

# Star formation and gas flows in the central kiloparsec of nearby galaxies observed by SINFONI

Nastaran Fazeli  
Köln, 2020

## Zusammenfassung

Eine fundamentale Frage der Astronomie ist, wie supermassive Schwarze Löcher, die sich in den Zentren - höchstwahrscheinlicher aller - massiven Galaxien befinden, und deren Wirtsgalaxien entstehen und sich entwickeln. Ein entscheidendes Ergebnis in diesem Forschungsfeld ist, dass die Masse des zentralen Schwarzen Loches und gewisse Eigenschaften der Wirtsgalaxie miteinander korreliert sind. Dies deutet auf eine gemeinsame Entwicklung der beiden hin. Es wird üblicherweise angenommen, dass die gemeinsame Entwicklung daher rührt, dass sich Schwarzes Loch und Galaxie durch „Feeding“ und „Feedback“ Prozesse gegenseitig beeinflussen.

Unter „Feeding“ versteht man hier Mechanismen, durch die das Gas Drehimpuls verliert und die damit zu Masseflüssen Richtung Zentrum führen. Diese Masseflüsse wiederum können einerseits den Aktiven Galaxienkern zünden, der Massenwachstum des Schwarzen Loches zur Folge hat. Andererseits können sie zu Sternentstehung im Zentrum führen. „Feedback“ hingegen entsteht durch Massenausflüsse mit hoher Geschwindigkeit und energiereiche „Jets“, die durch das wachsende Schwarze Loch in das interstellare Medium geschleudert werden. Diese wiederum können dann die Sternentstehung und die Gas-Zufussraten beeinflussen.

Detaillierte Studien innerhalb des zentralen Kiloparsec in nahen Galaxien sind unabdingbar, um die erwähnten Szenarios zu testen und den konkreten Beitrag der einzelnen Mechanismen in verschiedenen Galaxien zu bestimmen. Im nahen Universum können wir dazu angemessene Winkelauflösungen erreichen.

Zu diesem Forschungsfeld trage ich durch Beobachtungen und darauf basierende Analysen des zentralen Kiloparsecs in drei nahe gelegenen Galaxien, NGC1326, NGC1365 und NGC1672, mit dem „Spectrograph for INtegral Field Observation in the Near Infrared (SINFONI)“ am „Very Large Telescope (VLT)“ bei. Zusätzlich herangezogene optische Archiv-Daten sowie Ergebnisse von ALMA-Beobachtungen dieser drei Quellen helfen bei der genaueren Interpretation der SINFONI Daten.

Die Strahlung von nahe gelegenen Galaxien, die wir im Nahinfraroten beobachten, enthält mehrere Indikatoren für ionisiertes, neutrales und molekulares Gas, sowie Absorptionsmerkmale von alten stellaren Populationen. Die sogenannte Integral-Field Spektroskopie ist dabei ein besonders mächtiges Werkzeug, um die Verteilung und Kinematik dieser Elemente zu kartieren.

Die Flusskarten enthüllen Ringe mit einer starken Sternentstehungsaktivität in allen drei Galaxien. Ein qualitativer Vergleich des Alters der stellaren Populationen der Cluster innerhalb des Rings zeigt, dass die existierenden Szenarios bezüglich der Altersgradienten in Sternentstehungsringen Verbesserung bedürfen. Die Karten der stellaren Geschwindigkeitsdispersion zeigen alle einen Abfall an der Position des Rings. Entgegen der Erwartungen für Galaxien mit aktivem Galaxienkern ist die Geschwindigkeitsdispersion innerhalb der zentralen  $\sim 200$  pc jedoch bei konstant hohen Werten. Im Fall von NGC 1365 ist das stellare Absorptionsmerkmal durch das Kontinuum des aktiven Galaxienkerns verschleiert.

Die Geschwindigkeitsfelder von Gas und Sternen zeigen eine Vielzahl von Eigenschaften, die mit nicht-kreisförmigen Bewegungen in den zentralen 100 pc einhergehen. Im Besonderen zeigt NGC 1326 eine sehr inklinierte, entkoppelte nukleare Scheibe. In NGC 1365 sehen wir strömende Bewegungen, die möglicherweise Massenflüsse ins Zentrum darstellen. Unsere hohe räumliche Auflösung enthüllt einen Abstand von 60 pc zwischen dem kinematischen Zentrum des Gases und dem Zentrum der Kontinuumsstrahlung. Dieser kommt durch die Asymmetrie des Sternentstehungsring zustande.

Signifikante Fortschritte wurden bei der Erkennung der Feeding-Mechanismen auf Skalen von Kiloparsecs hinunter zu etwa 10 pc erzielt. Der nächste Meilenstein wird sein, die Mechanismen zu finden, die auf den letzten wenigen Parsec bis zum Schwarzen Loch übernehmen. Unsere Ergebnisse ebnen den Weg für Beobachtungen der Vorgänger der nahen Galaxien bei höheren Rotverschiebungen, die mit den Teleskopen der nächsten Generation möglich werden.

## Abstract

A fundamental question in astronomy is how supermassive black holes, which reside in the centre of -probably all- massive galaxies, and their hosts form and evolve. A crucial finding in this field of research is that the mass of the central black hole and certain properties of the host galaxy are correlated, which suggests a co-evolution scenario amongst the two. The consensus is that the co-evolution originates in the black hole and galaxy influencing each other through *feeding* and *feedback* processes.

Mechanisms through which the gas loses angular momentum and flows to the centre of galaxy ignite active galactic nuclei, leading to black hole growth and star formation, are known as *feeding*. The *feedback* occurs through high velocity outflows and powerful jets ejected from the growing black hole to the interstellar medium of the galaxy, which can effect star formation and gas inflow rates.

Detailed studies of the central sub-kiloparsec in nearby galaxies are indispensable to test the aforementioned scenarios and understand the particular contribution of each mechanism in different galaxies. In the nearby universe we can get reasonable resolutions with which the sub-kiloparsec features can get accurately resolved.

I contribute to this field of research by observing and analysing the central kiloparsec of three nearby galaxies NGC 1326, NGC 1365 and NGC 1672 with the Spectrograph for INtegral Field Observation in the Near Infrared (SINFONI) at the Very Large Telescope (VLT) in Chile. Additionally I employed archival optical data and results from ALMA observations of these three sources for a more precise interpretation of the SINFONI data.

The NIR wavelength emission from nearby galaxies, contains several tracers of ionized, atomic and molecular gas, as well as absorption features from older stellar population atmospheres. The integral field spectroscopy provides a powerful tool to map the distribution and kinematics of these elements.

The morphology maps reveal strongly star-forming rings in all the three galaxies. A qualitative stellar population age comparison between the starburst clusters in the ring show that the existing scenarios regarding age gradients in star-forming rings need to be improved. The stellar velocity dispersion maps all show a  $\sigma$ -drop in the ring, however contrary to expectations from galaxies with active nuclei at the central  $\sim 200$  pc the velocity dispersions shows high and constant values. In case of NGC 1365 the stellar absorption features are obfuscated by AGN continuum.

Gas and stellar velocity fields reveal various features associated with non-circular motions in the central few hundred parsec. In particular NGC 1326 has a highly inclined decoupled nuclear disk. NGC 1365 has streaming motions possibly associated with inflows. Our high resolution data reveals that the 60 pc offset of the kinematical centre compared to the continuum peak position in NGC 1672 is due to the influence of an asymmetric star-forming ring.

A significant progress has been made in recognizing the feeding mechanisms from kiloparsec down to tens of parsecs scales. The next frontier will be to understand feeding mechanisms that take over the fuelling in the central few parsecs scales, near the SMBH. Our findings so far will pave the way for observations of progenitors of nearby galaxies at higher redshifts with the next generation telescopes.