

Der Virgo Galaxienhaufen

(Anfängerpraktikum: Galaxienklassifikation,
Galaxiendurchmesser als Entfernung Indikator)

aus: Edinburgh Astronomy Teaching Package for Undergraduates
ausgearbeitet von: J. Hron

1 Allgemeines

1.1 Verwendetes Beobachtungsmaterial

Die für dieses Beispiel verwendeten photographischen Aufnahmen wurden am United Kingdom Schmidt Telescope (UKST) erhalten:

Aufstellungsort: Siding Spring, Australien

Öffnung: 1.2 m (Spiegeldurchmesser 1.8 m)

Öffnungsverhältnis: f:2.5

Abbildungsmaßstab: $67.1'' \text{ mm}^{-1}$

Feld: $6.5 \times 6.5 \square^\circ$

Grenzgröße: $B \sim 22^m$ in 1^h mit IIIaJ Emulsion

Schmidt Teleskope stellen sogenannte *katadioptrische* Systeme (Spiegel-Linsen Kombination) dar und zeichnen sich durch großes Bildfeld, hohe Lichtstärke und geringe Bildfehler aus. Sie stellen daher das wichtigste Instrument für großangelegte Himmelsdurchmusterungen dar (z.B. Palomar Sky Survey, ESO/SRC Atlas). Der prinzipielle Aufbau des optischen Systems ist in Beilage 1 beschrieben.

1.2 Der Virgohaufen

Der Virgohaufen zählt zur Gruppe der irregulären Galaxienhaufen (eine Kurzcharakteristik der regulären und irregulären Haufen findet sich in Beilage 2). Der Gesamtdurchmesser beträgt etwa 10° . Die hellste Galaxie des Haufens ist NGC 4472, das Zentrum (aus der Helligkeitsverteilung, der Dynamik, der Röntgenemission) liegt aber nahe der cD-Galaxie M 87. Der Virgohaufen ist sicher einer der bestuntersuchten Galaxienhaufen und wird seit 1920 zur Bestimmung der Hubble-Konstanten herangezogen.

1.3 Galaxienklassifikation

Die morphologische Klassifikation stellt meist den ersten Schritt zu einem tieferen Verständnis der untersuchten Objekte dar. Eine systematische Klassifikation der Galaxien war erst durch die Verwendung der Photographie möglich (Erkennbarkeit der Spiralstruktur). Am bekanntesten ist wohl das Klassifikationssystem nach Hubble. Dafür werden vier wichtige Kriterien herangezogen: (1) die relative Größe von Kern (*Bulge*) und Scheibe (*Disk*), (2) der Öffnungswinkel der Spiralarms (3) der Grad der Ausprägung der Spiralarms (Auflösung in einzelne Strukturen) und (4) die 'Form' des Kerns (Elliptizität $(a-b)/a$ bei E-Galaxien bzw. das Vorhandensein eines Balkens bei S-Galaxien). (1) stellt einen Bezug zur Drehimpulsverteilung der Protogalaxie und Effizienz der Sternentstehung während der Kollapsphase her, (2) und (3) spiegeln die augenblickliche Effizienz der Umwandlung von Gas in Sterne und die Massenverteilung in der Scheibe wieder. Trotz ihres phänomenologischen Ursprunges erlauben die Klassifikationskriterien (ähnlich wie im Fall der Spektralklassifikation) eine astrophysikalische Interpretation. Seit Hubble wurde eine Reihe von Modifikationen und Erweiterungen des Klassifikationssystems durchgeführt, Beilage 3 gibt einen Überblick über die verschiedenen gebräuchlichen Systeme. Die Klassifikation einer Reihe von Galaxien des Virgohaufens stellt einen Teil dieses Beispiels dar.

1.4 Galaxiendurchmesser als Entfernungsindikator

Die Verwendung des Galaxiendurchmessers ist eine der Möglichkeiten zur Entfernungsbestimmung von Galaxien. Um diese Methode anwenden zu können muß allerdings eine wichtige Voraussetzung erfüllt sein: der dem gemessenen Winkeldurchmesser entsprechende lineare Durchmesser (z.B. in kpc) muß für alle Galaxien gleich sein, d.h. mit dem gemessenen Durchmesser wird immer der

gleiche Bereich der Galaxien erfaßt. Flächenhelligkeiten sind Entfernungsunabhängig (warum?). Der Winkeldurchmesser einer zu einer gewählten Flächenhelligkeit σ gehörenden Isophote erfüllt also die obige Bedingung, wenn die Helligkeitsverteilung $\sigma(r)$ (r ist der lineare Radius in kpc) aller gemessenen Galaxien gleich ist. Dies sollte der Fall sein, wenn nur Galaxien von ähnlichem Typ betrachtet werden. Ein häufig gewählter Wert für σ ist 25^m pro \square , der dazugehörige Winkeldurchmesser wird als D_{25} bezeichnet. Am genauesten läßt sich D_{25} aus einem photometrischen Helligkeitsprofil bestimmen. Dazu sind entweder lichtelektrische Messungen mit verschiedenen Meßblenden oder Bilder in digitaler Form (CCD oder digitalisierte photographische Aufnahmen) mit photometrischer Kalibration notwendig. Die *Graustufen* an den Innenrändern der vorliegenden Aufnahmen dienen diesem Zweck. Eine grobe und weniger aufwendige Bestimmung von D_{25} soll im Rahmen dieses Beispiels durchgeführt werden.

2 Aufgabenstellung

2.1 Vorbereitungen

1. Identifizieren Sie die Objekte in Tab. 1 und beschreiben Sie etwaige Besonderheiten.
2. Vergleichen Sie die in Tab. 1 gegebenen D_{25} mit den Durchmessern D , die Sie selbst mittels Lupe für diese Galaxien erhalten. Sind z.B. systematische Unterschiede zur Tabelle oder zwischen den Messpersonen vorhanden?
3. Welchen Durchmesser in kpc haben die Objekte aus Tab. 1 wenn für den Entfernungsmodul des Virgoaufens ein Wert von 31^m5 angenommen wird (Plattenmaßstab unter 1.1).

2.2 Messungen im Virgohaufen

1. Bestimmen Sie für die in Tab. 2 angeführten Objekte Typ, Durchmesser D (im Winkelmaß) und Neigung (bei Scheibengalaxien, Annahme: die Scheibengalaxien sind intrinsisch kreisförmig).
2. Tragen Sie die in Tab. 2 gegebenen Gesamthelligkeiten m gegen $\log(D)$ auf. Trennen Sie nach E/S0 und Spiral-Galaxien.

Welche qualitative Beziehung ist zwischen m und $\log(D)$ bei Annahme einer über die ganze Galaxie konstanten Flächenhelligkeit zu erwarten? (Neigungs-/Elliptizitätseffekte werden vernachlässigt, alle Galaxien haben etwa die gleiche Entfernung, der Gesamtfluss ist proportional dem Produkt von Fluss pro Flächeneinheit und Fläche). Wie verträglich ist diese Beziehung mit den Beobachtungen.

3. Berechnen Sie aus den in Tab. 1 gegebenen D_{25} die mittlere Flächenhelligkeit der Galaxien (selbe Näherung wie oben). Drücken Sie diese in % des Flusses vom Himmelshintergrund $\mu_{25} (21^m6 \text{ pro } \square)$ aus.
4. Welchen Leuchtkraftbereich überdecken E/S0- und S-Galaxien?

2.3 Entfernungsbestimmung des Galaxienhaufens Abell 1060 (Hydra I)

Bestimmen Sie an Hand von Aufnahme J7442 Typ und D der Galaxien in Tab. 4.

Bestimmen Sie den Mittelwert von D und m für die 3 und 5 hellsten E/S0-Galaxien und für die 3 und 5 hellsten S-Galaxien in Abell 1060 und im Virgohaufen. Welche relativen Entfernungen (d.h. Abell-Entfernung in Einheiten der Virgohaufen-Entfernung) zwischen den Galaxienhaufen ergeben sich aus den Durchmessern bzw. den Helligkeiten? Welche Werte ergeben sich, wenn die 5 absolut hellsten Galaxien (keine Unterscheidung nach Galaxientyp) verwendet werden? Bestimmen Sie

die Relativentfernung auch aus den Radialgeschwindigkeiten in Tab. 3 und 4. Verwenden Sie dazu die Mittelwerte für ALLE Galaxien im jeweiligen Galaxienhaufen. Vergleichen Sie die Ergebnisse, was läßt sich über die Genauigkeit der verschiedenen Verfahren aussagen.

3 Benötigtes Inventar

Leuchttisch, Lupe (mit Skala),
UKST-Platten J2137 ($12^{\text{h}} 27^{\text{m}}$, $+13^{\circ} 30'$)
und J7442 ($10^{\text{h}} 34^{\text{m}}$, $-27^{\circ} 22'$).

4 Verwendete Literatur:

Tools of the Astronomer: Miczaika, G.R., Sinton, W.M., Harvard University press, 1961, Kap. 3.
Stars and Stellar Systems Vol. 9 *Galaxies*: Sandage, A., Sandage, M., eds., Univ. of Chicago Press, 1975, Kap. 1 und 15.
The Virgo Cluster of Galaxies: Richter, G.O., Binggeli, B., eds., ESO Conference and Workshop Proceedings No. 20, 1985, S. 181.

5 Weiterführende Literatur:

The Virgo Cluster of Galaxies: Richter, G.O., Binggeli, B., eds., ESO Conference and Workshop Proceedings No. 20, 1985, S. 181.
Stars and Stellar Systems Vol. 9 *Galaxies*: Sandage, A., Sandage, M., eds., Univ. of Chicago Press, 1975.
Second Reference Catalogue of Bright Galaxies: de Vaucouleurs, G. and A., Corvin, H., Univ. of Texas Press, 1975.
Hubble Atlas of Galaxies: Sandage, A., Carnegie Institution of Washington Publ. 618, 1961.
Clusters of Galaxies: Bahcall, N.A., in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* Vol. 15, 1977, S. 505.

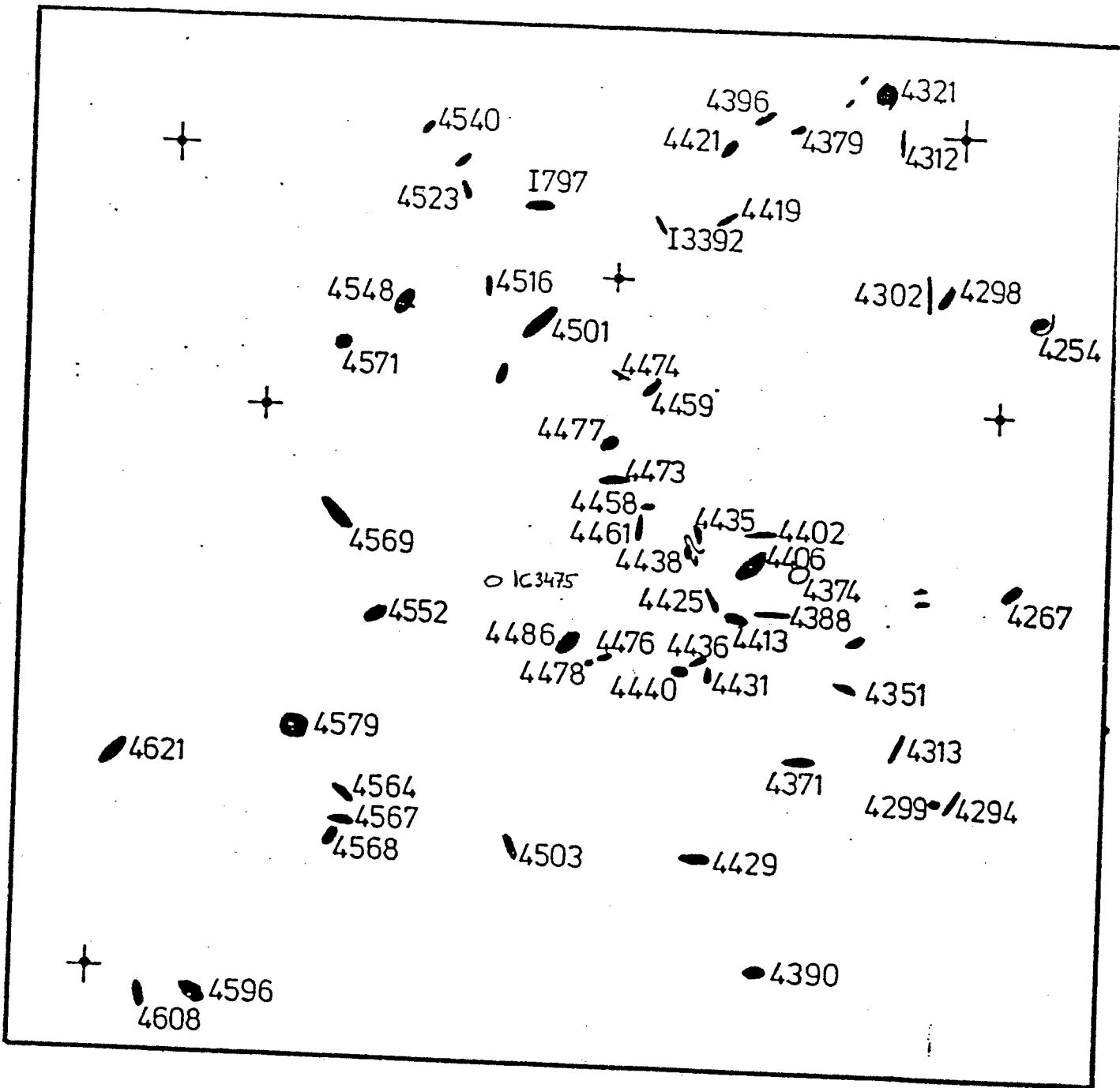


Figure 1

Tabelle 3: Galaxien in Abell 1060

Galaxy	X	Y	m	V km s ⁻¹
	(mms from bottom left corner)			
NGC 3285 A	211	178	14.0	-
3285	202	182	13.2	3049
3285 B	190	171	14.0	2868
3305	171	198	14.0	4549
3307	170	178	16.0	3616
3308	169	183	13.0	3687
3309	166	179	12.7	3801
3311	165	178	13.0	3575
IC 629 B	169	175	16.0:	2461
3312	161	176	13.1	2512
3314	159	170	14.0	2635
3315	158	181	15.0:	4555
3316	154	174	15.0	3752
IC 2597	152	202	13.0:	2738
3336	123	164	13.0:	3689

Tabelle 4: Radialgeschwindigkeiten im Virgohaufen

Velocity and Dispersion vs Magnitude & Type*			
Sample	n	V	l.o.s. Disp.
ALL	362	1151 ± 38	721 (+28/-26)
< 11.5	23	970 ± 163	762 (+147/-93)
11.5-12.5	39	1189 ± 106	652 (+90/-63)
12.5-13.5	55	1249 ± 91	667 (+75/-56)
13.5-14.5	53	1169 ± 100	723 (+83/-62)
14.5-15.5	159	1172 ± 58	732 (+45/-38)
< 15.5	326	1172 ± 39	712 (+30/-26)
S's	163	1144 ± 64	817 (+49/-42)
E's	164	1200 ± 46	581 (+35/-30)

* Averages and dispersions from all galaxies with velocities less than 3000 km/s. Mean velocities quoted are heliocentric and are not luminosity weighted.

BEILAGE 2

(Stars and Stellar Systems, Vol.9, Kap. 15)

TYPICAL CHARACTERISTICS OF REGULAR AND IRREGULAR CLUSTERS

Parameter	Regular Clusters	Irregular Clusters
Symmetry.....	Marked spherical symmetry	Little or no symmetry
Concentration.....	High concentration of members toward cluster center	No marked concentration to a unique cluster center; often two or more nuclei of concentration are present
Types of galaxies.....	All or nearly all galaxies in the first 3 or 4 magnitude intervals are elliptical and/or S0 galaxies.	All types of galaxies are usually present except in the poor groups, which may not contain giant ellipticals. Late-type spirals and/or irregular galaxies present
Number of member galaxies in range of brightest 7 mag.....	Order of 10^3 or more	Order of 10^1 to 10^2
Diameter (Mpc).....	Order of 1-10	Order of 1-10
Presence of subclustering.....	Probably absent or unimportant	Often present. Double and multiple systems of galaxies common
Dispersion of radial velocities of members about mean for cluster.....	Order of 10^2 km s ⁻¹	Order of 10^2 - 10^3 km s ⁻¹
Mass derived from virial theorem (see §4).....	Order of 10^{12} - 10^{13} M _☉	Order of 10^{11} - 10^{12} M _☉
Other characteristics.....	Cluster often centered about one or two giant elliptical galaxies
Examples.....	Coma cluster (No. 1656); CrB cluster (No. 2065)	Local Group, M81 group, Virgo cluster, Hercules cluster (No. 2151)

Tabelle 2: Galaxien im Virgohaufen
 (Koordinaten in mm von linker unterer Ecke des belichteten Filmes)

NGC	X	Y	m	Typ	D
4294	286	86	13.0	SBc	
4299	281	86	13.1		
4302	279	252	13.2		
4321	263	318	10.8	Sc	
4371	239	96	12.1	SB	
4374	236	160	10.9		
4379	233	306	-		
4402	222	172	12.5		
4431	205	128	-		
4435	202	170	11.8		
4440	200	128	-		
4461	184	176	12.4	Sa	
4473	174	189	11.7	E5	
4478	168	130	12.5		
4486	161	133	10.7	E0	
4501	146	242	10.9	Sb	
4516	131	250	-		
4548	101	246	11.9	SBb	
4552	97	142	11.3	S0(E0)	
4564	87	82	12.1		
4568	85	72	-		
4571	82	232	12.8		
4579	70	103	11.0		