

# Facharbeit

im Seminarfach Astronomie

## Schwarze Löcher im Zentrum von Galaxien



Merit Strehlow

Seminarfach Astronomie, Herr Riemer

Bramsche, den 16.03.2021

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| 1. Einführung   | 2  |
| 2. Das Schwarze Loch unserer Milchstraße: Sagittarius A*                          | 3  |
| 2.1 Entdeckung  | 3  |
| 2.2 Beobachtung   | 3  |
| 2.2.1 Radiobeobachtung  | 4  |
| 2.2.2 Infrarotbeobachtung   | 5  |
| 2.2.3 Röntgenbeobachtung  | 6  |
| 2.2.4 Direkte Beobachtung   | 7  |
| 3. Schwarze Löcher in anderen Galaxien  | 7  |
| 3.1 Entdeckung  | 7  |
| 3.2 Quasare   | 8  |
| 3.3 Sitzt in jeder Galaxie ein Schwarzes Loch?                                    | 10 |
| 3.4 Schwarze Löcher als Ursprung der Galaxien                                     | 11 |
| 4. Ausblick   | 12 |
| 5. Literatur- und Quellenverzeichnis  | 14 |
| 6. Bilderverzeichnis  | 17 |
| 7. Versicherung der selbstständigen Erarbeitung und Anfertigung<br>der Facharbeit | 18 |
| 8. Einverständniserklärung zur Veröffentlichung                                   | 18 |

# 1. Einführung

Die Erkenntnisse über schwarze Löcher haben in den letzten Jahrzehnten immer mehr zugenommen. Dank der vorangeschrittenen Technik konnten Theorien bestätigt und neue aufgestellt werden. Schwarze Löcher sind bis heute faszinierende und merkwürdige Objekte für die Wissenschaftler. Auch in den Zentren von Galaxien wurden sie entdeckt. Bereits 1971 sagten die beiden Wissenschaftler Donald Lynden-Bell und Martin Rees das Bestehen eines supermassereichen Schwarzen Lochs in unserer Milchstraße voraus.<sup>1</sup> Entdeckt wurde dieses tatsächlich später von Andrea Ghez und Reinhard Genzel, welche 2020 für die Erforschung dieses Objektes auch den Nobelpreis bekamen.<sup>2</sup> Die Zusammenhänge zwischen zentralem Schwarzen Loch und seiner Galaxie werden immer wichtiger für das Verstehen des Universums und seines Anfangs.<sup>3</sup>

Zunächst werde ich exemplarisch auf das Schwarze Loch unserer Milchstraße, Sagittarius A\* (Sgr A\*), eingehen, da es das nächstgelegene Phänomen dieser Art ist. Die Beobachtung findet auf vielen Wegen statt, die hier kurz erläutert werden. Außerdem werde ich im weiteren Verlauf im Allgemeinen auf Schwarze Löcher in Zentren von Galaxien eingehen. Als Erstes auf ihre Entdeckung und danach auf die sogenannten Quasare, die eine besondere Form von Schwarzen Löchern in Galaxien darstellen und uns weit in die Vergangenheit blicken lassen. Des Weiteren werde ich zwei Theorien aufgreifen. Zum einen, ob in jedem Zentrum einer Galaxie ein supermassereiches Schwarzes Loch steckt und zum anderen, ob diese Schwarzen Löcher sogar der Ursprung der Galaxien sein könnten. Am Ende möchte ich mit dem Thema abschließen, indem ich einen Ausblick gebe, was in den nächsten Jahrzehnten erforscht und herausgefunden werden könnte.

---

<sup>1</sup> Wikipedia, „Geschichte der Schwarzen Löcher“

<sup>2</sup> Wikipedia, „Sagittarius A\*“

<sup>3</sup> [www.arte.tv](http://www.arte.tv) - Leben aus dem All, 1/2

## 2. Das Schwarze Loch unserer Milchstraße: Sagittarius A\*

### 2.1 Entdeckung

Wie schon in der Einleitung erwähnt, gibt es in unserer Milchstraße tatsächlich ein Schwarzes Loch, sein Name lautet Sagittarius A\*. Man schloss über das Modell von aktiven Galaxienkernen, welche in ihren Zentren ein supermassereiches Schwarzes Loch beherbergen, auf unsere Galaxie, indem man in der Zeit zurückschaute und feststellte, dass auch unsere Galaxie einmal aktiv war. Da das Schwarze Loch nicht einfach verschwinden kann, muss es noch im Zentrum vorhanden sein. Diese Hypothese musste allerdings erst noch bewiesen werden.<sup>4</sup> Man stellte zusätzlich auch noch fest, dass im Zentrum der Milchstraße „eine kompakte, dunkle und extrem große Masse“<sup>5</sup> sitzt. Durch Beobachtung der Zentralregion verstärkte sich diese Theorie über ein supermassereiches Schwarzes Loch immer mehr. 1974 wurde es das erste Mal von den Wissenschaftlern Bruce Balick und Robert Brown durch ein Radiointerferometer aufgefunden.<sup>6</sup> Forscher wandten das 3. Kepler-Gesetz an und fanden 1995 heraus, dass dort eine Masse von 3 Millionen Sonnen innerhalb von 0,14pc bestehe. Dies wurde 1998 von einem Forscherteam um die Astronomin Andrea Ghez bestätigt, welches allerdings auf 2,6 Millionen Sonnenmassen in einem Radius von 0,5 Lichtjahren kam.<sup>7</sup> Das Schwarze Loch liegt 26.000 Lichtjahre von uns entfernt und ist deshalb eines der wenigen Schwarzen Löcher, bei dem man den Materiefluss beobachten kann.<sup>8</sup> Außerdem konnte man noch erforschen, dass es in der Zentralregion Sagittarius A West in einer Minispirale liegt.<sup>9</sup>

### 2.2 Beobachtung

Jetzt stellt sich natürlich die Frage, wie man ein solches Objekt beobachten kann. Sagittarius A\* gehört zu denen, die schwer zu beobachten sind<sup>10</sup>, da

---

<sup>4</sup> [www.spektrum.de/astrowissen/astro\\_slgc.html](http://www.spektrum.de/astrowissen/astro_slgc.html)

<sup>5</sup> Bild der Wissenschaft Jahrgang 97, 11, S.29

<sup>6</sup> [www.astro.ru.nl](http://www.astro.ru.nl)

<sup>7</sup> [www.spektrum.de/astrowissen/astro\\_slgc.html](http://www.spektrum.de/astrowissen/astro_slgc.html)

<sup>8</sup> [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

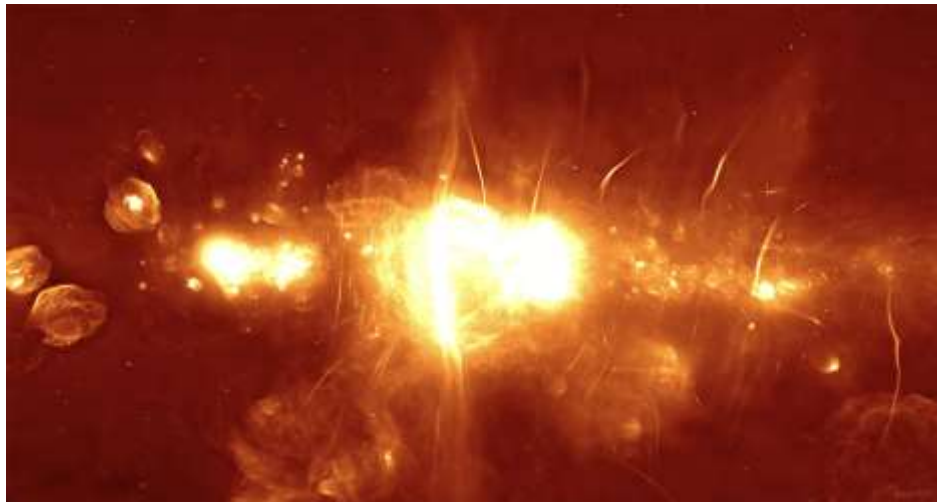
<sup>9</sup> Bild der Wissenschaft Jahrgang 97, 11, S. 31

<sup>10</sup> [www.arte.tv](http://www.arte.tv) – Leben aus dem All, 1/2

vor ihm dichte Staubwolken liegen<sup>11</sup>. Trotzdem ist es durch verschiedene Methoden möglich, die nun erklärt werden.

### 2.2.1 Radiobeobachtung

Viele Quellen im Universum senden Radiostrahlung aus, welche von uns aufgefangen werden kann. Eine besonders starke und stabile Radioquelle in der Kernregion stellt das supermassereiche Schwarze Loch in unserer Milchstraße dar, da in ihm besonders „energetische Prozesse“<sup>12</sup> ablaufen. Seine Strahlung wird allerdings durch Gaswolken verwischt, die zwischen der Erde und dem zu beobachtenden Objekt liegen, sodass die Quelle größer wirkt. Das sollte verhindert werden, indem man Sagittarius A\* bei kürzeren Wellenlängen betrachtet.<sup>13</sup> Im weiteren Verlauf der Beobachtungen nahm man sich die beiden Methoden: „Very Long Baseline Interferometry (VLBI) und VSOP für Very Long Baseline Interferometry Space Observatory Programme“<sup>14</sup> zur Hilfe. Sie bedeuteten, dass viele Radioteleskope an verschiedenen Orten auf der Erde auf das Zentrum der Milchstraße gelenkt wurden und zusammengefügt ein großes Teleskop ergaben, wodurch eine bessere Auflösung gelang.<sup>15</sup> So wurde vom Max-Planck-Institut aus Bonn auch herausgefunden, dass Sagittarius A\* einen Durchmesser von  $10^8$  Kilometern aufweist.<sup>16</sup>



B1: Radioaufnahme des Zentrums der Milchstraße<sup>17</sup>

<sup>11</sup> Bild der Wissenschaft Jahrgang 97, 11, S.29

<sup>12</sup> [www.spektrum.de/astrowissen/astro\\_slgc.html#radio](http://www.spektrum.de/astrowissen/astro_slgc.html#radio)

<sup>13</sup> [www.astro.ru.nl](http://www.astro.ru.nl)

<sup>14</sup> [www.spektrum.de/astrowissen/astro\\_slgc.html#radio](http://www.spektrum.de/astrowissen/astro_slgc.html#radio)

<sup>15</sup> Ebd.

<sup>16</sup> Bild der Wissenschaft Jahrgang 97, 11, S.32

<sup>17</sup> [www.starobserver.org](http://www.starobserver.org)

### 2.2.2 Infrarotbeobachtung

Seit 1992 wird Sagittarius A\* durch die Nahinfrarotbeobachtung erforscht, was durch Reinhard Genzel und Andreas Eckart erfolgte. Zuerst fand die Beobachtung nach der sogenannten Speckle-Methode statt, damit aufkommende Unschärfe minimiert wurde. Danach verwendete man das Very Large Telescope, kurz VLT, welches 2004 ein neues Instrument mit dem Namen SINFONI bekam. Dieses steigerte die Qualität noch einmal und ließ nun zu, die Region im Dreidimensionalen zu beobachten.<sup>18</sup> Während der Erfassung weiterer Daten fiel auch auf, dass die Sterne um Sagittarius A\* Geschwindigkeiten von bis zu 1000 Kilometern pro Sekunde erreichten, also eine starke Eigenbewegung hatten. Dass Sagittarius A\* trotzdem nicht von seiner Stelle rückt, spricht nochmal für eine sehr hohe Masse, da es sonst von den Sternen mitgerissen werden würde.<sup>19</sup>

Reinhard Genzel beobachtete als Erster ein sogenanntes Flare nahe des Ereignishorizonts, was bedeutet, dass in diesem Moment Materie in das Schwarze Loch gesogen wurde und dabei als letzten Akt viel Strahlung ausstieß. Dabei stellte er fest, dass das Licht innerhalb von 17 Minuten schwankend heller und dunkler wurde. Das heißt, es wurde beobachtet, mit was für einer Geschwindigkeit die Materie um das Schwarze Loch fliegt, bevor es sie verschlingt. Da nicht nur die Masse zur Anziehung führt, sondern auch noch eine Eigenbewegung, konnten die Forscher daraus schließen, wie schnell sich Sagittarius A\* dreht, nämlich in 8 Minuten einmal um sich selbst.<sup>20</sup> 2018 wurde weitere Materie beobachtet, wie sie auf dem letzten stabilen Ring um das Schwarze Loch mit Lichtgeschwindigkeit kreist, kurz davor von ihm aufgesogen zu werden. So nah wurde Materie noch nie am Ereignishorizont, welcher den Bereich beschreibt, in dem es kein Zurück mehr vom Schwarzen Loch gibt und nichts von dem was dahinter passiert mehr nach außen dringen kann,<sup>21</sup> beobachtet. So bekommen Forscher einen Eindruck davon, wie die verschiedenen Bereiche vor diesem Objekt funktionieren und was für eine Ausbreitung diese haben.<sup>22</sup>

---

<sup>18</sup> [www.mpg.de](http://www.mpg.de)

<sup>19</sup> [www.astro.ru.nl](http://www.astro.ru.nl)

<sup>20</sup> [www.deutschlandfunk.de](http://www.deutschlandfunk.de)

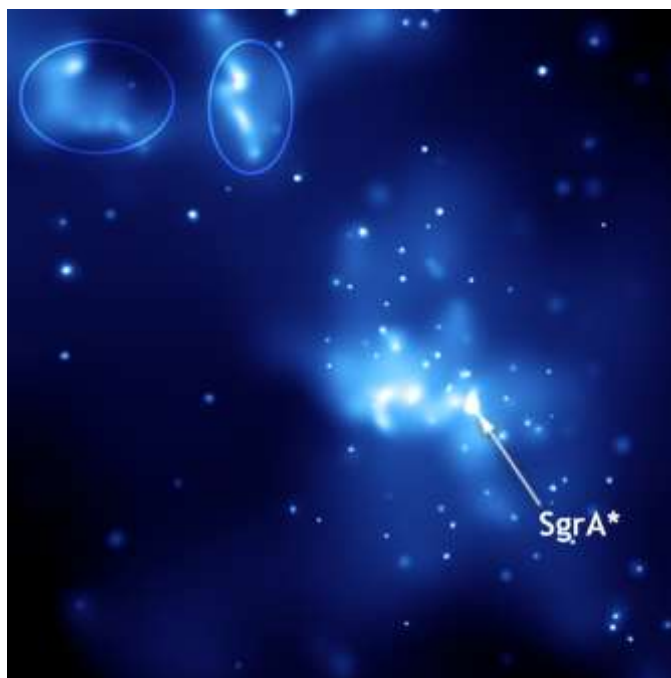
<sup>21</sup> Wikipedia, „Ereignishorizont“

<sup>22</sup> [www.scinexx.de/news/kosmos/milchstrasse-rasend-schnell-ums-schwarze-loch/](http://www.scinexx.de/news/kosmos/milchstrasse-rasend-schnell-ums-schwarze-loch/)

Die Berechnungen zur Masse von Sagittarius A\* wurden durch die Ergebnisse der Infrarotbeobachtung und das Team um Genzel nochmal verbessert. Die punktförmige zentrale Masse wurde auf 3,25 Millionen Sonnenmassen erhöht.<sup>23</sup>

### 2.2.3 Röntgenbeobachtung

Das heiße Gas, welches vom Schwarzen Loch eingesogen wird, stößt vorher Röntgenstrahlung aus. Diese Röntgenstrahlung wird seit 2000 mithilfe des Chandra-Röntgenobservatoriums beobachtet. Dabei wurden bei der doch eher schwachen Strahlung Flares entdeckt, welche zuvor schon im Infrarotbereich gesichtet wurden.<sup>24</sup> Insgesamt wurden im Zentrum der Milchstraße 2000 Röntgenquellen auf sehr geringem Raum entdeckt, wovon Sagittarius A\* die hellste ist. Diese vielen punktuellen Quellen vermutet man auch in der Nähe von Schwarzen Löchern, da die Materie durch dieses heiß und ionisiert wird und somit mehr Strahlung von sich gibt.<sup>25</sup>



B2: Röntgenaufnahme des Zentrums der Milchstraße<sup>26</sup>

<sup>23</sup> [www.spektrum.de/astrowissen/astro\\_slgc.html](http://www.spektrum.de/astrowissen/astro_slgc.html)

<sup>24</sup> [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

<sup>25</sup> [www.spektrum.de/astrowissen/astro\\_slgc.html](http://www.spektrum.de/astrowissen/astro_slgc.html)

<sup>26</sup> Wikipedia, „Sagittarius A\*“

## 2.2.4 Direkte Beobachtung

Heutzutage ist durch die Methode relativistisches Ray Tracing auch die direkte Beobachtung möglich. Diese simuliert im Computerlabor ein Bild. Das funktioniert, indem man ein Teleskop auf den Punkt richtet, in welchem man das supermassereiche Schwarze Loch vermutet, um danach so lange hin und her zu schwenken, bis man einen Bereich ausfindig gemacht hat, in dem die Helligkeit stark abnimmt. Der Computer macht nun aus diesem Bereich das Bild des Schwarzen Lochs.<sup>27</sup> 2014 wurde das Projekt Black Hole Cam gestartet, welches von Michael Kramer vom Max-Planck-Institut geleitet wurde. Hierfür wurde das Radioteleskop ALMA benutzt und noch weitere Teleskope aus Hawaii, Arizona und vom Nordpol. Hier wurde versucht das Schwarze Loch mithilfe der Akkretionsscheibe darzustellen, da es einen Schatten auf diese werfen sollte oder direkt als dunkler Fleck davor zu erkennen sein sollte.<sup>28</sup>

## 3. Schwarze Löcher in anderen Galaxien

### 3.1 Entdeckung

Schwarze Löcher existieren allerdings nicht nur in unserer Galaxie, der Milchstraße. Zuerst wurden sie in Verbindung mit aktiven Galaxienkernen gesetzt.<sup>29</sup> Ausschlaggebend war in den 1950er Jahren die Entdeckung von Quasaren, was im Grunde aktive Zentren mit sehr massereichen Schwarzen Löchern sind.<sup>30</sup> Nach Quasaren entdeckte man, dass auch in anderen Galaxien supermassereiche Schwarze Löcher sitzen.<sup>31</sup> Ein weiteres Beispiel dafür ist die Galaxie M87, in dessen aktivem Zentrum ein supermassereiches Schwarzes Loch mit einer Masse von 6,5 Millionen Sonnenmassen sitzt.<sup>32</sup> Von diesem wurde 2019 auch eine Aufnahme gemacht, welche die erste ihrer Art war.<sup>33</sup>

---

<sup>27</sup> Ebd.

<sup>28</sup> [www.weltderphysik.de/gebiet/universum/schwarze-loecher/eine-kamera-fuer-schwarze-loecher/](http://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/schwarze-loecher/eine-kamera-fuer-schwarze-loecher/)

<sup>29</sup> [www.spektrum.de/astrowissen/lexdt\\_s09.html#susl](http://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt_s09.html#susl)

<sup>30</sup> [www.youtube.de](http://www.youtube.de), Alpha Centauri-Folge 39

<sup>31</sup> [www.scinexx.de/service/dossier\\_print\\_all.php?dossierID=91524](http://www.scinexx.de/service/dossier_print_all.php?dossierID=91524)

<sup>32</sup> Wikipedia, „Messier 87“

<sup>33</sup> Wikipedia, „Schwarzes Loch“





B3: Erste Aufnahme des Schwarzen Lochs von M87<sup>34</sup>

### 3.2 Quasare

Doch was genau sind Quasare überhaupt. Im Gegensatz zu dem Kern unserer Milchstraße, der in seiner Aktivität wechselhaft ist<sup>35</sup>, gibt es auch Kerne in anderen, weit entfernten Galaxien, die durchgehend hoch aktiv sind.<sup>36</sup> Sie werden Quasare genannt, was eine Kurzform von *quasistellaren Objekten* ist.<sup>37</sup> Zuerst hielt man sie für Sterne, da ihr Licht auf der Erde punktförmig erscheint.<sup>38</sup> Heute weiß man, dass es sich hierbei um Galaxien handelt, die sehr weit von uns weg sind, was 1963 ein Niederländer herausfand.<sup>39</sup> Durch die sogenannte Rotverschiebung konnte man ermitteln, dass sie Milliarden Lichtjahre von uns entfernt liegen.<sup>40</sup> Der älteste Quasar befindet sich in einer Entfernung von 13 Milliarden Lichtjahren<sup>41</sup> und muss somit kurz nach dem Universum entstanden sein, da dieses 13,8 Milliarden Jahre alt ist.<sup>42</sup> Das ist besonders, da zu diesem Zeitpunkt noch keine supermassereichen Schwarzen Löcher existieren konnten, vermuteten Astronomen zumindest bis dahin. Dieses Schwarze Loch muss also durch andere Wege als die bisher angenommenen entstanden sein, worauf im weiteren Verlauf noch genauer eingegangen wird. Interessant ist außerdem, dass dieser Quasar aus der Zeit der Reionisierung stammt, was bedeutet, dass sich ein Teil seiner Wasserstoffatome im neutralen und andere sich im

---

<sup>34</sup> [www.spektrum.de/magazin/schwarzes-loch-fotografiert](http://www.spektrum.de/magazin/schwarzes-loch-fotografiert)

<sup>35</sup> [www.futurezone.at](http://www.futurezone.at)

<sup>36</sup> [www.spektrum.de/astrowissen/lexdt\\_a02.html#agn](http://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt_a02.html#agn)

<sup>37</sup> Unser Kosmos, Eine Reise durch das Weltall, S.262

<sup>38</sup> [www.spektrum.de/astrowissen/lexdt\\_q04.html#qso](http://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt_q04.html#qso)

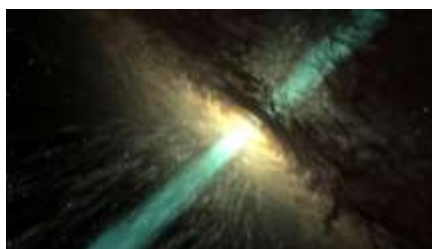
<sup>39</sup> [www.youtube.de](http://www.youtube.de), Alpha Centauri-Folge 39

<sup>40</sup> Unser Kosmos-Eine Reise durchs Weltall, S.262

<sup>41</sup> [www.arte.tv](http://www.arte.tv) – Leben aus dem All, 1/2

<sup>42</sup> Wikipedia, „Universum“

ionisierten Zustand befinden. In dieser Zeit wandelte sich das Universum gerade in das, was wir heute kennen, mit seinen Sternen und Galaxien.<sup>43</sup> Trotzdem kann man Quasare hier als helle Lichtpunkte erkennen. Der Grund dafür ist der, dass sie in einem Raum, kleiner als ein Lichtjahr, Unmengen an Energie freisetzen, was durch stetige Materiezufuhr gewährleistet werden konnte.<sup>44</sup> Die Materie fließt zum zentralen Schwarzen Loch, welches im Kern eines Quasars sitzt und welches eine Masse von 100 Millionen bis 1 Milliarde Sonnenmassen besitzen muss, um dann immer schneller um dieses zu kreisen. Dabei erhitzt sich die Materie zusätzlich stark und diese Bewegungs- und Wärmeenergie können wir hier als Strahlung wahrnehmen beziehungsweise auffangen. Die Leuchtkraft kann innerhalb eines Tages variieren, was erstaunlich ist, da das Licht mehrere Milliarden Jahre braucht um hier anzukommen. Ergänzend dreht sich das Schwarze Loch auch noch selbst mit einer hohen Geschwindigkeit, wodurch noch mehr Energie freigesetzt werden kann. Durch diese Drehkraft wird das umliegende Magnetfeld in eine Art Strudel verwandelt, wodurch auch Teile der Materie an den Seiten wieder weggeschossen werden, als sogenannte Jets.<sup>45</sup> Diese Materiestrahlen können bis zu mehreren tausend Lichtjahren ins All ragen.<sup>46</sup> Der hellste Quasar leuchtet 695 Billionen mal heller als unsere Sonne.<sup>47</sup> Man vermutet, dass sich Quasare in Regionen mit überdurchschnittlich viel Materie gebildet haben.<sup>48</sup> Durch ihr Alter und wegen der hohen energetischen Prozesse, die in ihnen vorgehen, wurden sie immer interessanter für die Wissenschaft.<sup>49</sup>



B4: Aktiver Galaxienkern mit Jets<sup>50</sup>

<sup>43</sup> [www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2017/quasar-stellt-neuen-entfernungsrekord-auf/](http://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2017/quasar-stellt-neuen-entfernungsrekord-auf/)

<sup>44</sup> Bild der Wissenschaft Jahrgang 97, 11, S.31

<sup>45</sup> [www.youtube.de](http://www.youtube.de), Alpha Centauri-Folge 39

<sup>46</sup> [www.arte.tv](http://www.arte.tv) – Leben aus dem All, 1/2

<sup>47</sup> [www.scinexx.de/news/kosmos/hellster-quasar-des-kosmos-entdeckt/](http://www.scinexx.de/news/kosmos/hellster-quasar-des-kosmos-entdeckt/)

<sup>48</sup> [www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2017/neue-spannende-moeglichkeiten-fuer-das-junge-universum](http://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2017/neue-spannende-moeglichkeiten-fuer-das-junge-universum)

<sup>49</sup> [www.arte.tv](http://www.arte.tv) – Leben aus dem All, 1/2

<sup>50</sup> [www.scinexx.de/news/kosmos/ferner-quasar-verbluefft-astronomen](http://www.scinexx.de/news/kosmos/ferner-quasar-verbluefft-astronomen)

### 3.3 Sitzt in jeder Galaxie ein Schwarzes Loch?

Astronomen gehen davon aus, dass im Zentrum jeder Galaxie ein supermassereiches Schwarzes Loch liegt.<sup>51</sup> Sie sind der Antrieb im Kern und machen eine Galaxie zu einer aktiven oder inaktiven Galaxie, je nachdem wie viel Materie dieses Schwarze Loch aufnimmt oder eher gesagt wie viel Materie sich im Umkreis des Schwarzen Loches befindet und eingesaugt werden kann.<sup>52</sup> Durch die Beobachtung vieler großer Galaxien ist deutlich geworden, dass sich höchst wahrscheinlich in ihren Zentren supermassereiche Schwarze Löcher befinden. Trotzdem gibt es nicht viele Nachweise für Schwarze Löcher in anderen Galaxien. Beispiele für nachgewiesene Galaxien mit Schwarzem Loch im Zentrum, sind *M31* und *M32*. Dennoch geht man wegen der sogenannten M-sigma Beziehung davon aus, dass diese Theorie stimmt.<sup>53</sup> Die Beziehung wird dafür verwendet, in weit entfernten Galaxien die Masse von zentralen Schwarzen Löchern zu bestimmen.<sup>54</sup>

Es könnten allerdings auch andere sehr massereiche Objekte im Zentrum liegen, wie zum Beispiel Kernsternhaufen. Doch das wird als äußerst unwahrscheinlich gesehen.<sup>55</sup>

Die Theorie, dass in jedem Zentrum einer Galaxie ein Schwarzes Loch existiert, steht auch im Zusammenhang mit der Frage, wie supermassereiche Schwarze Löcher entstanden sind. Wissenschaftler sind sich noch nicht sicher, wie diese Objekte sich nach so kurzer Zeit entwickeln konnten. Sie könnten im Zentrum von Galaxien entstanden sein, indem sie sich von dieser ernährt haben oder indem ihre Galaxie mit einer anderen Galaxie zusammengestoßen ist und beide zentrale Schwarze Löcher verschmolzen sind. Wenn man Antworten auf diese Frage gefunden hat, sollte auch die Bedeutung von der Galaxie für das Schwarze Loch oder andersherum klar werden.<sup>56</sup>

Im Widerspruch dazu steht jedoch die Galaxie A2261-BCG, da in ihrem Kern kein Schwarzes Loch gefunden wurde. Das Röntgenteleskop Chandra

---

<sup>51</sup> [www.weltderphysik.de/gebiet/universum/schwarze-loecher/](http://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/schwarze-loecher/)

<sup>52</sup> [www.spektrum.de/astrowissen/lexdt\\_s09.html#susl](http://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt_s09.html#susl)

<sup>53</sup> Wikipedia, „Supermassive black hole“

<sup>54</sup> Wikipedia, „M-sigma relation“

<sup>55</sup> Wikipedia, „Central massive objekt“

<sup>56</sup> [www.scienceblogs.de](http://www.scienceblogs.de)

zeigte nicht die benötigte Strahlung an, was zwar auch heißen könnte, dass das zentrale Schwarze Loch kaum Materie aufnimmt, doch das ist unwahrscheinlich. Eine Theorie ist, dass diese Galaxie mit einer anderen zusammengestoßen ist, die Schwarzen Löcher verschmolzen sind und es somit aus A2261-BCG gerissen wurde, was auch zu der Theorie passt, wie diese Objekte entstanden sind. Ein weiteres Indiz für die Theorie über A2261-BCG ist, dass diese Galaxie ein verschobenes Zentrum aufweist. Dieses Phänomen wird weiterhin mit dem James-Webb-Weltraumteleskop erforscht.<sup>57</sup>

Im Großen und Ganzen kann man aber feststellen, dass die Galaxien mit supermassereichen Schwarzen Löchern im Zentrum stark von diesen beeinflusst werden.<sup>58</sup>

### 3.4 Schwarze Löcher als Ursprung der Galaxien

„Schwarze Löcher im Zentrum von Galaxien scheinen eine sehr grundlegende Rolle für die Entwicklung und auch die Entstehung von Galaxien zu spielen.“<sup>59</sup>

Durch die vorrangegangene Annahme, dass in jedem Zentrum von Galaxien ein Schwarzes Loch vorkommt, kam man schließlich zu der Frage, ob die zentralen Schwarzen Löcher etwas mit der Entstehung ihrer Galaxie zu tun haben und man sich fragte was zuerst entstanden sei.<sup>60</sup>

Neue Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Galaxie und zentralem Schwarzem Loch deuten darauf hin, dass sie durchaus etwas mit der oben genannten Frage zu tun haben könnten.

Astronomen fanden eine Erklärung in den folgenden Berechnungen. Hiernach nehmen die Leuchtkraft, Geschwindigkeitsdispersion und die Masse des Schwarzen Lochs linear zu. Seine Masse macht 0,2% der Masse des Kerns aus. Doch der Zusammenhang zwischen Masse und Leuchtkraft ist noch nicht klar, auch weil die Sterne im Kern das Schwarze Loch kaum spüren. Trotzdem lässt es darauf schließen, dass die Galaxie und dessen Schwarzes Loch zur gleichen Zeit entstanden sein müssen.

---

<sup>57</sup> [www.fr.de](http://www.fr.de)

<sup>58</sup> [www.arte.tv](http://www.arte.tv) – Leben aus dem All, 1/2

<sup>59</sup> Nadine Neumayer: [www.arte.tv](http://www.arte.tv) – Leben aus dem All, 1/2

<sup>60</sup> [www.mdr.de/wissen/hubble-supermassereiches-schwarzes-loch-starburst-galaxie](http://www.mdr.de/wissen/hubble-supermassereiches-schwarzes-loch-starburst-galaxie)

Eine weitere Theorie ist, dass die zentralen Schwarzen Löcher aus der ersten Generation Sterne entstanden sind, als diese in einer Supernova explodierten und dann zusammenbrachen. Diese eher kleinen Schwarzen Löcher stießen zusammen und wurden dadurch immer massereicher, weshalb sich langsam Gas und Sterne um sie sammelten. Diese Gebilde sollen die Vorläufer der heutigen Galaxien sein.<sup>61</sup>

Dank Quasaren weiß man schon, dass supermassereiche Schwarze Löcher sehr früh entstanden sind. 2019 wurden, mithilfe des MUSE-Instruments aus Chile am Max-Planck-Institut in Heidelberg, Gaswolken in der Umgebung von Quasaren beobachtet, welche groß genug waren, deren Schwarze Löcher zu füttern und gleichzeitig für die Entstehung von neuen Sternen zu sorgen.<sup>62</sup> Das könnte auch durch ihre Jets passieren, da diese Materie verteilen, welche auch zur Sternentstehung beitragen können. Außerdem sorgen sie für Stabilität in ihrer Galaxie.<sup>63</sup>

ESO 495-21 könnte Klarheit verschaffen. Diese von Hubble beobachtete Galaxie ist 30 Millionen Lichtjahre von uns entfernt und liegt im Sternbild Pyxis. Obwohl sie sehr klein ist, ungefähr ein Drittel unserer Milchstraße, soll in ihrem Zentrum trotzdem ein supermassereiches Schwarzes Loch liegen. Außerdem ist sie eine sogenannte Stardust Galaxie, was bedeutet, dass in ihr tausendmal schneller Sterne produziert werden als in unserer Milchstraße. Die Galaxie könnte den ersten entstandenen Galaxien ähneln und das Besondere ist, dass sie, trotz ihrer kleinen Größe, dieses supermassereiche Schwarze Loch in sich trägt, was nur mit großen Galaxien in Verbindung gebracht worden ist. Das könnte ein Indiz dafür sein, dass erst die Schwarzen Löcher vorhanden waren.<sup>64</sup>

#### 4. Ausblick

Zum Schluss lässt sich sagen, dass durch genauere Bilder untersucht werden soll, wie Jets die Sternentstehung beeinflussen oder generell wie Schwarze Löcher die Zentren und damit die Galaxien beeinflussen.

---

<sup>61</sup> Sterne und Weltraum 3/2001, S.223

<sup>62</sup> [www.mdr.de/wissen/futter-supermassereiche-schwarze-loecher-quasare](http://www.mdr.de/wissen/futter-supermassereiche-schwarze-loecher-quasare)

<sup>63</sup> [www.arte.tv](http://www.arte.tv) – Leben aus dem All, 1/2

<sup>64</sup> [www.mdr.de/wissen/hubble-supermassereiches-schwarzes-loch-starburst-galaxie](http://www.mdr.de/wissen/hubble-supermassereiches-schwarzes-loch-starburst-galaxie)

Auch könnte weiter erforscht werden, ob Schwarze Löcher oder eher gesagt Quasare der Grund für Leben sind, da sie mit ihren Jets alle notwendigen Elemente, wie Eisen, Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff, welche aus Supernovae stammen, gleichmäßig im All verteilen. Dies wurde mit der fliegenden Sternwarte Sofia beobachtet. Da diese Verteilung in dem Zeitraum vom Anfang des Universums bis heute nicht allein durch Diffusion passieren konnte, muss noch eine andere Quelle, nämlich die Jets, dahinterstecken. In diesem Zusammenhang ist also überall Leben möglich. Es fehlt nur noch eine lebensfreundliche Umgebung mit möglichst wenig Strahlung, wie sie in unserem Sonnensystem vorkommt.<sup>65</sup>

---

<sup>65</sup> [www.arte.tv](http://www.arte.tv) – Leben aus dem All, 1/2

## 5. Literatur- und Quellenverzeichnis

### Literaturverzeichnis:

- ASIMOV, ISAAC: Die Schwarzen Löcher. (Kiepenheuer & Witsch), Köln 1979.
- BÜHRKE, THOMAS: Schwarze Löcher und die Entwicklung von Galaxien. In: Sterne und Weltraum, 3/2001, S.223
- MEZGER, PETER G. u.a.: Das Schwarze Loch der Milchstraße. In: Bild der Wissenschaft, 11/1997, S.28-33
- SAGAN, CARL: Unser Kosmos. Eine Reise durch das Weltall mit 500 meist farbigen Abbildungen. (Droemer Knauer), München 1982.

### Quellenverzeichnis:

- BOEN, BROOKE: Supermassive Black Hole Sagittarius A\*. Aus:[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/chandra/multimedia/black-hole-SagittariusA.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/multimedia/black-hole-SagittariusA.html), Stand: 7. August 2017, (Abruf 10.03.2021)
- BÜHRKE, THOMAS: Schwarze Löcher häufiger als gedacht. Aus:[https://www.scinexx.de/service/dossier\\_print\\_all.php?dossierID=91524](https://www.scinexx.de/service/dossier_print_all.php?dossierID=91524), Stand: 22.05.2009, (Abruf 10.03.2021)
- FALCKE, HEINO / MENTEN KARL. M: Ein Schwarzes Loch und seine Umgebung im Radiolicht. Aus:<https://www.astro.ru.nl/~falcke/paper/suw-radio.pdf>, Stand: August 2003, (Abruf 10.03.2021)
- FREISTETTER, FLORIAN: Wieso befindet sich im Zentrum jeder Galaxie ein riesiges schwarzes Loch? Aus:<https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2015/01/19/wieso-befindet-sich-im-zentrum-jeder-galaxie-ein-riesiges-schwarzes-loch/>, Stand: 19.Januar 2015, (Abruf 10.03.2021)
- HARLOS, JANA: „Neue spannende Möglichkeiten für das junge Universum“. Aus:<https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2017/ue-spannende-moeglichkeiten-fuer-das-junge-universum/>, Stand: 24.05.2017, (Abruf 10.03.2021)

- HAUG, CLEMENS: Frühstück für supermassereiche Schwarze Löcher. Aus: <https://www.mdr.de/wissen/futter-supermassereiche-schwarze-loecher-quasare-100.html#:~:text=Wissenschaftler%20hatten%20erst%20vor,> Stand: 19. Dezember 2019, (Abruf 10.03.2021)
- KAYSER, RAINER: Quasar stellt neuen Entfernungsrekord auf. Aus: <https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2017/quasar-stellt-neuen-entfernungsrekord-auf/>, Stand: 6.12.2017, (Abruf 10.03.2021)
- LEANDER, LISA: Eine Kamera für Schwarze Löcher. Aus: <https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/schwarze-loecher/eine-kamera-fuer-schwarze-loecher/>, Stand: 27.6.2014, (Abruf 10.03.2021)
- LORENZEN, DIRK: Flackernde Funzel im Herzen der Milchstraße. Aus: [https://www.deutschlandfunk.de/flackernde-funzel-im-herzen-der-milchstrasse.676.de.html?dram:article\\_id=20993,](https://www.deutschlandfunk.de/flackernde-funzel-im-herzen-der-milchstrasse.676.de.html?dram:article_id=20993,) (Abruf 10.03.2021)
- MÜLLER, ANDREAS: [https://www.spektrum.de/astrowissen/astro\\_slgc.html](https://www.spektrum.de/astrowissen/astro_slgc.html)  
[https://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt\\_a02.html#agn](https://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt_a02.html#agn)  
[https://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt\\_s09.html#susl](https://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt_s09.html#susl)  
[https://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt\\_q04.html#qso](https://www.spektrum.de/astrowissen/lexdt_q04.html#qso)  
(Abruf 10.03.2021)
- UNBEKANNT: Neue Theorie: Schwarze Löcher als Ursprung der Galaxien. Aus: <https://www.mdr.de/wissen/hubble-supermassereiches-schwarzes-loch-starburst-galaxie-100.html,> Stand: 17. Juni 2019, (Abruf 10.03.2020)
- WALLOCHA, SVENJA: Gewaltiges Schwarzes Loch fehlt im Zentrum – Galaxie überrascht Forschende. Aus: <https://www.fr.de/wissen/schwarzes-loch-universum-galaxie-a2261-verschwunden-all-astronomen-universum-galaktische-katastrophe-weltraum-frankfurt-ltt-90167355.html,> Stand: 20.01.2021, (Abruf 10.03.2021)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Ereignishorizont,> (Abruf 10.03.2021)



- [https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte\\_der\\_Schwarzen\\_L%C3%B6cher](https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Schwarzen_L%C3%B6cher), (Abruf 10.03.2021)
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Messier\\_87](https://de.wikipedia.org/wiki/Messier_87), (Abruf 10.03.2021)
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Sagittarius\\_A\\*](https://de.wikipedia.org/wiki/Sagittarius_A*), (Abruf 10.03.2021)
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes\\_Loch](https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch), (Abruf 10.03.2021)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Universum>, (Abruf 10.03.2021)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Central\\_massive\\_object](https://en.wikipedia.org/wiki/Central_massive_object),  
(Abruf 10.03.2021)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/M%E2%80%93sigma\\_relation](https://en.wikipedia.org/wiki/M%E2%80%93sigma_relation),  
(Abruf 10.03.2021)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Supermassive\\_black\\_hole](https://en.wikipedia.org/wiki/Supermassive_black_hole),  
(Abruf 10.03.2021)
- <https://futurezone.at/science/das-supermassive-schwarze-loch-unserer-galaxie-wird-aktiver/400784906>,  
Stand: 18.03.2020, (Abruf 10.03.2021)
- <https://www.arte.tv/de/videos/095857-001-A/leben-aus-dem-all/>,  
Stand: 2020, (Abruf 10.03.2021)
- <https://www.mpg.de/485259/pressemitteilung20040824>,  
Stand: 24. August 2004, (Abruf 10.03.2021)
- <https://www.scinexx.de/news/kosmos/hellster-quasar-des-kosmos-entdeckt/>, Stand: 16. Mai 2018, (Abruf 10.03.2021)
- <https://www.scinexx.de/news/kosmos/milchstrasse-rasend-schnell-ums-schwarze-loch/>, Stand: 31. Oktober 2018, (Abruf 10.03.2021)
- <https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2008/schwarzes-loch-im-zentrum-der-milchstrasse-ist-ein-schlafender-gigant/>,  
(Abruf 10.03.2021)
- <https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/schwarze-loecher/>,  
(Abruf 10.03.2021)
- <https://www.youtube.com/watch?v=XTovrSFHzOw>  
(Abruf 10.03.2020)

## 6. Bilderverzeichnis:

- Deckblatt: <https://www.astropage.eu/2013/03/02/das-supermassive-schwarze-loch-im-zentrum-der-galaxie-ngc-1365-rotiert-superschnell/>, (Abruf 11.03.2021)
- B1: [https://www.starobserver.org/image/1808/GCenter\\_MeerKAT\\_1772.jpg](https://www.starobserver.org/image/1808/GCenter_MeerKAT_1772.jpg), (Abruf 13.03.2021)
- B2: [https://de.wikipedia.org/wiki/Sagittarius\\_A\\*](https://de.wikipedia.org/wiki/Sagittarius_A*), (Abruf 13.03.2021)
- B3: <https://www.spektrum.de/magazin/schwarzes-loch-fotografiert/1640938>, (Abruf 13.03.2021)
- B4: <https://www.scinexx.de/news/kosmos/ferner-quasar-verbluefft-astronomen/>, (Abruf 13.03.2021)

## 7. Versicherung der selbständigen Erarbeitung und Anfertigung der Facharbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken (auch aus dem Internet) entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Verwendete Informationen aus dem Internet sind nach Absprache mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung zu stellen.

Bramsche, den 15.03.2021, Merit Strehlow

Unterschrift der Schülerin / des Schülers

## 8. Einverständniserklärung zur Veröffentlichung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Bramsche, den 15.03.2021, Merit Strehlow

Unterschrift der Schülerin / des Schülers