



Das geheimnisvolle Zentrum unserer Milchstraße

Von Kurt Bangert

Als Kopernikus mit seinen Forschungen das heliozentrische System etablierte, wusste er noch nicht, dass die Sonne, die er nun ins Zentrum des Planetensystems platzierte, nur einer von unzählig vielen Sternen am Himmel war. Die Erkenntnis, dass die Sterne am nächtlichen Firmament Sonnen-ähnliche Himmelskörper sind, setzte sich erst im Laufe der nächsten Jahrhunderte durch. Weder ahnte man damals etwas von den unglaublichen Ausdehnungen des Weltalls, wie sie uns heute geläufig sind, noch wusste man, dass die Sterne, die wir in einer unbewölkten Nacht mit bloßem Auge sehen können, nur ein kleiner Teil jenes riesigen Sternensystems sind, das wir heute unsere Milchstraße oder Heimatgalaxie nennen. Zwar kannte man von alters her jenes milchig-nebulöse Lichtband, das man in einer dunklen Nacht am Himmel sehen konnte, doch dass dieser Nebelstreifen praktisch unser eigenes Sternensystem darstellt, von dem unser Sonnensystem ein Teil ist, das wissen wir erst seit relativ kurzer Zeit.

Bis zum 17. Jahrhundert hatte man noch keine Ahnung davon, dass die Milchstraße am Nachthimmel aus lauter fernen Sternen bestand. Erst Galileo Galilei vermochte mit seinem Teleskop einzelne Sterne der Milchstraße aufzulösen. Aber es war vor allem der in Hannover geborene und in England lebende Musiker und Astronom Sir Friedrich Wilhelm Herschel (1702-1822), der sich aufgrund seiner zahlreichen teleskopischen Beobachtungen intensive Gedanken über Sternsysteme machte. Bis zu seiner Zeit beschäftigten sich die meisten Astronomen mit der Sonne und den nahen Planeten. Herschel baute die besten Teleskope seiner Zeit, die es ihm erlaubten, nicht nur als der Entdecker des Planeten Uranus in die Geschichte einzugehen, sondern auch als akribischer Beobachter von Sternsystemen und astronomischen Nebeln.

Herschel glaubte zunächst, dass sich mit entsprechend großen Teleskopen jeder astronomische Nebel in Sterne auflösen ließ und dass es sich bei diesen Nebeln um weit entfernte „Insel-Universen“ handelte. Er glaubte, dass alle Sterne ursprünglich ziemlich gleichmäßig im Weltraum verteilt waren und dass sie sich erst aufgrund der Schwerkraft zu Sternsystemen zusammengeballt hatten. Herschel stellte auch fest, dass die meisten Sterne, die er beobachten konnte, sich mehr oder weniger in einer Ebene befanden, während er im rechten Winkel zu dieser Ebene nur sehr wenige Sterne beobachten konnte. Dies zwang ihm die Schlussfolgerung auf, dass unser Sternsystem eine Scheibe sein müsse, von der er gleichwohl glaubte, dass sie bis ins Unendliche reiche. Herschel sollte freilich nur teilweise recht behalten, weil viele galaktischen Nebel (wie der Orionnebel oder der Krebsnebel) in Wirklichkeit nur aus Staub oder Gas bestehen.

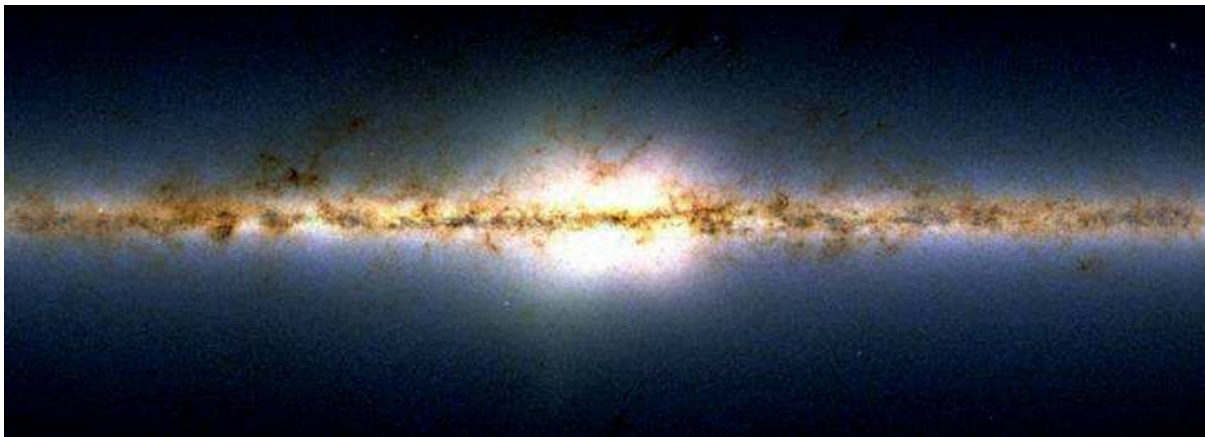
Herschels philosophischer Zeitgenosse Immanuel Kant (1724-1804) vermutete bereits, dass unser Sonnensystem Teil des Milchstraßensystems sei und dass es möglicherweise noch andere ähnliche Inselsysteme oder Galaxien in größerer Entfernung geben könnte. Diese Vermutung sollte sich im wahrsten Sinne des Wortes als sehr weitsichtig herausstellen. Kant gilt übrigens als der letzte große Denker, der auf praktisch allen Wissensgebieten führende Kompetenz besaß. Nach ihm spezialisierten sich die Wissenschaften derart, dass es einen



solchen *Allrounder* seither nicht mehr gegeben hat. Der pietistisch-fromme Kant, nicht zuletzt dafür bekannt, dass er allen Gottesbeweisen den Garaus machte, dachte viel über das Verhältnis von Moral und Vernunft nach, hatte aber auch schon eine leise Ahnung von der Unermesslichkeit des Weltraums. „Zwei Dinge“, so beginnt sein vielleicht berühmtester Satz, „erfüllen das Gemüt mit immer neuer und zunehmender Bewunderung und Ehrfurcht, je öfter und anhaltender sich das Nachdenken damit beschäftigt: der gestirnte Himmel über mir und das moralische Gesetz in mir.“

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts kamen Astronomen sowohl aufgrund der Sternpositionen als auch aufgrund der Sternbewegungen zu der Schlussfolgerung, dass unsere scheibenförmige Milchstraße endlich ist und dass sie einen Durchmesser von über 20.000 Lichtjahren sowie eine Dicke von ca. 6.000 Lichtjahren haben müsse.

Anfang des 20. Jahrhunderts beobachteten einige amerikanische Astronomen in verschiedenen „Nebeln“ so genannte Nova-Explosionen, die sie in ähnlicher Form schon des öfteren in größerer Nähe beobachtet hatten und die ihnen nun erste Anzeichen dafür gaben, dass es sich bei diesen „Nebeln“ nicht etwa um Gas- oder Staubnebel handelte, wie man bisher vermutet hatte, sondern um ferne Sternsysteme ähnlich unserer Milchstraße. Andere zeitgenössische Forscher konnten sich partout nicht vorstellen, dass es solche Systeme in solchen Entfernungen geben könne.



Ein Infrarotbild des zentralen Bereichs unseres Milchstraßensystems. Mit Infrarotbildern lässt sich das galaktische Zentrum besser ablichten als mit elektromagnetischen Wellen des sichtbaren Spektrums. Deutlich zu sehen ist der Kernbereich mit der zentralen Ausbeulung (engl. *Bulge*); leicht erkennbar auch die Staubwolken entlang des galaktischen Äquators. (Quelle: Two-Micron All Sky Survey, siehe: www.ipac.caltech.edu/2mass/gallery)

Dieser Streit wurde erst durch Edwin Powell Hubble aufgelöst, der 1924 nachweisen konnte, dass der Andromedanebel tatsächlich aus einzelnen Sternen besteht und dass er sich in einer Entfernung weit jenseits unserer Milchstraße befand. Weil er einzelne Sterne dieses „Nebels“ teleskopisch auflösen konnte, errechnete er für den Andromedanebel eine unglaubliche Entfernung von rund 10 Trillionen Kilometer. Die Entfernung war mehrere hunderttausende Mal so groß wie die Entfernungen der bekanntesten Sterne unserer Milchstraße. Somit hatte der Andromeda als Nebel ausgedient und musste als ein von unserer Milchstraße getrennte Galaxie (von griech. *galaktos* für Milch) anerkannt werden. Seine Schlussfolgerungen waren so zwingend, dass sich diese enorme Ausweitung des Universums in den Dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts rasch durchsetzte. Hubble beobachtete weitere Galaxien und konnte schon allein aufgrund ihrer augenscheinlichen



Größe auf deren ungefähre Entfernung schließen. Später entdeckte er auch noch die so genannte „Rotverschiebung“ der Galaxien, auf die wir später noch zu sprechen kommen werden.

Hubbles Entdeckungen müssen zu den bedeutendsten des 20. Jahrhunderts, ja sogar der Menschheitsgeschichte, gerechnet werden. Die amerikanische Weltraumbehörde NASA hat Hubble ein Denkmal gesetzt, indem sie das satellitengestützte Hubble-Weltraumteleskop nach ihm benannte, das uns über viele Jahre mit den spektakulärsten Aufnahmen aus dem All versorgt hat.

Hatte Herschel bereits die Scheibenform unseres eigenen Milchstraßensystems ausgemacht, so wollten Astronomen seine Struktur nun noch genauer bestimmen. Wie die jahrtausendelange Diskussion um die Gestalt unseres Sonnensystems gezeigt hatte, ist es äußerst schwierig, die Struktur eines Systems von innen heraus zu bestimmen, wenn man selbst Teil dieser Struktur ist. Wir können nun einmal nicht von außen oder von oben auf unser Milchstraßen-System draufschauen.

Oder etwa doch? In Fall unserer Heimatgalaxie hatten Astronomen zumindest einige Anhaltspunkte, die ihnen die Aufgabe erleichterten, weil sie davon ausgehen durften, dass unser System nicht unähnlich jenen fernen Galaxien sein dürfte, die schon Hubble katalogisiert hatte. Er hatte herausgefunden, dass es die unterschiedlichsten Galaxienformen gab, und die verschiedenen Typen gekennzeichnet und systematisiert: Es gibt elliptische Galaxien, linsenförmige Galaxien, Spiralgalaxien und Balkenspiralgalaxien sowie zahlreiche irreguläre Galaxien; auch gibt es Zwerggalaxien sowie Galaxien, die miteinander in Wechselwirkung getreten sind bzw. dabei sind, sich zu vereinen.

Heute, nach jahrzehntelangen Beobachtungen, Analysen und Berechnungen, haben die Forscher ein recht gutes Bild unserer Heimatgalaxie, obwohl wir einen Teil von ihr nie zu Gesicht bekommen, weil das dichte Galaxienzentrum uns daran hindert, die Gegend jenseits dieses Zentrums zu sehen. Es ist sicherlich keine Übertreibung, wenn wir sagen, dass es sich bei unserem Milchstraßensystem um das interessanteste und vielseitigste Objekt handelt, dass es überhaupt gibt, wenn wir einmal von ähnlichen Galaxien absehen, die wir freilich nur in Umrissen und in sehr großer Entfernung erkennen können. In unserer Galaxie gibt es Sterne ähnlich unserer Sonne, aber auch Riesensterne mit der hundertfachen Masse unserer Sonne, blaue Riesen und rote Riesen, weiße, schwarze und braune Zwerge, Neutronensterne und Schwarze Löcher, Staubwolken, Gaswolken, Kugelsternhaufen und Zwerggalaxien, dazu Planeten jeder Größe und von unvorstellbarer Zahl, von denen wir bisher leider nur um die 100 haben ausfindig machen können. Es sind die Planeten, welche die größten Geheimnisse unserer Milchstraße bergen. Das, was wir bis heute – nach jahrzehntelanger Erforschung mit immer besseren Instrumenten – über unsere Heimatgalaxie haben in Erfahrung bringen können, ist nur ein minimaler Bruchteil dessen, was sie an Rätseln enthält, von denen wir die allermeisten nie werden entschlüsseln können.

Doch sind wir wenigstens in der Lage, etwas über die Gestalt unserer Galaxie auszusagen? Indem Astronomen die Entfernungen der Sterne berechneten, ihre Häufigkeit kartographierten und zahlreiche Fotos analysierten, konnten sie viel über die Form unserer Milchstraße aussagen. Zu einem wichtigen Schlüssel zum Verständnis unserer Galaxie wurden die vielen Kugelsternhaufen, die man in unserer Milchstraße fand. Kugelsternhaufen sind kugelförmige Sternsysteme, die schwerkraftmäßig stark aneinander gebunden sind und sich sehr zum Haufenkern hin orientieren. Wir kennen rund 150 solcher Haufen im Einflussbereich unserer Milchstraße, von denen jeder einzelne aus rund einer Million Sterne besteht. Die Sterne eines Kugelsternhaufens sind je dichter beieinander, je

näher sie dem Zentrum kommen. (Wäre die Sonne das Zentrum eines Kugelsternhaufens, so würden sich innerhalb eines Radius von der Sonne bis zu unserem Nachbarstern, Alpha Centauri, nicht weniger als hunderttausend Sterne tummeln.) Kugelsternhaufen sind nahezu sphärisch um die Milchstraße verteilt, und zwar so, dass viele von ihnen sich auch oberhalb oder unterhalb der galaktischen Scheibe befinden. Durch den Vergleich mit theoretischen Modellen der Sternentwicklung lässt sich das Alter dieser Objekte relativ leicht bestimmen. Aufgrund solcher Altersbestimmungen sowie der Tatsache, dass Kugelsternhaufen relativ unabhängig von der Galaxienscheibe existieren, geht man davon aus, dass es sich um Sternzusammenballungen handelt, die sich bereits formiert hatten, noch bevor die Galaxie sich aufgrund ihrer Rotation zu einer Scheibe verdichtete. Das Alter dieser Kugelsternhaufen wird auf grob 12 Milliarden Jahre berechnet. Damit ist auch das ungefähre Alter unserer Milchstraße angegeben.



Der Kugelsternhaufen M80 in dem Sternbild Skorpion (Sternbild) befindet sich rund 28.000 Lichtjahre von der Sonne entfernt. Hier befinden sich hunderttausende Sterne.^[1]



Unsere Heimatgalaxie besteht somit aus einer Akkretionsscheibe, in der sich die meisten Sterne befinden, und einem kugelförmigen Raum um diese Scheibe herum, in der sich ebenfalls Sterne, Staub, Gaswolken und Kugelsternhaufen befinden. Die Scheibe, dessen ist man sich heute sicher, hat die Form einer Spirale mit ca. 3-5 Armen, wobei sich innerhalb dieser Arme die weitaus meisten Sterne gebildet haben, während es zwischen den Armen eine geringere Zahl von Sternen gibt.

Wieviele Sterne hat unsere Heimatgalaxie? Mit bloßem Auge erkennt man bei guter Sicht etwa 2.000 bis 3.000 Sterne am Nachthimmel. Nimmt man die Sterne am südlichen Himmel hinzu, kommt man auf rund 6.000-7.000 Sterne. Insgesamt schätzt man die Zahl der Sterne in unserer Galaxie jedoch auf rund 200 Milliarden, vielleicht sogar noch mehr. Damit gehört unsere Milchstraße zu den größeren Sternsystemen des Universums. Der tatsächliche Durchmesser der Scheibe wird heute mit rund 100.000 Lichtjahren angegeben, während die Dicke der Akkretionsscheibe nur etwa 3.000-5.000 Lichtjahre beträgt. Unsere Sonne befindet sich leicht oberhalb der Scheibenebene (nur rund 20 Lichtjahre über dem galaktischen Äquator) etwa 27.000 Lichtjahre vom galaktischen Zentrum entfernt. Die Sonne ist Teil des relativ kleinen Orion-Armes, der zwischen zwei größeren Spiralarmen liegt, dem Sagittarius-Arme (englisch für „Schütze“) und dem Perseus-Arm.

Die Arme des Spiralsystems konnten die Astronomen sowohl durch optische als auch durch Radiowellen identifizieren. Warum sich die Arme der galaktischen Spirale geformt haben, ist nicht bis ins letzte Detail erforscht, aber man kann sagen, dass sie das Ergebnis des Zusammenwirkens von Schwerkraft, Rotationsgeschwindigkeit, Zentrifugalkräften und Gezeitenkräften sind. Ähnliche Effekte finden wir bei Wirbelstürmen auf der Erde oder auch, wenn man etwa Pfeffer in ein Glas Tomatensaft gießt und das Glas dann kreisförmig bewegt: Der Pfeffer nimmt die Form einer Spirale an. Modellrechnungen haben gezeigt, dass die Spiralarme sich umso deutlicher herausbilden, je schneller sich eine Galaxie dreht, während die Spiralarme zerfasern, wenn sich die Rotation langsamer vollzieht. Eine Galaxie ist ein dynamisches System, das ständig zwischen chaotischen Turbulenzen und strukturbildenden Tendenzen schwankt. Experten sprechen von „nichtlinearen dissipativen Prozessen“. Man könnte auch sagen: Aus chaotischen Zuständen bilden sich Strukturen, und Strukturen verfallen in chaotische Zustände.

Mit welcher Geschwindigkeit rotiert die Galaxie um ihr Zentrum – und wir mit ihr? Hier mag es angebracht sein, etwas über die Rotationsgeschwindigkeiten zu sagen, mit denen wir irdischen Geschöpfe uns durch den Raum bewegen. Ohne dass wir es merken, gleiten wir Menschen mit großem Tempo durchs All. Unsere Erde dreht sich einmal pro Tag um die eigene Achse, und das mit einer Geschwindigkeit (am Äquator) von 1670 Kilometern pro Stunde. Dazu rotiert die Erde einmal im Jahr rund um die Sonne, und zwar mit über 100.000 Kilometern pro Stunde oder 30 Kilometern pro Sekunde. Es gibt noch eine weitere Erdbewegung, die Präzession oder Kreiselbewegung, bei der die Erde versucht, ihre gegenüber der Sonnenumlaufbahn schräg gestellte Erdachse aufzurichten, was ihr aber nicht gelingt. Stattdessen macht die Achse eine Kegelbewegung, wofür sie allerdings 25.000 Jahre benötigt.

Auch die Sonne hat ihre Rotationsbewegungen. Sie dreht sich (an ihrem Äquator) in nur 26 Tagen um die eigene Achse, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 7200 Kilometern pro Stunde. Samt der Planeten bewegt sich unser Zentralgestirn mit 900.000 Kilometern pro Stunde (oder 250 km/sek) um das galaktische Zentrum. Damit ist auch bereits die ungefähre Rotationsgeschwindigkeit der ganzen Galaxie angegeben. Für einen Umlauf benötigt die

KunstBilder

Sonne rund 220 Millionen Jahre. Bei einem Alter unseres Zentralgestirns von rund 4,5 Milliarden Jahren dürfte die Sonne bisher mehr als 20mal um das galaktische Zentrum herumgewirbelt sein. Dabei hat sie eine Strecke von ca. 6 Millionen Lichtjahren oder 60 Trillionen Kilometern (6×10^{19} km) zurückgelegt.¹



Das Bild eines Künstlers, wie sich Astronomen heute unsere Heimatgalaxie vorstellen. Infrarot-Analysen von rund 30 Millionen Sterne haben NASA-Experten überzeugt, dass unsere Milchstraße keine gewöhnliche Spiralgalaxie, sondern eine Balkenspiralgalaxie ist, mit einem zentralen Balken, der fast 30.000 Lichtjahre lang ist. (Quelle: www.spitzer.caltech.edu/Media/Mediaimages/sig/sig05-010.shtml)

¹ Eine Trillion ist nach deutschem Sprachgebrauch so viel wie eine Milliarde Milliarden oder eine Million Billionen.



Der galaktische Kern der Milchstraße

Unser Milchstraßensystem hat einen sehr dicht bevölkerten Kern, der sehr viel heller leuchtet als der Rest der galaktischen Scheibe. Der zentrale Bereich, der sich im Sternbild Schütze befindet, hat eine mächtige Ausbeulung mit einer vergleichsweise großen Anzahl von Sternen. Die Ausbeulung (engl. *bulge*) hat nach neuesten Erkenntnissen höchstwahrscheinlich die Form eines Balkens, so dass unsere Milchstraße eine Balkenspiralgalaxie wäre. Weil das galaktische Zentrum im sichtbaren Licht nicht direkt beobachtet werden kann, ist man zu seiner Erforschung auf elektromagnetische Strahlen mit anderen Wellenlängen angewiesen. Deshalb hat man den Kern im Radiowellenbereich sowie mit Infrarotstrahlung, Röntgenstrahlung erforscht. Schon seit den Siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts ist bekannt, dass es im Sternbild Schütze (lat. *Sagittarius*) eine starke Radioquelle gibt. Man nennt sie Sagittarius A* (also mit Sternchen). Später fand man heraus, dass dieses Objekt auch eine starke Röntgenquelle ist.

In seiner Nähe befinden sich viele Sterne, von denen viele überraschenderweise noch recht jung sind. Das lässt sich vielleicht dadurch erklären, dass Staubwolken erst in neuerer Zeit durch die Anziehungskraft des Zentrums verdichtet wurden und zu leuchten begannen. Obwohl es viele massereiche Sterne in diesem Gebiet gibt, ist Sagittarius A* praktisch unbeweglich, was auf eine große Massedichte schließen lässt. Ein Objekt geringer Masse müsste sich, wie die anderen Sterne in der Umgebung, auf einer eigenen Bahn relativ rasch bewegen. Während Sagittarius A* scheinbar regungslos am selben Platz verharrt, schwirren auf relativ engem Raum (innerhalb etwa 30 Lichttagen) einige Sterne um dieses geheimnisvolle und unsichtbare Objekt herum, deren Umlaufbahnen ebenfalls darauf schließen lassen, dass das Objekt, das sie umlaufen, von enormer Masse sein muss. Astronomen haben über einen Zeitraum von mehr als einem Jahrzehnt die Sterne um Sagittarius A* im Infrarot-Wellenbereich beobachtet, so dass man sehr schön die Bahnverläufe erkennen (und in Animationen nachempfinden) kann, auf denen sich diese Sterne allesamt mit hoher Geschwindigkeit um ein unsichtbares Zentrum bewegen. Je näher diese Sterne sich Sagittarius A* nähern, desto schneller werden sie.

Vor einiger Zeit konnten Wissenschaftler mit dem *Very Large Telescope* des *European Southern Observatory* (ESO) in Chile beobachten, dass der Stern S2 sich Sagittarius A* mit hoher Geschwindigkeit bis auf 17 Lichtstunden näherte. Und das, obwohl S2 die 15fache Sonnemasse besitzt! Dieser massereiche Stern rast mit 18 Millionen Kilometern pro Stunde (5000 Kilometern pro Sekunde) an Sagittarius A* vorbei, um dann scharf abgebremst, um das unsichtbare Objekt herumgeschleudert und wieder in die andere Richtung geschickt zu werden. Für einen Umlauf um das Zentrum braucht S2 lediglich 15 Jahre, was bei der Länge der Umlaufbahn erstaunlich wenig ist.²

Aufgrund der Umlaufbahn dieses und der anderen Sterne um das galaktische Zentrum sowie deren Geschwindigkeiten haben die Forscher die Masse des Objekts errechnen können: Es sind 3,7 Millionen Sonnenmassen! Und spätestens seit man die Umlaufbahn von S2 entdeckt hat, weiß man definitiv: Bei Sagittarius A* kann es sich um nichts Anderes als um ein riesiges Schwarzes Loch handeln!

² Ein Videoclip vom Umlauf des S2-Sterns um das Sagittarius A* zeigt: <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2002/video/vid-02-02.mpg>

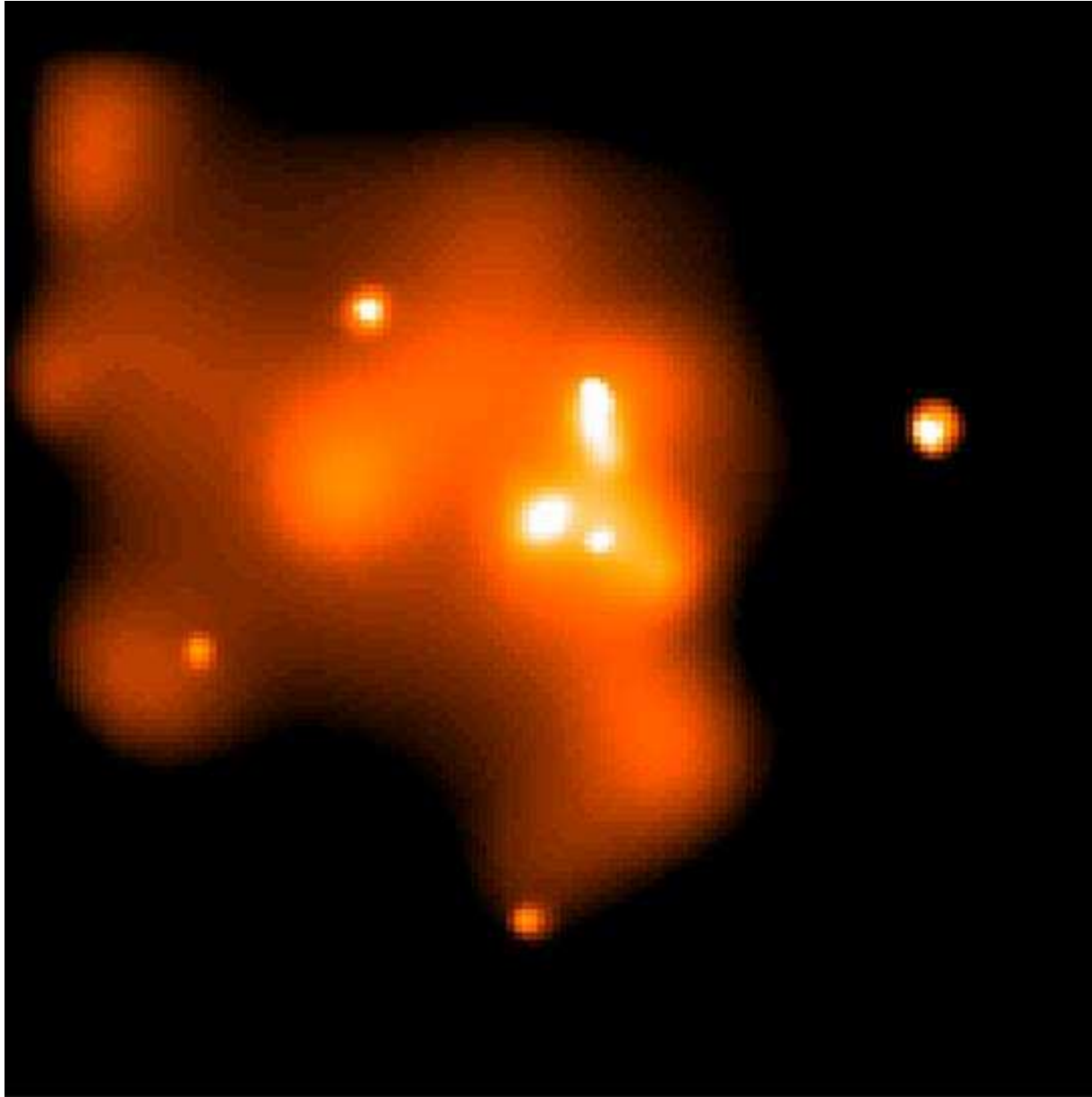


Das Zentrum unserer Milchstraße mit der Röntgenquelle Sagittarius A in einer Entfernung von ca. 26.000 Lichtjahren. (unten: Nahaufnahme) Aufgrund der sehr schnellen Umlaufbahnen anderer Sterne um Sagittarius A hat man die Masse dieses Schwarzen Loches auf rund 4 Millionen Sonnenmassen errechnet. Es hat aber nur eine Größe, die kaum größer ist als unsere Sonne. (oben: Quelle: NASA,

Es wundert nicht, dass sich Astronomen fieberhaft mit dem galaktischen Zentrum unserer Milchstraße beschäftigen und Ereignisse um das Schwarze Loch intensiv beobachten. Weil man es jedoch nicht sehen kann, beschäftigen sich die Forscher einerseits mit den das Loch umkreisenden massereichen Sternen, andererseits aber auch mit den Radio-, Röntgen- und Gammastrahlen, die von seinem Rand zu uns dringen, wo vom inneren Rand einer das Loch umgebenden Akkretionsscheibe immer wieder Materie aufgesaugt wird. Beim Einströmen ins Schwarze Loch heizen sich diese Gas- und Staubwolken derart auf, dass sie ein helles Röntgenlicht abgeben, das die Forscher empfangen und analysieren können. Obwohl wir also das Schwarze Loch und die darin befindliche Singularität nicht

KunstBilder

sehen können, erhalten wir doch zahlreiche Informationen über seine Umgebung, die uns indirekte Auskünfte über das supermassive Schwarze Loch im Zentrum unserer Galaxie geben. So gibt es etwa deutliche Anzeichen dafür, dass die „aktive Hülle“ des Lochs wahnsinnig schnell rotiert.



Sagittarius A

Auch können wir mittlerweile etwas über die Größe dieses aktiven Teils der Akkretionsscheibe aussagen. Sie wird auf 300 Millionen Kilometer kalkuliert und ist damit etwa so groß wie der Durchmesser der Erdumlaufbahn. Das eigentliche Schwarze Loch hingegen – also der in völliger Dunkelheit liegende Gravitationsradius, ab dem es selbst für elektromagnetische Strahlen absolut kein Entrinnen mehr aus dem Schwerfeld des galaktischen Zentralgestirns gibt – wird auf nur 22,5 Millionen Kilometer berechnet: Das ist



weniger als halb so groß wie der Planet Merkur von der Sonne entfernt ist. Und doch befindet sich darin ein winziges Objekt von 3,7 Millionen Sonnenmassen.

Im Jahre 2004 wurde ganz in der Nähe unseres galaktischen Zentrums ein zweites Schwarzes Loch mit der Bezeichnung IRS 13 entdeckt, das eine Masse von immerhin noch 1.300 Sonnenmassen besitzt und das Sagittarius A* in einem Abstand von drei Lichtjahren umkreist. Damit gehört dieses zweite Loch zu einer Gruppe von sieben (sichtbaren) Sternen, die das zentrale Loch auf engstem Raum und mit hoher Geschwindigkeit umkreisen. Dass es sich bei IRS 13 ebenfalls um ein Schwarzes Loch handelt, ersehen die Forscher zum einen aus der Röntgenstrahlung, die es aussendet, zum anderen aus der Geschwindigkeit, mit der es um Sagittarius A* rotiert. Aus beidem kann man dann auch seine Masse berechnen.

Inzwischen hat der Röntgensatellit Chandra³ diverse Helligkeitsausbrüche rund um Sagittarius A* registriert, so dass die Forscher vermuten, dass es im Umkreis von etwa 70 Lichtjahren um Sagittarius A* zahlreiche weitere Schwarze Löcher gibt. Man spricht von 10.000 bis 20.000. Viele von ihnen sammeln auf ihrem Weg Staub- und Gaswolken, aber auch Sterne auf, die sie dann auf ihrer Umlaufbahn um das massiven Zentralgestirn in dessen Nähe bringen, wo Materiewolken und auch Sterne zerrissen werden, um dann die Akkretionsscheibe von Sagittarius A* aufzufüllen und für seinen Nahrungsnachschub zu sorgen.

Galaktische Höllenmaschinen

Nicht nur unsere Milchstraße, sondern auch andere Galaxien enthalten riesengroße Schwarze Löcher. Astronomen gehen heute davon aus, dass in den meisten, wenn nicht allen Galaxien supermassive Schwarze Löcher zu finden sind, um die herum sich die ganze Galaxie dreht. Man geht sogar davon aus, dass die Größe einer Galaxie auch die Größe des Schwarzen Lochs in seiner Mitte bestimmt. Dies ist das Ergebnis von NASA-Untersuchungen an Dutzenden von Galaxien. Mit der Größe und Masse eines Sternsystems wächst auch die Masse seines Zentralgestirns. Diese Korrelation hat offensichtlich mit der Entstehung der Galaxie zu tun: Dort, wo ursprünglich viel Masse in Form von Gas- oder Staubwolken war, dort bildete sich auch ein massives Schwarzes Loch heraus, das entsprechend seiner Größe auch sehr viel Sternenmasse in der sich formierenden Akkretionsscheibe um sich sammelte. (Um zu erfahren, was es mit einem Schwarzen Loch auf sich hat, siehe meinen Aufsatz „Rote Riesen, Weiße Zwerge und Schwarze Löcher“.)

Das massive Schwarze Loch im Zentrum unserer Milchstraße mit seinen 3,7 Millionen Sonnenmassen, so unvorstellbar groß es zu sein scheint, gehört noch lange nicht zu den ganz massereichsten Galaxienzentren, die wir in anderen Sternsystemen finden. Das Schwarze Loch im Zentrum unserer Nachbargalaxie, des Andromedanebels, wird auf rund 30 Millionen Sonnenmassen geschätzt. Die Galaxie mit der Bezeichnung NGC 3377 im Sternbild des Löwen hat ein Schwarzes Loch von rund 100 Millionen Sonnenmassen. Die Masse des Zentralgestirns der Galaxie NGC 4261 im Sternbild Jungfrau soll 400 Millionen Sonnenmassen entsprechen. Die Galaxie „Sombbrero“ (NGC 4594 oder M 104, auch im Sternbild Jungfrau) hat ein Schwarzes Loch von einer Milliarde Sonnenmassen. Noch massereicher allerdings ist das Loch der Galaxie NGC 4486 oder M 87, das offenbar sogar 3 Milliarden Sonnenmassen aufweist. M 87 hat eine kleinere Satellitengalaxie, die immerhin auch noch ein Schwarzes Loch von 500 Millionen Massen aufweist.

³ Benannt zu Ehren von Subrahmanyan Chandrasekhar, der den Spitznamen „Chandra“ besaß.



Das vielleicht massereichste Schwarze Loch, das die Forscher bisher ausgemacht haben, befindet sich im Zentrum einer Galaxie, die sich am äußersten Rand des sichtbaren Universums befindet und unglaubliche 12,7 Milliarden Lichtjahre von uns entfernt ist. Das heißt, dass das Licht jener Galaxie 12,7 Milliarden Jahre benötigt, um zu uns zu dringen. Diese Zeitspanne ist beinahe so alt ist wie das Universum selbst, das heute auf ca. 13,7 Milliarden Jahre berechnet wird. Dieses Schwarze Loch scheint eine Masse von 10 Milliarden Sonnenmassen zu haben. Es bleibt abzuwarten, ob eine solche Masse noch übertroffen werden kann. Doch die Frage ist: Wie konnte sich schon zu so früher Zeit ein so massereiches Galaxienzentrum bilden, wenn wir doch eigentlich davon ausgehen müssten, dass sich die Masse eines galaktischen Schwarzen Lochs doch erst im Laufe der Zeit durch unentwegtes Verschlingen von Materie bildet. Offenbar haben diese Prozesse doch schon sehr viel früher eingesetzt, als Astronomen bisher vermuteten.

In den Sechziger Jahren, als man immer weiter in die Tiefe des Alls blicken konnte, entdeckten Astronomen punktuelle Lichtquellen, die zwar wie Sterne aussahen, aber für ihre Entfernung viel zu hell waren. Um bei ihrer Entfernung überhaupt sichtbar zu sein, musste es sich um hochaktive Objekte von der Explosionsstärke einer Supernova handeln. Nur dass diese extrem fernen Objekte ihre Leuchtkraft nicht, wie Supernova, innerhalb weniger Monate einbüßten, sondern über viele Jahre beibehielten. Sie waren leuchtkräftiger als ganze Galaxiensysteme und milliardenfach so hell wie unsere Sonne. Und weil sie praktisch nur in großer Entfernung zu entdecken waren, mussten sie auch sehr alt sein. Sie waren klein, hell und alt. Zunächst hatte man diese Objekte nur als Radioquellen ausgemacht, später gelang es, diesen mächtigen Radioquellen auch sichtbare Objekte zuzuordnen. Man rätselte viele Jahre lang, um was es sich bei diesen „quasistellaren Radioquellen“ oder „Quasaren“, wie man sie verlegenheitshalber nannte, handeln konnte.⁴ Noch Anfang der Neunziger Jahre konnte niemand mit Sicherheit sagen, woher die Leuchtkraft dieser seltsamen Objekte stammte.

Inzwischen weiß man es. Nähere Analysen von Bildern haben gezeigt, dass Quasare nahezu allesamt im Zentrum von Galaxien stehen. Nur weil das Zentrum aufgrund seiner hohen Aktivität so hell erstrahlte, hatte man die umliegende Galaxie überhaupt nicht erkennen können. Erst durch bestimmte fotobearbeitende Verfahren konnte man die Galaxien, in dessen Zentren die Quasare ihr Höllenfeuer entfachten, sichtbar machen. Heute dürfte feststehen: Quasare sind hochaktive Schwarze Löcher in der Anfangsphase des Universums, kurz nachdem sich die Galaxien formiert hatten und als die zentralen Schwarzen Löcher noch ihren unerbittlichen Heißhunger stillen konnten, weil noch sehr viel Materie in Reichweite war, die sie dank ihrer Schwerkraft in den Abgrund ihres gefräßigen Schlunds einsaugen konnten. Man kann nur staunen, welche unnachahmliche Verschwendung und Zerstörungssucht die Natur dabei an den Tag legt. Bei diesen Prozessen werden hohe Strahlenemissionen im Radiobereich, im Infrarotbereich, im ultravioletten Bereich und im Röntgenbereich abgestrahlt.

⁴ Die Bezeichnung „quasi-stellar radio source“ oder kurz „Quasar“ wurde von dem Amerikaner chinesischer Herkunft Hong-Yee Chiu 1964 in der Zeitschrift *Physics Today* mit folgendem Hinweis vorgeschlagen: „Weil das Wesen dieser Objekte völlig unbekannt ist, ist es schwer, eine knappe und zutreffende Nomenklatur dafür auszuwählen, um anhand des Namens die wesentlichsten Eigenschaften erkennen zu lassen. Der Einfachheit halber werden wir die gekürzte Form ‚Quasar‘ in diesem Papier verwenden.“



Diese aktive Galaxie NGC 7742 hat einen sehr hellen Kern.

Nicht alle Quasare sind uralt. Es gibt auch andere Fälle, in denen eine hohe Aktivität entwickelt wird. Zum Beispiel, wenn zwei Galaxien miteinander kollidieren und die beiden Zentralbereiche sich dabei gefährlich ins Gehege kommen. Man kann solche Zusammenstöße von Galaxien nicht nur am Himmel beobachten, und zwar in ganz unterschiedlichen Stadien, sondern inzwischen auch mit Computersimulationen sehr anschaulich nachstellen. Dabei ist erkennbar, dass es meist mehrere Zusammenstöße geben kann, bei denen die Galaxien sich jeweils gegenseitig verformen und schließlich sogar vereinen. Bei solchen Vereinigungen verlieren die Spektralgaxien ihre Form und nehmen eine ganz neue Gestalt an. Wenn sich bei den Kollisionen der Galaxien die zwei Schwarzen Löcher nahe kommen, geraten die beiden galaktischen Zentralbereiche durch Schwerkräfte, Gezeitenkräfte und andere Kräfte in gehörige Unordnung, jagen sich gegenseitig Sterne und Staubwolken ab und entwickeln verständlicherweise eine sehr hohe Aktivität, die das Hundertfache der Leuchtkraft einer ganzen Galaxie ausmacht und die wir dann als Quasare

bezeichnen. Es kann auch sein, dass bei diesen Kollisionen Schwarze Löcher – riesengroße, aber auch winzig kleine – aus ihrer Verankerung im Zentrum ihrer Galaxie herausgerissen und ins All geschleudert werden, wo sie unsichtbar lange Wege gehen, bis sie in fremde Welten gelangen, wo sie einerseits viel Unheil anrichten können, andererseits aber auch neue Sternformationen, neue Planeten und – wer weiß – vielleicht sogar neues Leben hervorbringen.

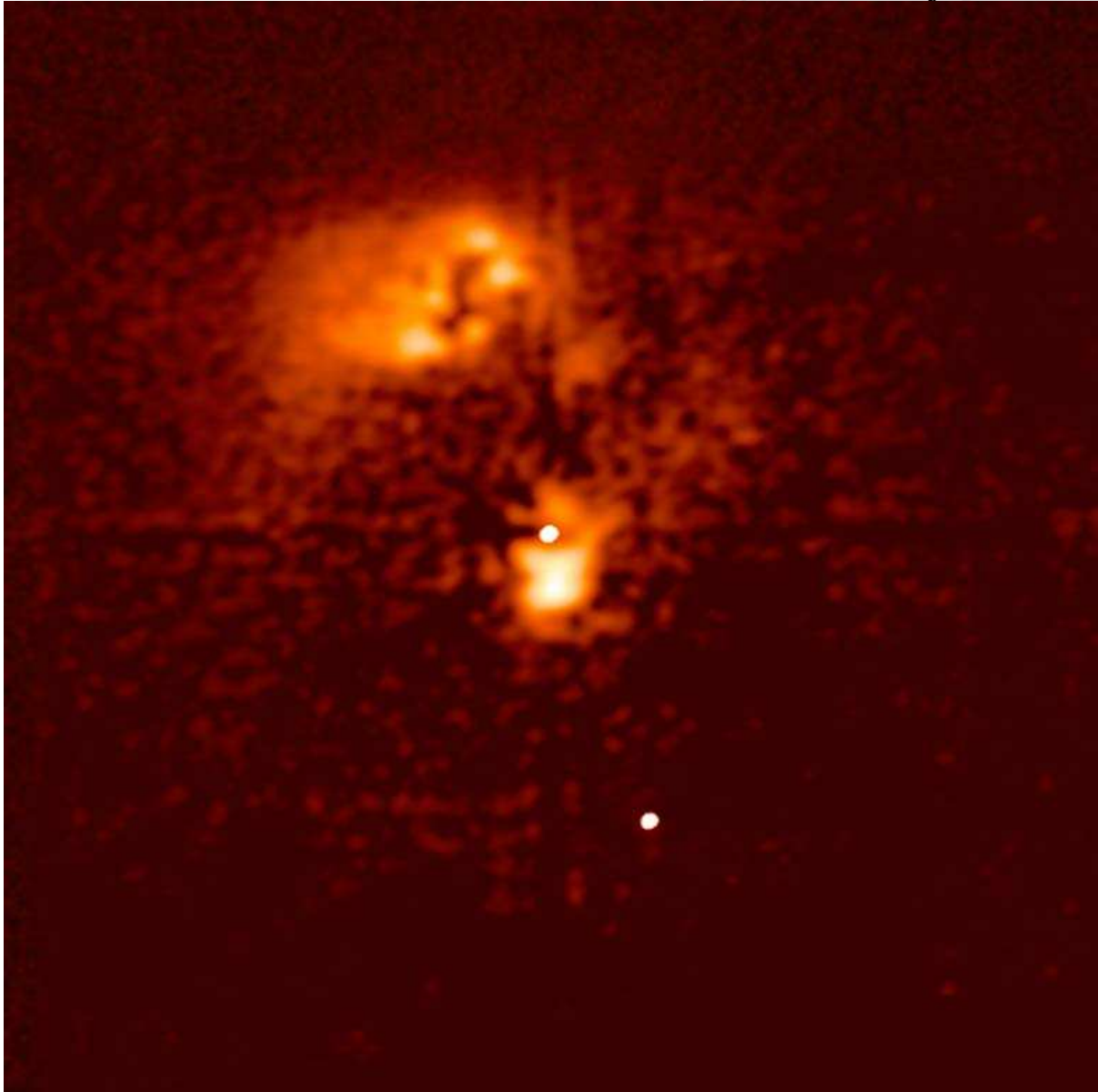


Die Mäusegalaxien NGC 4676, zwei miteinander kollidierende und sich gegenseitig Materie abjagende Galaxien, aufgenommen vom Hubble Space Telescope. (<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap040612.html>)

Im Jahre 2005 haben Wissenschaftler mit dem *Very Large Telescope* (VLT) in Chile 20 Quasare gründlicher „unter die Lupe“ genommen und bei 19 von ihnen die erwarteten Galaxien ausmachen können. Beim Quasar HE 0450-2958 jedoch, dessen Entfernung etwa drei Milliarden Lichtjahre beträgt und dessen Größe auf rund 400 Millionen Sonnenmassen geschätzt wird, fanden sie keine solche Galaxie, weshalb sie auch vom „heimatlosen Quasar“ sprechen. Was sie entdeckten war lediglich eine riesige Gaswolke ohne viel Sternbildung um den Quasar herum und dazu, nur 50.000 Lichtjahre entfernt, eine in ihrer Form stark in Mitleidenschaft gezogene Galaxie mit vielen jungen Sternen.⁵ Vor 20 Jahren noch wäre ein Quasar ohne eine Galaxie nichts Aufregendes gewesen; aber heutzutage, da man inzwischen weiß, dass Quasare fast immer nur im Zentrum einer Galaxie sitzen, kommt eine solche Entdeckung doch überraschend.

Ein plausibles Szenarium für dieses Phänomen dürfte eine Kollision von zwei Galaxien – einer Hauptgalaxie und einer Satellitengalaxie – sein, die sich vor rund 100 Millionen Jahren ins Gehege gekommen waren, mit dem Ergebnis, dass eine der beiden Galaxien nahezu aufgelöst und in die andere integriert wurde. Dabei kam lediglich ein Schwarzes Loch mit einer Staubwolke davon.

⁵ Von dieser Entdeckung wurde in der Zeitschrift *Nature* 437 vom 15. September 2005 berichtet.



Quasar HE 0450-2958 ohne Heimatgalaxie, rund 3 Milliarden Lichtjahre entfernt und mit einer geschätzten Masse von 400 Millionen Sonnenmassen, ohne Heimatgalaxie; in rd. 50.000 Lichtjahren Entfernung befindet sich (im oberen Teil des Bildes erkennbar) eine Galaxie, von der angenommen wird, dass sie vor 100 Millionen Jahren mit dem Quasar kollidierte.

Eine andere, etwas gewagtere Erklärung könnte sein, dass ein einzelnes massives und heimatloses Schwarze Loch langsam durchs All gewandert ist und auf seinem Weg die nahegelegene Galaxie durchstoßen hat, um dieser Galaxie im Zuge dieses Durchstoßens Materie und Gaswolken zu stehlen, die ihm nun als Nahrung für seinen lange ungestillten Hunger dienen. Dass es solche nicht-aktiven, hungrigen Schwarzen Löcher gibt, die einsam, heimatlos und unsichtbar durchs All wandern, davon sind die Wissenschaftler heute ohnehin überzeugt, zumal sie schon seit langem davon ausgehen mussten, dass es nicht nur innerhalb der sichtbaren Galaxien, sondern auch in den Räumen dazwischen viel unsichtbare, dunkle Materie gibt.

Bei aller Begeisterung über die Entdeckung von supermassiven Schwarzen Löchern und Quasaren in den Zentren von so vielen Galaxien einschließlich unserer eigenen müssen wir



gleichwohl Folgendes berücksichtigen: So unvorstellbar gewaltig die Vorgänge im Zentrum dieser Galaxien sind, so höllenartig sie eine Unzahl von Materie und Sternen verschlingen, so zerstörerisch sie ihr Unwesen treiben und mit ihrer ungeheuren Schwerkraft riesige Sternsysteme um sich versammeln, das eigentliche Leben spielt sich doch ganz woanders ab. Hätten wir die Mittel, nach außerirdischem Leben zu suchen, so würden wir weniger in den Zentralbereichen der Galaxien als in der Peripherie suchen, nicht bei den Zentralgestirnen, sondern bei den kleinen, dunklen, unscheinbaren Planeten, von denen wir bislang nur eine verschwindend geringe Anzahl entdeckt haben, ohne dass wir je die Gelegenheit bekommen werden, sie näher zu untersuchen. Allerdings müssen wir auch einsehen, dass die feurigen und massereichen Zentralgestirne zu den notwendigen Voraussetzungen allen Lebens gehören. Stellen Sie sich eine Welt vor, in der es keine Schwerkraft gäbe und keine gewaltigen Gestirne, die andere Himmelskörper um sich herum versammeln: Alle Staubpartikel und Gaswolken würden sich in feinsten Ausdünnung in den Weltraum verflüchtigen, so dass es keine Sonnen und auch keine Planeten gäbe, auf denen sich irgendwelches Leben entwickeln könnte. Ohne das Höllenfeuer im Zentrum unserer Milchstraße gäbe es keine Ameisen, keine Kaulquappen, keine Bienen, keine Schmetterlinge, kein Vogelgezwitscher und keine fühlenden, nachdenklichen, staunenden, zankenden und liebenden Menschen.