

Galaxien

Was man über die größten Strukturen im Weltall wissen sollte



Der Sombrero-Nebel (M104)

Galaxien gehören zu den Himmelskörpern, die die Menschen am meisten interessieren. Es gibt einiges, was man schon über sie weiß und vieles, das wir noch lernen können. Ein Online-Projekt gibt jedem Menschen die Möglichkeit, bei der Ergründung der Galaxien mitzuwirken. Davon wird in dieser Arbeit berichtet.

Nick Semjatov, Praktikant der Westfälischen Volkssternwarte im Juli 2010

Inhalt

- 1) Einleitung
- 2) Die Milchstraße - unsere Heimatgalaxie
- 3) Klassifizierung von Galaxien
- 4) Aktive Galaxien
- 5) Entstehung von Galaxien
- 6) Selbst Galaxien klassifizieren? - Ein Online-Projekt
- 7) Erfahrungen bei der Klassifizierung und Umgang mit der Software
- 8) Quellen und Literaturempfehlungen

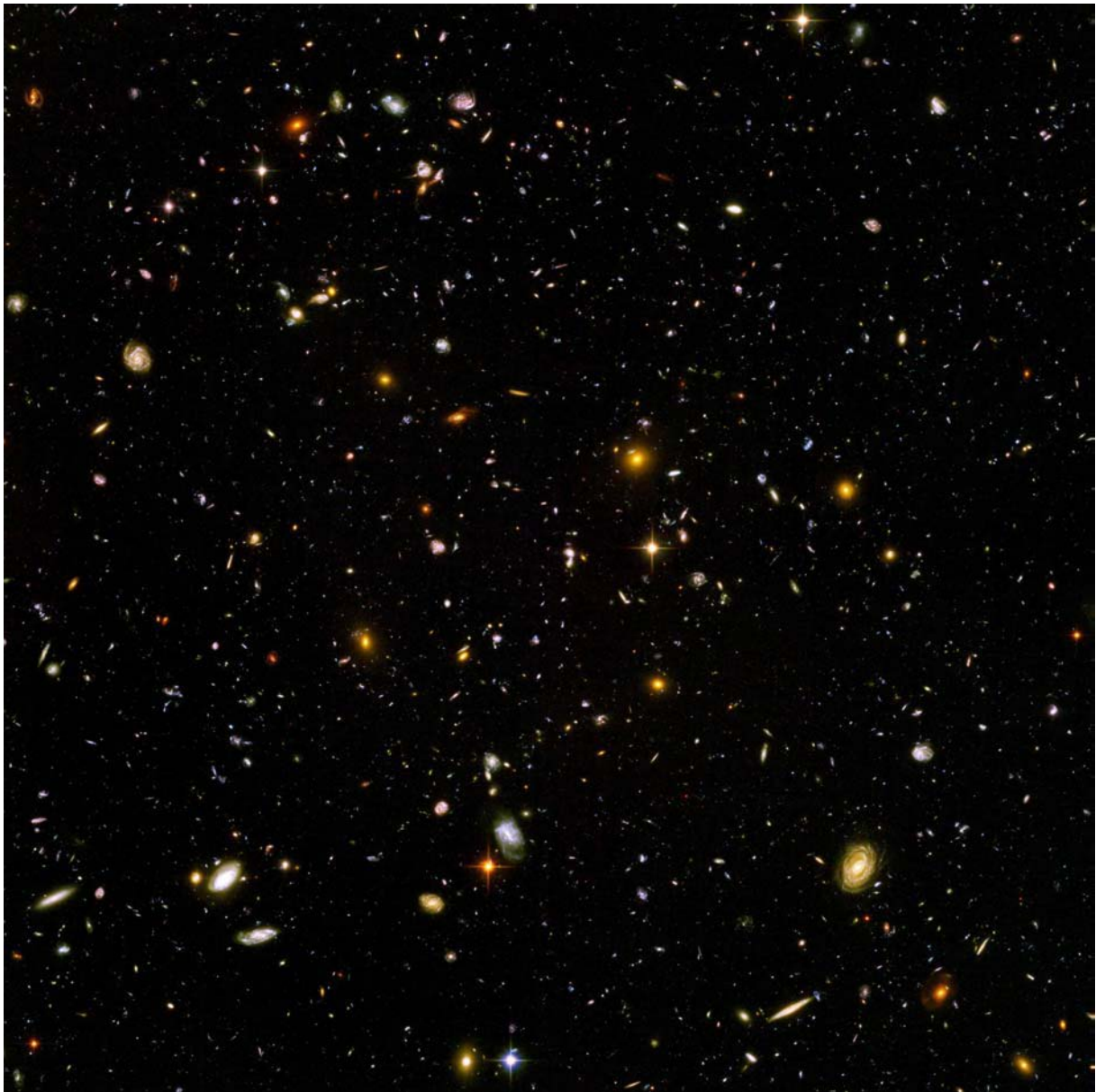
1) Einleitung

Wenn wir nachts in den Sternenhimmel sehen, können wir bei klarem Himmel einige Tausend Sterne gut erkennen. All diese Sterne sind Teil der Milchstraße, der Galaxie, in der wir leben. Aber warum gibt es Galaxien überhaupt? - Diese Frage lässt sich heute durch die Beobachtung der ältesten und entferntesten Galaxien beantworten. Durch neue Techniken kann man immer weiter und präziser in den Weltraum schauen. Und wenn man das tut, merkt man, dass es mehr Galaxien im Universum gibt, als Sterne in unserer Milchstraße.

Wissenschaftler wollen mehr über Galaxien erfahren. Welche Unterschiede gibt es zwischen ihnen? Warum gibt es diese Unterschiede und wie sind sie entstanden?

In Zusammenarbeit mit anderen Universitäten, hat die *University of Oxford* den größten Katalog von Galaxien, der je erstellt wurde, ins Internet gestellt. Er umfasst über eine Millionen Fotos von verschiedenen Galaxien, die noch nie jemand gesehen hat. Man erhofft sich, durch die Hilfe von vielen Freiwilligen und Interessierten dem Rätsel der unterschiedlichen Formen der Galaxien schon bald auf die Schliche zu kommen.

Doch bevor wir auf dieses Projekt weiter eingehen wollen, behandeln wir das, was wir über Galaxien schon wissen. Wir beginnen mit der Galaxie in der wir selbst leben - die Milchstraße.



Das *Hubble Ultra Deep Field*, ein Foto von einem kleinen Teil des Universums. Für dieses Foto musste das Hubble-Weltraumteleskop 12 Tage lang auf den gleichen Punkt im Universum ausgerichtet werden. Das Ergebnis hat die Welt in Staunen versetzt. Auf dem Bild sind zahllose Galaxien unterschiedlicher Form, Größe und Entfernung zu sehen. Und dabei war der Himmelsausschnitt nur ein Hundertstel so groß wie der Vollmond am Nachthimmel.

2) Die Milchstraße

Wenn man bei einem sehr klaren Nachthimmel die Sterne beobachtet, erkennt man manchmal auch ein schwach leuchtendes Band, das sich quer über den Himmel. Es sieht ungefähr so aus wie ein Streifen Milch auf einem dunklen Tisch.

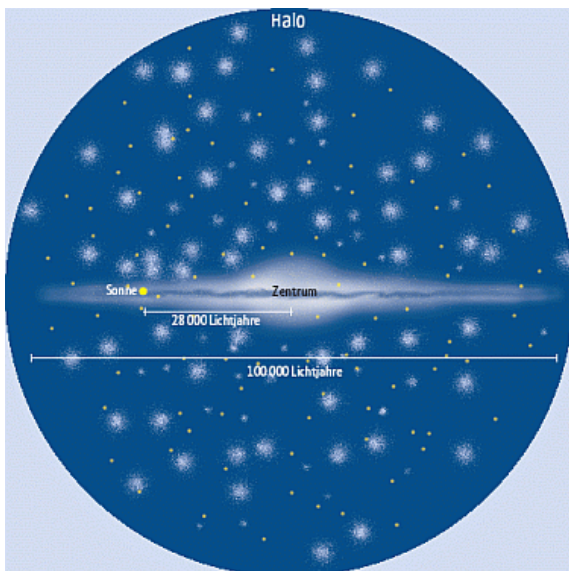
Die Griechen beobachteten diesen Streifen zum ersten Mal vor mehr als 2000 Jahren. Sie nannten ihn "galaxías", zu deutsch: "Milchstraße". Wir wollen also nun etwas mehr über unsere Milchstraße erzählen.



Langzeitbelichtung der Milchstraße am Nachthimmel. Man kann gut den dichten milchigen Bereich aus zahllosen Sternen, Gas- und Staubwolken erkennen. Auch die zentrale Verdickung ist ansatzweise schon sichtbar.

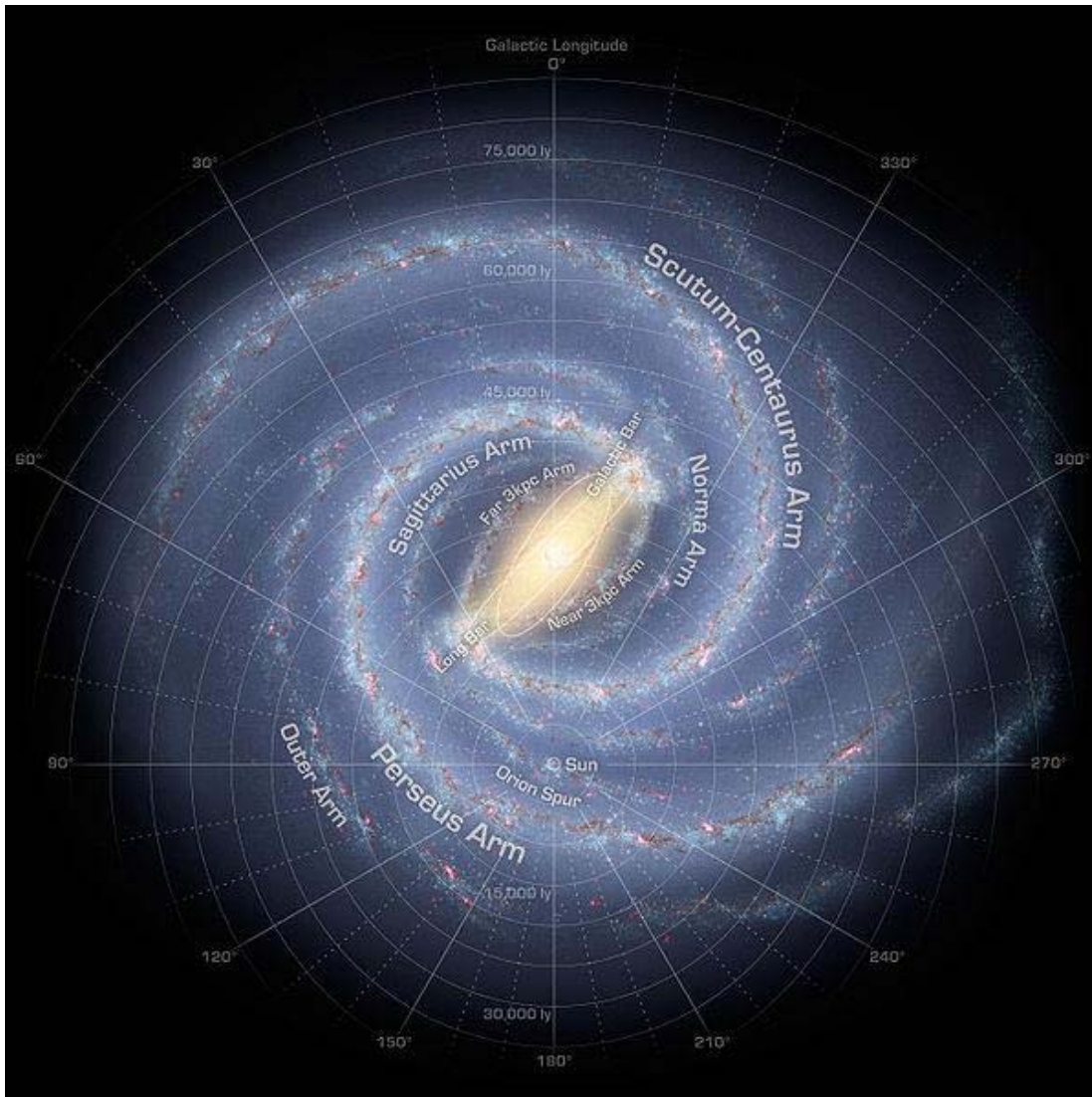
Die Milchstraße ist eine Balkenspiralgalaxie. Sie hat einen Durchmesser von 100 000 Lichtjahren, besteht aus 300 Milliarden Sternen und ist ungefähr 13,6 Milliarden Jahre alt.

Der Halo der Milchstraße hat einen Durchmesser von 165 000 Lichtjahren und hat die Form einer Kugel. In ihm befinden sich die Milchstraße und die Kugelsternhaufen, die durch die Gravitation der Milchstraße im Halo gehalten werden.



Das Schema zeigt die Milchstraße als Scheibe mit ihrem hell leuchtenden Zentrum. Die weißen Punkte um die Milchstraße sind Kugelsternhaufen. Sie bilden mit der Milchstraße den Halo.

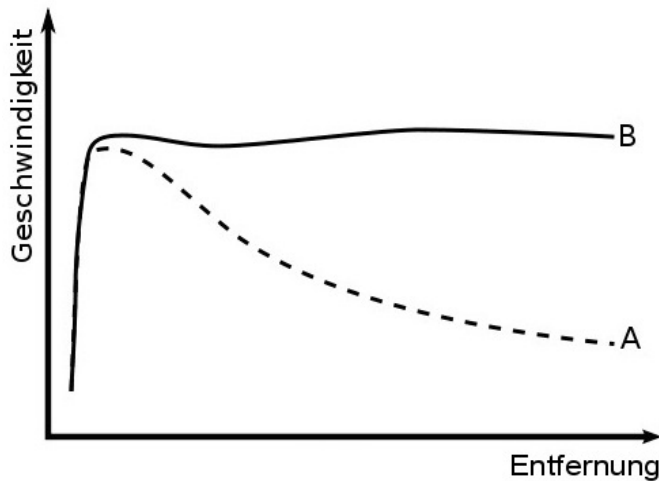
Das Zentrum der Milchstraße ist eine balkenförmige, extrem dichte Sternengruppe, auch "Bulge" genannt. Diese Sternengruppe besteht aus 10-11 Milliarden Jahren alten Sternen und einem supermassiven Schwarzen Loch im Zentrum, bei der Radioquelle Sagittarius A. Das Schwarze Loch hat einen Durchmesser von etwa 15 Millionen Kilometer und wiegt das 2,6-millionenfache unserer Sonne.



Das Schema zeigt unsere Milchstraße mit ihren Spiralarmen. In den Spiralarmen ist die Stern- und Gasdichte am größten und folglich auch die Sternentstehungsrate, was man anhand der roten Wasserstoff-Emissionsnebel erkennt. Man kann auch deutlich den hellen Balken älterer Sterne im Zentrum erkennen, von dem die Spiralarme ausgehen.

Unser Sonnensystem befindet sich auf dem Orion-Arm, einem kleinen Spiralarm, der ungefähr 30 000 Lichtjahre vom Zentrum der Milchstraße entfernt ist. Es bewegt sich auf diesem Arm mit einer Geschwindigkeit von 220 km/s um das galaktische Zentrum und umkreist es einmal alle 220 Millionen Jahre.

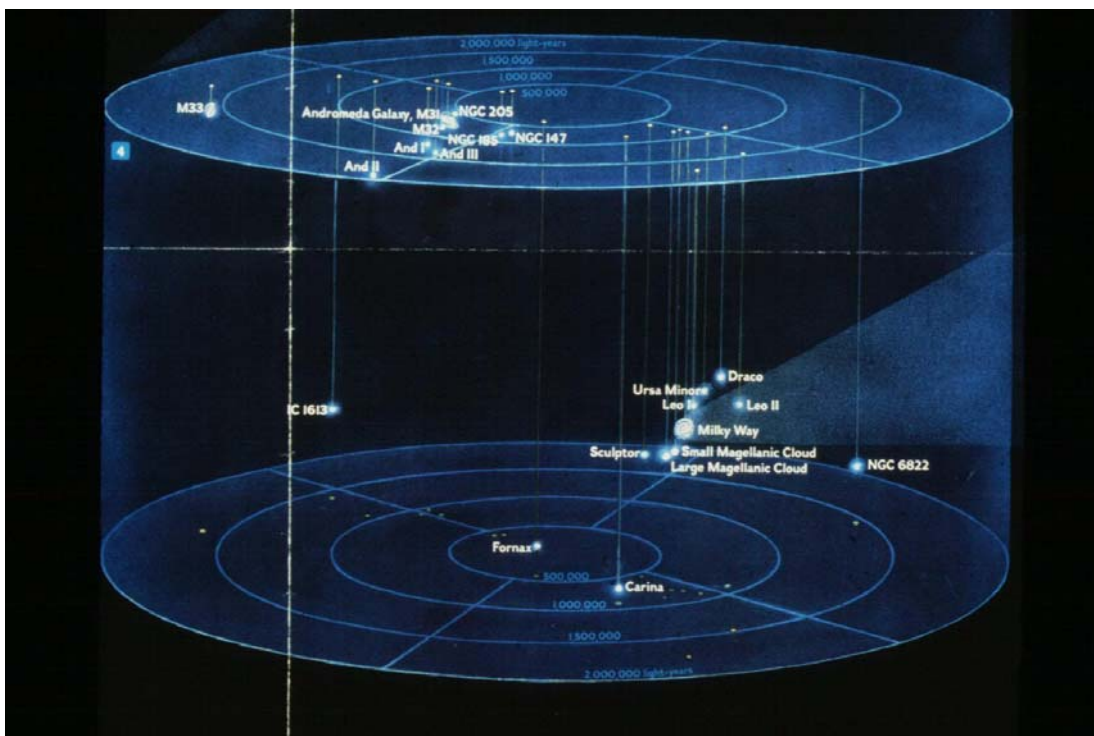
In der Galaxie bewegen sich alle Sterne außerhalb des zentralen Haufens ungefähr mit der gleichen Geschwindigkeit um das Zentrum herum. Das ist überraschend, da man einen Abfall der Geschwindigkeit nach außen hin erwarten würde, wenn nur die Gravitationswirkung der sichtbaren Sterne und Gasmassen die Bewegung verursachte. Nur mit der Zusatzannahme, dass sich im gesamten Halo weitere nichtsichtbare, sog. "Dunkle Materie" befindet, kann man das merkwürdige Rotationsverhalten der Galaxis erklären.



Das Bild zeigt die Rotationskurve einer Galaxie. Dabei zeigt A die erwartete, berechnete Version und B die tatsächliche. Nach den Keplerschen Gesetzen rotieren Objekte, die sich nahe eines Massezentrums befinden, schneller als Objekte, die weiter weg sind. Bei einer Galaxie ist das anders. Objekte die weiter weg sind, rotieren ungefähr so schnell wie Objekte nahe dem Zentrum.

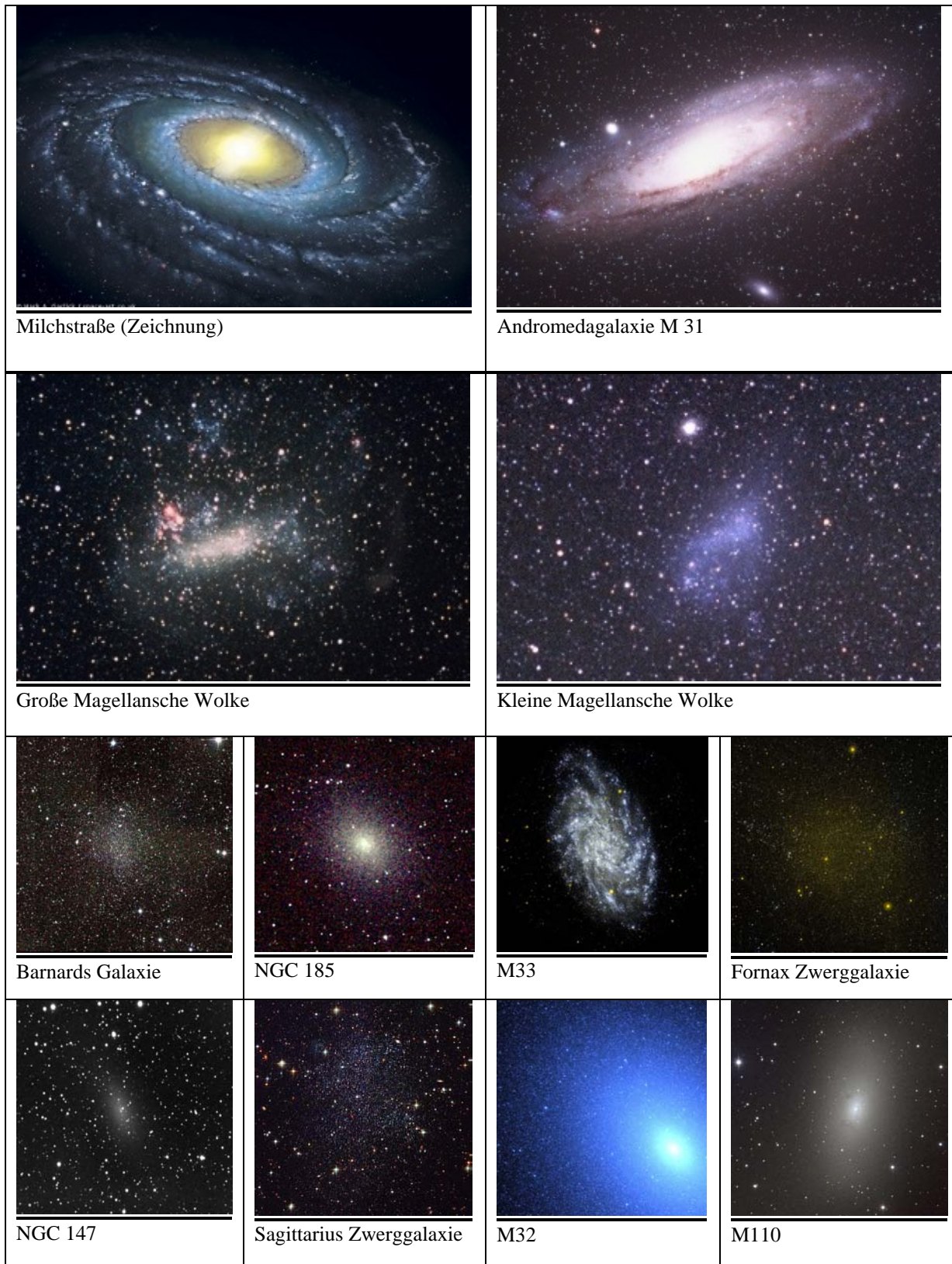
Die Milchstraße ist eine der größten Galaxien eines Galaxienhaufens, der als "lokale Gruppe" bezeichnet wird. Die lokale Gruppe besteht aus ungefähr 36 Galaxien.

Der größte Nachbar der Milchstraße ist die Andromedagalaxie. Sie ist 2,5 Millionen Lichtjahre von ihr entfernt und hat einen Durchmesser von 150 000 Lichtjahren. Sie hat eine Gesamtmasse von 200-400 Milliarden Sonnenmassen, einen Halo mit dem Durchmesser von 500 000 Lichtjahren und besteht aus ca. einer Billionen Sternen. Sie ist somit die größte Galaxie der lokalen Gruppe. Man hat außerdem festgestellt, dass sie durch die Gravitation an die Milchstraße gebunden ist und in einigen Milliarden Jahren mit ihr verschmelzen wird. Zwei weitere durch die Gravitation an die Milchstraße gebundene Galaxien sind die "Große Magellansche Wolke" und die "Kleine Magellansche Wolke". Sie umkreisen die Milchstraße. Bei ihnen und allen anderen übrigen Galaxien der lokalen Gruppe handelt es sich um Zwerggalaxien.



Schematische Darstellung der lokalen Gruppe

Einige der Mitglieder der lokalen Gruppe werden in den folgenden Abbildungen gezeigt.

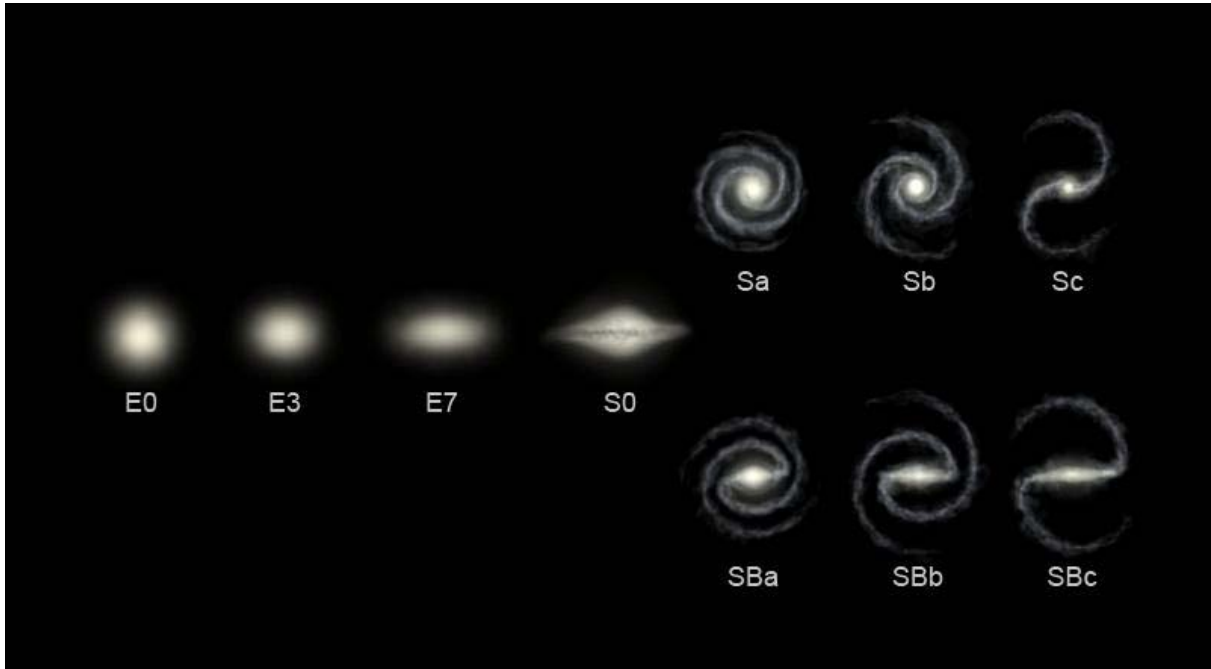


Fotogalerie von einigen Mitgliedern der lokalen Gruppe. Die größten Galaxien in diesem Haufen sind unsere Milchstraße und die Andromedagalaxie, es folgen M 33, die Magellanschen Wolken und andere irreguläre Galaxien und schließlich gibt es noch eine größere Zahl von Zwerggalaxien, von denen hier einige gezeigt sind.

Wir haben nun einige verschiedene Galaxien gesehen. Aber nach welchen Kriterien unterscheidet man sie? Das wird in der Folge näher erläutert.

3) Die Klassifizierung von Galaxien

Galaxien lassen sich in verschiedene Gruppen unterteilen. Es gibt dabei Galaxien, die man leicht unterteilen kann und jene, die etwas spezieller sind. Die bekannteste Art der Einteilung ist die Hubble-Sequenz. Sie wurde 1936 von Edwin Hubble entwickelt und hat heute noch eingeschränkt Gültigkeit.







Die Hubble-Sequenz: Sie teilt die Galaxien in vier verschiedene Gruppen ein.

Bei der Hubble-Sequenz sind vier Galaxientypen vertreten:

- Typ E0-E7: elliptische Galaxien, bei denen die Abplattung von 0 nach 7 immer weiter zunimmt.
- Typ Sa-Sc: Spiralgalaxien. Hierbei nehmen die Größe des Galaxienkerns, die Dichte der Spiralarme und der Anteil von Staub und Gas in der Galaxie von a nach c ab.
- Typ SBa-SBc: Balkenspiralgalaxien. Hierbei nehmen die Größe des Galaxienkerns, die Dichte der Spiralarme und der Anteil von Staub und Gas in der Galaxie von a nach c ab.
- Typ S0: Lentikuläre (linsenförmige) Galaxien. Sie besitzen den Kern einer Spiralgalaxie, haben aber keine Spiralarme.

Neben diese Galaxientypen gibt es aber noch einige andere. Die meisten von ihnen sind hier aufgelistet. Es wird zunächst nach ihren Unterschieden in der Morphologie (Erscheinungsbild) klassifiziert. Anschließend werden noch die verschiedenen Typen von "Aktiven Galaxien" erklärt, die sich hinsichtlich ihrer Strahlungsart, mittels derer sie untersucht werden können, unterscheiden.

Liste von Galaxien unterschiedlicher Erscheinungsformen:

<p>Elliptische Galaxien:</p> <p>Elliptische Galaxien sind Galaxien ohne besondere äußerliche Muster. Ihre Helligkeit nimmt vom Zentrum aus ab. Es gibt sie in runden bis zu sehr länglichen Formen (E0-E7). In elliptischen Galaxien gibt es fast keine Staub- und Gaswolken, ihre Sternentstehungsrate geht daher gegen Null. Solche Galaxien entstehen meist bei der Verschmelzung zweier Spiralgalaxien.</p>	 <p>M 105</p>
<p>Spiralgalaxien:</p> <p>Spiralgalaxien sind Galaxien mit einem kugelförmigen Zentrum, das aus sehr alten Sternen besteht. Man vermutet in jedem Galaxienkern ein supermassives Schwarzes Loch. Vom Zentrum gehen Spiralarms aus. Sie bestehen aus jüngeren Sternen, Gas- und Staubwolken. Auf ihnen ist die Sternentstehungsrate meist sehr hoch. Sie werden nach der Hubble-Sequenz mit Sa bis Sc klassifiziert.</p>	 <p>M 74</p>
<p>Balkenspiralgalaxien:</p> <p>Sie ähneln sehr den Spiralgalaxien, besitzen als Zentrum aber keine Kugel, sondern einen Balken. Die Milchstraße ist eine Balkenspiralgalaxie. Sie gehören zu den SBa - SBc Galaxien.</p>	 <p>NGC 1300</p>
<p>Lentikuläre (linsenförmige) Galaxien:</p> <p>Diese Galaxien sind linsenförmig. Sie haben den Kern einer Spiralgalaxie, besitzen aber keine Spiralarms. In der Hubble-Sequenz werden sie mit S0 gekennzeichnet.</p>	 <p>M 102</p>

Irreguläre (unregelmäßige) Galaxien:

Sie besitzen weder eine Spirale noch sind sie elliptisch. Sie sind nicht so leuchtstark wie die elliptischen Galaxien. Die meisten unregelmäßigen Galaxien sind Zwerggalaxien.



Antennengalaxie (NASA 2006)

Zwerggalaxien:

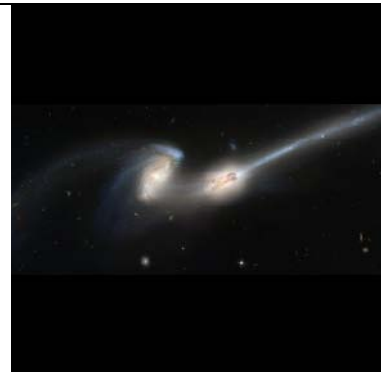
Diese Galaxien sind sehr zahlreich im Universum. Es gibt sie als elliptische (dE = dwarf elliptical), spheroidale (dSph = dwarf spheroidal) und irreguläre (dIrr = dwarf irregular) Zwerggalaxien. Die elliptischen Zwerggalaxien kann man noch einmal in kompakte und diffuse einteilen.



M 32 (lokale Gruppe)

Wechselwirkende Galaxien, Typ Gezeitenarm-Galaxie:

Diese Galaxien entstehen, wenn zwei gas- und staubreiche Galaxien sich zu nahe kommen und durch die gegenseitige Gravitation ein Gezeitenarm aus Gas und Staub entsteht. Sie werden auch "tidal dwarf galaxies" (TDG) genannt und werden von vielen Wissenschaftlern mit Spannung untersucht.



NGC 4676

Wechselwirkende Galaxien, Typ Polarring-Galaxie:

Diese recht seltenen Galaxien entstehen, wenn eine kleinere Galaxie ein größere durchdringt. Die größere Galaxie zerreißt die kleinere durch die gravitative Wechselwirkung und die dabei entstehenden Materiefetzen aus Sternen, Gas und Staub bilden einen Ring. Dieser Ring entsteht meist senkrecht zur Galaxienhauptebene, weswegen man von einem Polarring spricht.



Wagenradgalaxie

Starburstgalaxien:

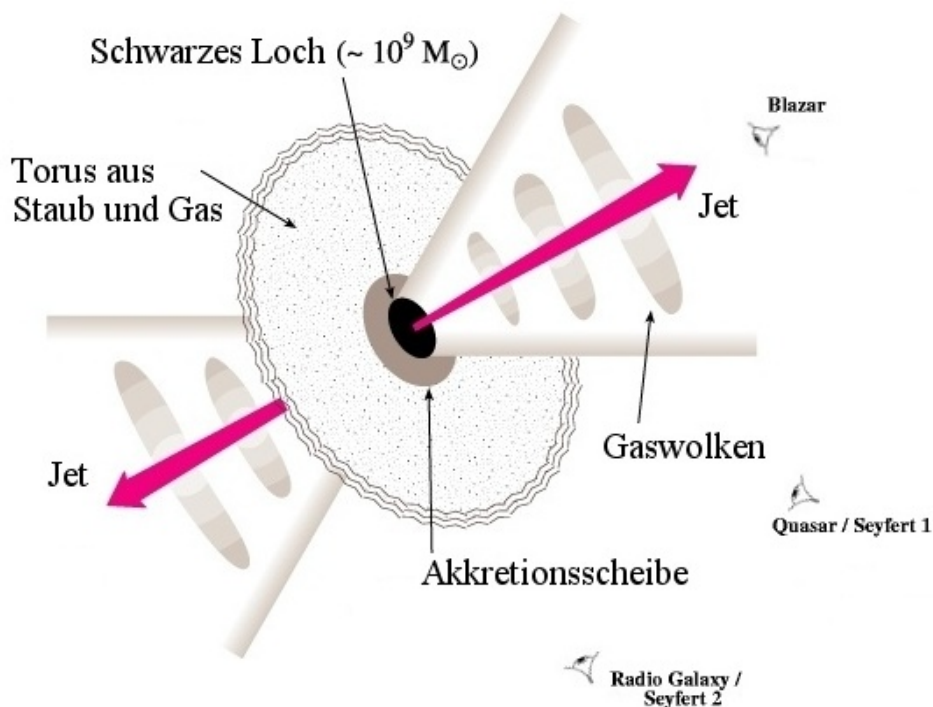
Diese Galaxien weisen eine sehr hohe Sternentstehungsrate auf und haben daher auch eine intensive Strahlung.



M 82


4) Aktive Galaxien

Dieser Oberbegriff eint alle Galaxien, die eine sehr starke Aktivität im Zentrum aufweisen. Ihre Kerne bestehen aus Schwarzen Löchern und strahlen meist enorme Energiemengen und Strahlen im sichtbaren und unsichtbaren Bereich ab. Deshalb überstrahlen ihre Kerne meist den Rest der Galaxie. Bei vielen von ihnen wurden zwei Materieströme nachgewiesen, auch Jets genannt, die von dem Schwarzen Loch im Zentrum ausgehen und Energie in den Weltraum abstrahlen.



Schematische Darstellung einer aktiven Galaxie mit Materiejets. Je nachdem, unter welchem Blickwinkel die Jets von der Erde aus erscheinen, beobachtet man unterschiedliche Phänomene. Beim Blick senkrecht auf die Jetachse spricht man z.B. von einer Radiogalaxie.

Liste von aktiven Galaxien unterschiedlicher Eigenschaften:

<p>Quasare:</p> <p>Diese Galaxien besitzen die größte absolute Leuchtkraft im optischen Bereich. Sie sind so weit von uns entfernt, dass sie sternförmig erscheinen (<i>quasistellare</i> Objekte = <i>Quasare</i>). Man sieht nur ihre aktiven Kerne und zwar in einer Blickrichtung unter einem Winkel von ca. 45° zur Richtung der Jets. Die erste gesichtete aktive Galaxie war ein Quasar.</p>	 <p>Grafik eines Quasars</p>
<p>Radiogalaxien:</p> <p>Radiogalaxien sind aktive Galaxien, die sehr viel Synchrotronstrahlen im Bereich der Radiowellen abstrahlen. Sie können mit Hilfe von Radioteleskopen beobachtet werden, wenn die Jets senkrecht zur Blickrichtung liegen.</p>	 <p>Centaurus A</p>
<p>Seyfert-Galaxien:</p> <p>Diese aktiven Galaxien sind sehr leuchtstarke Galaxien mit einem sternförmigen Zentrum. Sie zeigen sich sehr ausgeprägt im visuellen Spektrum des Lichts.</p>	 <p>M 61</p>
<p>BL Lacertae-Objekte:</p> <p>Diese Galaxien leuchten so hell, dass sie das Licht der anderen Galaxien überstrahlen können. Deswegen kann man ihre Entfernung nicht genau bestimmen. Die Leuchtstärke liegt dem Kern der Galaxie zugrunde, der durch ein supermassives Schwarzes Loch angetrieben wird. Dieses verstrahlt extreme Lichtmengen, wenn es einen nahegelegenen Stern aufnimmt.</p>	 <p>Grafik eines "BL lac"</p>

Man sieht nun, wie viele verschiedenen Typen von Galaxien es im Universum gibt. Wie aber sind die ersten Galaxien entstanden?

5) Entstehung von Galaxien

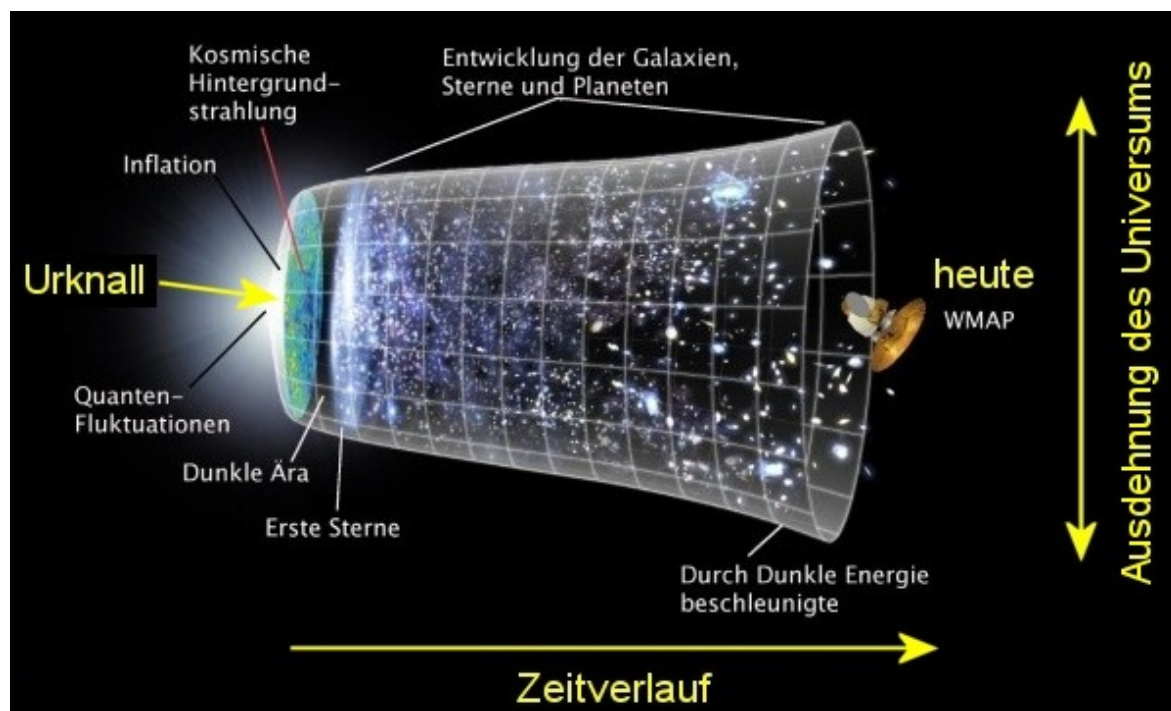
Das Universum ist vor 13,7 Milliarden Jahren aus einer Anfangssingularität entstanden. Man spricht bei diesem Ereignis vom Urknall. Alle Materie des Universums war in einem einzigen Punkt konzentriert, der kleiner war als der kleinste Bestandteil eines Atoms. Nach dem Urknall expandierte diese Materie immer weiter. Der Raum wurde immer größer.

Astronomische Beobachtungen zeigen, dass diese Expansion noch heute und auch in Zukunft weiterlaufen wird. Etwa zehn Sekunden nach dem Urknall verschmolzen Protonen und Neutronen, die aus der Urmaterie des Universums entstanden waren, zu den ersten Isotopen des Heliums. Da nur ein Viertel aller Protonen mit Neutronen verschmolzen, blieben 75% der Protonen als Wasserstoffkerne übrig.

400 000 Jahre nach dem Urknall bildeten sich aus den Helium- und Wasserstoffkernen stabile Atome. Sie waren die Grundmaterie, aus der sich 400 Millionen Jahre nach dem Urknall die ersten Sterne bildeten.

Sie bildeten sich dort, wo die Staub- und Gaswolken, die aus Wasserstoff und Helium bestanden, konzentrierter waren, als an anderen Orten im Raum. Durch die aus ihrer Masse resultierende Anziehungskraft kollabierten diese Gaswolken zu den ersten Sternen. Diese Sterne waren weitaus massereicher als heutige Sterne (100 und mehr Sonnenmassen), da sie anders als Sterne unserer Zeit eben nur aus Wasserstoff und Helium bestanden. (In den Sonnen die sich in unserer Zeit bilden, befinden sich neben Wasserstoff und Helium auch andere Elemente wie Kohlenstoff und Silizium). Sie mussten weitaus mehr Masse besitzen, um überhaupt entstehen zu können. Bedingt durch ihre enorme Masse hatten sie nur ein sehr kurzes Leben, in dem sie die ersten neuen Elemente durch Kernfusionsprozesse schufen. Diese Elemente waren für die Entwicklung kleinerer, langlebigerer Sterne sehr wichtig.

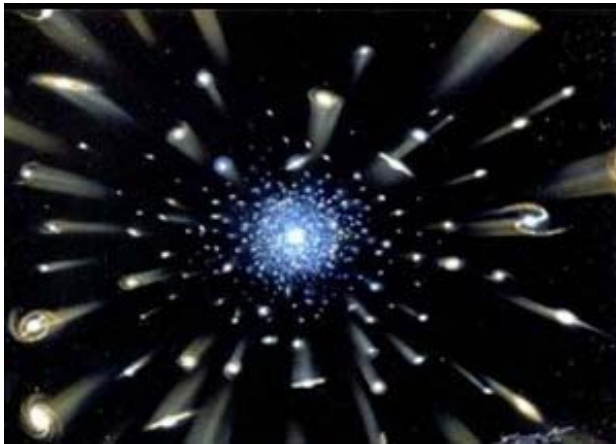
Aus diesen großen Gas- und Staubwolken formten sich die Galaxien, deren Struktur sich durch die Kontraktion der Wolke und die Sternentstehung darin immer weiter ausdifferenzierte.



Die Grafik zeigt, wie sich das Universum nach dem Urknall entwickelt hat und wie es expandierte. Das Universum hat sich dabei in alle Richtungen ausge dehnt und führt diesen Prozess noch heute und in Zukunft fort.

Heute entstehen neue Galaxien nur noch durch die Verschmelzung von kleineren Galaxien zu großen, weil im Universum nicht mehr genug Staub- und Gaswolken an einer Stelle konzentriert sind, um Sternensysteme neu entstehen zu lassen.

Neue Sterne entstehen nur noch in Galaxien und Kugelsternhaufen, in denen noch Gas- und Staubwolken vorhanden sind. So, wie die Galaxien aufgehört haben, sich neu zu bilden, werden eines Tages auch die Sterne aufhören neu zu entstehen. Denn eines Tages wird es keine Galaxien mit genug Gas- und Staubwolken für eine Sternentstehung mehr geben. Wie in den elliptischen Galaxien wird auch in der Milchstraße die Sternproduktion zum Erliegen kommen.



Die Abbildung zeigt, wie man sich den Urknall und die darauffolgende Expansion des Universums vorstellen kann. Dabei sollte man bedenken, dass der Urknall kein echter Knall war, da im Raum ja keine Luft für die Schallausbreitung vorhanden war. Außerdem ist mit dem Urknall der Raum an sich erst entstanden. Der Ausdruck Urknall oder "Big Bang" wurde von Sir Fred Hoyle geprägt, der die Theorie des Urknalls kritisierte.

Durch Beobachtungen des Weltraums mit Hilfe des WMAP-Satelliten fand man heraus, dass das Universum nur zu ca. 5% aus baryonischer Materie (nach griech. baryos = schwer; z.B. Sterne, Gas und Staub) besteht. 22% bestehen aus dunkler Materie, einer nicht sichtbaren Materie, die sich nur durch ihre Masseneinwirkung auf Galaxien bemerkbar macht. Man vermutet, dass die dunkle Materie ein wichtiger Bestandteil der Entwicklung der ersten Sterne und Galaxien war. Die restlichen 73% des Universums bestehen aus einer sogenannten "Dunklen Energie", über die Wissenschaftler rein gar nichts wissen.

6) Selbst Galaxien klassifizieren? - Ein Online-Projekt

Wie bereits zu Beginn dieses Artikels erwähnt, soll hier auf ein Projekt der *University of Oxford* eingegangen werden, mittels dessen man selbst Galaxien klassifizieren kann.

Das Projekt heißt *Galaxy Zoo* und ist auf www.galaxyzoo.org zu finden.

Nachdem man sich dort registriert hat, kann man Galaxien ihrem Erscheinungsbild nach einordnen. Man bekommt hierfür eine Reihe von Fragen gestellt, und je nachdem, welche Antwort man gibt, folgt eine neue Frage. Aber bevor näher auf die Vorgehensweise eingegangen wird, erstmal ein paar grundlegende Informationen.

Das ursprüngliche Projekt startete im Juli 2007. Wissenschaftler hatten festgestellt, dass Computersoftware bei weitem nicht so präzise und daher nicht so gut geeignet war wie der Mensch, um Galaxien zu klassifizieren. Aber um die Millionen von Galaxien zu klassifizieren, die vom *Sloan Digital Sky Survey* am *Apache Point Observatory* in New Mexiko mittels einer Digitalkamera aufgenommen wurden, hätten die Wissenschaftler selbst Jahre gebraucht. Daher entschied man sich, die Fotos der Galaxien als Fotokatalog ins Internet zu stellen, in der Hoffnung, Freiwillige für diese Arbeit zu finden. Das Projekt war ein voller Erfolg, denn innerhalb des ersten Jahres hatten 150 000 Freiwillige 50 Millionen Klassifizierungen durchgeführt. Als Anreiz diente die Tatsache, dass die Galaxien noch nie

ein Mensch zu Gesicht bekommen hatte, da sie von der Digitalkamera vollautomatisch aufgenommen, in einer Datenbank abgespeichert und später ins Internet gestellt worden waren. Da viele Galaxien mehrfach klassifiziert wurden, konnte man sichergehen, dass die Ergebnisse auch korrekt waren.

Und die Ergebnisse konnten sich sehen lassen. Obwohl nur nach Art der Galaxie, also Spiral-, oder elliptische Galaxie gefragt wurde, und wenn sie spiralförmig war, in welche Richtung sie sich drehte, konnte man einige ursprüngliche Vermutungen widerlegen.

So konnte man feststellen, dass rote Galaxien, wie zuvor angenommen, nicht automatisch elliptische Galaxien waren, sondern ungefähr ein Drittel aller roten Galaxien spiralförmig waren. Man fand außerdem eine große Anzahl an blauen elliptischen Galaxien, von denen einige eine bis zu 50-mal höhere Sternentstehungsrate aufwiesen, als die spiralförmige Milchstraße.

Da das erste Projekt so erfolgreich verlaufen war, ließ das zweite nicht auf sich warten. Am 17. Februar 2009 startete *Galaxy Zoo 2*. Man wählte hierfür die 250 000 Galaxien aus, die am besten zu erkennen waren und am sichersten klassifiziert worden waren und stellte detailliertere Fragen. Wie man bei diesem Projekt mitwirken kann und was man dafür wissen sollte, soll jetzt näher erläutert werden.

Die Homepage bietet einige Informationen zum Projekt selbst, die man unter *The Story So Far* und *The Science* nachlesen kann. Was für jene, die selbst klassifizieren wollen, aber am wichtigsten ist, ist das Tutorial *How To Take Part*. Da die gesamte Homepage nur auf Englisch und Polnisch zur Verfügung steht, soll das Tutorial hier näher erklärt werden.

Für all jene die schon am ersten Projekt mitgearbeitet haben, wird dort ein Link angegeben, mittels dessen man direkt zum Tutorial von *Galaxy Zoo 2* kommt, das sich weiter unten auf der Seite befindet. Das Tutorial beginnt mit einer Einleitung, in der beschrieben wird, um welche Art Fragen es sich handelt. Es sind zumeist Fragen, wie rund das Objekt ist, ob es Spiralarme hat und ob sich noch irgendetwas Kleineres bei der Galaxie befindet. Dabei ist es nicht wichtig, sich bei jeder Frage ganz sicher zu sein, man sollte immer das wählen, was der eigenen Meinung nach am nächsten dran ist. Jede Galaxie wird von mehreren Freiwilligen klassifiziert. Außerdem hängt die folgende Frage immer von der zuvor gegebenen Antwort ab. So wird man nicht mehr nach der Zahl der Spiralarme fragen, wenn man die Galaxie schon als elliptisch klassifiziert hat. Nach der Einleitung werden die 18 verschiedenen Fragen, die innerhalb der Klassifizierungsprozedur vorkommen können, vorgestellt und erklärt. Auf die 18 Fragen wird mittels Anklicken eines Buttons aus einer Auswahl von verschiedenen Buttons geantwortet. Diese Buttons werden jetzt näher vorgestellt.



Dieses Bild ist auf der Startseite von www.galaxyzoo.org zu sehen.

Liste mit allen Fragen, die bei der Klassifizierung vorkommen können:

1) Is the galaxy simply smooth and rounded with no sign of a disk?
Ist die Galaxie einfach glatt und rund mit keinem Anzeichen für eine Scheibe?



Smooth
glatt



Features or disk
Besonderes oder Scheibe



Star or artefact
Stern oder Artefakt

Erklärung:

Diese Frage wird als Erstes gestellt. Hat man eine elliptische-, oder Zwerggalaxie vor sich, antwortet man mit "Smooth". Mit "Features or disk", wenn man eine scheibenförmige Galaxie vor sich hat und "Star or artifact", wenn es sich um keine Galaxie handelt.

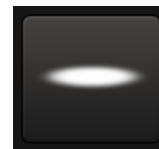
2) How rounded is it?
Wie rund ist sie ?



Completely round
komplett rund



In between
dazwischen



Cigar shaped
zigarrenförmig

Erklärung:

Diese Frage folgt, wenn man mit "Smooth" geantwortet hat. Hier gibt man die Form der vorliegenden Galaxie an.

3) Could this be a disk viewed edge-on?
Könnte das eine Scheibe sein, die von der Kante aus gesehen wird?



Yes
Ja



No
Nein

Erklärung:

Diese Frage folgt im weiteren Verlauf, wenn man sich bei 1) für "Features or disk" entscheidet. Die edge-on Perspektive tritt bei einer Galaxie in Kantenstellung auf. Man kann dann nur eine dünne Scheibe erkennen. Bei einer Galaxie in dieser Perspektive kann man keine Spiralarme erkennen, selbst wenn sie vorhanden sind.

4) Does the galaxy have a bulge at its centre? If so, what shape?
Hat die Galaxie eine Ausbuchtung im Zentrum? Wenn ja, von welcher Form?



Rounded
rund



Boxy
kastenförmig



No bulge
keine Ausbuchtung

Erklärung:

Im Zentrum der Galaxie ist meist eine Ausbuchtung bzw. eine Verdickung. Die meisten sind rund, aber wenn die Ausbuchtung irgendwie eckig erscheint, sollte man "Boxy" als Antwort wählen. Manche Galaxien haben keine Ausbuchtung. Ist dies hier der Fall, so wählt man "No bulge". Diese Frage folgt, wenn man bei Frage 3) die edge-on Perspektive als Antwort ausgewählt hat.

5) Is there any sign of a spiral arm pattern?
Gibt es irgendwelche Anzeichen für ein Spiralarm-Muster?



Spiral
Spirale



No spiral
keine Spirale

Erklärung:

Hier wird gefragt ob die Galaxie, die bereits als scheibenförmig klassifiziert wurde Spiralarme besitzt. Sie folgt Frage 8).

6) How tightly wound do the spiral arms appear?
Wie eng gewunden erscheinen die Spiralarme?



Tight
eng



Medium
mittel



Loose
weit

Erklärung:

Hier wird danach gefragt, wie eng die Spiralarme an der Galaxie liegen. Im Grunde klassifiziert man die Galaxien hier nach der Hubble-Sequenz und ordnet sie in Sa-Sc ein. Diese Frage folgt direkt wenn man bei Frage 5) Antwort "Spiral" gewählt hat.

7) How many spiral arms are there?

Wie viele Spiralarme sind vorhanden?



1



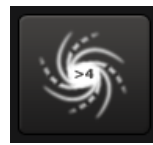
2



3



4



more than 4
mehr als 4



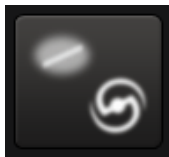
can't tell
nicht zu sagen

Erklärung:

Hier soll man die Zahl der Spiralarme angeben. Die Frage folgt direkt auf Frage 6).

8) Is there a sign of a bar feature through the centre of the galaxy?

Gibt es Anzeichen für einen Balken, der durch das Zentrum der Galaxie verläuft?



Bar
Balken



No bar
kein Balken

Erklärung:

Diese Frage folgt auf Frage 3). Es wird gefragt, ob das Zentrum eine Balkenform hat oder nicht.

9) How prominent is the central bulge, compared with the rest of the galaxy?

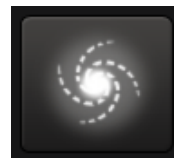
Wie hervorstechend ist die zentrale Ausbuchtung, verglichen mit dem Rest der Galaxie?



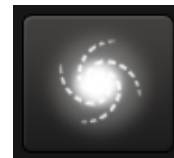
No bulge
kein Bulge



Just noticeable
gerade bemerkbar



Obvious
offensichtlich



Dominant
dominant

Erklärung:

Diese Frage folgt auf Frage 7). Hier soll man angeben, wie groß der Bulge im Vergleich zum Rest der Galaxie ist. An der Größe des Kerns kann man erkennen, um was für eine Art Galaxie es sich womöglich handelt. Galaxien mit großen, leuchtstarken Zentren sind meist aktive Galaxien.

10) Is there anything odd?

Gibt es etwas Ungewöhnliches?



Yes
Ja



No
Nein

Erklärung:

Hier wird gefragt, ob es irgendetwas Ungewöhnliches in der Nähe der Galaxie gibt. Kurz nachdem das *Galaxy Zoo* - Projekt gestartet wurde, fand eine niederländische Schullehrerin namens Hanny van Arkel auf einem Bild, das sie gerade klassifizierte, ein blaues Objekt, das sie nicht identifizieren konnte. Noch heute wird dieses Objekt beobachtet und untersucht. Als *Galaxy Zoo 2* eingeführt wurde, wurde das Projekt deswegen auch um eine Reihe von Fragen zu galaxiefremden Objekten erweitert.

11) Is the odd feature a ring, or is the galaxy disturbed or irregular?

Ist das Ungewöhnliche ein Ring, oder ist die Galaxie verzerrt oder unregelmäßig?



Ring
Ring



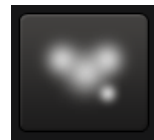
Lens or arc
Linse o. Bogen



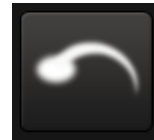
Disturbed
verzerrt



Irregular
unregelmäßig



Other
andere Objekte



Merger
Fusion



Dust lane
Staubband

Erklärung:

Nachdem man ein ungewöhnliches Objekt an der Galaxie entdeckt hat, soll man es identifizieren. *Galaxy Zoo* gibt hier einige Möglichkeiten an. Befindet sich um die Galaxie herum ein Ring, so wählt man "Ring". Sieht man den Teil davon, oder etwas Ähnliches so wählt man "Lens or arc". Ist die Galaxie irgendwie zerrissen oder verzerrt, wählt man "Disturbed". Hat sie eine völlig unregelmäßige Form, so wählt man "Irregular". Befindet sich ein unidentifizierbarer Fremdkörper bei der Galaxie, so wählt man "Other". Als Beispiel kann man sagen, dass das von Hanny van Arkel entdeckte Objekt ("Hannys Voorwerp") in diese Kategorie gehört. Wenn man bei der Galaxie eine Wechselwirkung oder Fusion mit einer anderen Galaxie entdeckt, so wählt man "Merger". Und wenn eine Staubwolke oder ein Staubband durch die Galaxie verläuft, wählt man "Dust lane". Diese Frage folgt auf Frage 10).



Titel und Slogan des Oberprojekts von *Galaxy Zoo*. Zu diesem Projekt gibt es noch andere Klassifizierungsprojekte. Sie sind alle auf www.zooniverse.org zu finden.

12) Does the galaxy have a mostly clumpy appearance?
Hat die Galaxie ein überwiegend klumpiges Erscheinungsbild?



Yes
Ja



No
Nein

Erklärung:

Wenn man die Galaxie als spiralförmige Galaxie identifiziert hat, wird gefragt, ob sie ein klumpiges Erscheinungsbild hat. Man erkennt das an hellen Gebieten innerhalb der Galaxie, die sich durch ihre Leuchtstärke von anderen Gebieten unterscheiden. Diese Frage folgt auf Frage 1), wenn man "Features or disk" als Antwort gewählt hat.

13) How many clumps are there?
Wie viele Klumpen sind vorhanden?



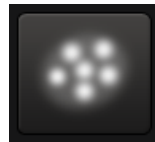
2



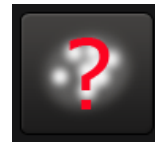
3



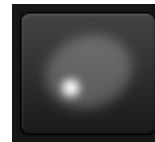
4



more than 4
mehr als 4



can't tell
nicht zu sagen

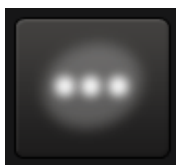


1

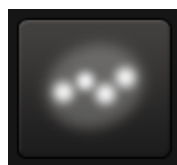
Erklärung:

Hier soll man angeben, wie viele Klumpen die Galaxie hat. Die Frage folgt auf Frage 12).

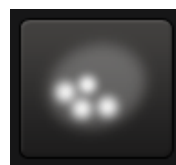
14) Do the clumps appear in a straight line, a chain or a cluster?
Erscheinen die Klumpen in einer geraden Linie, einer Kette oder einem Haufen?



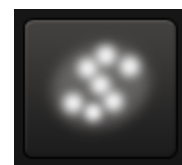
Straight line
gerade Linie



Chain
Kette



Cluster
Haufen



Spiral
Spirale

Erklärung:

Hier soll man die Anordnung der Klumpen identifizieren. Diese Frage folgt Frage 13) wenn man mit der Zahl 3 oder höher geantwortet hat. Man sollte die Anordnung der Klumpen mit den Bildern der Antwort-Buttons vergleichen und das wählen, was dem Erscheinungsbild der Klumpen am nächsten kommt. Sieht sie aus wie eine Spiralgalaxie, in der die Spiralarme aus Klumpen bestehen (oder nur teilweise), dann sollte man "Spiral" wählen.

15) Is there one clump which is clearly brighter than the others?

Gibt es einen Klumpen der deutlich heller ist als die anderen?



Yes
Ja



No
Nein

Erklärung:

Wenn man bei den Klumpen einen sieht, der deutlich heller ist, als die anderen, sollte man hier mit "Yes" antworten. Diese Frage folgt auf Frage 13) wenn man mit 1 oder 2 geantwortet hat und auf Frage 14) wenn man mit 3 oder höher antwortet.

16) Is the brightest clump central to the galaxy?

Ist der hellste Klumpen im Zentrum der Galaxie?



Yes
Ja



No
Nein

Erklärung:

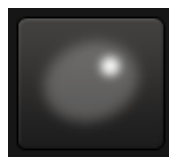
Diese Frage folgt auf Frage 15) wenn man mit "Yes" geantwortet hat. Wenn man den Eindruck hat, dass von den Klumpen sich der hellste im Zentrum befindet, antwortet man dementsprechend mit "Yes".

17) Does the galaxy appear symmetrical?

Erscheint die Galaxie symmetrisch?



Yes
Ja



No
Nein

Erklärung:

Diese Frage folgt auf Frage 16). Auch trotz der Klumpen kann die Galaxie Symmetrie besitzen. Wenn dies zutrifft, antwortet man mit "Yes".

18) Do the clumps appear to be embedded within a larger object?

Scheinen die Klumpen in einem größeren Objekt eingebettet zu sein?



Yes
Ja



No
Nein

Erklärung:

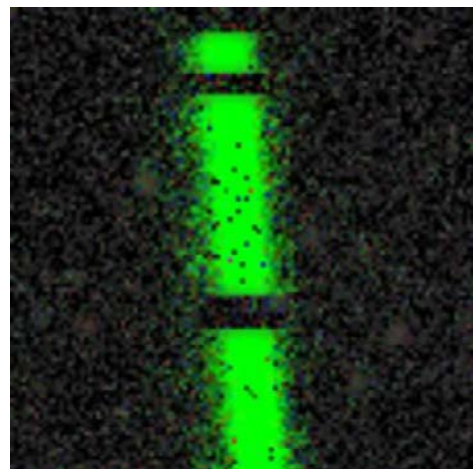
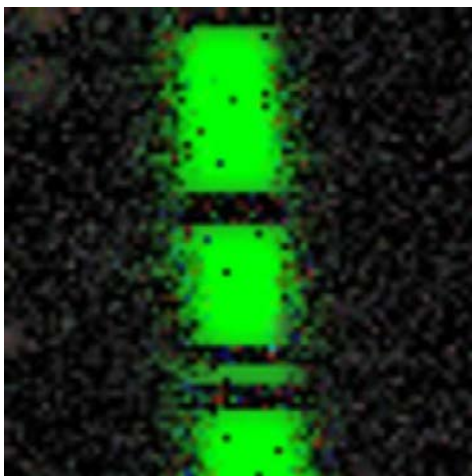
Diese Frage folgt auf Frage 17). Hier soll untersucht werden, ob sich die Klumpen innerhalb einer Galaxie befinden, oder ob sie das einzige sind, was man sieht.

Wenn man den Wunsch hat, das Klassifizieren im Tutorial zu üben, so findet man zu fast allen Fragen Beispielgalaxien. Die richtige Antwort erhält man mit Hilfe eines Klicks auf das entsprechende Foto einer Galaxie.

7) Erfahrungen bei der Klassifizierung und Umgang mit der Software

Man muss für die Klassifizierungen bzw. für die Fragen keinerlei Programm downloaden. Eine einfache Registrierung reicht. Die Fragen sind einfach strukturiert und verständlich. Alle Galaxien, die man klassifiziert, werden in der Rubrik *My Galaxies* abgespeichert. Jede Galaxie kann angeklickt werden. Außerdem kann man zu jedem klassifizierten Objekt spezifische Daten, wie z.B. Entfernung, Alter, Rotverschiebung und anderes bekommen. Galaxien oder Objekte, die man besonders interessant findet, können zu den persönlichen *Favourites* hinzugefügt werden.

Während der Klassifizierung fiel auf, dass man manchmal eine ganze Weile lang nur ziemlich kleine und schwer zu erkennbare Galaxien zu klassifizieren bekommt. Vielleicht verliert man darüber das Interesse am Projekt, aber es ist sinnvoll, weiter zu machen, denn manche Objekte, die man zu Gesicht bekommt, sind wirklich interessant. Bereits nach kurzer Einarbeitungszeit ließ sich feststellen, dass das Projekt manche Überraschungen bereit hält.



Diese beiden Objekte, sind bei den Klassifizierungen aufgetaucht. Worum mag es sich dabei wohl handeln?

Manchmal fällt es einem schwer, eine Galaxie richtig einzuordnen. Man sollte wissen, dass es nicht schlimm ist, Fehler zu machen. Die Galaxien, die man klassifiziert, werden von anderen Teilnehmern ebenfalls klassifiziert. Das Endergebnis ist also eine Entscheidung vieler. Jede klassifizierte Galaxie wird abgespeichert und zu den bereits klassifizierten dazugerechnet. Man weiß also immer, wie viele Galaxien man insgesamt schon klassifiziert hat. Wer richtig interessiert an diesem Projekt ist und etwas gefunden zu haben meint, das auch andere interessieren könnte, findet im *Galaxy Zoo Forum* den idealen Ort für Austausch und Diskussion.

Dies ist zwar keine Galaxie, aber auch solche Objekte können einem während der Klassifizierung zu Gesicht kommen. Dieser Stern ist nach Angaben der SDSS-Datenbank über 10 Milliarden Jahre alt und über 3,4 Milliarden Jahre von uns entfernt



8) Quellen und Literaturempfehlungen

Informationen zu den Galaxien sind aus der Dokumentationsreihe *Geheimnisse des Universums*, Beiträgen von Wikipedia, sowie dem Buch *Weißt du, wie viel Sterne stehen?* von Harald Lesch und Jörn Müller entnommen.

Die Bilder von Galaxien sind dem Messier-Katalog in Wikipedia entnommen. Weiteres Bildmaterial zum Thema *Galaxy Zoo* stammt von der Internetseite www.galaxyzoo.org.

Für jene, die sich für Galaxien, das Universum und ein wenig für Science Fiction interessieren, ist die Dokumentationsreihe *Geheimnisse des Universums* zu empfehlen (auf DVD erhältlich).

Denen, die sich mit dem *Galaxy Zoo* - Projekt beschäftigen und noch weiter klassifizieren und forschen wollen, ist auch das weitere Projektangebot von *Zooniverse* zu empfehlen:



<http://www.moonzoo.org>

<http://galaxyzoo.org>

<http://solarstormwatch.com>

<http://mergers.galaxyzoo.org>

<http://supernova.galaxyzoo.org>