit dem MUSE wurde ein Instrument am Very Large Telescope VLT installiert, welches eine noch nie dagewesene hohe räumliche Auflösung und gute spektrale Abdeckung liefert. Im Allgemeinen ist die Grösse des Blickfelds eines Integralfeldspektrographen durch die Grösse der Optik und des Detektors begrenzt. Um diese Einschränkungen zu umgehen, umfasst das MUSE-Instrument nicht nur einen, sondern 24 Integralfeldspektrographen (Abb. 1). Im Ganzen entsteht so ein Gesichtsfeld von 1 x 1 Bogenminute mit über 90'000 Pixel. Jeder Pixel liefert ein Spektrum im Wellenlängenbereich von 475 bis 935 Nanometer (optischer Bereich) bei einer spektralen Auflösung von R~3000 (Abb. 2).

Momentan ist die räumliche Auflösung durch die Atmosphäre beschränkt. In ca. 2 Jahren wird MUSE durch ein System zur adaptiven Optik unterstützt, welches die Winkelauflösung erhöht, indem es Bildstörungen durch Luftbewegungen in der Erdatmosphäre in Echtzeit korrigiert. Als adaptiven Spiegel nutzt das System den Sekundärspiegel des VLT selbst.

Das MUSE-Instrument wurde von sieben führenden europäischen Forschungseinrichtungen, dem sogenannten MUSE-Konsortium, gebaut: Das Centre de Recherche Astrophysique de Lyon (CRAL, Frankreich), welches das Konsortium anführt, das Astrophysikalische Institut Potsdam (AIP, Deutschland), das Institut für Astrophysik der Universität Göttingen (IAG, Deutschland), die Sternwarte Leiden und die Niederländische Forschungsakademie für Astronomie (NOVA, Niederlande), das Laboratoire d'Astrophysique de Tarbes-Toulouse (LATT, Frankreich), das Institut für Astronomie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH Zürich, Schweiz) und die ESO. Innerhalb des MUSE-Konsortiums war die ETH Zürich für die Beschaffung der 24 Spektrographen zuständig.

Der Kick-off für das Projekt war der 18. Januar 2005, wobei das endgültige Design im März 2009 vorlag. Am

Bild: Eric Le Roux / University Claude Bernard, Lyon

Abbildung 1: Diese Aufnahme zeigt das VLT-Teleskop 4 (Mitte) und das neue MUSE-Instrument (links). Dank 24 Integralfeldspektrographen hat MUSE ein enormes Potential für neue Entdeckungen, da es bis zu 90'000 Spektren pro Aufnahme liefert.

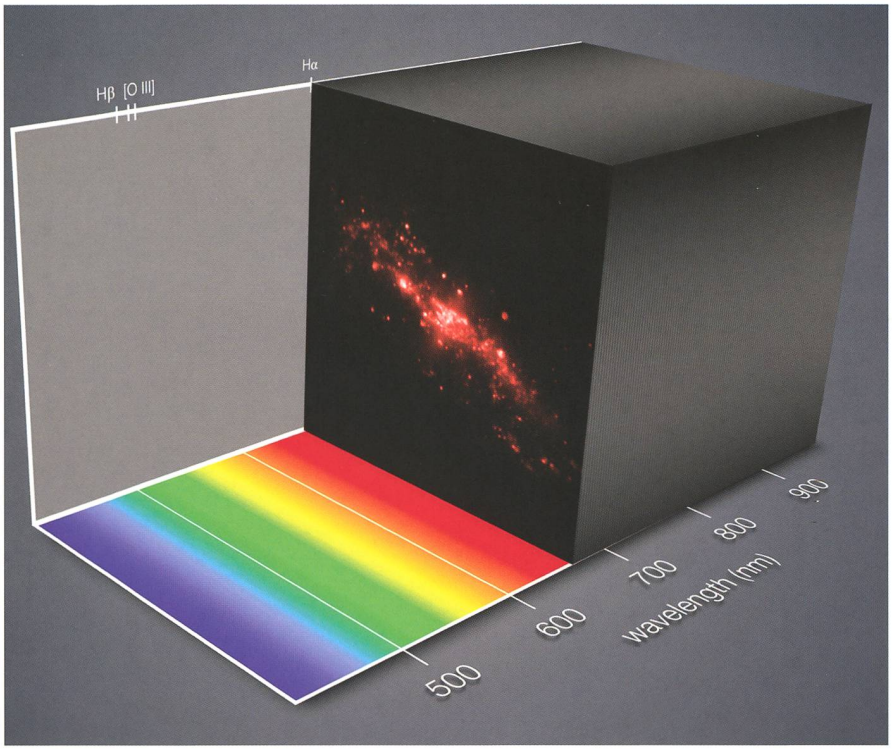

Bild: ESO/MUSE Konsortium/R. Bacon/L. Calçada

Abbildung 2: Diese Ansicht zeigt, wie das MUSE-Instrument eine dreidimensionale Darstellung einer Galaxie liefert. Für jeden Teil der Galaxie wurde das Licht in seine spektralen Bestandteile zerlegt – dabei enthüllen sie nicht nur die Bewegung von verschiedenen Teilen der Galaxie, sondern geben auch Hinweise auf ihre chemische Zusammensetzung und andere Eigenschaften. Sie können die 3D-Animation unter folgendem Link sehen: http://www.eso.org/public/switzerland-de/videos/eso1407d/

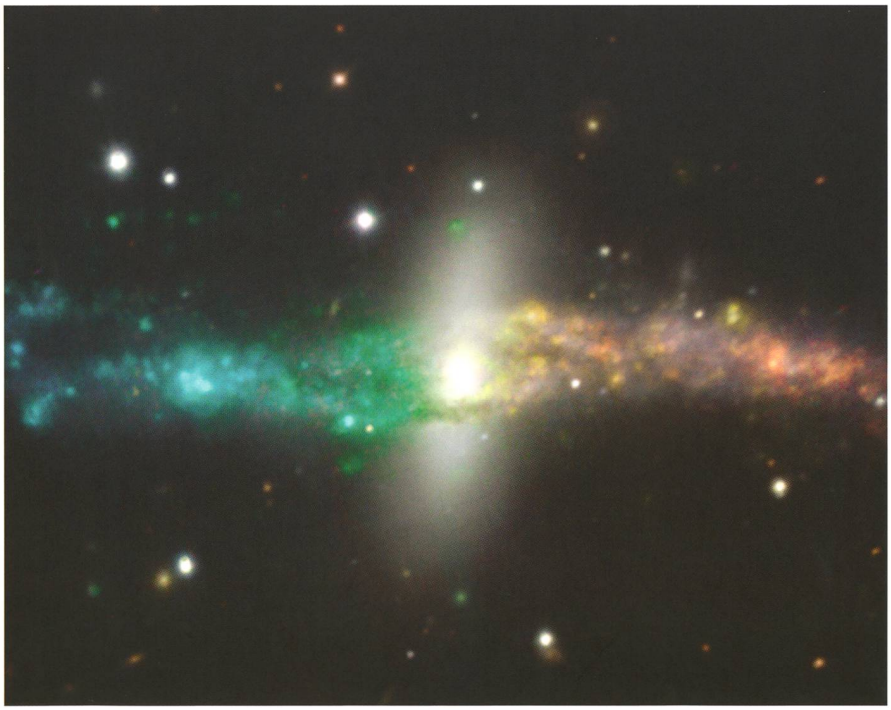

Bild: ESO/MUSE Konsortium/R. Bacon

Abbildung 3: Diese atemberaubende Aufnahme von NGC 4650A wurde von MUSE am 5. März 2014 gemacht. Für jeden Teil dieser Galaxie teilt das MUSE-Instrument das Licht in seine Farben auf, um die chemischen und physikalischen Eigenschaften in jedem Punkt zu enthüllen. NGC 4650A ist eine Polarring-Galaxie, welche sehr wahrscheinlich durch die Verschmelzung zweier Galaxien entstanden ist. Die Farbe zeigt die Rotation des Gases – blaue Regionen kommen, relativ zum Zentrum der Galaxie gesehen, auf uns zu und rote Regionen entfernen sich von uns aufgrund der Rotation der Scheibe.

10. September 2013 wurde das Instrument von der ESO genehmigt. MUSE wurde dann am 19. Januar 2014 in der Nasmyth-Plattform des vierten VLT-Teleskops installiert (Abb. 1), und die erste Aufnahme wurde am 31. Januar 2014 geschossen. Nach mehreren Monaten des Kalibrierens, und einer spektakulären Aufnahme von NGC 4650A (Abb. 3), ist das MUSE-Instrument seit dem Sommer 2014 offiziell im Betrieb.

Wissenschaft mit MUSE

Eine der wichtigsten Fähigkeiten des MUSE-Instruments ist die Entdeckung von normalen, unserer Milchstrasse ähnlichen Galaxien im frühen Universum. Junge Galaxien befinden sich in Entfernungen von bis zu mehr als 12 Milliarden Lichtjahren, sind äusserst leuchtschwach und daher schwer zu beobachten. MUSE wird ausgeprägte Emissionslinien von Wasserstoff detektieren und untersuchen. Die Astronomen rechnen damit, bei ihrer gross angelegten Durchmusterung des Himmels viele tausende solcher Galaxien zu finden und so heutige Rätsel der Galaxienentstehung und -entwicklung zu lösen.
In nahen Galaxien wird MUSE in einer einzigen Aufnahme eine Vielzahl von Spektren von einzelnen Sternen aufnehmen. Mit der hohen Auflösung von MUSE werden die Wissenschaftler massereiche Sterne erforschen. Obwohl diese Sterne eine Schlüsselrolle bei der Galaxienentwicklung spielen, geben sie den Astrophysikern immer noch Rätsel auf. Mit MUSE wird es möglich, eine Reihe benachbarter Spiralgalaxien systematisch zu erforschen und zehnmal mehr massereiche Sterne zu erfassen als bisher.

Die meisten grossen Galaxien haben in ihrem Zentrum ein supermassives Schwarzes Loch. Mit der Messung der Bahnbewegung der Sterne in unmittelbarer Nähe zum Schwarzen Loch lässt sich die Masse des schwarzen Lochs bestimmen. Die Geschwindigkeit der Sterne lässt sich aus der Rotverschiebung der Farben ihres Spektrums ermitteln (Doppler-Effekt). Mit MUSE sollen solche Studien in grösserem Massstab durchgeführt werden, um Erkenntnisse über die Eigenschaften massereicher Schwar-zer Löcher und ihren Ein-

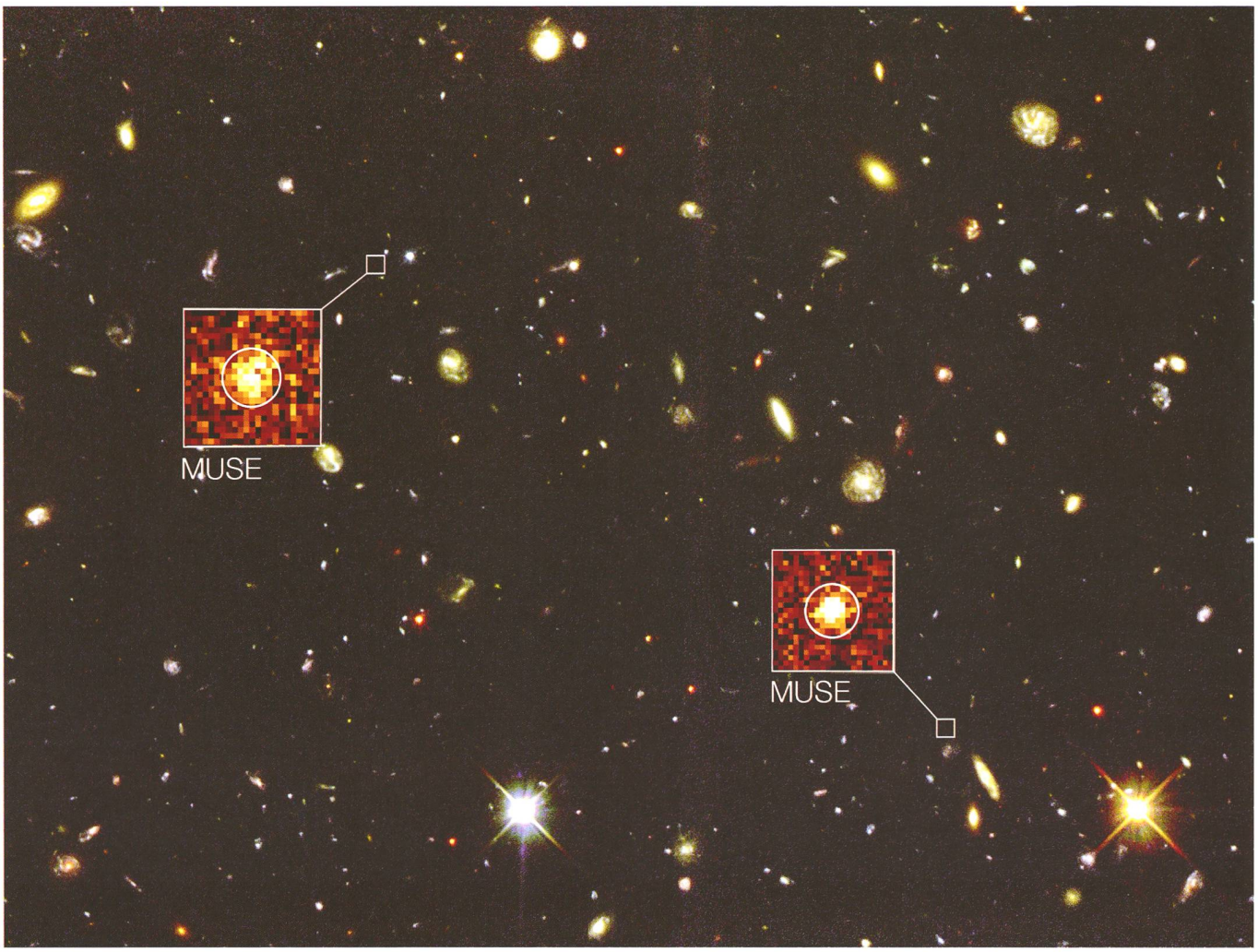

Bild: ESO/MUSE Konsortium/R. Bacon

Abbildung 4: Die Hintergrundaufnahme zeigt das Hubble Deep Field South, aufgenommen mit dem NASA/ESA Hubble-Weltraumteleskop. Durch neue Beobachtungen mit dem MUSE-Instrument konnten darin weit entfernte Galaxien entdeckt werden, die für Hubble unsichtbar waren. Zwei solcher Beispiele sind im zusammengesetzten Bild markiert. Im Hubble-Bild sind sie vollkommen unsichtbar, weil diese Galaxien ein sehr lichtschwaches Kontinuum haben, aber helle Emissionslinien aufweisen, welche deutlich in den MUSE-Daten erscheinen. Sehen Sie dazu das Video «ESOcast72 – Ein tiefer dreidimensionaler Blick in das Universum»: http://www.eso.org/public/switzerland-de/videos/eso1507a/

fluss auf die Entwicklung von Galaxien zu gewinnen.
MUSE wird ebenfalls neue Informationen für Objekte im Sonnensystem liefern. Zum Beispiel wird MUSE die jahreszeitliche Variationen in den Atmosphären der Riesenplaneten (Jupiter, Saturn, Neptun und Uranus) messen. Ebenso kann die vulkanische Aktivität auf der Oberfläche des Jupitermondes Io, die vom starken Gravitationsfeld Jupiters «geheizt» wird, systematisch gemessen werden. Zudem wird MUSE neue Erkenntnisse für sporadisch auftretende und nicht vorhersehbare Ereignisse wie Kometen liefern. MUSE kann Daten liefern, die Licht auf die chemischen und physikalischen Prozesse werfen, die auf einem Kometen bei der Annäherung an die Sonne stattfinden.

Erste Resultate: MUSE übertrifft Hubble

Die Deep-Field Aufnahmen vom Hubble Weltraumteleskop haben viele Erkenntnisse über die ersten Galaxien im frühen Universum geliefert. Das bekannteste derartige Bild ist das Hubble Deep Field, das Ende 1995 über mehrere Tage hinweg aufgenommen wurde. Zwei Jahre später folgte eine ähnliche Aufnahme im Südhimmel – das Hubble Deep Field South.
Da diese Bilder aber nur mit groben Filtern aufgenommen wurden, müssen Astronomen mithilfe anderer Instrumente Spektren einzelner Galaxien messen, um mehr über die Galaxien herauszufinden, was natürlich eine schwierige und zeitaufwendige Arbeit ist. Das MUSE-Instrument kann beide Arbeiten (Detektion und Analyse der weitentfernten Galaxien) auf einmal erledigen – und das deutlich schneller. Eines der ersten Resultate von MUSE beinhaltet, nach einer 27-stündigen Beobachtung der Hubble Deep Field South-Region, Aussagen über Entfernungen, Bewegungen und andere Eigenschaften von weitaus mehr Galaxien als jemals zuvor in diesem kleinen Bereich des Himmels. Damit schlugen sie Hubble um Längen und machten bisher unsichtbare Objekte sichtbar (Abb. 4).

Wissenschaft mit MUSE an der ETH Zürich

Dem gesamtem MUSE-Konsortium steht über die nächsten 5 – 6 Jahre ca. 250 Nächte an garantierter Beobachtungszeit («Guaranteed Obser-

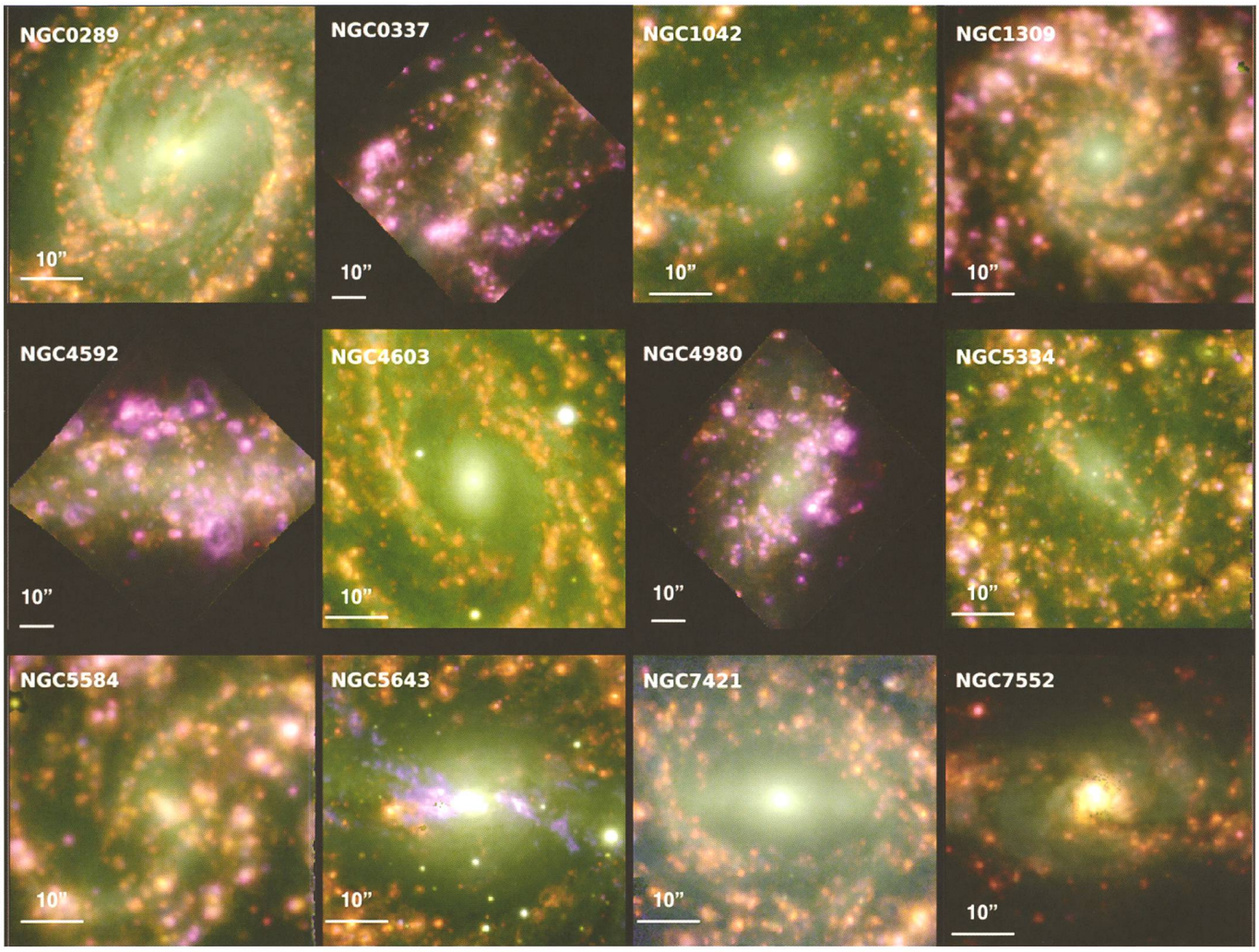

Bild: MAD Team/C. M. Carollo

Abbildung 5: Diese Aufnahmen vom MUSE-Instrument zeigen Spiralgalaxien in unserer Umgebung. In den Farben wird das ionisierte Gas gezeigt, insbesondere in rot die Hα-Emissionslinie, in grün die [SII]-Emissionslinie und in blau die [OIII]-Emissionslinie. Die Belichtungszeit beträgt ca. 1 Stunde. Diese Aufnahmen entstanden im Sommer 2015 als Teil von «MUSE Atlas of Disks», ein Projekt, das von der ETH geleitet wird, und die physikalischen Prozesse rund um die Sternentstehung in Galaxien beantworten soll.

ving Time») zur Verfügung. Ein Teil dieser Zeit steht der ETH Zürich zu. Das MUSE-Projekt wird an der ETH von Prof. Marcella Carollo und Prof. Simon Lilly geleitet. Der Hauptfokus liegt auf der Erforschung der Entstehung und Entwicklung von Galaxien.

Zum einen wollen Forscher um Prof. Simon Lilly Wasserstoff in der Umgebung von hellen Quasaren bei einer Rotverschiebung z~3, also als das Universum rund 2 Milliarden Jahre alt war, nachweisen. Die ionisierende Strahlung von den Quasaren führt zu einer erhöhten Rekombationsstrahlung des neutralen Wasserstoffgases (vor allem Lyman-α), die sich mit dem MUSE-Instrument zum ersten Mal in einem statisch signifikanten Sample von Galaxien messen lässt. So lässt sich dann verstehen, wie diese jungen Galaxien ihren «Treibstoff» für die hohen Sternentstehungsraten, der neutrale Wasserstoff, erhalten. Insbesondere lässt sich klären, ob die Galaxien das kühle Gas durch Filamente erhalten, wie das kosmologische Simulationen voraussagen. Zum anderen wollen Forscher um Prof. Marcella Carollo viele Spiralgalaxien in unserer Umgebung studieren und so den sogenannten «MUSE Atlas of Disks» schaffen. Die gleichzeitige Messung von Absorptions- und Emissionslinien von den Sternen und dem Gas wird eine Vielzahl von chemischen und physikalischen Messungen ermöglichen, und das Ganze bei einer räumlichen Auflösung von ~100 parsec. Zum Beispiel wird man die Kinematik des ionisierten Gas und der Sterne vergleichen können und so auf mögliche Interaktionen mit anderen Galaxien schliessen können. Des Weiteren wird man – anhand der gemessenen Metallizität und Kinematik – den Gaszufluss in die inneren Regionen messen können, um so den Aufbau der Galaxienkerne zu verstehen. Das Hauptziel dieses Projekts ist die heutige Galaxienpopulation, inklusiv ähnlicher Galaxien wie unserer Milchstrasse, besser zu verstehen, und die physikalischen Prozesse zu bestimmen, welche für die Sternentstehung verantwortlich sind. Die ersten Daten wurden dieses Jahr aufgenommen und zeigen die Sternentstehungsbiete sehr eindrücklich (Abb. 5).

Sandro Tacchella
Winzerhalde 94
CH-8049 Zürich