

Die Welt der Galaxien selbst erforschen: Klassifizierung und Interpretation unterschiedlicher Galaxientypen und ihrer Verteilung

In Bezug zu den Beiträgen „Wodurch wird die Entwicklung von Zwerggalaxien bestimmt?“ und „Zwei Wolken in der Magellanschen Wolke“ in der Zeitschrift „S&W“ 10/2013, (Blick in die Forschung: Kurzbericht, S. 26-28 und Nachricht, S. 14), WIS-ID: 1156170

Dr. Thorsten Lisker & Dr. Richard Preis

und die Astronomie-Arbeitsgemeinschaft des Helmholtz-Gymnasiums Heidelberg im Jahr 2009:

Vincent Ebert, Fabian Hammel, Oliver Krieger, Tatjana Lamparter, Wibke Rüdiger, Stefan Scherer, Jonas Zähringer

Galaxien zeigen eine eindrucksvolle Vielfalt in ihren Erscheinungsformen. Diese werden bestimmt von Spiralarmen, rötlichen Zentralgebieten, blau leuchtenden Sternentstehungsregionen, und weiteren auffälligen Charakteristika. Die verschiedenen Galaxienklassen sind allerdings nicht willkürlich im Universum verteilt, sondern zeigen einen Zusammenhang mit den Eigenschaften der Umgebung, in der sie sich befinden. So wird in massereichen Galaxienhaufen ein höherer Anteil rötlicher Galaxien beobachtet, in denen sich keine Sterne mehr bilden können – wohingegen in typischen Galaxiengruppen der Anteil von Spiral- und irregulären Galaxien überwiegt. Dies können die Schülerinnen und Schüler im vorliegenden Projekt selbst erfahren, indem sie vorliegende Galaxienbilder in eigene Klassen einteilen und dann deren Verteilung analysieren.

Altersstufe:

Empfohlen ab 7. Jahrgangsstufe, auch abhängig davon ob astronomische Vorkenntnisse vorhanden sind. Das Projekt wurde erfolgreich von einer Astronomie-AG der 6. Jahrgangsstufe durchgeführt, sowie von einer AG der 9. und 10. Jahrgangsstufe.

Kontakt für Fragen zum Projekt:

Dr. Thorsten Lisker, Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg, TL@x-astro.net

Dr. Richard Preis, Astronomisches Lehrzentrum, Helmholtz-Gymnasium Heidelberg

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Sterne Galaxien	Farbe, Leuchtkraft, Entwicklung und Lebensdauer von Sternen Aussehen und Zusammensetzung von Galaxien, Verteilung im Universum, Veränderung durch Umgebungseinflüsse
Fächer- verknüpfung	Astronomie – Mathematik Astronomie – Physik	Prozentrechnung, Statistik, Geometrie Farbe und Energie von Licht
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis), Lehr- und Lernformen, Unter- richtsmittel	Abstraktion, Kategorisierung, Beobachtung und Beschreibung, Gewichtung und Subjektivität von Beurteilungskriterien, Kompromissfindung, Gruppenarbeit, Zugang zu Online-Materialien und deren Handhabung, Datenauswertung und –interpretation, Projekt , Arbeitsblätter

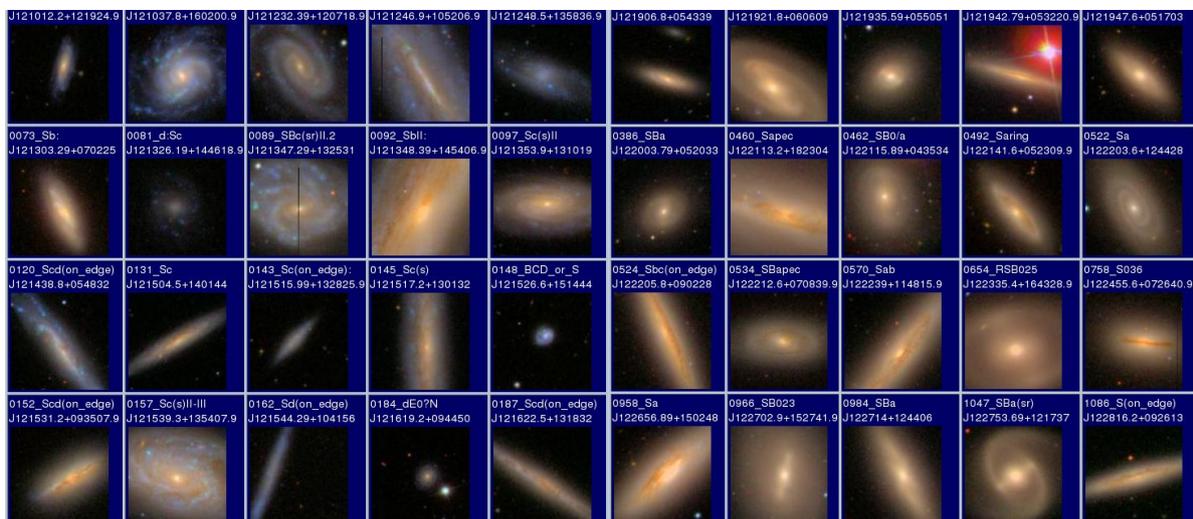


Abbildung 1: Bilder unterschiedlicher Galaxien, aufgenommen vom Sloan Digital Sky Survey (SDSS, www.sdss.org)

1. Einleitung und Grundlagen

1.1 Thematisch verwandte Aufsätze aus „Sterne und Weltraum“

- I. Appenzeller, Die Entwicklung junger Galaxien (SuW 10/2010)
- T. Lisker, Die Welt der Zwerggalaxien (SuW 06/2010)
- C. Wolf, Der Galaxienzoo (SuW 04/2010)

1.2 Was sind Galaxien?

Galaxien sind Sternensinseln. Sie bestehen aus Millionen bis Billionen von Sternen, und beinhalten außerdem noch Gas, Staub, und vermutlich Dunkle Materie. Zwischen ihnen ist nahezu sternleerer Raum. In Galaxien läuft das gesamte „Leben“ von Sternen ab, beginnend mit der Geburt aus dunklen, kalten Molekülwolken, über die sogenannte Hauptreihenphase mit Energiegewinnung aus Kernfusion, bis hin zum Rote-Riesen-Stadium, dem Abstoßen der Hülle als Supernova und dem Ende als Weißer Zwerg oder Schwarzes Loch. Unsere eigene Galaxie, die Milchstraße, sehen wir von innen, und können daher im Vergleich zu anderen Galaxien viel mehr Details erkennen, wie z.B. einzelne Sternhaufen oder die Überreste von Supernovae.

Das Erscheinungsbild von Galaxien wird geprägt durch unterschiedliche Arten von Sternen, sowie durch die Gas- und Staubverteilung. Während in Spiralgalaxien wie der Milchstraße auch heute noch neue Sterne gebildet werden, findet in massereichen Elliptischen Galaxien keine Sternentstehung mehr statt. Die üblicherweise verwendete Klassifikation von Galaxien ist in Abbildung 2 illustriert. Im hier beschriebenen Projekt entwickeln die Schülerinnen und Schüler ihre eigene Einteilung der Galaxien.

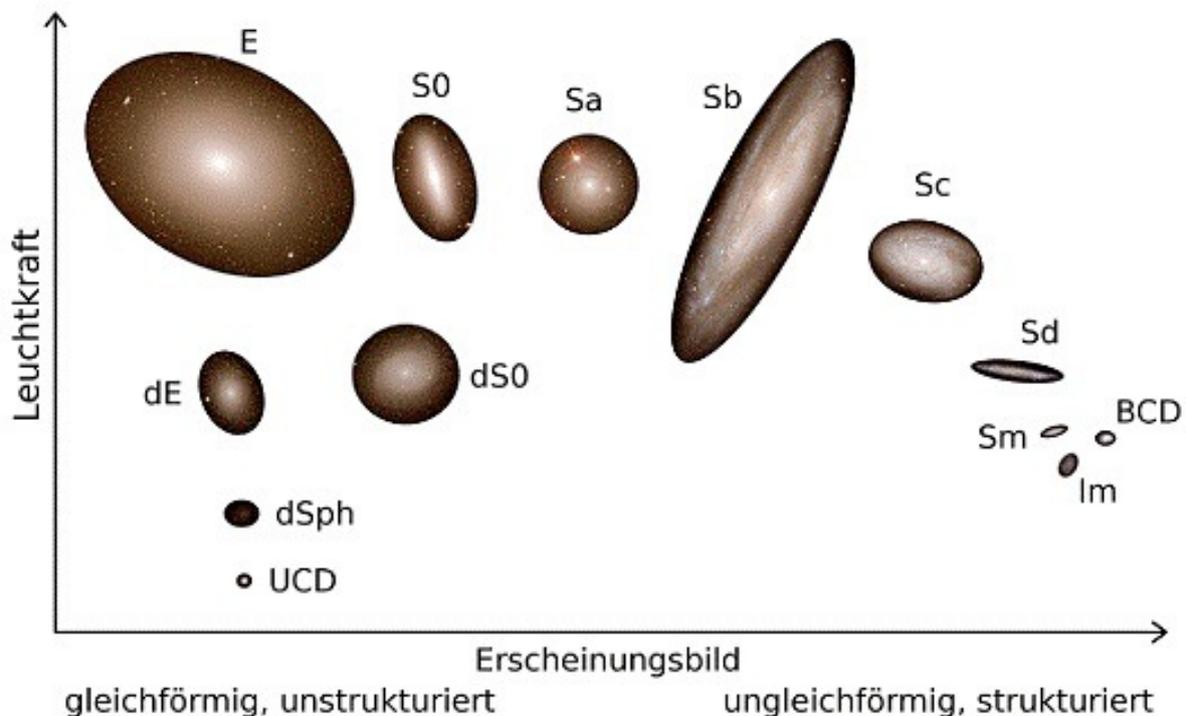


Abbildung 2: Galaxienklassifikation:

Galaxienklassen. E = elliptische Galaxie; S0 = linsenförmige (linsenförmige) Galaxie; von Sa bis Sd verläuft die Sequenz der Spiralgalaxien, von ausgeprägtem Zentralbereich („Bulge“) und eng gewundenen Armen bis zu Galaxien ohne Bulge mit offenen Armen; Sm = Magellansche Spirale (z.B. Große Magellansche Wolke); Im = (Magellansche) Irreguläre (z.B. Kleine Magellansche Wolke); BCD = Blaue Kompakte Zwerggalaxie; dE = elliptische Zwerggalaxie; dS0 = linsenförmige Zwerggalaxie (meist als Unterklasse des Typs dE behandelt); dSph = sphäroidische Zwerggalaxie; UCD = Ultrakompakte Zwerggalaxie. Schema nach Sandage & Binggeli 1984, mit Abbildungen des Sloan Digital Sky Survey.

[zurück zum Anfang](#)

1.3 Was bedeutet die Farbe des Sternlichts?

Je massereicher ein Stern ist, umso schneller verbraucht er seinen „Brennstoff“ Wasserstoff, und umso kurzlebiger ist er demzufolge. Die Energieabgabe pro Sekunde eines Sterns wird in der Astronomie Leuchtkraft genannt und in Watt bzw. in Sonnenleuchtkräften angegeben. Sie kann sich auf einen vorgegebenen Wellenlängenbereich beziehen oder über alle Wellenlängen erstrecken. Die Leuchtkraft massereicher Sterne ist weit höher als die sonnenähnlicher oder noch masseärmerer Sterne. In einer Gruppe von Sternen, die erst kürzlich entstanden sind, dominieren somit die massereichen Sterne das Gesamtlicht dieser Gruppe.

Da mit zunehmender Sternmasse die emittierten Photonen im Mittel energiereicher sind und das Strahlungsmaximum massereicher Sterne somit im blauen bis ultravioletten Bereich liegt, erscheint eine junge Sternengruppe auf astronomischen Bildern in blauer Farbe. Dort, wo nur gelblich-rötliche Farbe zu sehen ist, können praktisch keine jungen Sterne vorhanden sein: Offenbar gibt es dort keine massereichen, leuchtkräftigen, blauen Sterne mehr, d.h. deren Lebensdauer war kürzer als das Alter dieser Gruppe von Sternen. Die Spiralarme von Spiralgalaxien zeigen meist die für Sternentstehung charakteristische blaue Farbe, während das Galaxienzentrum eher von älteren Sternen dominiert wird und gelblich-rötliche Farbe aufweist.

1.4 Wie sind Galaxien im Universum verteilt?

Elliptische und Spiralgalaxien unterscheiden sich nicht nur in ihrem Aussehen, sondern insbesondere auch in ihrer Verteilung im Universum. Während in Gebieten mit hoher Galaxiendichte, wie den Zentren großer Galaxienhaufen, elliptische Sternsysteme überwiegen, finden sich spiralförmige eher in weniger dicht bevölkerten Gebieten, beispielsweise in Galaxiengruppen. So sind auch die beiden größten Mitglieder unserer Galaxiengruppe, der Lokalen Gruppe, zwei Spiralgalaxien: das Milchstraßensystem und die Andromedagalaxie M 31.

Die Beziehung zwischen der lokalen Umgebungsdichte und der Gestalt (griechisch *morphé*) der Galaxien wird als Morphologie-Dichte-Relation bezeichnet. Sie ist eine der zentralen Eigenschaften der Galaxien im heutigen Universum, und bildet den wissenschaftlichen Ausgangspunkt für das vorliegende Projekt: Die Schüler können die Galaxienpopulation eines Galaxienhaufens und einer Galaxiengruppe „erforschen“ und miteinander vergleichen, oder (mit geringerem Zeitaufwand) die Galaxien zweier Gruppen untersuchen, die sich in verschiedenen Entwicklungszuständen befinden. Welche Unterschiede die Schüler hierbei feststellen werden und was diese bedeuten, ist im Abschnitt „Interpretation“ beschrieben.

[zurück zum Anfang](#)

2. Projekt

Das Projekt zeichnet sich durch die Verknüpfung von modernem Medieneinsatz mit neuen Arbeitsformen (Kleingruppen und Plenum) aus.

2.1 Vorbereitungen seitens der Lehrkraft

Das Projekt verwendet die online verfügbaren Bilddaten des Sloan Digital Sky Survey (www.sdss.org).

Folgende Webseite wird hierzu benötigt: <http://cas.sdss.org/dr7/en/tools/chart/list.asp>

Die Webseite besitzt links einen Kasten zur Eingabe von Koordinaten, der beim ersten Aufruf bereits mit Standardwerten gefüllt ist. Diese können gelöscht werden. Nun können dort die Galaxienkoordinaten für das Projekt eingegeben werden, die als Textdateien online verfügbar sind (s.u.). Die Dateien können einfach mit dem Browser geöffnet werden (z.B. auch mit WordPad). Ihr gesamter Inhalt muss markiert und per Kopieren & Einfügen in die Webseite eingegeben werden. Dann wählt man „Get Image“ an, um die Galaxienbilder zu erhalten.

- Für die Galaxiengruppe um NGC 5353: <http://x-astro.net/wis-galaxien/ngc5353.txt>
- Für die Galaxiengruppe um NGC 5846: <http://x-astro.net/wis-galaxien/ngc5846.txt>
- Für den Virgo-Galaxienhaufen: <http://x-astro.net/wis-galaxien/virgo.txt>

Die Dateien enthalten als Spalte 1 die Identifikationsnummer, Spalten 2 und 3 sind die Koordinaten Rektaszension und Deklination in Grad, Spalte 4 ist die absolute Helligkeit im R-Band (kann für die Auswertung benutzt werden). Der Dateiinhalt muss **inklusive der Kopfzeile** kopiert werden.

Idealerweise sollten entweder die beiden Galaxiengruppen miteinander verglichen werden, oder der Virgo-Haufen mit der Gruppe um NGC 5353, um Unterschiede festzustellen. Der Galaxieninhalt der Gruppe um NGC 5353 ist vergleichbar (wenn auch zahlreicher) mit unserer Lokalen Gruppe, also der Galaxiengruppe, die die Milchstraße und die Andromedagalaxie als Hauptgalaxien beinhaltet. Falls dennoch der Virgo-Haufen mit der Gruppe um NGC 5846 verglichen wird, so zeigen sich zwar keine allzu großen Unterschiede im Galaxieninhalt, jedoch kann die interessante Frage gestellt werden, ob ein Vielfaches dieser Gruppe den Haufen ergeben würde, ohne am Galaxieninhalt etwas ändern zu müssen. Falls nur ein Teil der über 1000 möglichen Virgo-Galaxien bearbeitet werden, sollten idealerweise Galaxien sowohl von Nr. 001 aufwärts, als auch von Nr. 501 aufwärts enthalten sein.

Für die Lehrkraft ist nun empfehlenswert, den in 2.2 beschriebenen Schritt „Eingewöhnung“ selbst durchzuspielen, um ein Gefühl für das Aussehen und die Vielfalt der Galaxien zu bekommen. Falls die Schüler nicht am Computer arbeiten sollen, sondern Farbausdrucke der Galaxienbilder bevorzugt werden, so können diese nun anhand der Webseite erstellt werden. Dabei können unterschiedliche Vergrößerungsstufen gewählt werden.

Zu beachten ist noch, dass sich der Virgo-Galaxienhaufen in einer Entfernung von ca. 17 Mpc (55 Mio. Lichtjahre) von uns befindet, während beide Gruppen eine Entfernung von ca. 27 Mpc (88 Mio. Lichtjahre) besitzen. Galaxien gleicher Leuchtkraft und gleicher wahrer Ausdehnung erscheinen im Virgo-Haufen also etwas heller, größer und detailreicher als in den beiden Gruppen.

Alle oben angegebenen Tabelleneinträge reichen bis zur gleichen absoluten Helligkeit von -14 mag im R-Filter. (Hierfür wurde beim Virgo-Haufen eine simple Konvertierung $B-R=1$ angenommen, da die ursprünglichen Helligkeiten nur im B-Filter angegeben waren.)

[zurück zum Anfang](#)

2.2 Durchführung der Klassifizierung

Die folgenden Schritte sind für die Arbeit der Schüler am Computer beschrieben. Es ist allerdings genauso möglich, dass die Lehrkraft am Computer Ausdrücke aller Galaxien erstellt und den Schülern gibt. Diese können dann durch Ausschneiden und entsprechendes Verteilen der Galaxienbilder (z.B. an einer Pinnwand) die Klassifizierung vornehmen. Idealerweise sollte die Lehrkraft Ausdrücke mit mindestens zwei verschiedenen Vergrößerungsstufen erstellen.

Die Durchführung der Galaxienklassifizierung besteht aus drei Schritten:

- 1. Eingewöhnung** – die Schüler bekommen anhand von Beispielgalaxien ein Gefühl für den Umgang mit der SDSS Webseite.
- 2. Gemeinsames Festlegen von Klassen** – die Schüler einigen sich auf „Schubladen“, in die die Galaxien eingeordnet werden.
- 3. Klassifizierung** – die Schüler bilden ggf. Kleingruppen, teilen ggf. die Galaxien untereinander auf, und führen die Einordnung durch.

Schritt 1: Eingewöhnung.

Die SDSS Webseite stellt immer 25 Galaxien auf einer Seite dar. Die verschiedenen Seiten sind leicht durch einen Mausklick („page 1“, „page 2“ usw.) erreichbar. Je nach Sortierung der Galaxien können verschiedene Seiten durchaus unterschiedliche Galaxientypen zeigen. Die Schülerinnen und Schüler entwickeln ein grobes Gefühl für die Galaxienvielfalt. Das kann durch das Beschreiben nebeneinander projizierter Galaxien beginnen. Schülerinnen und Schüler und die Lehrkraft sollten gemeinsam besprechen, welche Betrachtungsweise sie für ein systematisches Durchsehen der Galaxien bevorzugen. Auf dem **Arbeitsblatt 1** können zunächst die charakteristischen Merkmale der Galaxien gesammelt werden, bevor sie im folgenden Schritt zur Festlegung verschiedener Klassen benutzt werden.

Mit der Vergrößerungsskala auf der linken Seite können verschiedene Vergrößerungsstufen angewählt werden. Die Schüler können selbst feststellen, dass große Galaxien manchmal gar nicht in den (standardmäßig eingestellten) Bildausschnitt passen, wohingegen schwache Zwerge noch weiter vergrößert werden müssen um Details zu erkennen. Bei einem Mausklick auf eine einzelne Galaxie öffnet sich automatisch ein neues Fenster, der „Navigator“. Dieser stellt die Galaxie und ihre Umgebung in einem größeren Fenster dar. Vorteil ist, dass eine höhere Vergrößerungsstufe gewählt werden kann, ohne dass die Galaxie das Fenster ausfüllt.

Schritt 2: Gemeinsames Festlegen von Klassen.

Grundsätzlich stellt auch 75 Jahre nach ihrer Einführung die sogenannte Hubble-Sequenz (Edwin Hubble 1936) immer noch das übliche Klassifikationsschema in der Astronomie dar. Die Sequenz geht von den strukturlosen elliptischen Galaxien, über Spiralgalaxien mit hellem Zentralbereich („Bulge“) und eng gewundenen Armen, zu Spiralgalaxien mit unauffälligem Zentrum und ausgedehnten, eher offenen Armen die oft nur bruchstückhaft zu sehen sind. Zwischen Elliptischen und Spiralen befinden sich die sogenannten lentikulären Galaxien, die zwar wie die Spiralgalaxien eine Scheibe besitzen, aber keine Spiralarmstruktur aufweisen. Schließlich wurden am Ende der Sequenz die irregulären Galaxien hinzugefügt, deren Aussehen unregelmäßig ist. Eine Erweiterung auf Zwerggalaxien ist in der zuvor gezeigten Abbildung dargestellt.

Eine Möglichkeit zur Durchführung des Projekts wäre, den Schülern das obige Klassifikationsschema an Hand von Beispielen zu erläutern, und eben diese Einteilung dann auch zu verwenden. Die interessantere Variante besteht jedoch darin, dass sich die Schüler selbst auf „Schubladen“ einigen, in die sie die Galaxien unterteilen wollen. Hierzu beschreiben die Schüler zunächst mit Worten, welche Merkmale sie beim oben erläuterten Durchsehen der Galaxienbilder erkennen und auf dem **Arbeitsblatt 1** notiert haben – beispielsweise Spiralarme, blaue Farbe, gelblich-rötliche Farbe im Zentrum, diffuses Erscheinungsbild, unregelmäßige Struktur, usw. Zusammen mit der Lehrkraft werden dann die immer wieder auftauchenden Merkmale bestimmt, und die Schüler versuchen, daraus eigene Klassen festzulegen. Das Vermeiden von zu vielen, zu detailliert beschriebenen Kategorien ist hierbei eine gute Übung für das Abstraktionsvermögen: Während jede Galaxie ein individuelles

Aussehen besitzt, ist für eine systematische Analyse eine Beschränkung auf die wesentlichen Merkmale unerlässlich. Die festgelegten Klassen werden auf **Arbeitsblatt 2** notiert.

Als Beispiel dient die Einteilung, wie sie von der Astronomie Arbeitsgemeinschaft am Helmholtz-Gymnasium Heidelberg im Jahr 2009 vorgenommen wurde (Schüler der 9. und 10. Jahrgangsstufe):

- Spiralgalaxien mit blauen Armen und Kern
- Gelbe Spiralgalaxien ohne blaue Arme
- Gelbe Galaxien mit deutlichem Kern, (fast) strukturlos
- Diffuse, farblose Galaxien, keine blaue Farbe
- Blaue, diffuse Galaxien mit Kern / ohne Kern

Hierbei wurde erfolgreich vermieden, die Helligkeit der Galaxien als Kriterium für die Klassifikation zu verwenden. Zum einen ist die Helligkeit eine vorliegende Messgröße, die später in der Auswertung leicht aufgegriffen werden kann; sie bleibt somit unabhängig von der Galaxieneinteilung. Zum anderen befinden sich die beiden Galaxiengruppen und der Virgo-Haufen in unterschiedlichen Entfernungen, was Galaxien gleicher wahrer Leuchtkraft unterschiedlich hell erscheinen lässt. In der Praxis ist die Nicht-Berücksichtigung der Helligkeit wiederum eine Aufgabe, die das Abstraktionsvermögen fordert, da leuchtschwache Galaxien vergleichsweise klein sind und auf den Aufnahmen daher weniger Details als bei leuchtkräftigen Galaxien zeigen.

Schritt 3: Klassifizierung.

Die Schüler werden in Kleingruppen eingeteilt; jede Gruppe bekommt einen Teil (oder alle) Galaxien zugewiesen, und trägt ihre Klassifizierung auf **Arbeitsblatt 3** ein, oder idealerweise in eine Tabellendatei. Um die Vergleichbarkeit der Klassifizierung verschiedener Gruppen sicherzustellen, kann z.B. die Lehrkraft als ersten Schritt eine Auswahl an Galaxien zusammenstellen und diese (gleiche!) Auswahl an alle Gruppen vergeben. Wenn diese von allen Gruppen klassifiziert wurden, können die Einteilungen gemeinsam verglichen werden, und es kann besprochen werden, ob bzw. wie die Herangehensweise geändert werden sollte, um einheitlichere Ergebnisse zu erzielen. Falls grundsätzlich alle Gruppen alle Galaxien klassifizieren, bzw. falls mehrere Gruppen die gleichen Galaxien klassifizieren, so kann am Ende eine Einteilung nach der mehrheitlichen Meinung getroffen werden. Galaxien, für die es keine mehrheitliche Meinung gibt, sollten in einem letzten Schritt gemeinsam eingeteilt werden.

Die Schüler sollten versuchen, die folgenden drei Punkte zu beachten. Die Lehrkraft kann hier beraten und helfend eingreifen um Unstimmigkeiten mit den Schülerinnen und zu besprechen.

- Nach der Eingewöhnung und der Einigung auf bestimmte Klassenmerkmale sollte die Klassifizierung relativ zügig vorangehen, d.h. die Schüler sollten vermeiden, zu lange über Details zu diskutieren. Im Endeffekt besitzt jede Galaxie ein individuelles Aussehen; man könnte sich also mit sehr vielen Galaxien lange aufhalten, was aber nicht der Sinn einer (statistischen!) Einteilung in Schubladen ist.
- Eine Klasse „Sonstige Galaxien“ sollte nach Möglichkeit vermieden werden, es sei denn eine Galaxie ist so lichtschwach oder aus anderen Gründen so ungenau zu erkennen dass keine Einteilung möglich ist. Auch Zwischenklassen (z.B. „A/B“) sind für die nachfolgende Auswertung nicht hilfreich. Natürlich gibt es immer Objekte, die zwischen zwei Klassen liegen, bzw. Merkmale verschiedener Klassen aufweisen. Dennoch sollte man sich für eine Klasse entscheiden: vom statistischen Standpunkt ist zu erwarten dass sich solche Fälle gleichmäßig auf die beiden Seiten aufteilen. Dass die vermeintlich klar definierte Trennung zwischen den Klassen in Wirklichkeit fließend ist, liegt in der Natur der Sache. Führt man Zwischenklassen mit, so muss man diese nachher in der Auswertung als separate Klassen behandeln und erzeugt somit eine unnötig hohe Zahl von Klassen, die teilweise nur wenige Galaxien beinhalten. Die Schüler sollen hier zum Vorausdenken animiert werden.
- Die Herangehensweise an verschiedenen Tagen sollte möglichst gleich sein. Das betrifft nicht nur die Einteilung selbst, sondern auch die Vorgehensweise bezogen auf die Betrachtung der Galaxien (z.B. wie oft und wie stark wird heraus-/hineingezoomt). Dies kann insbesondere bei Pausen von einer oder mehreren Wochen schwierig sein. Es hilft, sich einige der bereits klassifizierten Galaxien nochmals anzusehen. Dies kann auch innerhalb eines längeren Zeitraums (z.B. einige zusammenhängende Stunden) nützlich sein, da sich das „Gefühl“ für die Klasseneinteilung leicht ändern kann. Auch professionelle Astronomen sind davor nicht gefeit.

Die Schüler erfahren hierbei, wie wichtig und gleichzeitig schwierig es ist, die eigens aufgestellten Kriterien und deren Wertung über Stunden oder Tage hinweg beizubehalten, und damit die Reproduzierbarkeit der eigenen Arbeit zu gewährleisten. Wenn eine bestimmte Auswahl an Galaxien von mehreren Kleingruppen unabhängig klassifiziert wird, ist es für die Schüler auch lehrreich, zu sehen, wie dieselben (gemeinsam festgelegten!) Kriterien leicht unterschiedlich von den verschiedenen Gruppen angewendet werden – eine „absolute“ Klassifizierung gibt es nicht.

2.3 Aufbereitung der Resultate

Neben den wesentlichen Fragen „Wie viele Galaxien befinden sich in den jeweiligen Klassen?“ und „Wie unterscheidet sich dies für die verschiedenen Gruppen/Haufen?“ kann bei der Auswertung auch noch die unterschiedliche Helligkeit der Galaxien berücksichtigt werden, die in den Galaxientabellen als astronomische Magnituden angegeben sind. Beispielsweise erfolgt eine Unterteilung in Zwerggalaxien und große Galaxien üblicherweise bei einem Zahlenwert von $M_R = -19$ mag (absolute Helligkeit im R-Filter, Spalte 4 der Tabellen). Objekte mit kleineren (!) Werten sind heller, und somit keine Zwerggalaxien mehr. Eine weitere Frage kann also lauten „Verhalten sich Zwerg- und große Galaxien gleichermaßen hinsichtlich des Gruppen/Haufen-Unterschiedes?“. Die nachstehende Abbildung zeigt als Beispiel die Resultate der Astronomie AG am Astronomischen Lehrzentrum des Helmholtz-Gymnasiums in Heidelberg.

Zu beachten ist dabei die unterschiedliche Gesamtzahl der Galaxien im Galaxienhaufen und in den Galaxiengruppen. Es ist also wenig sinnvoll, die *absolute* Anzahl in der jeweiligen Klasse miteinander zu vergleichen – dies kann man die Schüler auch selbst feststellen lassen, und sie nach einer Lösung fragen. Eine Möglichkeit ist, die *prozentualen* Anteile einer jeden Klasse zu vergleichen. Um diese zu berechnen, muss also durch die Gesamtzahl geteilt werden. In Abbildung 3 wurde dies separat für Zwerggalaxien und große Galaxien durchgeführt. Beim Vergleich der beiden Galaxiengruppen fällt dieser Aspekt weg, da beide fast genau gleich viele Galaxien besitzen.

3. Interpretation

3.1. Vergleich der Häufigkeit großer Galaxien

Die oben dargestellten Resultate zeigen, dass es im Virgo-Galaxienhaufen deutlich weniger Galaxien mit blauer Farbe gibt als in der untersuchten Galaxiengruppe um NGC 5353. Umgekehrt gibt es im Haufen mehr gelblich-rötliche Galaxien. Offenbar laufen in einem Galaxienhaufen physikalische Prozesse ab, die die Sternentstehungsaktivität von Galaxien beenden können. Diese Galaxien entwickeln sich somit von blauer zu gelblich-rötlicher Farbe (siehe Abschnitt 1.3). Für große Galaxien ist die Tatsache wichtig, dass ein heutiger Galaxienhaufen schon zu Anbeginn ein Gebiet höherer Massen- und Galaxiendichte war, in dem besonders in den ersten Milliarden Jahren viele Galaxien und Galaxiengruppen zusammengekommen sind. Dadurch gab es zahlreiche Galaxienverschmelzungen, bei denen nach unserem heutigen Kenntnisstand überwiegend große elliptische Galaxien entstehen (obige Klasse „Gelb, Kern, ohne Struktur“).

3.2. Vergleich der Häufigkeit von Zwerggalaxien

Für Zwerggalaxien sind Verschmelzungsprozesse weniger relevant – aufgrund ihrer geringen Größe und Masse – jedoch spielt hier das heiße, ionisierte Gas eine Rolle, das Galaxienhaufen durchsetzt und im Röntgenlicht beobachtet werden kann: Auf ihrer Bahn durch den Haufen spüren Zwerggalaxien den höheren Druck dieses Haufengases. Ist ihre eigene Anziehungskraft zu gering, so verlieren sie dadurch ihr eigenes kühles Gas, aus dem weitere Sterne hätten entstehen können. Dies wird in der Auswertung deutlich: Im Virgo-Galaxienhaufen überwiegt die Anzahl diffuser, gelblich-rötlicher Zwerggalaxien, in denen keine Sternentstehung mehr stattfindet. Auch die vergleichsweise dünnen Scheiben von Spiralgalaxien können durch den Staudruck ihr Gas verlieren. Deshalb gibt es im Virgo-Haufen auffällig viele „gelbe Spiralen“. Starke Gezeitenkräfte nahe dem Haufenzentrum sind dann zusätzlich dafür verantwortlich, dass es in der Zentralregion praktisch keine scheibenförmigen Galaxien mehr gibt, sondern nur noch rundliche Objekte, insbesondere bei den „empfindlichen“ Zwerggalaxien. Dies kann in manchen Fällen auch zur völligen Zerstörung von Zwerggalaxien führen.

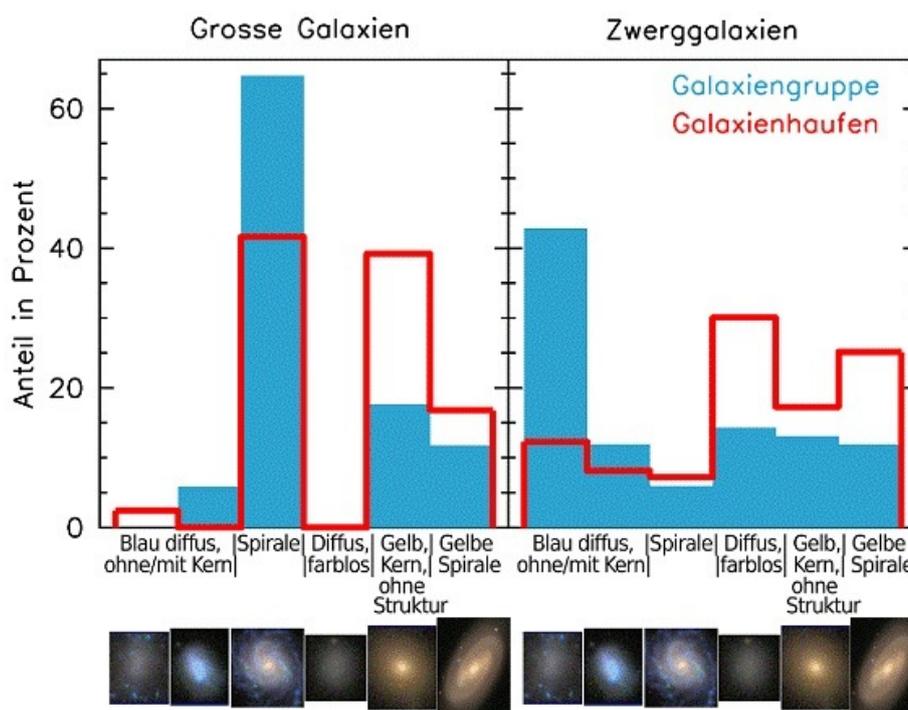
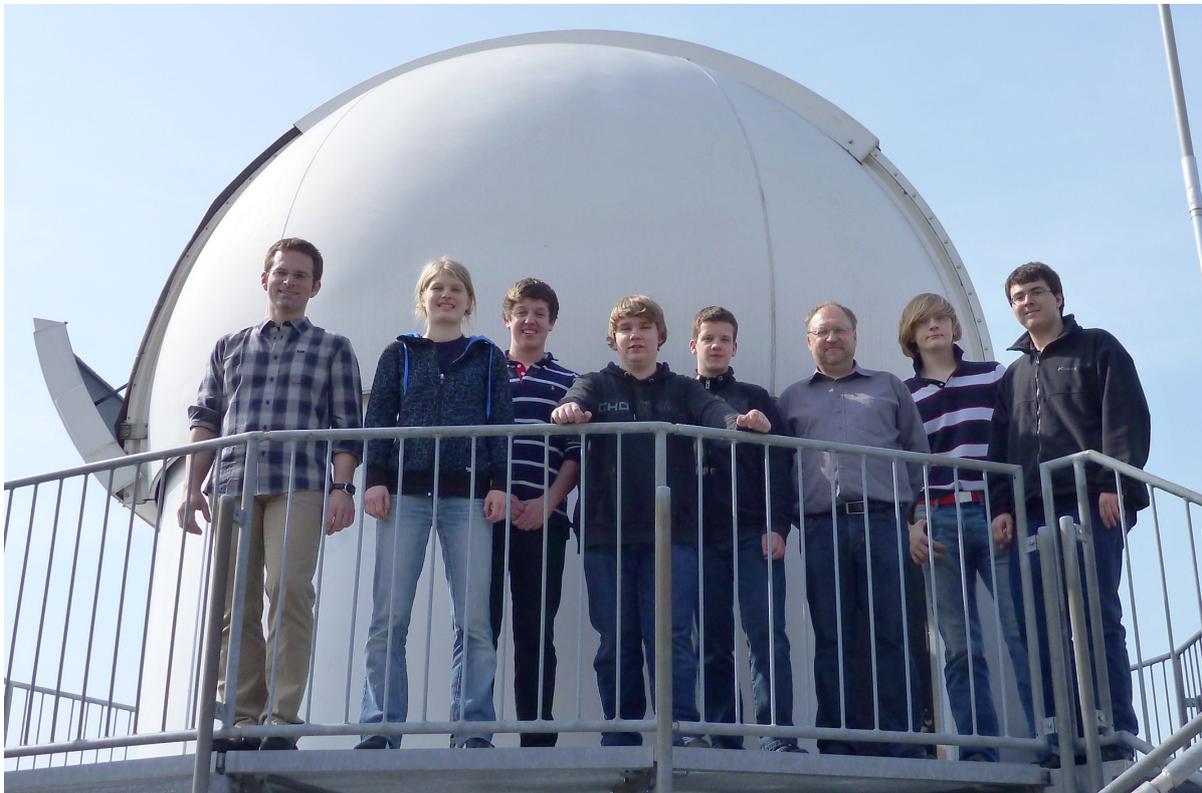


Abbildung 3: Vergleich der prozentualen Anteile der Galaxienklassen für große Galaxien und Zwerggalaxien.

[zurück zum Anfang](#)

3.3 Vergleich zweier Galaxiengruppen (nicht im Diagramm dargestellt)

Beim Vergleich der Galaxiengruppe um NGC 5846 mit der um NGC 5353, ergeben sich interessanterweise ähnliche Unterschiede wie oben beschrieben. Offenbar ist also nicht jede Galaxiengruppe gleich, sondern kann je nach Entwicklungsgeschichte unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Beispielsweise können die massereichen elliptischen Galaxien sich beim Zusammentreffen zweier oder mehrerer Galaxiengruppen durch Verschmelzung gebildet haben, und können dadurch einen so großen „Halo“ aus heißem Gas aufgebaut haben, dass dieser vergleichbare Gasdruck-Effekte verursacht, wie oben für den Virgo-Haufen beschrieben. Zudem wäre es möglich, dass durch das Zusammentreffen der ursprünglichen Gruppen eine Vielzahl der Galaxien sich danach auf recht exzentrischen Umlaufbahnen bewegt hat, und somit starken Gezeitenkräften ausgesetzt war, die eine Umwandlung in rundliche (Zwerg-)Galaxien ohne Sternentstehungsaktivität bewirkten. Völlig verstanden sind die deutlichen Unterschiede zwischen verschiedenen Galaxiengruppen allerdings noch nicht. Unsere Lokale Gruppe wäre, was den Galaxieninhalt betrifft, eher mit der Gruppe um NGC 5353 vergleichbar, da sie keine großen elliptischen Galaxien besitzt, sondern von zwei großen Spiralgalaxien dominiert wird – der Andromedagalaxie und unserer Milchstraße.



Literaturquellen

- B. Binggeli, A. Sandage & G.A. Tammann 1985, *Astronomical Journal* 90, S. 1681 ff.
(<http://adsabs.harvard.edu/abs/1985AJ.....90.1681B>, Katalog des Virgo-Galaxienhaufens)
- T. Lisker, E.K. Grebel, B. Binggeli & K. Glatt 2007, *Astrophysical Journal* 660, S. 1186 ff.
(<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0701429>, Aktualisierung zum Virgo-Katalog)
- A. Mahdavi, N. Trentham & R.B. Tully 2005, *Astronomical Journal* 130, S. 1502 ff.
(<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0506737>, Katalog der Gruppe um NGC 5846)
- A. Sandage & B. Binggeli 1984, *Astronomical Journal* 89, S. 119 ff.
(<http://adsabs.harvard.edu/abs/1984AJ.....89..919S>, Klassifikationsschema)
- R.B. Tully & N. Trentham 2008, *Astronomical Journal* 135, S. 1488 ff.
(<http://arxiv.org/abs/0802.1737>, Katalog der Gruppe um NGC 5353)

Arbeitsblatt 2

Einteilung der Galaxienklassen

Name der Galaxienklasse:
Beschreibung:

Nummer der Galaxienklasse:

Name der Galaxienklasse:
Beschreibung:

Nummer der Galaxienklasse:

Name der Galaxienklasse:
Beschreibung:

Nummer der Galaxienklasse:

Name der Galaxienklasse:
Beschreibung:

Nummer der Galaxienklasse:

Name der Galaxienklasse:
Beschreibung:

Nummer der Galaxienklasse:

Name der Galaxienklasse:
Beschreibung:

Nummer der Galaxienklasse:

Arbeitsblatt 3

Durchführung der Klassifikation

NGC 5353 Gruppe

Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse
001	035	069
002	036	070
003	037	071
004	038	072
005	039	073
006	040	074
007	041	075
008	042	076
009	043	077
010	044	078
011	045	079
012	046	080
013	047	081
014	048	082
015	049	083
016	050	084
017	051	085
018	052	086
019	053	087
020	054	088
021	055	089
022	056	090
023	057	091
024	058	092
025	059	093
026	060	094
027	061	095
028	062	096
029	063	097
030	064	098
031	065	099
032	066	100
033	067	101
034	068	

NGC 5846 Gruppe

Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse
001	034	067
002	035	068
003	036	069
004	037	070
005	038	071
006	039	072
007	040	073
008	041	074
009	042	075
010	043	076
011	044	077
012	045	078
013	046	079
014	047	080
015	048	081
016	049	082
017	050	083
018	051	084
019	052	085
020	053	086
021	054	087
022	055	088
023	056	089
024	057	090
025	058	091
026	059	092
027	060	093
028	061	094
029	062	095
030	063	096
031	064	097
032	065	098
033	066	099

Virgo Galaxienhaufen

Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Gal. Kl.
0001	0049	0097	0145	0193
0002	0050	0098	0146	0194
0003	0051	0099	0147	0195
0004	0052	0100	0148	0196
0005	0053	0101	0149	0197
0006	0054	0102	0150	0198
0007	0055	0103	0151	0199
0008	0056	0104	0152	0200
0009	0057	0105	0153	0201
0010	0058	0106	0154	0202
0011	0059	0107	0155	0203
0012	0060	0108	0156	0204
0013	0061	0109	0157	0205
0014	0062	0110	0158	0206
0015	0063	0111	0159	0207
0016	0064	0112	0160	0208
0017	0065	0113	0161	0209
0018	0066	0114	0162	0210
0019	0067	0115	0163	0211
0020	0068	0116	0164	0212
0021	0069	0117	0165	0213
0022	0070	0118	0166	0214
0023	0071	0119	0167	0215
0024	0072	0120	0168	0216
0025	0073	0121	0169	0217
0026	0074	0122	0170	0218
0027	0075	0123	0171	0219
0028	0076	0124	0172	0220
0029	0077	0125	0173	0221
0030	0078	0126	0174	0222
0031	0079	0127	0175	0223
0032	0080	0128	0176	0224
0033	0081	0129	0177	0225
0034	0082	0130	0178	0226
0035	0083	0131	0179	0227
0036	0084	0132	0180	0228
0037	0085	0133	0181	0229
0038	0086	0134	0182	0230
0039	0087	0135	0183	0231
0040	0088	0136	0184	0232
0041	0089	0137	0185	0233
0042	0090	0138	0186	0234
0043	0091	0139	0187	0235
0044	0092	0140	0188	0236
0045	0093	0141	0189	0237
0046	0094	0142	0190	0238
0047	0095	0143	0191	0239
0048	0096	0144	0192	0240

Virgo Galaxienhaufen

Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Gal. Kl.
0241	0289	0337	0385	0433
0242	0290	0338	0386	0434
0243	0291	0339	0387	0435
0244	0292	0340	0388	0436
0245	0293	0341	0389	0437
0246	0294	0342	0390	0438
0247	0295	0343	0391	0439
0248	0296	0344	0392	0440
0249	0297	0345	0393	0441
0250	0298	0346	0394	0442
0251	0299	0347	0395	0443
0252	0300	0348	0396	0444
0253	0301	0349	0397	0445
0254	0302	0350	0398	0446
0255	0303	0351	0399	0447
0256	0304	0352	0400	0448
0257	0305	0353	0401	0449
0258	0306	0354	0402	0450
0259	0307	0355	0403	0451
0260	0308	0356	0404	0452
0261	0309	0357	0405	0453
0262	0310	0358	0406	0454
0263	0311	0359	0407	0455
0264	0312	0360	0408	0456
0265	0313	0361	0409	0457
0266	0314	0362	0410	0458
0267	0315	0363	0411	0459
0268	0316	0364	0412	0460
0269	0317	0365	0413	0461
0270	0318	0366	0414	0462
0271	0319	0367	0415	0463
0272	0320	0368	0416	0464
0273	0321	0369	0417	0465
0274	0322	0370	0418	0466
0275	0323	0371	0419	0467
0276	0324	0372	0420	0468
0277	0325	0373	0421	0469
0278	0326	0374	0422	0470
0279	0327	0375	0423	0471
0280	0328	0376	0424	0472
0281	0329	0377	0425	0473
0282	0330	0378	0426	0474
0283	0331	0379	0427	0475
0284	0332	0380	0428	0476
0285	0333	0381	0429	0477
0286	0334	0382	0430	0478
0287	0335	0383	0431	0479
0288	0336	0384	0432	0480

Virgo Galaxienhaufen

Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Gal. Kl.
0481	0529	0577	0625	0673
0482	0530	0578	0626	0674
0483	0531	0579	0627	0675
0484	0532	0580	0628	0676
0485	0533	0581	0629	0677
0486	0534	0582	0630	0678
0487	0535	0583	0631	0679
0488	0536	0584	0632	0680
0489	0537	0585	0633	0681
0490	0538	0586	0634	0682
0491	0539	0587	0635	0683
0492	0540	0588	0636	0684
0493	0541	0589	0637	0685
0494	0542	0590	0638	0686
0495	0543	0591	0639	0687
0496	0544	0592	0640	0688
0497	0545	0593	0641	0689
0498	0546	0594	0642	0690
0499	0547	0595	0643	0691
0500	0548	0596	0644	0692
0501	0549	0597	0645	0693
0502	0550	0598	0646	0694
0503	0551	0599	0647	0695
0504	0552	0600	0648	0696
0505	0553	0601	0649	0697
0506	0554	0602	0650	0698
0507	0555	0603	0651	0699
0508	0556	0604	0652	0700
0509	0557	0605	0653	0701
0510	0558	0606	0654	0702
0511	0559	0607	0655	0703
0512	0560	0608	0656	0704
0513	0561	0609	0657	0705
0514	0562	0610	0658	0706
0515	0563	0611	0659	0707
0516	0564	0612	0660	0708
0517	0565	0613	0661	0709
0518	0566	0614	0662	0710
0519	0567	0615	0663	0711
0520	0568	0616	0664	0712
0521	0569	0617	0665	0713
0522	0570	0618	0666	0714
0523	0571	0619	0667	0715
0524	0572	0620	0668	0716
0525	0573	0621	0669	0717
0526	0574	0622	0670	0718
0527	0575	0623	0671	0719
0528	0576	0624	0672	0720

Virgo Galaxienhaufen

Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Gal. Kl.
0721	0769	0817	0865	0913
0722	0770	0818	0866	0914
0723	0771	0819	0867	0915
0724	0772	0820	0868	0916
0725	0773	0821	0869	0917
0726	0774	0822	0870	0918
0727	0775	0823	0871	0919
0728	0776	0824	0872	0920
0729	0777	0825	0873	0921
0730	0778	0826	0874	0922
0731	0779	0827	0875	0923
0732	0780	0828	0876	0924
0733	0781	0829	0877	0925
0734	0782	0830	0878	0926
0735	0783	0831	0879	0927
0736	0784	0832	0880	0928
0737	0785	0833	0881	0929
0738	0786	0834	0882	0930
0739	0787	0835	0883	0931
0740	0788	0836	0884	0932
0741	0789	0837	0885	0933
0742	0790	0838	0886	0934
0743	0791	0839	0887	0935
0744	0792	0840	0888	0936
0745	0793	0841	0889	0937
0746	0794	0842	0890	0938
0747	0795	0843	0891	0939
0748	0796	0844	0892	0940
0749	0797	0845	0893	0941
0750	0798	0846	0894	0942
0751	0799	0847	0895	0943
0752	0800	0848	0896	0944
0753	0801	0849	0897	0945
0754	0802	0850	0898	0946
0755	0803	0851	0899	0947
0756	0804	0852	0900	0948
0757	0805	0853	0901	0949
0758	0806	0854	0902	0950
0759	0807	0855	0903	0951
0760	0808	0856	0904	0952
0761	0809	0857	0905	0953
0762	0810	0858	0906	0954
0763	0811	0859	0907	0955
0764	0812	0860	0908	0956
0765	0813	0861	0909	0957
0766	0814	0862	0910	0958
0767	0815	0863	0911	0959
0768	0816	0864	0912	0960

Virgo Galaxienhaufen

Galaxie Klasse	Galaxie Klasse	Galaxie Klasse
0961	1009	1057
0962	1010	1058
0963	1011	1059
0964	1012	1060
0965	1013	1061
0966	1014	1062
0967	1015	1063
0968	1016	1064
0969	1017	1065
0970	1018	1066
0971	1019	1067
0972	1020	1068
0973	1021	1069
0974	1022	1070
0975	1023	1071
0976	1024	1072
0977	1025	1073
0978	1026	1074
0979	1027	1075
0980	1028	1076
0981	1029	1077
0982	1030	1078
0983	1031	1079
0984	1032	1080
0985	1033	1081
0986	1034	1082
0987	1035	1083
0988	1036	1084
0989	1037	1085
0990	1038	1086
0991	1039	1087
0992	1040	1088
0993	1041	1089
0994	1042	1090
0995	1043	1091
0996	1044	1092
0997	1045	1093
0998	1046	1094
0999	1047	1095
1000	1048	1096
1001	1049	1097
1002	1050	
1003	1051	
1004	1052	
1005	1053	
1006	1054	
1007	1055	
1008	1056	