

Kollisionen der Milchstraße [24. Jul.]

Das Verständnis des *Beginns des Universums* ist eine der größten Herausforderungen der modernen Astrophysik. Moderne Computersimulationen und Beobachtungen mit großen Teleskopen helfen uns zu verstehen wie sich Galaxien und größere Strukturen mit der Zeit verändert haben.

Satelliten der Milchstraße

Die Entwicklung der Struktur der *Milchstraße*, unserer **Galaxis**, kann mithilfe ihres *dunklen Halos* und *Zwerggalaxien* in ihrer Nähe über die Wechselwirkung mit dem sichtbaren Gas, dem *Staub* und Sternen in der Scheibe rekonstruiert werden. Großskalige Beobachtungen deuten auf den Einfluß *Dunkler Materie* im Rahmen des sog. *Λ CDM-Modells*.

Auf kleinen Skalen sagt das Modell bisher **unbeobachtete Satellitengalaxien** der Milchstraße voraus. Die Anzahl, die Entwicklung und Masseverteilung dieser Begleitsysteme ist ungeklärt. Potentiell könnten weitere Zwerggalaxien entdeckt werden, beispielsweise durch die Suche nach Gasresten und Wechselwirkungen zwischen der Milchstraße und diesen kleinen Sternsystemen.

Asymmetrien

Die Entdeckung von **asymmetrischen Strukturen in der Milchstraße** ist nichts Neues. Asymmetrien machen sich beispielsweise durch *neutrales Wasserstoffgas* (HI), *Staub* und Sterne bemerkbar. Beispielsweise können **Verdrehungen in der Galaxis** durch Wechselwirkungen der Scheibe mit dem Halo oder Satellitengalaxien auftreten und wieder verschwinden.

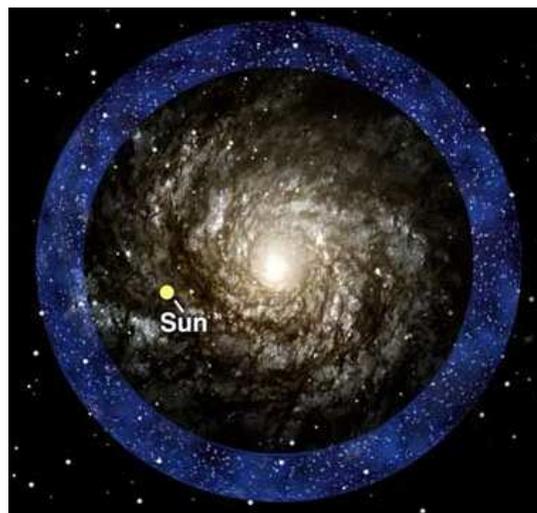
Das Verhalten der Sternscheibe ist komplizierter: Beobachtungen zeigen einen **Ring** (Abb. 1) und Wellenstrukturen bis in Entfernungen von rund 30.000 *Lichtjahren* (Lj) vom Zentrum der Galaxis. In der Sonnenumgebung wurden vertikale Asymmetrien, auch in der Geschwindigkeit von Sternen in der Scheibe beobachtet.

Abb. 1

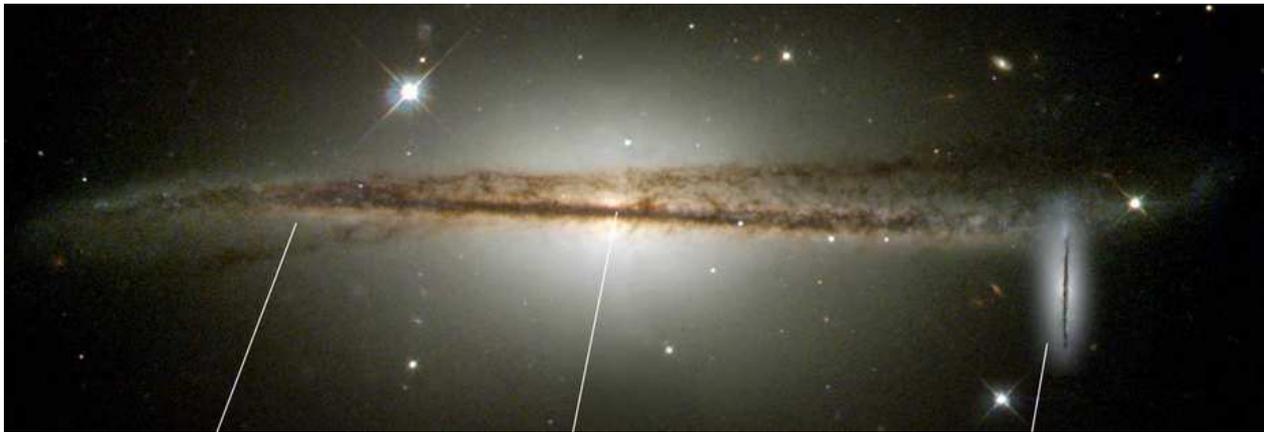
Schematische Darstellung der Ringstruktur um die Milchstraße.

Der Ring um die Milchstraße wurde mithilfe der *Sloan Digital Survey* (SDSS) entdeckt. Wahrscheinlich entstand die ringförmige Struktur durch Überreste der Kollision zwischen der Milchstraße und einer kleinen Zwerggalaxie vor mehreren Milliarden Jahren.

© Rensselaer Polytechnic Inst./SDSS



Prinzipiell könnte es sich bei den Asymmetrien um temporäre, erst kürzlich entstandene Strukturen handeln, beispielsweise durch die Wechselwirkung mit den *Spiralarmen* oder der *Balkenstruktur* oder der Wechselwirkung der Scheibe mit dem *Halo* und den darin enthaltenen kleinen Galaxien. Hier kommen die **Sagittarius Zwerggalaxie** (dSph) in rund 65.000 Lj (Abb. 2) und die Große **Magellhansche Wolke** in 163.000 Lj Entfernung in Frage, die sich beide erst relativ spät gebildet haben. Computersimulationen weisen auf mögliche vertikale Gezeitenwechselwirkungen mit der Scheibe der Galaxis.



Sonne

Milchstraße

Sgr-Zwerggalaxie

Abb. 2 Schematische Darstellung der Position der Sgr-Zwerggalaxie relativ zur Milchstraße.
 Die Entdeckung der Sagittarius-Zwerggalaxie (Sgr-Zwerggalaxie) gelang erst relativ spät; der Grund hierfür ist ihre Lage relativ zur Milchstraße. Der zwischen der Sonne (links) und der kleinen Galaxie liegende Staub verhindert einen direkten Blick auf das kleine Sternsystem (rechts).

© NASA

Jedoch können diese Beobachtungen und das Modell die beobachteten Asymmetrien nicht erklären.

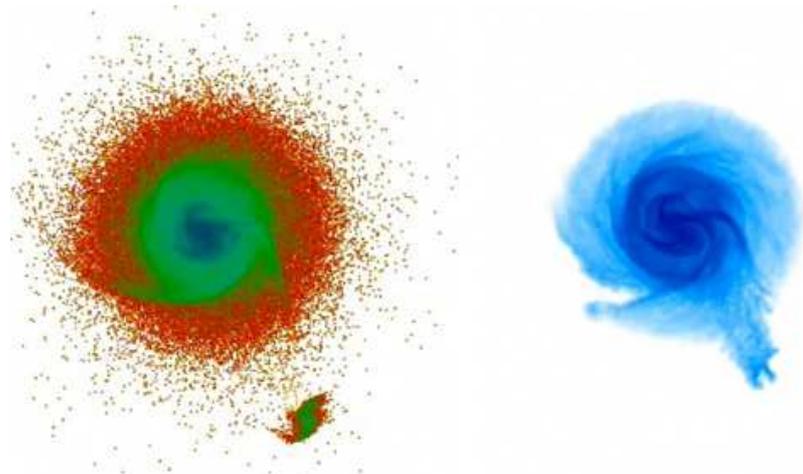
Erste Anzeichen der Wellenstruktur der Galaxis

Bereits **im letzten Jahr** entdeckten Wissenschaftler die **Wellenstruktur** der galaktischen *Gas-scheibe* und folgerten, daß diese durch das Eindringen einer *Zwerggalaxie* vor rund 500 Millionen Jahren entstanden sein muß [2]. Die Zwerggalaxie scheint direkt in die Milchstraße hineingeschossen zu sein – ähnlich einer *Gewehrkegel*. Gegenwärtig bewegt sich das kleine Sternsystem mit einer Geschwindigkeit von 200 Kilometern pro Sekunde von der Milchstraße weg und hat bis heute wahrscheinlich bereits rund 300.000 Lichtjahre zurückgelegt.

Die dazugehörige **Simulation** [3] zeigt die Verteilung der Sterne und des Gases in der Milchstraße (Abb. 3), kurz nachdem diese von der kleinen Zwerggalaxie gestört wurde (Eine entsprechende **Animation** finden Sie unter [3]):

Abb. 3 Schematische Darstellung der Veränderung der Milchstraßenstruktur nach der Passage einer Zwerggalaxie.
 Nach der Passage einer kleinen Zwerggalaxie wird die Struktur der Milchstraße verändert. Die Verteilung der Sterne (links) und des Gases (rechts) wurde durch die Zwerggalaxie gestört.

© S. Chakrabarti



Bei der Suche nach einem Kandidaten erwarteten die Forscher eine lichtschwache Zwerggalaxie mit nur etwa 1 Prozent der Sterne der Milchstraße sowie dunkler Materie. Wahrscheinlich bewegt sich die Zwerggalaxie fast parallel zur Ebene der Milchstraße und wird daher wahrscheinlich von Gas und Staub der Galaxis verdeckt.

Bei ihrer Suche im *infraroten Spektralbereich* entdeckten die Wissenschaftler **drei besondere Sterne**, die sich nahe beieinander befinden und Teil der gleichen Zwerggalaxie sein könnten. Bei den Sternen handelt es sich um **Cepheiden**, *variable Sterne* bekannter Helligkeit, aufgrund derer man die Entfernung mithilfe der *scheinbaren Helligkeit* relativ einfach bestimmen kann.

Die so berechnete Entfernung stimmt genau mit der Vorhersage der Simulationen überein. Zudem bewegen sich die Sterne mit der berechneten Geschwindigkeit. Leider konnte die dazugehörige Zwerggalaxie bisher nicht entdeckt werden. [2]

Noch mehr Wellen

Eine **neue Studie** [3] verändert unsere Sicht auf die Milchstraße und ihre Entwicklung bis zur Gegenwart. Bisher ging man davon aus, daß die Scheibe der Galaxis weitestgehend glatt und flach ist. Nun fanden Wissenschaftler Beweise für eine **asymmetrische Wellenstruktur**. Dieser Befund weist auf eine **unruhige Vergangenheit**: die Milchstraße wurde sehr wahrscheinlich durch (mehrere) Kollisionen erschüttert.

Zum Verständnis der gefundenen Wellenstruktur der Scheibe der Milchstraße nutzen die Astronomen Daten der *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS). Sie untersuchten die räumliche **Verteilung von 3,6 Millionen Sternen** in der Galaxis, die sich in dieser Wellenstruktur befinden. Die asymmetrischen Wellen werden als Beweis für **Kollisionen der Milchstraße** in der Vergangenheit interpretiert [3].

Demnach hatte unser Sternsystem in der Vergangenheit **Kontakt mit anderen Galaxien**. Dabei könnte es sich um eine Verschmelzung der Milchstraße mit der Sagittarius-Zwerggalaxie vor rund 850 Millionen Jahren handeln oder der aktuellen Verschmelzung mit der im Jahr 1994 entdeckten *Canis Major-Zwerggalaxie* (Abb. 4). Eine **Animation** hierzu finden Sie unter [3a].

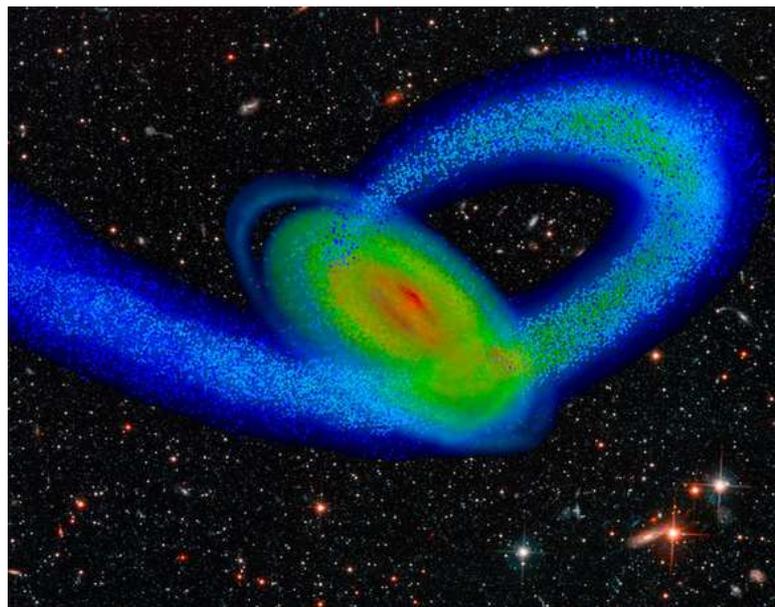


Abb. 4 Schematische Darstellung Kollision der Milchstraße mit der Canis Major-Zwerggalaxie.

Wahrscheinlich kollidierte die Canis Major-Zwerggalaxie (bläuliche Spur) vor rund 2 Milliarden Jahren mit der Milchstraße (Mitte).
© E. Tollerud

Bei diesen Einflüssen handelt es sich wahrscheinlich um die Architekten des *zentralen Balkens* und der *Spiralarme* der Milchstraße. Ähnlich wie die Wellen auf der Oberfläche eines flachen Sees ein vorbeifahrendes Schnellboot ankündigen, suchen die Astronomen nach Abweichungen

von der Symmetrie der Sternverteilung in der Milchstraße, die von vergangenen Kollisionen oder Verschmelzungen mit anderen Sternsystemen künden.

Die Beobachtungen weisen auf eine derartige Symmetriebrechung und damit auf Kontakte mit anderen Galaxien in der Vergangenheit, die zur Bildung der Struktur der Galaxis beigetragen haben, so einer der beteiligten Wissenschaftler.

Die Beobachtungen weisen ebenfalls auf eine Asymmetrie in der Ebene der Scheibe der Milchstraße: Mithilfe der Daten von Millionen von Sternen kann die galaktische Struktur auf eine neue Art und Weise untersucht werden. Dabei ist das Verständnis der Entwicklung unserer Milchstraße und der Rolle vergangener Begegnungen mit anderen Sternsystemen für das Verstehen der Geschichte und Entwicklung des gesamten Universums von Bedeutung.

Die Ergebnisse könnten ebenfalls zur Bestätigung oder Veränderung unserer aktuellen kosmologischen Modelle beitragen und zudem vorhersehen, was der Milchstraße in einigen Milliarden Jahren bevorsteht.

Kollisionen der Nachbargalaxie

Auch unsere Nachbargalaxie, die **Andromedagalaxie** (M31), die sich in 2,5 Millionen Lj Entfernung befindet, ist in der Vergangenheit Opfer von Kollisionen gewesen. Computersimulationen weisen auf die Kollision mit einer Zwerggalaxie, in deren Zentrum sich ein **supermassereiches Schwarzes Loch** befunden hat. Diese Kollision brachte M31 dazu ihre Spiralarme auszubilden. [4]

Jedoch besitzt M31 keine klar definierten Arme wie andere Spiralgalaxien. Anstelle dessen sehen die Arme eher wie **konzentrische Ringe** aus, die bei dem Planeten *Saturn*. Dieses merkwürdige Aussehen könnte durch eine Kollision mit der *Zwerggalaxie M32* entstanden sein, bei der die Gravitation durch Wechselwirkung Ringe bzw. Spiralarme erzeugte.

Bereits vor 10 Jahren vermuteten Wissenschaftler, daß M32 in zentrumnahe Bereiche von M31 eingedrungen war [5] und für die Existenz einer Ringstruktur verantwortlich ist.

Die Kollision mit der Andromedagalaxie

Seit Jahrzehnten nehmen die Astronomen an, daß die Milchstraße in rund 4 Milliarden Jahren mit der Andromedagalaxie kollidieren wird. Bereits in 3,75 Milliarden Jahren sollen sich erste Auswirkungen der *Gezeitenwirkung* zwischen beiden Spiralgalaxien bemerkbar machen.

Dieses Ereignis wird nicht nur zur Verschmelzung der beiden zentralen supermassereichen Schwarzen Löcher führen, sondern auch zu vereinzelt Sternkollisionen, wobei einige Sterne aus der Galaxis herausgeschleudert werden.

Die neue Galaxie, **Milkdromeda** oder **Milkomeda**, wird aus rund 200 Milliarden Sternen der Milchstraße und rund 500 Milliarden Sternen der Andromedagalaxie bestehen. Das neue Riesensystem wird wahrscheinlich eine Spiralstruktur mit 2 Spiralarmen besitzen sowie ausgehnten „**Rattenschwänzen**“ aus Materie, die durch die Gezeitenwirkung aus beiden Galaxien herausgezogen wurden – ähnlich den sog. *Antennengalaxien* (Abb. 5).

Bei dem Zusammentreffen wird der dunkle Halo der Milchstraße die *Bahnenergie* der Andromedagalaxie verringern; einige Hundert Millionen Jahre später wird M31 der Milchstraße ein weiteres Mal nah kommen und fast über Kopf in die Milchstraße hineinfallen.

Dieses Hin- und Herschwingen beider Galaxien wird mindestens 100 Millionen Jahre dauern, bis sie schließlich zu einer einzelnen *Elliptischen Galaxie* werden, umgeben von feinen Materie-schalen und zwei ausgedehnten Gezeitenschwänzen. Diese Wechselwirkung wird die Entstehung zahlreicher Sterne anregen und vor allem eine enorme Rate von *Supernovae*, bis zu einer Supernova pro Jahrhundert. Das wird spektakulär!

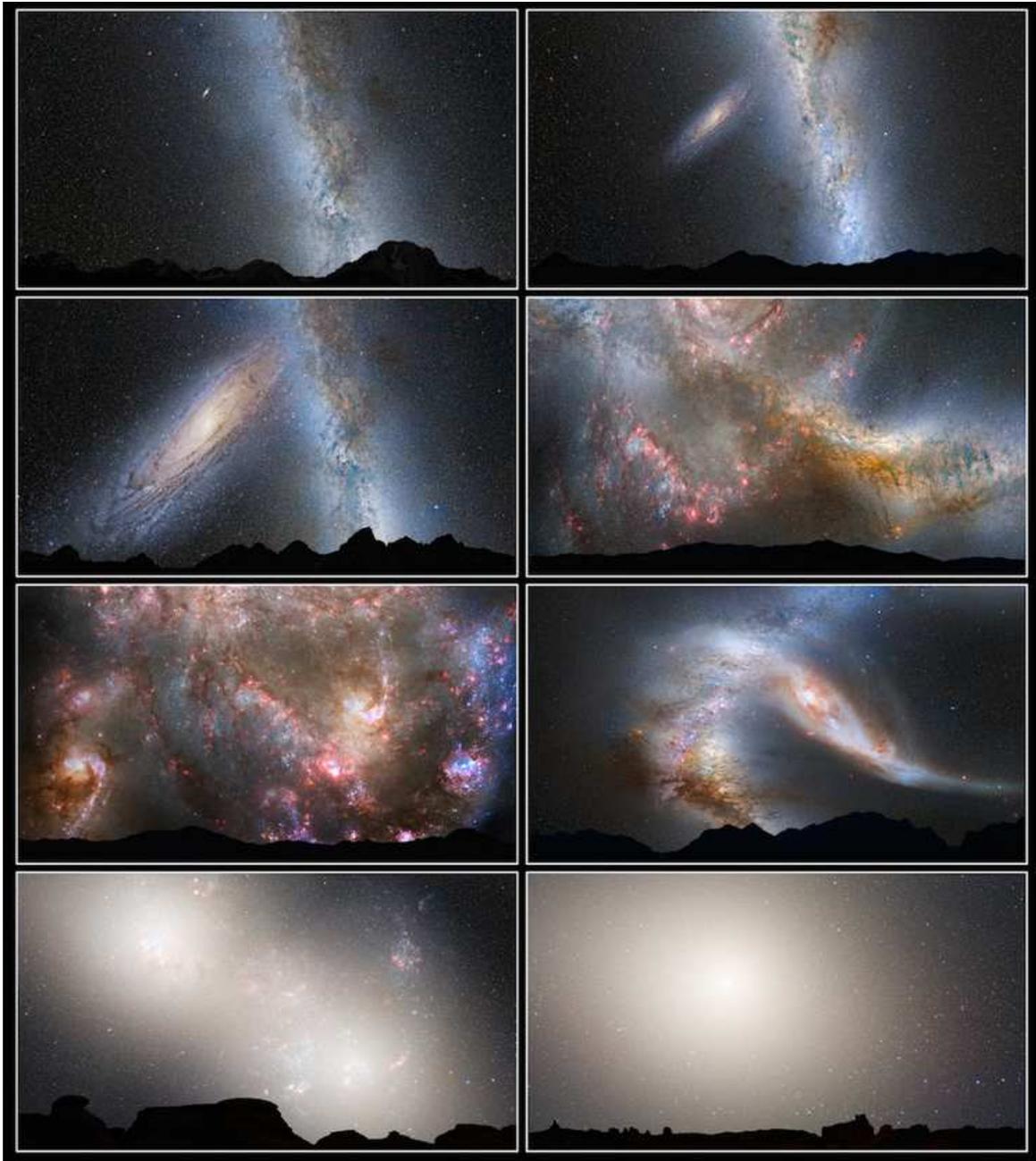


Abb. 5 Künstlerische Darstellung der Kollision der Milchstraße mit der Andromedagalaxie.

In rund 3,75 Milliarden Jahren werden sich die Milchstraße und die Andromedagalaxie immer weiter annähern. Bei der Kollision beider Spiralgalaxien werden Gas und Sterne auseinandergezogen. Schließlich kollidieren die beiden zentralen Schwarzen Löcher zu einem neuen, noch massereicheren supermassereichen Schwarzen Loch. Durch die Kollision der Galaxien verändert sich deren Struktur. Am Ende verschmelzen die Sternsysteme zu einer neuen riesigen Elliptischen Galaxie, die von Rattenschwänzen umgeben ist.

© NASA/ESA/Z. Levay, R. van der Marel (STScI)/T. Hallas/A. Mellinger

Die beiden supermassereichen Schwarzen Löcher in den Zentren der Galaxien werden ebenfalls verschmelzen – zu einem **superschweren Schwarzen Loch** mit mindestens rund 40 Millionen *Sonnenmassen*. Fremde entwickelte Zivilisationen könnten sicherlich *Gravitationswellen* dieses Ereignisses messen. Bei einer Umwandlung von rund 2 Millionen Sonnenmassen in Gravitationswellenenergie wäre der Ausschlag an Meßstationen wie dem *LIGO* enorm.

Zwar werden wir bei diesem kosmischen Spektakel nicht mehr zugegen sein, jedoch ist interessant, daß dieses Ereignis nicht nur die Milchstraße, sondern auch das *Lokale Universum* verändern wird.

Falls Sie Fragen und Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter **kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu**

Ihre
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter

Quellenangaben:

[1] Mehr Information über astronomische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Chakrabarti, S., Proc. *IAU Symp.* **321** (2016)

[3] Ferguson, D., et al., *ApJ* **843**, 2 (14 Jul 2017)
Animation unter https://www.youtube.com/watch?v=Njhvu2i_ZSc

[3a] Animation der Wechselwirkung Milchstraße – Sagittarius-Zwerggalaxie
<https://www.youtube.com/watch?v=oX9pwJ9ii5k>

[4] Dierickx, M, et al., *APJL* **788**, 2 (2014)

[5] Block, D. L., et al., *Nature* **443**, 832-834 (19 Oct 2006)