



Institut für Astronomie



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Fossile Galaxiensysteme

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Verfasser: **Eveline Glaßner**
Matrikel-Nummer: **9500110**
Studienrichtung: **Astronomie A413**
Betreuer: **Ao. Univ.-Prof. Dr. Werner Zeilinger**

Wien, Juni 2009

Zusammenfassung

In meiner Arbeit wurden dynamische Endstadien von Galaxiensystemen, sog. Fossile Galaxiensysteme untersucht. Sie zeichnen sich durch eine massereiche zentrale Elliptische Galaxie aus, die von deutlich leuchtkraftschwächeren Galaxien umgeben ist. Diese Galaxien sind in einen diffusen, räumlich ausgedehnten Röntgenhalo eingebettet, der auf ein ehemaliges Galaxiensystem schließen lässt.

Insgesamt wurden 49 solcher Systeme untersucht, wobei nur 45 die Definition eines Fossilen Systems erfüllen. Die Auswahl setzt sich aus zwei Katalogen zusammen. Der erste Katalog stellt eine Zusammenfassung aller entdeckten Fossilen Systeme bis 2005 dar, der zweite stammt aus der Suche in der Sloan Digital Sky Survey im Jahre 2007.

Als Erstes wurde die zentrale Elliptische Galaxie nach ihren photometrischen Eigenschaften untersucht. Dies umfasst ein Flächenhelligkeitsprofil, die Elliptizität, den Positionswinkel und die Fourier-Koeffizienten höherer Ordnung der Isophoten, die für die Bestimmung der Form (boxy bzw. diskly) der Elliptischen Galaxie herangezogen wurden. Es zeigt sich eine etwa gleichmäßige Aufteilung zwischen boxy und diskly Elliptischen Galaxien.

Der zweite Teil umfasst die spektrale Analyse der Elliptischen Galaxien. Weniger als die Hälfte aller Elliptischen Galaxien zeigen nukleare Aktivitäten.

Der dritte Schwerpunkt befasst sich mit der Analyse der Umgebung Fossiler Systeme. Bis zu einem Radius von 5 Mpc ausgehend von der zentralen Elliptischen Galaxie wurde nach weiteren Galaxien mit spektral bestimmten Rotverschiebungen gesucht. Dasselbe erfolgte auch für benachbarte Galaxiensysteme. Etwa ein Fünftel aller Fossilen Systeme besitzen weitere Galaxiensysteme in ihrer Umgebung. Weiters ergibt die Umgebungs-Analyse bei zwei Drittel aller Fossilen Systeme mit genügend hoher Anzahl an vorhandenen Galaxien eine filamentartige Struktur. Bei der Untersuchung der Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxien zeigt sich bei fast allen Systemen mit Galaxienfilamenten ein „anti-Holmberg“-Effekt, d.h. die umgebenden Galaxien ordnen sich in der Ebene entlang der großen Halbachse der E-Galaxie an. Dies wurde bereits theoretisch vorausgesagt.

Abstract

In my thesis I have analyzed dynamical endpoints of galaxy systems, so called fossil galaxy systems. They are characterized by a massive central elliptical galaxy, which is surrounded by clearly fainter galaxies. These galaxies are embedded in a diffuse, spatially extended X-ray halo, which gives evidence of a formerly existing galaxy system.

A total number of 49 such systems was examined, where only 45 fulfill the definition of a fossil galaxy system. The sample is described in two catalogues. The first one is a summary of all identified fossil systems until 2005, the second one arises from a search in the Sloan Digital Sky Survey in 2007.

In the first part of the thesis, the photometric properties of the central elliptical galaxy were examined. This includes the surface brightness profile, the ellipticity, the position angle profile and the higher order Fourier coefficients of the isophotes, which were taken for determination of the form (boxy resp. disky) of the elliptical galaxy. The examination shows an equal distribution into boxy and disky elliptical galaxies.

The second part contains the spectral analysis of the elliptical galaxies. Less than half of all elliptical galaxies show nuclear activity.

The third section of the examination covers the analysis of the environment of fossil systems. A search for galaxies with spectroscopic redshifts was performed out to a radius of 5 Mpc from the central elliptical galaxy. The same examination was carried out for surrounding galaxy systems. About one fifth of all fossil systems shows other galaxy systems in their neighborhood. Furthermore, this study points out a filamentary structure for two thirds of all fossil systems with a significant number of galaxies. By examining the orientation of the central elliptical galaxies, I found that almost all systems with galaxies in filaments show an „anti-Holmberg“ effect. That means, the surrounding galaxies lie in a plane along the semi-major axis of the elliptical galaxy. This was already theoretical predicted before.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Kosmologie	1
1.2	Galaxiengruppen und Haufen	3
1.3	Galaxien	5
1.3.1	Morphologie	5
1.3.2	Spektrale Unterscheidungen	6
1.3.3	Morphologische Beschreibung Elliptischer Galaxien	9
2	Fossile Galaxiensysteme	13
2.1	Allgemeines	13
2.2	Definition eines Fossilen Systems	13
2.3	Definition von OLEGs und IOLEGs	15
3	Beobachtungserkenntnisse Fossiler Systeme	17
3.1	Entdeckte Fossile Systeme	17
3.1.1	Kataloge Fossiler Systeme	17
3.1.2	Detailliert untersuchte Fossile Systeme	19
3.1.3	Eigens studierte Fossile Systeme	21
3.2	Eigenschaften der zentralen Elliptischen Galaxie	21
3.2.1	Nukleare Aktivität	23
3.2.2	Morphologie	23
3.2.3	Ausrichtung	25
3.2.4	Isophoten	26
3.3	System-Eigenschaften	26
3.3.1	Größen	26
3.3.2	Leuchtkraftfunktion	27

3.3.3	Skalierungsrelationen	30
3.4	Entstehungsszenarien	30
3.4.1	Altes Standard-Szenario	30
3.4.2	Kein Merging-Vorgang	33
3.4.3	Fossiles System als Substruktur	33
4	Theorie zu Fossilen Systemen	37
4.1	Entstehung und Entwicklung Fossiler Systeme	37
4.2	Entwicklung der zentralen Elliptischen Galaxie	40
5	Datenquellen	45
5.1	SDSS	45
5.2	NED	47
6	Datenauswertung	49
6.1	Photometrische Analyse der zentralen E-Galaxie	49
6.1.1	Berechnung der Helligkeitskalibrationsdaten	49
6.1.2	Photometrische Analyse mit IRAF	50
6.1.3	Boxy- und Diskyness der Elliptischen Galaxie	54
6.1.4	Positionswinkel	55
6.2	Umgebung des Fossilen Systems	55
6.2.1	Berechnung der Entfernung	56
6.2.2	Eingrenzung der Objekte	57
7	Ergebnisse	59
7.1	FS01	60
7.2	FS02	64
7.3	FS03	68
7.4	FS04	72
7.5	FS05	76
7.6	FS06	80
7.7	FS07	84
7.8	FS08	88
7.9	FS09	91

7.10 FS10	95
7.11 FS11	99
7.12 FS12	102
7.13 FS13	106
7.14 FS14	110
7.15 FS15	113
7.16 FS16	117
7.17 FS17	120
7.18 FS18	124
7.19 FS19	128
7.20 FS20	132
7.21 FS21	136
7.22 FS22	139
7.23 FS23	143
7.24 FS24	147
7.25 FS25	150
7.26 FS26	154
7.27 FS27	158
7.28 FS28	161
7.29 FS29	165
7.30 FS30	169
7.31 FS31	173
7.32 FS32	177
7.33 FS33	180
7.34 FS34	184
7.35 FS50	188
7.36 FS51	190
7.37 FS52	192
7.38 FS53	194
7.39 FS54	197
7.40 FS55	201
7.41 FS56	202
7.42 FS57	205

7.43	FS58	208
7.44	FS59	212
7.45	FS60	215
7.46	FS61	218
7.47	FS62	222
7.48	FS63	224
7.49	FS64	226
8	Diskussion	229
8.1	Ergebnisse der photometrischen Analyse	229
8.2	Spektrale Untersuchung	229
8.3	Umgebungsanalyse	232
	Literaturverzeichnis	237
A	SQL-Abfragen in der SDSS	243
A.1	SQL für Rotverschiebung	243
A.2	SQL für Helligkeitskalibration	244
A.3	SQL für Seeing	244
B	Tabellen zu Kapitel Datenauswertung	247
B.1	B4-Parameter	247
B.2	Positionswinkel	247
B.3	Parameter für Umgebungs-Suche	250
C	Auflistung aller Galaxien pro FS	253
C.1	Galaxien zu FS01	253
C.2	Galaxien zu FS03	253
C.3	Galaxien zu FS04	255
C.4	Galaxien zu FS05	255
C.5	Galaxien zu FS06	256
C.6	Galaxien zu FS07	256
C.7	Galaxien zu FS09	257
C.8	Galaxien zu FS10	257
C.9	Galaxien zu FS12	257

C.10 Galaxien zu FS13 258

C.11 Galaxien zu FS15 258

C.12 Galaxien zu FS17 258

C.13 Galaxien zu FS18 258

C.14 Galaxien zu FS19 259

C.15 Galaxien zu FS20 259

C.16 Galaxien zu FS22 260

C.17 Galaxien zu FS23 260

C.18 Galaxien zu FS25 260

C.19 Galaxien zu FS26 261

C.20 Galaxien zu FS28 262

C.21 Galaxien zu FS29 265

C.22 Galaxien zu FS30 266

C.23 Galaxien zu FS31 266

C.24 Galaxien zu FS33 267

C.25 Galaxien zu FS34 267

C.26 Galaxien zu FS50 267

C.27 Galaxien zu FS51 268

C.28 Galaxien zu FS52 268

C.29 Galaxien zu FS53 269

C.30 Galaxien zu FS54 269

C.31 Galaxien zu FS56 271

C.32 Galaxien zu FS57 271

C.33 Galaxien zu FS58 271

C.34 Galaxien zu FS59 272

C.35 Galaxien zu FS60 272

C.36 Galaxien zu FS61 272

C.37 Galaxien zu FS62 275

C.38 Galaxien zu FS63 275

D Liste der Abkürzungen

Kapitel 1

Einführung

1.1 Kosmologie

Das derzeit gültige Standardmodell der Kosmologie, das kalte Dunkle Materie-Modell (Λ CDM¹), beschreibt eine hierarchische Strukturbildung („bottom-up“ Szenario), d. h. zuerst haben sich kleine *Halos*² gebildet und erst durch das Verschmelzen mehrerer kleinerer Aggregate bildeten sich größere Halos. Die Ansammlung dieser massereicheren Gebilde führte zur Ausbildung großräumiger Strukturen (siehe Abbildung 1.4). Man nimmt an, dass in diesen Regionen, die durch große Dichte von Dunkler Materie (DM) charakterisiert sind, die Bildung von Galaxien stattfand.

Die folgenden vier Abbildungen stammen aus der Millennium Simulation, einer der größten Computersimulationen über das Wachstum kosmischer Strukturen, durchgeführt von einer internationalen Gruppe namens Virgo-Konsortium [Springel et al., 2005]. Sie zeigen die Verteilung der Dunklen Materie zu verschiedenen Rotverschiebungen z und dem dazugehörigen Weltalter t vom Urknall ($t = 0$ Jahre) ausgehend.

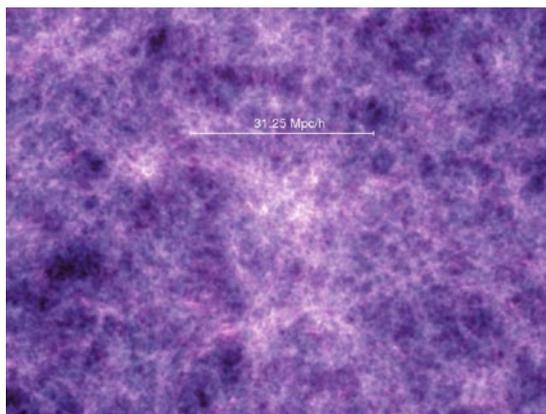


Abbildung 1.1: Die Verteilung der Dunklen Materie in der Millennium Simulation [Springel et al., 2005] bei $z = 18.3$, $t = 0.21$ Mrd. Jahre.

¹Cold Dark Matter, mit $\Lambda \neq 0$

²Unter einem Halo versteht man einen annähernd sphärischen Bereich aus dunkler Materie.

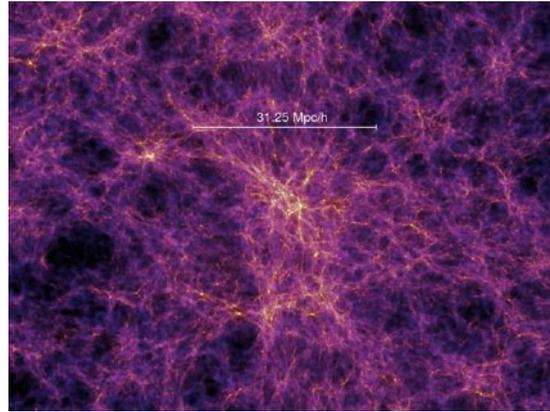


Abbildung 1.2: Die Verteilung der Dunklen Materie in der Millennium Simulation [Springel et al., 2005] bei $z = 5.7$, $t = 1.0$ Mrd. Jahre.

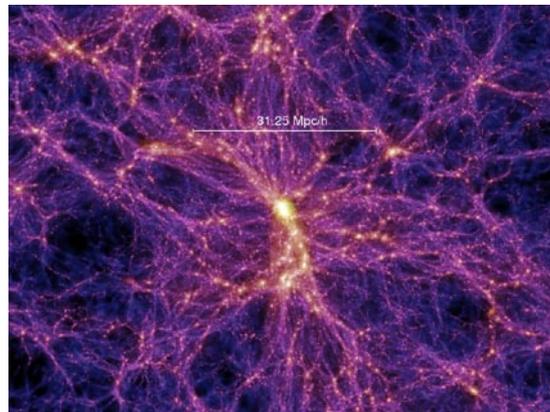


Abbildung 1.3: Die Verteilung der Dunklen Materie in der Millennium Simulation [Springel et al., 2005] bei $z = 1.4$, $t = 4.7$ Mrd. Jahre.

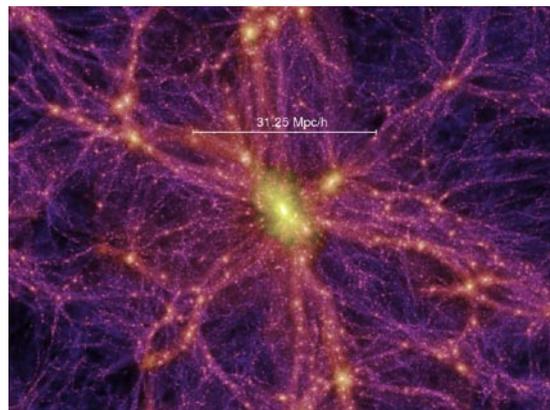


Abbildung 1.4: Die Verteilung der Dunklen Materie in der Millennium Simulation [Springel et al., 2005] bei $z = 0$, $t = 13.6$ Mrd. Jahre.

Tabelle 1.1: Charakteristische Werte für Galaxiengruppen und Haufen

	Gruppe	Haufen
Durchmesser D	1.5 Mpc	10 Mpc
Anzahl der Mitglieder N	< 50	> 50
Geschwindigkeitsdispersion σ	300 km s ⁻¹	1000 km s ⁻¹
Dichte gegenüber Feld	20 x	10 ⁶ x
Masse M	10 ¹³ M _⊙	10 ¹⁵ M _⊙
Masse-zu-Leuchtkraft-Verhältnis M/L_B	50 M _⊙ /L _⊙	300 M _⊙ /L _⊙
Röntgenleuchtkraft L_X	10 ⁴³ erg s ⁻¹	10 ⁴⁵ erg s ⁻¹
Temperatur des heißen Gases T_g	10 ⁷ K	10 ⁸ K

Zum aktuellen Stand der Forschung [Hinshaw et al., 2009] besteht unser Universum aus ~ 73 % Dunkler Energie (Vakuumsenergie) Ω_Λ und ~ 27 % Materie Ω_m . Letztere teilt sich auf in ~ 4 % baryonische Materie Ω_b und ~ 23 % Dunkle Materie, beide sind durch ihre gravitative Wirkung nachweisbar. Die Hubble-Konstante H_0 (geeigneter Bezeichnung ist Hubble-Parameter) gibt die Expansionsrate des Weltalls zum heutigen Zeitpunkt an. Ihr Wert liegt derzeit bei etwa 71 km s⁻¹ Mpc⁻¹. Zur einfacheren Schreibweise wird der dimensionslose Hubble-Parameter z_B wie folgt definiert

$$h_{70} = \frac{H_0}{70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}} \quad (1.1)$$

Die Beobachtung und Entwicklung von Galaxien, also der leuchtenden Materie, sind wichtige Indikatoren zur Überprüfung, Weiterentwicklung bzw. Widerlegung der theoretischen kosmologischen Modelle, da sie Rückschlüsse auf die Dunkle Materie geben.

1.2 Galaxiengruppen und Haufen

Galaxien werden einerseits nach ihrem morphologischen Typ (s. Unterabschn. 1.3.1), als auch nach ihrem Umfeld unterschieden. Ca. 70 % aller Galaxien befinden sich nicht isoliert im Raum, sondern sind Mitglied einer Galaxiengruppe oder eines Galaxienhaufens (*Clusters*), das sind gravitativ gebundene Strukturen, die sich nur durch ihre Größe aufgrund der Mitglieder-Anzahl unterscheiden (siehe Tabelle 1.1 für typische Werte). Dabei gibt es keine strenge Unterteilung, sondern eher einen fließenden Übergang.

Low- und high-density environment sind Begriffe für die Galaxiendichte, die Trennung zwischen dünnem und dichtem Umfeld liegt bei ca. einer Galaxie pro Mpc³. Low-density environments findet man in den Außenbereichen von Gruppen und Haufen im Gegensatz zu den Zentren von Clustern, die als high-density environments gelten.

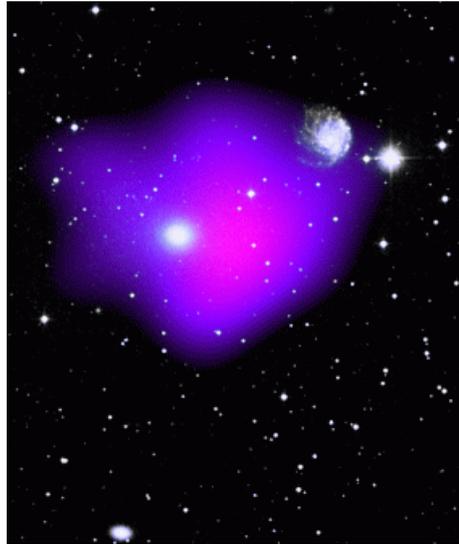


Abbildung 1.5: NGC 2300: Die diffuse Röntgenemission der Galaxiengruppe ist in Farbe dargestellt (Quelle: ROSAT), die Galaxien in weiß (Quelle: HST).

Ein weiteres Indiz für das gemeinsame Gravitations-Potenzial einer Gruppe bzw. eines Haufens neben der Entfernungsbestimmung der Mitglieds-Galaxien ist die räumlich diffus verteilte Röntgenemission (siehe Abbildung 1.5). Diese thermische Bremsstrahlung wird durch sehr dünnes ($n \sim 10^{-3}$ Atome cm^{-3}) und heißes ($T \sim 10^7$ bis 10^8 K bzw. ~ 1 bis 10 keV) intergalaktisches Gas emittiert. Sie stammt von Streuprozessen zwischen beschleunigten Elektronen und Protonen im ionisierten Gas.

Galaxiengruppen werden in drei Kategorien unterteilt:

Lose Gruppen: Das sind zB Galaxienpaare, Triplets oder Multiplets.

Kompakte Galaxiengruppen: Das sind Gruppen mit meist wenigen Galaxien, die allerdings Dichten vergleichbar mit Galaxienhaufen aufweisen (Faktor 10^6 gegenüber der Umgebung).

Hickson [1982] definiert eine HCG (Hickson Compact Group) wie folgt :

- Anzahl der Mitglieder $N \geq 4$
- innerhalb eines Helligkeits-Intervalls von drei Magnituden
- mit einer durchschnittlichen Flächenhelligkeit im G-Filter der Gruppe μ_G heller als $26 \text{ mag arcsec}^{-2}$

Fossile Galaxiengruppen: Darunter versteht man das dynamische Endstadium einer Galaxiengruppe. Man nimmt an, dass die massereichsten Galaxien einer Gruppe zu einer großen Elliptischen Galaxie verschmelzen. Hinweise auf das Bestehen einer ehemaligen Gruppe bieten der diffuse Röntgenhalo und eine Zwerggalaxienpopulation um die zentrale Elliptische Galaxie. Der Begriff „Fossile Galaxiengruppe“ wird in der Literatur auch für Systeme verwendet,

die eher Clustern entsprechen als Gruppen. Der korrekte Begriff lautet „Fossile Systeme“ und beinhaltet sowohl Fossile Gruppen als auch Fossile Cluster. Auf diese Objektart wird in Kapitel 2 genauer eingegangen.

Die vergleichsweise geringe Geschwindigkeitsdispersion in Gruppen bietet im Gegensatz zu Haufen mit höheren Geschwindigkeitsdispersionen ein besseres Umfeld für die effektive, da längerfristige Wirkung von Gezeitenkräften zwischen Galaxien, die sich nähern oder sogar kollidieren. Die dabei auftretende differentielle Gravitation führt zur Ausbildung von Gezeiten-Armen, -Brücken oder im Falle des „Zusammenstoßes“ sogar zur Veränderung des morphologischen Typs (zB Ringgalaxien). Bei HCG zeigen 40 % aller Galaxien Anzeichen von Wechselwirkungen! In weiterer Folge ist es möglich, dass Galaxien durch Drehimpulsverlust immer weiter ins Zentrum einer Gruppe spiralen, bis sie schließlich verschmelzen. Bei diesem Wechselwirkungsprozess kann durch die Mischung des interstellaren Gases neue Sternentstehung induziert werden. Als Abschluss des *Mergings* (Verschmelzungsvorganges) zeigen Simulationsvoraussagen eine morphologische Transformation, zB dass aus zwei Spiralgalaxien eine Elliptische Galaxie entsteht, die nach ca. vier Mrd. Jahren keine Merging-Signaturen (zB zwei Kerne oder Schalen) mehr aufweist.

1.3 Galaxien

1.3.1 Morphologie

Einfach betrachtet gibt es nur drei Arten von Galaxien: Elliptische Galaxien E, Scheibengalaxien S und Irreguläre Galaxien Irr. Bei den Scheibengalaxien unterscheidet man einerseits nach dem Vorhandensein von Spiralarmen („spirallose“ erhalten den Zusatz 0) und andererseits nach dem Vorkommen eines Balkens B. Je nach Stärke der Elliptizität bzw. Bulge zu Scheibe-Helligkeitsverhältnis wird mit aufsteigenden Zahlen bzw. Kleinbuchstaben abgestuft. Historisch bedingt bezeichnet man die Galaxien auf der linken Seite des Hubble'schen Stimmgabeldiagramms als frühe morphologische Typen und jene der rechten Seite als späte. Kormendy und Bender [1996] änderten das klassische Hubble-Diagramm ab, indem sie die physikalischen Unterschiede bei Elliptischen Galaxien - morphologisch durch kastenartige (*boxy*) bzw. scheibenartige (*disky*) Formen unterscheidbar - in das Diagramm aufnahmen, siehe Abbildung 1.6. Auf die genaue morphologische Beschreibung Elliptischer Galaxien wird in Unterabschnitt 1.3.3 eingegangen.

In der vorliegenden Arbeit werden die Elliptischen Galaxien genauer betrachtet. Je nach ihrer Leuchtkraft und Größe unterscheidet man mehrere verschiedene Arten, drei seien hier erwähnt:

1. **Normale Elliptische Galaxien** weisen absolute Helligkeiten im Bereich von -16 bis -23 mag im B-Band auf.
2. Die **Elliptischen Zwerggalaxien** dE mit typischen absoluten Helligkeiten von $M_B \leq -18$ mag sind genau genommen keine „kleinen“ Elliptischen Galaxien, sondern weisen andere Eigenschaften auf, zB skalieren Leuchtkraft und

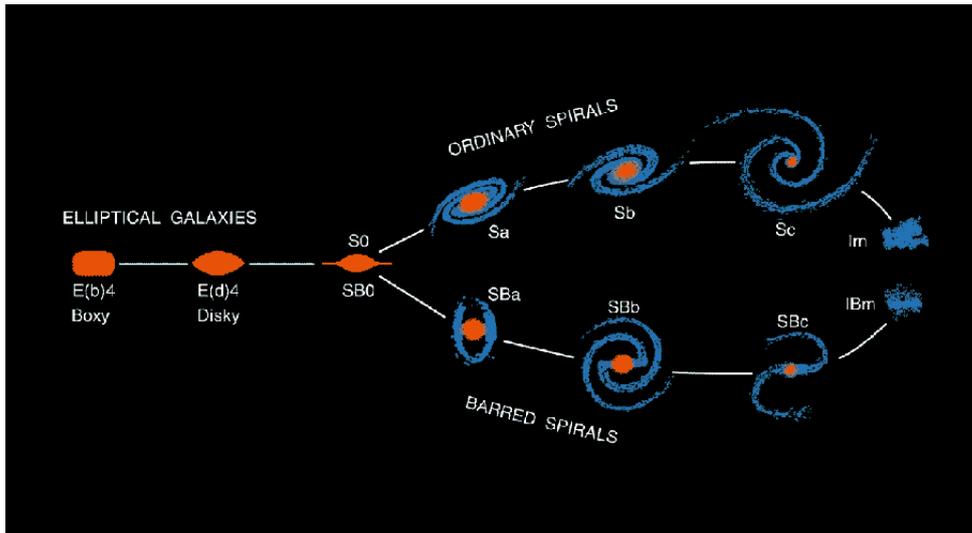


Abbildung 1.6: Das von Kormendy und Bender [1996] revidierte Hubbel'sche Stimmgabeldiagramm: Elliptische Galaxien werden wie bisher nach ihrem Achsenverhältnis mit Zahlen versehen und zusätzlich nach ihrer Form - boxy (kastenartig) bzw. diskly (scheibenartig) - unterschieden.

Flächenhelligkeit anders. Bei den Zwergellipsen nimmt die zentrale Flächenhelligkeit mit ansteigender Leuchtkraft zu, während sie bei den normalen Ellipsen abnimmt.

3. Eine weitere Gattung ist als **D-Galaxien** bekannt. Sie besitzen einen hellen, ellipsenförmigen Kern mit einer weit ausgedehnten diffusen Hülle. Ihre Helligkeit fällt nach außen langsamer ab als bei E-Galaxien. Die Riesen unter ihnen werden als cD-Galaxien bezeichnet. Das sind extrem leuchtkräftige (bis ca. $M_B \sim -25$ mag) Galaxien, die man in den Zentren vieler Galaxienhaufen findet.

1.3.2 Spektrale Unterscheidungen

Infrarotgalaxien IRG werden als solche bezeichnet, wenn die Strahlung der Galaxie hauptsächlich aus dem Spektralbereich von ca. 5 bis 500 μm stammt bzw. die Leuchtkraft im Infraroten größer als im Blauen ist. Die Infrarotstrahlung wird durch die thermische Emission des warmen Staubs verursacht, der durch die Strahlung der Sterne aufgeheizt wurde. Dies ist ein Indiz für Sternentstehung in einer Galaxie. Im nahen Infrarot wurden zB zwei Kerne in geringem Abstand beobachtet, die auf das Verschmelzen von zwei Galaxien und der damit verbundenen Sternentstehungsrate hinweisen.

Große Elliptische Galaxien zeigen **Röntgenemission**, die durch ihr interstellares heißes, ionisiertes Gas mit Temperaturen von $\sim 10^7$ K verursacht wird. Verschiedene Heizmechanismen sind für hohe Gastemperaturen verantwortlich:

1. Aktive Galaxienkerne AGNs heizen ihre Umgebung auf.
2. Galaktische Winde von Supernovaexplosionen sind die zweiteffektivste Methode.
3. Sternbewegung: Sterne bewegen sich mit relativ hohen Geschwindigkeiten bis zu 360 km s^{-1} durch ihre Galaxie. Dabei wird das umgebende Gas durch kinetische Energie in thermische Energie umgewandelt.
4. Gaseinfall in das Zentrum einer Galaxie führt ebenfalls zur Aufheizung, da hier die freiwerdende Gravitationsenergie in Wärmeenergie umgesetzt wird.
5. Diskrete stellare Quellen: zB Röntgendoppelsterne

Beiträge von aktiven Galaxienkernen AGN (siehe unten) können teilweise durch die Unterscheidung zwischen weicher (0.5 bis 2 keV) und harter (2 bis 10 keV) Röntgenemission ausgeschlossen werden, da AGNs harte Röntgenstrahler sind während die Emission des heißen Galaxiengases dem weichen Bereich zuzuordnen ist.

Der Röntgenhalo einer Galaxiengruppe bzw. eines Clusters (siehe Abschnitt 1.2) wird ebenso durch die oben erwähnten Heizmechanismen bestimmt. Zusätzlich leisten Reibungsprozesse durch die Bewegung der Galaxien im intergalaktischen Gas einen weiteren Beitrag. Bei Mergingprozessen handelt es sich um die energiereichsten Heizprozesse im intergalaktischen Medium, da dabei entstehende Schockwellen das Gas effektiv komprimieren und mischen.

Radiogalaxien haben - wie der Name sagt - eine stärkere Radiostrahlung als im optischen Bereich. Zu diesen starken Radioquellen zählen hauptsächlich die großen Elliptischen Galaxien. Das nichtthermische Spektrum und die Polarisation lassen auf Synchrotronstrahlung schließen, verursacht durch relativistisch beschleunigte Elektronen (Energie $\sim 10^9 \text{ keV}$) im interstellaren Magnetfeld. Siehe als Beispiel die nächste, in einer Entfernung von 5 Mpc liegende Radiogalaxie Centaurus A in Abbildung 1.7.

Bei galaktischer Aktivität unterscheidet man zwei Arten:

1. Ein **aktiver Galaktischer Kern** zeigt nichtthermische Strahlungsprozesse und hochenergetische Phänomene, die durch die Gravitation in der Nähe eines massiven Schwarzen Lochs im Galaxienzentrum verursacht werden. Schwarze Löcher akkretieren Materie, die sie in Form von Jets wieder ausstoßen (siehe Abbildung 1.7 im Röntgen- und Radiobereich).
2. **Starburst**-Aktivität im Zentralbereich einer Galaxie ist verstärkte Sternentstehung, als Ursache von Gezeitenwechselwirkungen sich begegnender Galaxien.

Die Trennung ist nicht eindeutig, da die beiden Arten ähnliche Eigenschaften aufweisen. Im mittleren Infrarot hat man eine Unterscheidungsmöglichkeit gefunden: Bei AGN zeigen sich im Spektrum verbotene Emissionslinien hochionisierter Atome

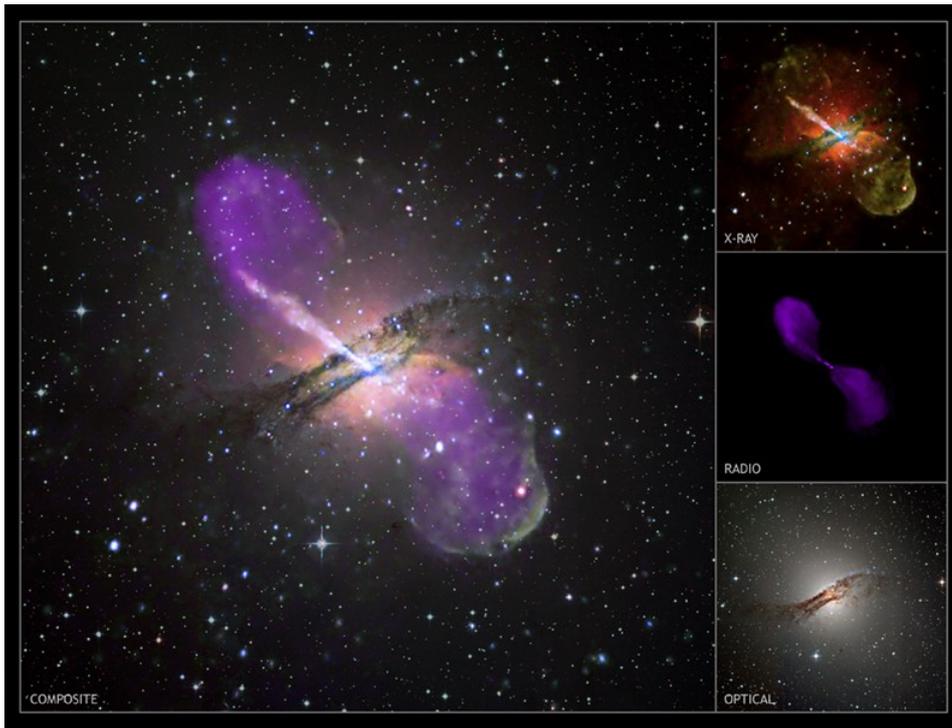


Abbildung 1.7: Centaurus A, eine aktive Galaxie: Im Optischen erkennt man eine Elliptische Riesengalaxie mit einem deutlichen Staubband (kl. Bild rechts unten), im Röntgenbereich (rechts oben) existiert fast senkrecht zum Staubband ein Jet, als Folge eines massiven Schwarzen Lochs im Zentrum der Galaxie. Die Radiostrahlung (mittleres Bild rechts) zeigt den symmetrischen Jet aus hochenergetischen Teilchen noch deutlicher. Die Akkretion einer gasreichen Zwerggalaxie vor einigen Mio. Jahren ist vermutlich die Ursache für das heutige Aussehen von Cen A. (Quelle: <http://zuserver2.star.ucl.ac.uk/~idh/apod/ap080110.html>)

wie zB [Ne V] bei $14.32 \mu\text{m}$, [Ne VI] bei $7.65 \mu\text{m}$ oder [Si IX] bei $3.94 \mu\text{m}$, die bei Sternentstehungsgebieten fehlen. Dort findet man zB nur [Ne II]-Linien bei einer Wellenlänge von $12.82 \mu\text{m}$.

Alle folgenden Objekte sind verschiedene Ausprägungen von aktiven Galaxienkernen. Sie unterscheiden sich einerseits durch den Sichtwinkel, unter dem man den AGN sieht und andererseits durch die zeitliche Entwicklung des AGNs.

Quasare (Quasistellare Objekte) sind Galaxien (fälschlicherweise früher als Sterne identifiziert), die im Optischen blau sind, kompakte Strukturen und hohe Flächenhelligkeiten aufweisen. Man unterscheidet, ob sie Radiostrahlung emittieren (*radio-loud*) oder nicht (*radio-quiet*). Diese Objekte zeigen ein Maximum ihres Vorkommens in einem Rotverschiebungsbereich von $2 \leq z \leq 4$. Im optischen bzw. IR-Bereich erkennt man doppelte Kerne und Verformungen. Nur 10 % aller Quasare sind radio-loud, die optischen Pendanten dazu sind Elliptische Galaxien. Bei den restlichen 90 % ohne Radiostrahlung handelt es sich sowohl um Spiral- als auch E-Galaxien.

BL Lacertae-Objekte sind eng verwandt mit radio-lauten Quasaren, allerdings

zeigen sie keine Emissionslinien, da der Blickwinkel direkt auf die Jet-Achse eines AGNs fällt. Die Bestimmung ihrer Rotverschiebung ist daher nur indirekt durch Absorptionslinien von Objekten im Beobachtungsvordergrund möglich. Bei diesen Objekten handelt es sich um Elliptische Galaxien mit einem extrem hellen, variablen Kern. Die Helligkeitsschwankungen sind stark irregulär und größer als 1 mag in allen Wellenlängenbereichen. Das Kontinuum folgt größtenteils dem Potenzgesetz des AGNs.

Seyfert-Galaxien sind Spiralgalaxien mit leuchtkräftigen aktiven Galaxienkernen, die viele Emissionslinien aufweisen. Man unterscheidet je nach Sichtwinkel zwei Typen:

1. Sy 1: Direkte Sicht auf den AGN, der Blickwinkel auf die Jet-Achse ist kleiner als 20° . Verbotene und erlaubte Linien haben unterschiedliche Breiten. Die verbotenen Linien sind deutlich schmaler als die erlaubten. Sie sind starke Röntgenstrahler.
2. Sy 2: Sicht auf den Staubtorus vor dem AGN, der Blickwinkel ist hier größer als 20° . Verbotene und erlaubte Linien haben dieselbe Breite.

Die Infrarot-Strahlung von Seyfert-Galaxien ist mit ihrer optischen vergleichbar, im Radiobereich zeigen sie sich kompakt mit nichtthermischer Synchrotronstrahlung. Die Seyfert-Kerne strahlen variabel in allen Spektralbereichen mit Amplituden von 0.2 bis 1 mag.

Unter **LINER** (low ionization nuclear emission-line regions) versteht man Emissionsgebiete aus Galaxienkernen meist von Spiralgalaxien, die schwache Emissionslinien mit folgender Charakteristik aufweisen: Die $H\alpha$ -Linie hat breite Flügel und die benachbarte $[N II]$ -Linie bei der Wellenlänge λ von 658 nm tritt mit vergleichbarer Stärke auf. Hier handelt es sich vermutlich um die „schwache“ Version von Seyfert-Galaxien.

1.3.3 Morphologische Beschreibung Elliptischer Galaxien

Im Gegensatz zu gasreichen Galaxien wie zB Spiralgalaxien besitzen Elliptische Galaxien in der Regel keine Staubkomponente. Ihre Helligkeitsverteilung, die ihre morphologische Struktur beschreibt, ist daher mathematisch charakterisierbar. Die Isophoten³ in Elliptischen Galaxien können sehr gut durch Ellipsen angenähert werden. Die Elliptizität kann mit steigendem Radius vom Zentrum weg variieren. Man beobachtet sehr oft eine Isophoten-Drehung, das bedeutet, die Orientierung der großen Halbachse der Isophoten ändert sich mit dem Radius. Dies ist ein Anzeichen für die triaxiale Form von Elliptischen Galaxien und widerlegt die frühere Annahme von rein rotationsabgeplatteten Sternsystemen.

Betrachtet man den radialen Flächenhelligkeitsabfall, so ist dieser ebenfalls mathematisch parametrisierbar, die wichtigste analytische Beschreibung stellt das $r^{1/4}$ Profil von de Vaucouleurs [1948] dar.

³Unter Isophoten versteht man Kurven konstanter Flächenhelligkeit.

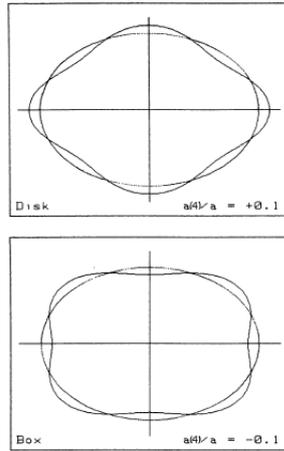


FIGURE 5. — Schematic drawing illustrating isophotes with $a(4)/a = +0.1$ and $a(4)/a = -0.1$.

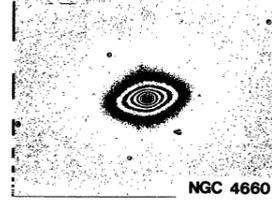


FIGURE 6. — R-image of NGC 4660, an elliptical galaxy with a disk-component in the isophotes ($a(4)/a \sim +0.03$).

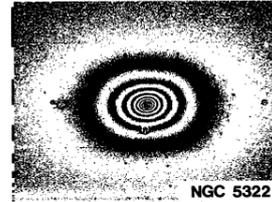


FIGURE 7. — R-image of NGC 5322, an elliptical galaxy with box-shaped isophotes ($a(4)/a \sim -0.01$).

Abbildung 1.8: Isophoten Elliptischer Galaxien von Bender et al. [1988]. Links sind die Abweichungen der Isophoten von einer optimalen Ellipse dargestellt, rechts jeweils eine Galaxie als Beispiel für diskly (oben) und boxy Isophoten (unten).

Bei vielen Elliptischen Galaxien existieren Abweichungen von der optimalen Form einer Ellipse. Wählt man ein sphärisches Koordinatensystem zur Beschreibung, können die Abweichungen der Isophotenform in eine Taylor-Reihe entwickelt werden. Der dabei auftretende Parameter a_4 gibt die Abweichung von der idealen Ellipse an. Ist a_4 positiv, so zeigen die Isophoten Lichtüberschüsse entlang der großen und kleinen Halbachsen und die Galaxie wirkt scheibenartig (diskly), siehe die oberen zwei Bilder in Abbildung 1.8. Andererseits, wenn $a_4 < 0$, so existiert ein Lichtmangel entlang der Halbachsen und die Elliptische Galaxie zeigt eine kastenartige Form (boxy), vergl. die unteren zwei Bilder in Abbildung 1.8.

Ca. 70% der Elliptischen Galaxien sind diskly, nur 30 % boxy.

Folgende Korrelationen des Parameters a_4 mit verschiedenen Eigenschaften haben Kormendy und Djorgovski [1989] gefunden (siehe Abbildung 1.9):

1. Aus dem Diagramm links oben in Abbildung 1.9 wird geschlossen, dass bei diskly Galaxien die Rotation formgebender ist als bei boxy. Die geordnete Bewegung wird durch die Rotationsgeschwindigkeit V beschrieben, die ungeordnete durch die Geschwindigkeitsdispersion σ . Während bei den diskly Ellipsen die geordnete Bewegungskomponente dominiert, überwiegen bei den boxy Ellipsen die ungeordneten Bewegungskomponenten, die sowohl isotrop als auch anisotrop sein können.
2. Die Elliptizität nimmt bei Galaxien mit diskly Isophoten deutlich höhere Werte an als bei boxy.
3. Das Masse-zu-Leuchkraft-Verhältnis ist bei boxy Galaxien größer als bei diskly.

4. Die auffälligste Korrelation zeigt sich in der Radiostrahlung. Disky Ellipsen sind schwache Radiostrahler, hingegen zeigen boxy Ellipsen eine breite Verteilung in der Radioleuchtkraft (siehe Diagramm rechts unten in Abbildung 1.9). Dasselbe gilt auch bei der Röntgenstrahlung.

Boxy Galaxien zeigen auch oft Kernregionen, die sich entkoppelt von der allgemeinen Rotationsrichtung bewegen. Dabei unterscheidet man photometrisch und kinematisch entkoppelte Sternregionen. Erstere werden aus photometrischen Flächenhelligkeitsanalysen abgeleitet, hingegen können kinematisch entkoppelte Regionen nur aus spektralen Untersuchungen bestimmt werden.

Eine weitere Besonderheit stellen Schalenstrukturen dar. Diese sogenannten Feinstrukturen in Form von elliptischen Bögen befinden sich in den äußeren Bereichen einer Galaxie und sind durch Lichtüberschüsse im Flächenhelligkeitsprofil auffindbar. Hierbei handelt es sich wahrscheinlich um den stellaren Überrest einer akkretierten Zwerggalaxie, da die Farbe der Feinstrukturen alter Sternpopulationen entspricht. Sie existieren bei ca. 40 % aller Elliptischen Galaxien.

Boxy Isophoten, Schalenstrukturen und das verstärkte Auftreten von Radio- bzw. Röntgenstrahlung lassen auf einen abgeschlossenen Verschmelzungsprozess zweier oder mehreren Galaxien schließen.

Aus theoretischen Vorhersagen mit Computersimulationen hat man festgestellt, dass eine Verschmelzung aus gasreichen Scheibengalaxien zu diskly Isophoten in der entstehenden Elliptischen Galaxie führt (*wet merger*), hingegen produzieren gasarme E-Vorgänger bei einem *dry merger* einen boxy Überrest, unabhängig von ihren Massenverhältnissen. Boxy Ellipsen können jedoch auch durch zwei Scheibengalaxien mit vergleichbaren Massen entstehen, hingegen bilden sich diskly Formen nur bei Galaxien mit ungleich hohen Massen, gemäß Khochfar und Burkert [2005].

Die allgemeinen Informationen des 1. Kapitels sind teilweise aus Unsöld und Baschek [1999] und Schneider [2006] entnommen.

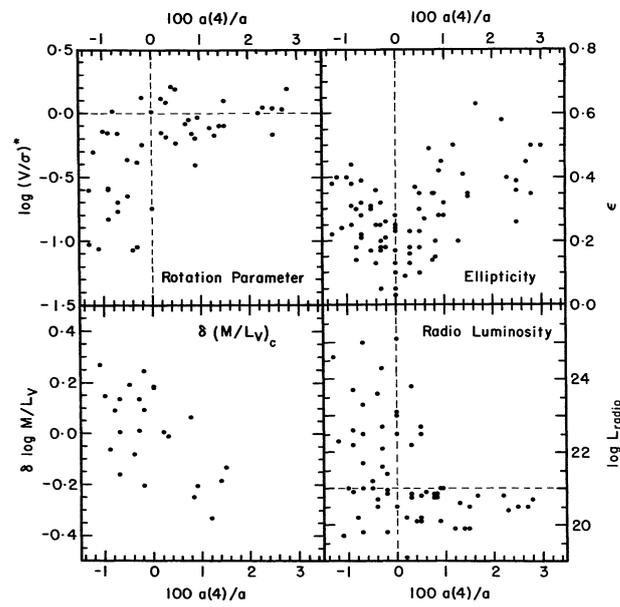


Abbildung 1.9: Korrelation von a_4/a mit verschiedenen Eigenschaften Elliptischer Galaxien [Kormendy und Djorgovski, 1989]: Rotationsparameter (oben links), Elliptizität (oben rechts), Abweichungen von der mittleren Masse-zu-Leuchtkraft-Relation (unten links), Radioleuchtkraft bei 1.4 GHz (unten rechts).

Kapitel 2

Fossile Galaxiensysteme

2.1 Allgemeines

Als Fossile Galaxiengruppe (FG) bzw. Fossiles Galaxiensystem (FS) bezeichnet man eine sehr leuchtkräftige Elliptische Galaxie, die in einen diffusen Röntgenhalo eingebettet ist, siehe als Beispiel in Abbildung 2.1 die erste entdeckte FG von Ponman et al. [1994].

Es handelt sich dabei vermutlich um das Endstadium eines Merging-Vorganges in einer Galaxiengruppe, bei dem die massereichsten Galaxien bereits zu einer zentralen Elliptischen Galaxie verschmolzen sind und der ausgedehnte Röntgenhalo als letzter Hinweis auf eine ehemalige Gruppe verblieben ist, da das heiße intergalaktische Gas aufgrund seiner geringen Dichten kaum kühlen kann und daher über längere Zeiträume als Röntgenemission detektierbar bleibt. Im Gegensatz zu isolierten Feld-Elliptischen Galaxien befinden sich im Halo der FG leuchtschwächere Mitglieder zur zentralen Elliptischen Galaxie (siehe Abbildung 2.2).

2.2 Definition eines Fossilen Systems

Definition eines Fossilen Systems nach Jones et al. [2003]:

- Eine räumlich ausgedehnte Röntgenquelle mit einer Röntgenleuchtkraft des diffusen, heißen Gases von $L_{X,\text{bol}} \geq 10^{42} h_{50}^{-2} \text{ erg s}^{-1}$.
- Das optische Pendant ist ein gravitativ gebundenes System aus Galaxien, wobei die Differenz zwischen der hellsten und der zweithellsten Galaxie im R-Band mindestens zwei Magnituden beträgt ($\Delta m_{12} \geq 2.0 \text{ mag}$) innerhalb des halben (projizierten) Virialradius r_{vir} .

Der Virialradius ist jener Radius, innerhalb dessen die Materie eines Galaxiensystems virialisiert ist, d.h. sich im energetischen Gleichgewicht befindet. Er entspricht in etwa dem R_{200} . Das ist der Überdichte-Radius innerhalb dessen

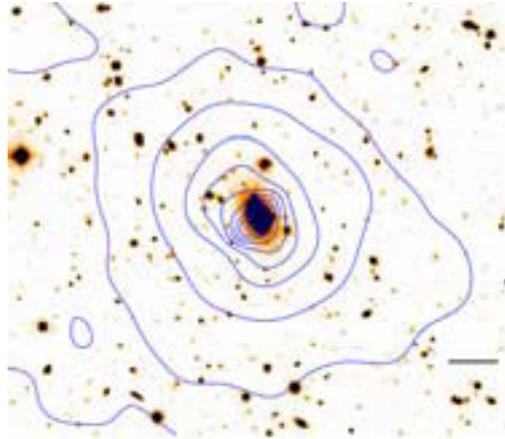


Abbildung 2.1: Die Fossile Galaxiengruppe RX J1340.6+4018: Die blauen Konturen zeigen die weiche (0.3 - 1.0 keV) diffuse Röntgenstrahlung aus Chandra-Beobachtungen, die optische Aufnahme im R-Band ist in schwarz-oranger dargestellt [Khosroshahi et al., 2007].

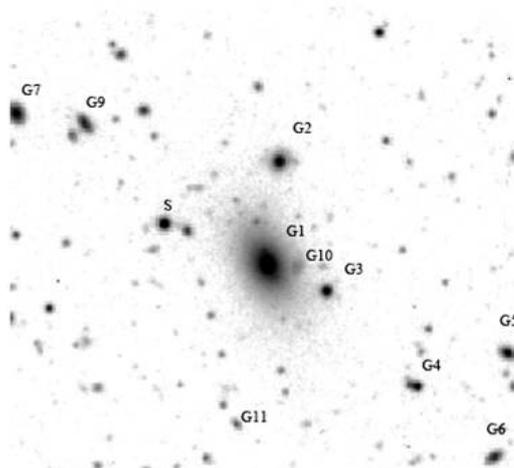


Abbildung 2.2: Die Mitglieder der Fossilen Galaxiengruppe RX J1340.6+4018 aufgenommen im R-Band: Die Galaxien G2, G3 und G5 weisen vergleichbare Rotverschiebungen auf wie die zentrale Elliptische Galaxie G1. G7 und G9 sind Hintergrund-Galaxien. Die Rotverschiebung der schwachen blauen Galaxie G10 ist unbekannt. Ein Stern ist mit S markiert [Jones et al., 2000].

die mittlere Dichte des Systems 200-fach so groß ist, wie die kritische Dichte des Universums.

Diese Definition begründet sich wie folgt:

- Das untere Limit in der Röntgenleuchtkraft wurde so gewählt, um die meisten normalen Galaxien auszuschließen.
- Das Magnituden-Limit versichert, dass die hellste Galaxie das System dominiert.
- Der halbe Virialradius wird verwendet, da er ca. dem Radius entspricht, in dem M^* Galaxien¹ durch dynamische Reibung Bahnenergie verlieren und innerhalb Hubble-Zeit ins Zentrum spiralen.

2.3 Definition von OLEGs und IOLEGS

In der Literatur gibt es zwei weitere Definitionen von sehr leuchtkräftigen Elliptischen Galaxien mit Röntgenhalos, die sich nach genauerer Untersuchung größtenteils als FG herausgestellt haben:

1. OLEGs (X-ray overluminous elliptical galaxies) bezeichnen Vikhlinin et al. [1999] als isolierte, im Röntgenbereich überleuchtkräftige Elliptische Galaxien wenn

- $L_X \geq 10^{43} (h/0.5)^{-2} \text{ erg s}^{-1}$ und
- $M_R < -22.5 + 5 \log h$.

Sie haben vier solche Systeme gefunden, die in ihren Röntgeneigenschaften kleinen Clustern entsprechen und deren Elliptische Galaxien mit cD-Galaxien in Zentren von Haufen vergleichbar sind.

2. IOLEGs (isolated X-ray overluminous elliptical galaxies) werden von Yoshioka et al. [2004] definiert wie folgt:

- Ausdehnung der Röntgenemission über 200 kpc vom Galaxienzentrum ausgehend.
- Die Röntgenleuchtkraft im 0.1 - 2.4 keV-Band übersteigt $2 \times 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$.
- Die Magnitudendifferenz innerhalb des Bereichs der Röntgenemission entspricht $\Delta m_{12} \geq 2.5 \text{ mag}$ im B-Band.
- Das System liegt außerhalb des nächsten Röntgenhalos einer anderen Gruppe bzw. eines anderen Clusters.

¹Siehe Unterabschnitt 3.3.2.

Kapitel 3

Beobachtungserkenntnisse Fossiler Systeme

3.1 Entdeckte Fossile Systeme

3.1.1 Kataloge Fossiler Systeme

Die erste Suche nach einem Fossilen Galaxiensystem führten Ponman et al. [1994] durch. In einem ROSAT-Durchmusterungstreifen von 4° entlang des Nordpols wurde nach signifikanten ausgedehnten Quellen gesucht und diese mit Aufnahmen auf den Palomar Sky Survey Platten verglichen. Als Ergebnis erhielten sie einen Kandidaten RX J1340.6+4018, in Übereinstimmung mit einer isolierten Elliptischen Galaxie.

Mulchaey und Zabludoff [1999] erstellten zuerst einen Katalog über nahe isolierte Elliptische Galaxien, indem keine weitere bekannte Galaxie innerhalb eines projizierten Radius von $1 h_{100}^{-1}$ Mpc und einem Geschwindigkeitsbereich von $\pm 2000 \text{ km s}^{-1}$ vorhanden sein durfte. Danach wurde die Isolation nochmals durch eigene Aufnahmen überprüft, keine M^* Galaxien innerhalb eines $\sim 200 h_{100}^{-1}$ kpc Radius waren erlaubt. Sechs der wie oben studierten Galaxien waren auch im ROSAT-Katalog vorhanden. Für eine dieser isolierten Galaxien NGC 1132 erfolgte eine Detailstudie.

Vier OLEGs wurden in einer 160 Quadratgrad ROSAT-Durchmusterung gemäß den Definitionskriterien in Abschnitt 2.3 von Vikhlinin et al. [1999] entdeckt, wobei eine dieser Galaxien jener von Ponman et al. [1994] identifizierten Fossilen Gruppe entspricht.

Drei Kandidaten für Fossile Systeme fanden Romer et al. [2000] bei der Suche in ihrer Bright SHARC Survey, die 374 signifikante ausgedehnte ROSAT-Röntgenquellen in einem Bereich von 178.6 Quadratgrad enthält. Mit einer nachfolgenden optischen Untersuchung identifizierten sie 37 Galaxienhaufen. Aufgrund der optischen Isolation des Clusters und der leuchtkräftigen Elliptischen Galaxie erwähnen sie RX J1730.6 (NGC 6414), RX J0327.9 (UGC 2748) und RX J0321.9 (A 3120) als FS-Kandidaten.

Jones et al. [2003] fanden fünf neue Fossile Systeme durch die Suche nach räumlich ausgedehnten, signifikanten Röntgenquellen in der Wide Angle ROSAT Point Survey. Gemäß ihrer Definition (siehe Abschnitt 2.2) schränkten sie die ca. 150 ausgedehnten Röntgenquellen auf sechs Kandidaten ein, wobei bei einem das Zwei-Magnituden-Kriterium nicht bestimmt werden konnte und dieses System daher wahrscheinlich nicht als FS gilt.

Yoshioka et al. [2004] definierten IOLEGs (siehe Abschnitt 2.3) und untersuchten vier aus der Literatur bekannte Galaxiensysteme mit ASCA¹-Daten. Alle vier Objekte erfüllen ihre Definitionen, wobei bereits zwei von ihnen als Fossile Systeme bekannt waren.

Das zu diesem Zeitpunkt nächste Fossile System mit $z \approx 0.013$ wurde von Khoshroshahi et al. [2004] entdeckt. Sie durchsuchten NED² nach isolierten und optisch leuchtkräftigen Elliptischen Galaxien mit dem Kriterium, dass sich innerhalb von 0.75 Mpc und 1000 km s^{-1} ausgehend von der zentralen Elliptischen Galaxie nur Galaxien befinden, die um 2 mag schwächer sind. Weiters hat die Röntgenleuchtkraft basierend auf ROSAT All Sky Survey-Daten (RASS) mehr als $10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ zu betragen. Die Galaxie mit der niedrigsten Rotverschiebung dieser Analyse ist die Elliptische Galaxie NGC 6482.

Der kleine Abell Haufen ESO 306-G 017 wurde von Sun et al. [2004] als Kandidat für ein Fossiles System befunden. Sie kombinierten eine Auswahl von frühen morphologischen Galaxien mit Daten aus der RASS.

In einer ROSAT-Durchmusterung ausgedehnter Quellen fanden Ulmer et al. [2005] eine Röntgenquelle mit einer isolierten, optisch schwachen Elliptischen Galaxie, die eine Rotverschiebung von $z = 0.59$ aufweist. Aufgrund der zu diesem Zeitpunkt bekannten Magnitudendifferenz zwischen der hellsten Elliptischen Galaxie und des zweithellsten Haufenmitglieds von mehr als 2 mag im i'-Band wurde CL 1205+44 als entferntestes Fossiles System identifiziert.

Eine Zusammenfassung aller oben erwähnten entdeckten Fossilen Systeme (mit Ausnahmen) erfolgte durch Mendes de Oliveira et al. [2006], siehe Tabelle 3.1.

Die folgenden FS-Kataloge sind alle unter Verwendung der SDSS³-Datenbank entstanden.

Santos et al. [2007] erstellten einen Katalog von 34 FS-Kandidaten. Basis hierfür waren die SDSS Data Release 5 und ausgedehnte Quellen der RASS. Die Definition eines Fossilen Systems von Jones et al. [2003] (siehe Abschnitt 2.2) diente hier als Anhaltspunkt. Die Einschränkung auf ein unteres Limit bei der Röntgenleuchtkraft wurde in dieser Suche nicht angewandt und anstelle der R-Band-Helligkeiten wurden die SDSS r-Magnituden herangezogen. Die Anwendung eines fixen Suchradius mit $0.5 h_{70}^{-1} \text{ Mpc}$ anstelle von $0.5 r_{\text{vir}}$, der hier einer Längenskala von 0.22 bis 0.68 Mpc entsprechen würde, stellt einen weiteren Unterschied dar. Eine Mindestanzahl an System-Mitgliedern fand keine Anwendung. Daher kann in diesem Katalog eine reine isolierte Elliptische Galaxie assoziiert mit einer ausgedehnten Röntgenquelle als

¹Japan's vierte astronomische Röntgenmission.

²Für nähere Informationen siehe Abschnitt 5.2.

³Für nähere Informationen siehe Abschnitt 5.1.

Fossiles System klassifiziert werden. Konkret wurden alle leuchtkräftigen roten Galaxien (LRG) mit $r < 19$ mag und bekannten spektroskopischen Rotverschiebungen mit dem RASS-Katalog verglichen, wobei der Abstand der Zentren beider Objekte kleiner als $0.5'$ war. Eine visuelle Inspektion war für die Bestimmung des morphologischen Typs der hellsten Galaxie notwendig, denn nicht alle LRG entsprechen Elliptischen Galaxien. Bei der Suche nach Mitgliedern eines Systems - aufgrund des Zwei-Magnituden-Kriteriums schwächer als 21 mag - wurden sowohl spektroskopische als auch photometrische Rotverschiebungen verwendet, da nur wenige Spektren für diese leuchtkraftschwachen Objekte vorhanden waren. Diese Untersuchung war auf photometrische Rotverschiebungs-Fehler ≤ 0.1 beschränkt.

Zibetti et al. [2009] machten Detailstudien von fünf bereits bekannten Fossilen Systemen. Ihr sechstes FS wurde bereits früher in der Literatur als möglicher Kandidat aufgrund seiner Röntgenleuchtkraft erwähnt. Weiters ist das Zwei-Magnituden-Kriterium im Ks-Band erfüllt. Die Untersuchung dieser sechs FS in der SDSS-DR6 bestätigte aufgrund der Magnitudendifferenz im SDSS r-Band von 2.23 den kleinen Haufen AWM 4 als Fossiles System.

Díaz-Giménez et al. [2008] untersuchten simulierte Fossile Systeme und ihre zentralen Galaxien aus dem Millennium Simulation Galaxy Catalogue. Zum Vergleich erstellten sie einen Katalog von FS aus der SDSS-DR6 unter Verwendung derselben Definitions-Kriterien. Nur Galaxien mit spektroskopischen Rotverschiebungen von $z < 0.1$ wurden herangezogen. Ein System musste mehr als 10 Mitglieder besitzen, eine Masse von $5 \times 10^{13} h^{-1} M_{\odot}$ und eine Magnitudenlücke von mehr als 2 mag im r-Band innerhalb von $0.5 r_{\text{vir}}$ aufweisen. Von den sechs gefundenen FS hat nur ein System eine ausgedehnte Röntgenemission, eine besitzt eine Punktquelle in der Röntgenstrahlung und vier weisen keine ROSAT-Emission auf.

La Barbera et al. [2009] untersuchten die Unterschiede zwischen hellen Feld-Elliptischen Galaxien und den zentralen Elliptischen Galaxien von Fossilen Gruppen unter Verwendung der SDSS-DR4 und des RASS-Katalogs. Gemäß ihrer Definition handelt es sich um eine E-Galaxie eines FS, wenn sich innerhalb einer Region gegeben durch eine Rotverschiebungs-Differenz $\Delta(cz_{\text{max}}) = 0.001$ und einen projizierten Radius $D_{\text{max}} = 0.35$ Mpc mindestens ein Mitglied befindet, das eine Petrosian r-Band-Magnitudendifferenz von mindestens 1.75 mag aufweist. Diese drei Werte wurden aufgrund der Parameterstudie so gewählt, um eine statistisch signifikante Anzahl von FS-Kandidaten zu erhalten. Weiters wurden die FS-Kandidaten auf jene mit ausgedehnten Röntgenquellen eingeschränkt. Abschließend wurden Kandidaten entfernt, die im Optischen Spiralgalaxien entsprachen, AGN-Spektren aufwiesen oder sich innerhalb eines 1.5 Mpc-Bereichs von Abell Haufen befanden. Dieser Katalog enthält 25 Fossile Systeme im niedrigen Rotverschiebungsbereich ($z < 0.1$).

3.1.2 Detailliert untersuchte Fossile Systeme

Tabelle 3.1 enthält alle detailliert untersuchten Fossilen Systeme mit Angabe ihrer bolometrischen Röntgenleuchtkraft. Folgende Systeme wurden nicht in diese Aufstellung aufgenommen: Eine IOLEG von Yoshioka et al. [2004] mit der Bezeichnung

Tabelle 3.1: Zusammenfassung von Mendes de Oliveira et al. [2006] aller bis 2005 identifizierten Fossilen Systeme: (1) Name des FS, (2) Rektaszension [$h m s$], (3) Deklination [$^{\circ} ' ''$], (4) Rotverschiebung, (5) Röntgenleuchtkraft und (6) Referenz zum FS.

Name (1)	R.A. (J2000.0) (2)	Decl. (J2000.0) (3)	z (4)	$L_{X,\text{bol}}$ ($10^{42} h_{50}^{-2} \text{ ergs s}^{-1}$) (5)	Reference (6)
NGC 1132.....	02 52 51.8	-01 16 29	0.0232	4.27 ^a	Yoshioka et al. (2004)
RX J0454.8-1806.....	04 54 52.2	-18 06 56	0.0314	4.27 ^a	Yoshioka et al. (2004)
ESO 306-G 017	05 40 06.7	-40 50 11	0.035805	129	Sun et al. (2004)
RX J1119.7+2126.....	11 19 43.7	+21 26 50	0.061	1.7	Jones et al. (2003)
RX J1159.8+5531	11 59 51.4	+55 32 01	0.0810	88 ^b	Vikhlinin et al. (1999)
CL 1205+44.....	12 05 53.7	+44 29 46	0.59	180	Ulmer et al. (2005)
RX J1256.0+2556.....	12 56 03.4	+25 56 48	0.232	61	Jones et al. (2003)
RX J1331.5+1108.....	13 31 30.2	+11 08 04	0.081	5.9	Jones et al. (2003)
RX J1340.6+4018.....	13 40 33.4	+40 17 48	0.1710	100 ^b	Vikhlinin et al. (1999)
RX J1416.4+2315.....	14 16 26.9	+23 15 32	0.137	220	Jones et al. (2003)
RX J1552.2+2013.....	15 52 12.5	+20 13 32	0.136	63	Jones et al. (2003)
NGC 6034.....	16 03 32.1	+17 11 55	0.0339	1.7 ^a	Yoshioka et al. (2004)
NGC 6482.....	17 51 48.8	+23 04 19	0.013129	2.17	Khosroshahi et al. (2004)
RX J2114.3-6800.....	21 14 20.4	-68 00 56	0.1300	80 ^b	Vikhlinin et al. (1999)
RX J2247.4+0337.....	22 47 29.1	+03 37 13	0.199	164 ^b	Vikhlinin et al. (1999)

NOTE.—Units of right ascension are hours, minutes, and seconds, and units of declination are degrees, arcminutes, and arcseconds.
^a X-ray luminosity in the energy band 0.5–10 keV.
^b X-ray luminosity in the energy band 0.5–2 keV.

RX J0419.6–0225 und die drei FS-Kandidaten aus dem Bright SHARC Survey von Romer et al. [2000].

Zu diesen 15 Fossilen Systemen ist anzumerken, dass einige das Zwei-Magnituden-Kriterium ($\Delta m_{12} \geq 2.0$ mag) nicht mehr erfüllen, wie aktuellere Messungen belegen. Dies gilt für folgende FS:

1. RX J1159.8+5531: Díaz-Giménez et al. [2008] messen $\Delta m_{12} = 1.6$ mag im R-Band.
2. CL 1205+44: Mendes de Oliveira [2006] berichtet $\Delta m_{12} = 1.6$ mag.
3. RX J1256.0+2556: Khosroshahi et al. [2007] messen $\Delta m_{12} \sim 1.5$ mag, allerdings ist es aufgrund der ungenauen Temperaturmessung - wovon der Virialradius abhängt - nicht möglich festzustellen, ob das zweithellste Objekt noch innerhalb des halben Virialradius liegt. Schließlich bestätigen Zibetti et al. [2009] das System doch als FS.
4. RX J1552.2+2013: Zibetti et al. [2009] messen $\Delta m_{12} = 1.2$ mag im i-Band.
5. NGC 6034: Díaz-Giménez et al. [2008] messen $\Delta m_{12} = 1.07$ mag im R-Band.

Tabelle 3.2: Eigene Nummerierung der detailliert untersuchten Fossilen Systeme. (1) Interne Nummer des FS, (2) Name des Systems.

FS-Nr.	System-Name
FS50	NGC 1132
FS51	RX J0454.8–1806
FS52	ESO 306-G 017
FS53	RX J1119.7+2126
FS54	RX J1159.8+5531
FS55	CL 1205+44
FS56	RX J1256.0+2556
FS57	RX J1331.5+1108
FS58	RX J1340.6+4018
FS59	RX J1416.4+2315
FS60	RX J1552.2+2013
FS61	NGC 6034
FS62	NGC 6482
FS63	RX J2114.3–6800
FS64	RX J2247.4+0337

3.1.3 Eigens studierte Fossile Systeme

Der in der vorliegenden Arbeit verwendete Katalog zur Studie Fossiler Systeme setzt sich aus den 34 in der SDSS entdeckten Fossilen Systemen von Santos et al. [2007] mit den 15 von Mendes de Oliveira et al. [2006] zusammengefassten detailliert untersuchten FS zusammen. Insgesamt enthält der eigene Katalog somit 49 Systeme. Zum einfacheren Zuordnen der Informationen zu einem FS wurde für jedes System eine interne Nummer vergeben. Die Nummerierung 1 bis 34 von Santos et al. [2007] wurde beibehalten, die 15 altbekannten FS aus Tabelle 3.1 mit Nummer 50 beginnend durchnummeriert, siehe Tabelle 3.2 .

Der eigene Katalog von 49 Fossilen Systemen mit Angabe der Parameter der jeweiligen zentralen Elliptischen Galaxie ist in Tabelle 3.3 zu finden.

Differenzen der Koordinaten zwischen den Tabellen 3.1 und 3.3 kommen dadurch zustande, dass einerseits als Zentrum eines FS der Ort des Maximums der diffusen Röntgenemission herangezogen wird und andererseits das Zentrum der Elliptischen Galaxie. Zu beachten ist auch die verglichen zum Optischen deutlich schlechtere räumliche Auflösung im Röntgenbereich, die keine exakte Positionsbestimmung ermöglicht.

3.2 Eigenschaften der zentralen Elliptischen Galaxie

Tabelle 3.4 enthält eine Zusammenfassung verfügbarer Informationen aus NED zu allen Elliptischen Galaxien der eigens untersuchten Fossilen Systeme. Kursiv dargestellte Werte in der 2. und 4. Spalte sind aus den Publikationen der jeweiligen FS

Tabelle 3.3: Untersuchte Fossile Systeme: (1) Eigene Nummer des FS, (2) Name der zentralen Elliptischen Galaxie, (3) und (4) Koordinaten der E, (5) Rotverschiebung der E. Alle Daten stammen aus NED, ausgenommen Spalte (1), ^a Angaben aus Tabelle 3.1 und ^b Rotverschiebung des Systems selbst.

Nr.	Name der E-Galaxie	α (J2000)	δ (J2000)	Rotverschiebung
FS01	SDSS J015021.27-100530.5	01 50 21.275	-10 05 30.54	0.364962 \pm 0.000063
FS02	2MASX J01524199+0100257	01 52 41.970	+01 00 25.60	0.229744 \pm 0.000127
FS03	B3 0749+460A	07 52 44.229	+45 56 57.33	0.051799 \pm 0.000242
FS04	2MASX J08073078+3400419	08 07 30.750	+34 00 41.60	0.207888 \pm 0.000129
FS05	2MASX J08425763+3622000	08 42 57.560	+36 21 59.30	0.282265 \pm 0.000193
FS06	CGCG 208-042	08 44 56.630	+42 58 35.66	0.054104 \pm 0.000180
FS07	SDSS J090303.19+273929.4	09 03 03.190	+27 39 29.40	0.489186 \pm 0.000440
FS08	SDSS J094829.04+495506.8	09 48 29.040	+49 55 06.80	0.408998 \pm 0.000213
FS09	2MASX J10430260+0054183	10 43 02.570	+00 54 18.30	0.125563 \pm 0.000088
FS10	SDSS J105452.04+552112.5	10 54 52.040	+55 21 12.50	0.467535 \pm 0.000236
FS11	2MASX J11143972+4037355	11 14 39.760	+40 37 35.20	0.202070 \pm 0.000169
FS12	2MASX J11215527+1049232	11 21 55.280	+10 49 23.20	0.240239 \pm 0.001052
FS13	2MASX J11412822+0558291	11 41 28.290	+05 58 29.50	0.187803 \pm 0.000262
FS14	2MASX J11464757+0952278	11 46 47.570	+09 52 28.20	0.221403 \pm 0.000193
FS15	SDSS J114803.81+565425.6	11 48 03.810	+56 54 25.60	0.104617 \pm 0.000171
FS16	2MASX J11491500+4811045	11 49 15.030	+48 11 04.90	0.282933 \pm 0.000181
FS17	SDSS J124742.07+413137.7	12 47 42.070	+41 31 37.70	0.155396 \pm 0.000168
FS18	2MASX J13000917+4442596	13 00 09.370	+44 43 01.30	0.233160 \pm 0.000313
FS19	LCSB S1936O	13 35 59.990	-03 31 29.20	0.175900 \pm 0.000213
FS20	2MASX J14100418+4145208	14 10 04.190	+41 45 20.90	0.093761 \pm 0.000198
FS21	SDSS J144516.86+003934.2	14 45 16.868	+00 39 34.26	0.306200 \pm 0.000148
FS22	LCSB S2108P	14 53 59.010	+48 24 17.10	0.146164 \pm 0.000214
FS23	2MASX J15294628+4408044	15 29 46.280	+44 08 04.20	0.147824 \pm 0.000181
FS24	SDSS J153344.13+033657.5	15 33 44.131	+03 36 57.53	0.292844 \pm 0.000111
FS25	2MASX J15395079+3043037	15 39 50.780	+30 43 04.00	0.097077 \pm 0.000222
FS26	CGCG 078-079	15 48 55.854	+08 50 44.36	0.071770 \pm 0.000193
FS27	2MASX J16143111+2643504	16 14 31.100	+26 43 50.40	0.184287 \pm 0.000189
FS28	2MASXi J1637205+411120	16 37 20.510	+41 11 20.29	0.031719 \pm 0.000077
FS29	2MASX J16470207+3850043	16 47 02.073	+38 50 04.26	0.135038 \pm 0.000081
FS30	2MASX J17181198+5639563	17 18 11.940	+56 39 56.10	0.113598 \pm 0.000132
FS31	2MASX J17201001+2637317	17 20 10.040	+26 37 32.00	0.159325 \pm 0.000280
FS32	2MASX J17285211+5516403	17 28 52.160	+55 16 40.80	0.148591 \pm 0.000099
FS33	SDSS J225630.05-003210.9	22 56 30.049	-00 32 10.88	0.223788 \pm 0.000193
FS34	2MASX J23581513+1505436	23 58 15.110	+15 05 43.60	0.178430 \pm 0.000190
FS50	NGC 1132	02 52 51.81	-01 16 28.8	0.023133 \pm 0.000037
FS51	ESO 552- G 020	04 54 52.26	-18 06 56.0	0.031405 \pm 0.000107
FS52	ESO 306- G 017	05 40 06.67	-40 50 11.4	0.035805 \pm 0.000083
FS53	MAPS-NGP O.375_0851808	11 19 43.58	+21 26 51.3	0.060550 \pm 0.000150
FS54	2MASX J11595215+5532053	11 59 52.17	+55 32 05.5	0.080849 \pm 0.000217
FS55	SDSS J120551.38+442909.8	12 05 51.39	+44 29 09.8	0.591500 \pm 0.000120
FS56	2MASX J12560225+2556375	12 56 02.23	+25 56 37.0	0.232460 \pm 0.000080
FS57	2MASX J13312961+1107566	13 31 29.64	+11 07 57.0	0.081 ^a
FS58	2MASX J13403276+4017394	13 40 32.81	+40 17 39.7	0.171853 \pm 0.000187
FS59	2MASX J14162734+2315222	14 16 27.36	+23 15 22.3	0.138000 \pm 0.002000
FS60	2MASX J15521380+2013436	15 52 13.82	+20 13 43.9	0.136 ^a
FS61	NGC 6034	16 03 32.08	+17 11 55.3	0.033880 \pm 0.000097
FS62	NGC 6482	17 51 48.81	+23 04 19.0	0.013129 \pm 0.000058
FS63	2MASX J21142086-6801090	21 14 20.90	-68 01 09.2	0.13 ^a
FS64	2MASX J22472786+0336591	22 47 27.87	+03 36 59.4	0.2 ^b

entnommen. Jene vier Systeme, die das Zwei-Magnituden-Kriterium nicht erfüllen, sind zur einfacheren Übersicht in den letzten vier Zeilen der Tabelle zu finden.

Die Median-Leuchtkraft der zentralen Elliptischen Galaxien für jene fünf FS, die von Jones et al. [2003] untersucht wurden, beträgt $M_R = -23.2$ mag [Mendes de Oliveira und Carrasco, 2007]. Bei den 34 FS von Santos et al. [2007] zeigen die E-Galaxien absolute R-Helligkeiten zwischen -25.3 mag und -21.25 mag.

Die gewonnenen Erkenntnisse Fossiler Systeme, auf die in diesem Kapitel in Folge noch genauer eingegangen wird, beziehen sich fast ausschließlich auf die Detailstudien der 15 FS aus Tabelle 3.1.

3.2.1 Nukleare Aktivität

Von den elf detailliert untersuchten FS weisen drei auf einen aktiven Galaxienkern hin, ein FS auf vergangene Kernaktivität. Zu diesen vier zentralen Elliptischen Galaxien sind Radioquellen bekannt, als auch noch zu zwei weiteren.

Direkt an der Position der Elliptischen Galaxie ESO 306-G 017 (FS52) wird von einer 19 mJy-Radioquelle bei 843 MHz berichtet, ebenso 2.2 Bogenminuten südöstlich mit derselben Intensität [Sun et al., 2004]. Aufgrund der geringen Auflösungsmöglichkeit von Radioquellen könnte diese Emission mit der zentralen Galaxie assoziiert sein. Ein vergangener AGN-Outburst könnte hierfür verantwortlich sein, als auch für die zentrale asymmetrische Verteilung der Röntgenemission.

Die zentrale Galaxie von FS57 zeigt schmale $H\alpha$ und [S II]-Emissionslinien [Jones et al., 2003]. Weiters existiert eine Radioquelle bei 1.4 GHz mit einer Intensität von ca. 12 mJy. Diese Werte sind typisch für radio-laute cD-Galaxien in Cluster-Zentren. Die Autoren klassifizieren dieses System als Kombination aus Fossiler Gruppe und AGN.

FS58 beherbergt auch eine Radioquelle mit einer Größe von ca. 6 Bogensekunden und einem Fluss von 2.5 mJy bei 1.5 GHz [Ponman et al., 1994], entspricht $3.5 \times 10^{30} \text{ erg s}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$ bei 1.5 GHz, ebenfalls eine typische radio-laute Galaxie für Haufen. Allerdings zeigt das optische Spektrum keine Emissionslinien die auf eine AGN-Aktivität hinweisen würden.

Beim Fossilen System FS59 existiert eine Radioquelle im Zentrum der Elliptischen Galaxie in der Größe von 4 Bogensekunden und einem Fluss von 3.4 mJy bei 1.4 GHz [Jones et al., 2003]. Weiters zeigt der Kern in der weichen Röntgenstrahlung Asymmetrien, vermutlich als Folge einer AGN-Aktivität [Khosroshahi et al., 2006a], siehe linkes Bild von Abbildung 3.1.

In NGC 6482 (FS62) wurde eine Röntgenpunktquelle entdeckt, vermutlich ein AGN [Khosroshahi et al., 2004], da auch eine Radioquelle, Gas mit Emissionslinien und Staub im Kern der Elliptischen Galaxie gefunden wurde.

3.2.2 Morphologie

Folgende beide Fossile Systeme gelten nicht mehr als solche, da sie das Zwei-Magnituden-Kriterium nicht erfüllen. Die morphologischen Besonderheiten dieser zwei

Tabelle 3.4: Eigenschaften der zentralen E-Galaxie. (1) Interne Nummer des FS, (2) morphologische Klassifikation der E (: *unsicherer Wert*, ? *sehr unsicherer Wert*) (3) Infrarotquelle, (4) Radioquelle bzw. in wenigen Bogenminuten Abstand existiert eine Radioquelle (5) Zwei-Magnituden-Kriterium. Alle Daten stammen aus NED, ausgenommen kursiv dargestellte Informationen in Spalte (2) und (4).

FS-Nr.	Klassifikation	IrQ	RadioQ	Δm_{12}
FS01			in 0.8'	≥ 2 mag
FS02	cD	x		≥ 2 mag
FS03	Sy1.9	x	x und in 0.6'	≥ 2 mag
FS04	AGN	x	in 0.0'	≥ 2 mag
FS05		x		≥ 2 mag
FS06		x	in 0.6'	≥ 2 mag
FS07				≥ 2 mag
FS08				≥ 2 mag
FS09		x		≥ 2 mag
FS10			in 0.1'	≥ 2 mag
FS11		x	mehrere ab 0.3'	≥ 2 mag
FS12		x	x	≥ 2 mag
FS13	AGN	x	x	≥ 2 mag
FS14		x		≥ 2 mag
FS15		x	in 0.5'	≥ 2 mag
FS16		x		≥ 2 mag
FS17		x	in 0.0'	≥ 2 mag
FS18		x		≥ 2 mag
FS19	AGN?	x		≥ 2 mag
FS20		x		≥ 2 mag
FS21				≥ 2 mag
FS22		x		≥ 2 mag
FS23	AGN:	x		≥ 2 mag
FS24				≥ 2 mag
FS25	BCG	x	x	≥ 2 mag
FS26		x		≥ 2 mag
FS27		x		≥ 2 mag
FS28		x		≥ 2 mag
FS29		x	in 0.0' und 1.3'	≥ 2 mag
FS30	Sy1.9	x	x und in 0.1'	≥ 2 mag
FS31	AGN	x	x und in 1.8'	≥ 2 mag
FS32		x		≥ 2 mag
FS33			x und in 0.8'	≥ 2 mag
FS34		x		≥ 2 mag
FS50	E	x	x	≥ 2 mag
FS51	cD, E+	x		≥ 2 mag
FS52	E+3	x	<i>x</i>	≥ 2 mag
FS53				≥ 2 mag
FS56		x	in 1.4'	≥ 2 mag
FS57	Sy2 LINER	x	<i>x</i>	≥ 2 mag
FS58		x	x	≥ 2 mag
FS59	Kandidat BLLAC	x	<i>x</i>	≥ 2 mag
FS62	E-, LINER	x	<i>x</i>	≥ 2 mag
FS63		x		≥ 2 mag
FS64		x		≥ 2 mag
FS54		x		R: 1.6 mag
FS55	D		in 0.3'	1.6 mag
FS60	<i>cD</i>	x		i: 1.2 mag
FS61	E+	x	x	R: 1.07 mag

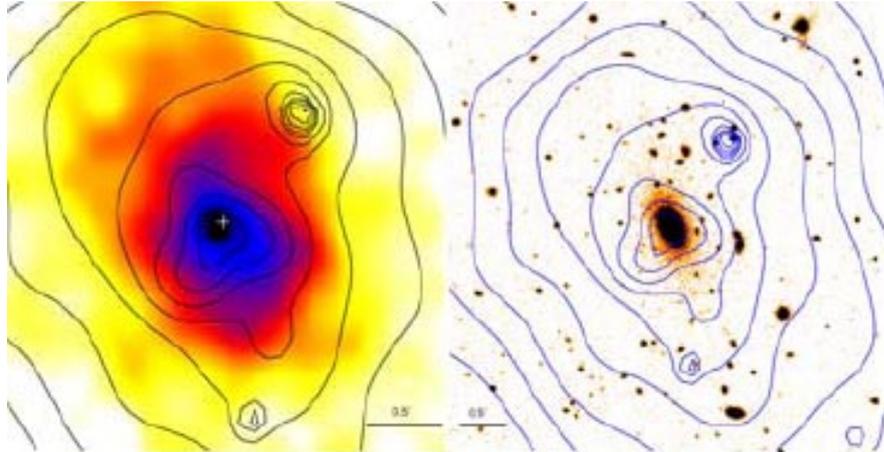


Abbildung 3.1: RX J1416.4+2315 (FS59): In beiden Bildern sind die Konturen der weichen (0.5 - 2 keV) Röntgenstrahlung von XMM-Newton dargestellt. Links: Die bunten Farben entsprechen der diffusen Röntgenstrahlung von Chandra, das weiße Kreuz zeigt die Position der Radioquelle. Rechts: In schwarz-orange ist die optische Aufnahme im R-Band abgebildet. [Khosroshahi et al., 2006a]

zentralen Elliptischen Galaxien seien hier trotzdem erwähnt.

Die Elliptische Galaxie im Zentrum von FS55 wird als D-Galaxie klassifiziert, sie zeigt auch symmetrische Radioemissionen [Ulmer et al., 2005]. Ihre Mitglieder sind S als auch E-Galaxien.

Bei FS60 wurde die zentrale Elliptische Galaxie aufgrund des Helligkeitsprofils als cD-Galaxie klassifiziert, da sie im Außenbereich einen Lichtüberschuss gegenüber dem Profil einer normalen Elliptischen Galaxie zeigt und daher die Annahme eines Vorhandenseins von Schalen besteht [Mendes de Oliveira et al., 2006].

Im Gegensatz dazu haben zum Beispiel Cypriano et al. [2006] bei FS59 keine cD-Morphologien entdeckt. Sie vermuten, dass dieses System schon einen höheren Fossilisationsgrad erreicht hat als FS60.

3.2.3 Ausrichtung

In den folgenden drei Fällen weisen die Röntgenhalos eine untypisch starke Elongation auf. Diese FS sind auch als Radioquellen bekannt (siehe Unterabschnitt 3.2.1). Die Positionswinkel in den Außenbereichen der diffusen Röntgenemission sind vergleichbar mit jenen der zentralen Elliptischen Galaxie.

Sun et al. [2004] stellen fest, dass sowohl die Elliptische Galaxie, als auch der elongierte Röntgenhalo von FS52 die gleiche Ausrichtung (nord-südlich) aufweisen.

In FS58 zeigen sowohl die optischen Daten der Elliptischen Galaxie als auch die Röntgenemission ähnliche Ausrichtung als auch vergleichbare Elliptizitäten bei größeren Radien von ca. 230 kpc [Jones et al., 2000], siehe Abbildung 2.1. Die Annahme

besteht, dass sowohl das heiße Gas als auch die äußeren Sterne der zentralen Galaxie einer elongierten Dunklen Materie-Verteilung folgen. In der Tat liegt dieses Fossile System in den Außenbereichen des Abell Clusters A1774, der sich in einem projizierten Abstand von 18.2 Bogenminuten (entspricht 3.2 Mpc) und bei einer Rotverschiebung von $z = 0.1691$ (entspricht einem relativen Abstand von 10.8 Mpc) befindet. Der Cluster liegt süd-östlich des Fossilen Systems. Es könnte sein, dass hier der Einfall des FS in den Abell Cluster entlang der filamentartigen Struktur der Dunklen Materie beobachtet wird (vergl. dazu Abbildung 1.4).

Khosroshahi et al. [2006a] verfolgen auch die Idee eines Kollaps entlang eines dominanten Filaments, da einerseits in FS59 die Röntgenemission sehr elongiert ist, mit Ausnahme des zentralen Bereichs, und andererseits die Ausrichtung genau jener der optischen Elliptischen Galaxie entspricht, vergl. rechtes Bild in Abbildung 3.1.

3.2.4 Isophoten

Khosroshahi et al. [2006b] haben die zentralen Elliptischen Galaxien von sieben Fossilen Systemen untersucht und festgestellt, dass alle diskly Isophoten zeigen. Obwohl die zentralen Ellipsen der Fossilen Systeme vergleichbare Helligkeiten wie die Galaxien in Clusterzentren BCG aufweisen, würde ein grundlegender Unterschied zwischen ihnen bestehen, da die BCG meist boxy sind. Dies würde zur Folge haben, dass die beteiligten Galaxien am Merging-Vorgang von unterschiedlicher Morphologie waren (siehe Unterabschnitt 1.3.3). Bei Fossilen Systemen würde man daher gasreiche Spiralgalaxien als Vorgänger vermuten, hingegen entstehen BCG aus gasarmen Galaxien.

Wie La Barbera et al. [2009] und die vorliegende Arbeit zeigen, bestätigt sich die obige reine diskly-Eigenschaft der E-Galaxien nicht. La Barbera et al. [2009] haben ihre definierten Fossilen Systeme mit hellen Feld-Elliptischen Galaxien aus der SDSS verglichen. Sie haben keine signifikanten Unterschiede zwischen den FS- und den Feld-Ellipsen gefunden. Betrachtet wurde unter anderem die Verteilung der Mitglieds-Galaxien und der Parameter a_4 . Beide Gruppen von E-Galaxien zeigen sowohl diskly als auch boxy Isophoten, wobei die meisten einen Wert von $a_4 = 0$ besitzen. Die Diskrepanz zu Khosroshahi et al. [2006b] wird dadurch erklärt, dass einerseits drei von den sieben untersuchten Galaxien a_4 -Werte nahe Null aufweisen und andererseits die untersuchte Anzahl statistisch zu klein war.

3.3 System-Eigenschaften

3.3.1 Größen

Tabelle 3.5 zeigt die Anzahl der Mitgliedsgalaxien, die Geschwindigkeitsdispersion und die daraus resultierende dynamische Masse der Fossilen Systeme, soweit genau untersucht. Khosroshahi et al. [2007] berechnen die dynamische Masse mit

$r_{vir} \sim 1.66 r_{500}^4$ wie folgt:

$$M_{dyn} = 6 \cdot \frac{r_{vir} \cdot \sigma^2}{G} \quad (3.1)$$

Gemessene r_{500} -Radien gibt es nur für folgende drei FS:

- FS52: $r_{500} = 0.62$ Mpc, dies entspricht $r_{vir} \sim 1.03$ Mpc
- FS59: $r_{500} = 0.77$ Mpc, dies entspricht $r_{vir} \sim 1.28$ Mpc
- FS62: $r_{500} = 0.25$ Mpc, dies entspricht $r_{vir} \sim 0.42$ Mpc

Bei einigen FS sind sowohl die erhöhte Galaxien-Anzahl, als auch die relativ hohe Geschwindigkeitsdispersion typische Werte für Galaxienhaufen, weniger für kompakte Galaxiengruppen (vergl. Tabelle 1.1). So klassifiziert zB Khosroshahi et al. [2006a] FS59 als Fossil Cluster. Hingegen ist die Galaxienpopulation um FS53 sehr gering. Diese kleine Fossile Gruppe befindet sich in einem extrem isolierten Umfeld [Adami et al., 2007].

3.3.2 Leuchtkraftfunktion

Die Leuchtkraftfunktion Φ eines Galaxienhaufens bzw. einer Gruppe gibt die Häufigkeit von Galaxien bei verschiedenen absoluten Helligkeiten an, gruppiert nach Helligkeitsintervallen dL (meist 0.5 oder 1 Magnitude groß). Sie wird gemäß Schechter [1976] wie folgt beschrieben:

$$\Phi(L)dL = \Phi^* \left(\frac{L}{L^*} \right)^\alpha e^{-L/L^*} d \left(\frac{L}{L^*} \right) \quad (3.2)$$

Φ^* , L^* und α sind freie Parameter, die durch die Daten bestimmt werden. L^* bezeichnet die charakteristische Leuchtkraft bzw. M^* die dazugehörige charakteristische absolute Helligkeit, bei der sich die Form der Leuchtkraftfunktion ändert. Während bei Helligkeiten größer als L^* die exponentielle Funktion dominiert, gilt für die leuchtkraftschwächere Seite das Potenzgesetz mit dem Exponenten α .

Die charakteristische Form der Funktion setzt sich aus den Beiträgen der verschiedenen morphologischen Typen zusammen. In Abbildung 3.2 hat die Leuchtkraftfunktion für HCGs (gleichm. strichliert dargestellt) eine Einsenkung bei $M_R = -18.5$ mag während die anderen Funktionen diese Vertiefung nicht aufweisen.

Die erste Leuchtkraftfunktion eines Fossilen Systems wurde von Jones et al. [2000] für FS58 erstellt. Da es technisch kaum möglich ist, Spektren für alle Mitglieder vollständig bis zum leuchtkraftschwachen Ende aufzunehmen, ist man auf photometrische Daten angewiesen, die mit statistischen Methoden auf vollständige Werte

⁴Der Überdichte-Radius r_{500} ist der Radius innerhalb dessen die mittlere Dichte des Systems 500-fach so groß ist, wie die kritische Dichte des Universums.

Tabelle 3.5: System-Eigenschaften der Fossilen Systeme: (1) Eigene Nummer des FS, (2) Name des FS, (3) Anzahl der spektroskopisch bestimmten Mitglieds-Galaxien (sofern in der Literatur erwähnt), (4) Geschwindigkeitsdispersion basierend auf den Mitgliedern, (5) daraus berechnete dynamische Masse, (6) Referenz zu den entnommenen Informationen.

FS-Nr.	System-Name	N	σ [km s ⁻¹]	M_{vir}^{dyn} [$10^{12} M_{\odot}$]	Referenz
FS50	NGC 1132				
FS51	RX J0454.8–1806				
FS52	ESO 306-G 017	15	648 ± 160	469	Khosroshahi et al. [2007]
FS53	RX J1119.7+2126	3			Jones et al. [2003]
FS56	RX J1256.0+2556	8	773 ± 214	710	Khosroshahi et al. [2007]
FS57	RX J1331.5+1108	6	236 ± 79	24	Khosroshahi et al. [2007]
FS58	RX J1340.6+4018	4	419 ± 187	130	Khosroshahi et al. [2007]
FS59	RX J1416.4+2315	18	694 ± 120	656	Khosroshahi et al. [2007]
FS62	NGC 6482	5	115 ± 38	6	Khosroshahi et al. [2007]
FS63	RX J2114.3–6800				
FS64	RX J2247.4+0337				
FS54	RX J1159.8+5531				
FS55	CL 1205+44	6			Ulmer et al. [2005]
FS60	RX J1552.2+2013	13	721 ± 150	640	Khosroshahi et al. [2007]
FS61	NGC 6034				

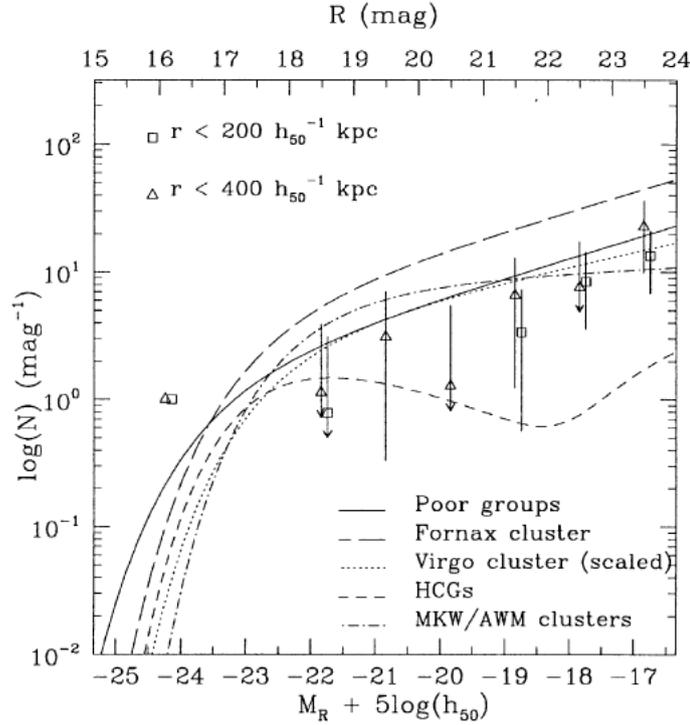


Abbildung 3.2: Die Leuchtkraftfunktion von FS58 im R-Band [Jones et al., 2000]. Die zum System gehörenden Galaxien wurden mit statistischen Methoden aus photometrischen Daten ermittelt. Die quadratischen Symbole zeigen nur die Galaxien innerhalb eines Radius von 200 kpc, die Dreiecke innerhalb von 400 kpc. Die durchgezogenen und unterschiedlich strichlierten Linien stellen typische Leuchtkraftfunktionen für Cluster, Gruppen und Hickson Compact Groups dar.

korrigiert werden. In Abbildung 3.2 zeigt die Leuchtkraftfunktion im R-Band für FS58 die für Fossile Systeme typische Magnituden-Lücke bei ca. M^* . Dies ist auch bedingt durch die Definition des Zwei-Magnituden-Kriteriums. Betrachtet man die Leuchtkraftfunktion mit Ausnahme der hellsten Galaxie, so folgt sie jener skalierten des Virgo Haufens. Allerdings ist eine kleine Einsenkung bei $M_R = -20$ mag zu erkennen, jedoch mit hohen Fehlerbalken behaftet.

Wesentlich deutlichere Einsenkungen zeigen Mendes de Oliveira et al. [2006] bei der Leuchtkraftfunktion von FS60. Die Galaxienanzahl fällt bei unterschiedlichen Filtern (g' , r' , i') in verschiedenen Helligkeitsbereichen ab: Bei $M_{g'} < -17$ mag, $M_{r'} > -18$ mag und $M_{i'} > -19$ mag. Hier wurden die geringeren absoluten Helligkeiten in der Leuchtkraftfunktion erreicht, die den Wechsel von großen Galaxien zu Zwerggalaxien darstellen. Da sich Lücken zeigen, bedeutet dies ein Fehlen von leuchtkraftschwachen Galaxien im Fossilen System.

Cypriano et al. [2006] stellen bei der Leuchtkraftfunktion von FS59 in zwei unterschiedlichen Filtern (g' und i') kein Fehlen von leuchtkraftschwachen Galaxien fest, obwohl die Diagramme bei $M_{g'} \sim -18$ mag und bei $M_{i'} \sim -19$ mag in den auf

Vollständigkeit korrigierten Daten deutlich geringere Galaxienanzahlen zeigen.

Die aktuellen Untersuchungen von Zibetti et al. [2009] zu sechs verschiedenen FS sind in Abbildung 3.3 dargestellt. Pro FS wurden zwei analytische Leuchtkraftfunktionen (bis zum Radius R_{200} ⁵ und bis zum halben R_{200}) erstellt, wobei die hellste Galaxie nicht miteinbezogen wurde. Dabei ist das Fossile System AWM4 ohne Fehlerbalken in der Leuchtkraftfunktion ausgestattet, da die Mitglieder des Systems vollständig aus spektroskopischen Daten ermittelt werden konnten. Bei FS60 konnte die Einsenkung am schwachen Leuchtkraftende bestätigt werden. Im Allgemeinen werden hier die Leuchtkraftfunktionen innerhalb der Fehlerbalken konsistent mit der universellen Leuchtkraftfunktion für Cluster angesehen.

3.3.3 Skalierungsrelationen

Khosroshahi et al. [2007] untersuchten Skalierungsrelationen für sieben Fossile Systeme (siehe jene FS aus Tabelle 3.5 mit dieser Referenz). Dabei zeigte sich, dass Fossile Systeme bei gegebener optischer Leuchtkraft signifikant leuchtkräftiger im Röntgen sind, siehe Abbildung 3.4.

Betrachtet man die Masse-zu-Leuchtkraft-Verhältnisse M/L_B der sieben untersuchten FS, so stellen sie zwar keine Ausnahme dar, aber sie zeigen höhere Werte, verglichen zu normalen Gruppen und Haufen. Dies lässt auf einen höheren Anteil an Dunkler Materie schließen.

3.4 Entstehungsszenarien

3.4.1 Altes Standard-Szenario

Durch die relativ langsame Bewegung der einzelnen Galaxien in ihren Gruppen bilden Galaxiengruppen ein optimales Umfeld für effiziente Merging-Vorgänge. Cluster zeigen hingegen eine höhere Geschwindigkeitsdispersion ihrer Galaxien und daher dauern Verschmelzungsvorgänge in Haufen wesentlich länger verglichen zu Gruppen. Barnes [1989] zeigte durch numerische Simulation, dass eine kompakte Gruppe mit sechs Scheibengalaxien durch dynamische Reibung, Gezeitenwechselwirkung und Kollisionen in wenigen Mrd. Jahren eine normale Elliptische Galaxie bildet.

Jones et al. [2000] nehmen daher an, dass die Fossilen Systeme aus *isolierten* Galaxiengruppen entstanden sind, wobei der diffuse Röntgenhalo unverändert blieb.

⁵Dies entspricht ca. dem Virialradius.

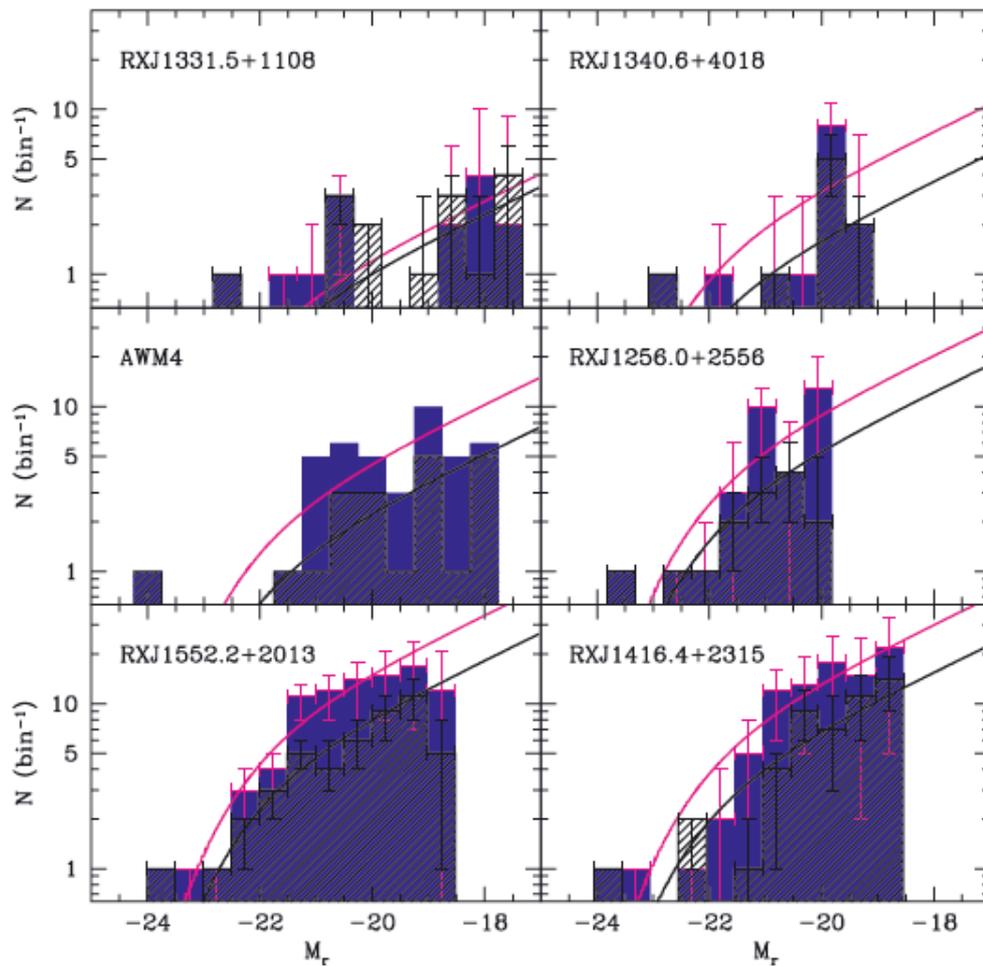


Abbildung 3.3: Die Leuchtkraftfunktion der Fossilen Systeme FS57, FS58, AWM4, FS56, FS60, FS59 [Zibetti et al., 2009]: Die blauen Histogramme mit den magenta Symbolen entsprechen allen Galaxien innerhalb von R_{200} . Die schraffierten Histogramme mit schwarzen Symbolen stellen nur die Region innerhalb des halben R_{200} dar. Die Kurven repräsentieren analytische Leuchtkraftfunktionen für Cluster.

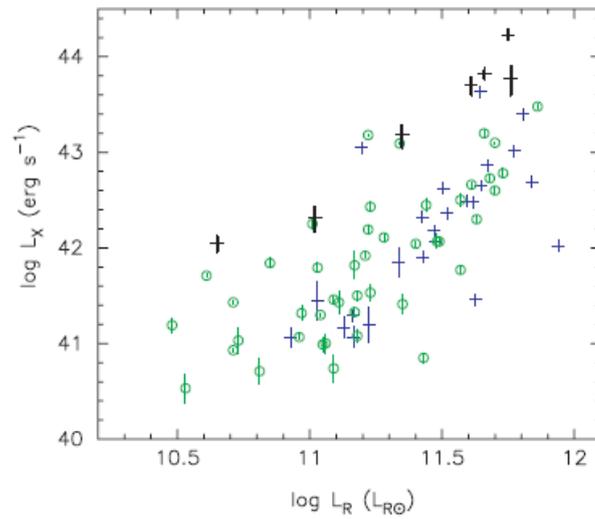


Abbildung 3.4: Stärke der Röntgenleuchtkraft L_X bei gegebener Gesamtleuchtkraft des Systems im R-Band L_R . Die fettgedruckten schwarzen Symbole stellen die FS dar, Gruppen mit Röntgenhalo sind mit grünen Kreisen markiert, röntgenstarke Gruppen mit dünnen blauen Kreuzen. [Khosroshahi et al., 2007]

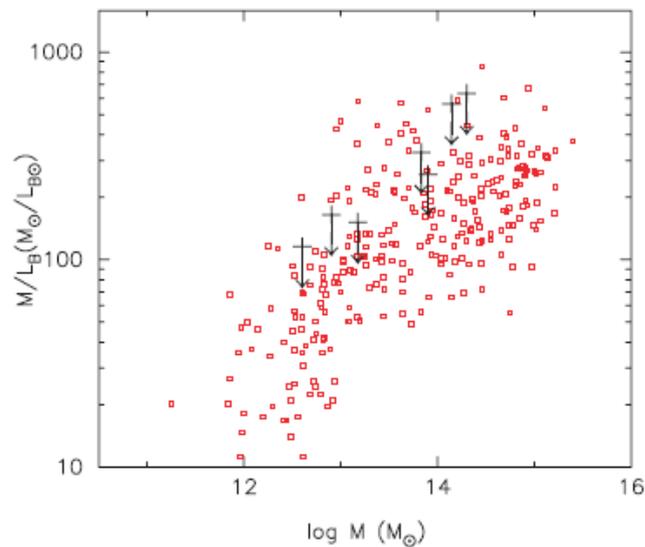


Abbildung 3.5: Masse-zu-Leuchtkraft-Verhältnisse im B-Band M/L_B . Die schwarzen Kreuze geben die FS an unter der Annahme, dass alle Galaxien eines FS zu den frühen morphologischen Typen zählen, die Pfeile zeigen die Korrektur an, wenn alle Mitglieder zur dominanten E als Spättypen gelten. Die roten Quadrate zeigen normale Gruppen und Cluster. [Khosroshahi et al., 2007]

3.4.2 Kein Merging-Vorgang

Mulchaey und Zabludoff [1999] erklären als alternatives Modell das „gescheiterte Gruppe“-Szenario: Der Hauptteil der stellaren Baryonen wurde anfänglich gleich für die Bildung einer großen Elliptischen Galaxie verwendet und nicht für mehrere M_R^* -Objekte.

Yoshioka et al. [2004] haben bei zwei ihrer IOLEGs sehr hohe Masse-zu-Leuchtkraftverhältnisse M/L_B festgestellt: FS51 weist ein M/L_B von $530 M_\odot/L_\odot$ auf, RX J0454.8–1806 sogar $1100 M_\odot/L_\odot$, vergl. auch Abbildung 3.5. Sie meinen, ein Merging-Szenario zur Bildung der großen Elliptischen Galaxie müsste erklären, wie so nach dem Verschmelzungsprozess die B-Band Leuchtkraft um ca. eine Magnitude sinkt, denn die Halos der Dunklen Materie bleiben unverändert. Sie nehmen daher an, dass diese großen Elliptischen Galaxien in low-density Umgebungen gebildet wurden, ohne signifikante Akkretion oder Merging-Vorgänge mit anderen Galaxien. Es ist hierzu allerdings anzumerken, dass die hohen M/L_B -Verhältnisse lt. Khosroshahi et al. [2007] keine Ausnahmen darstellen (vergl. Abbildung 3.5).

3.4.3 Fossiles System als Substruktur

Mendes de Oliveira [2006] untersuchte Galaxiengruppen, die als mögliche Vorgänger für FS in Frage kommen würden. Einerseits gibt es gasreiche kompakte Gruppen mit geringer Geschwindigkeitsdispersion ($\sigma \sim 60 \text{ km s}^{-1}$) der Galaxien, deutlichen Wechselwirkungssignaturen und starker Sternentstehung, die in einer dünnen Umgebung von spiralreichen Galaxien dominiert werden (siehe als Beispiel HCG 31 in Abbildung 3.6). Der Merging-Vorgang bei solch einer Galaxiengruppe würde sehr schnell ablaufen und eine isolierte Elliptische Galaxie wäre das Endprodukt, aber diese würde nicht als Fossiles System klassifiziert werden, da weder ein diffuser Röntgenhalo noch begleitende Zwerggalaxien auf eine ehemalige Gruppe hinweisen würden.

Andererseits zeigen massereiche kompakte Gruppen wie zB HCG 62 (siehe Abbildung 3.7) höhere Geschwindigkeitsdispersionen (ca. 300 bis 400 km s^{-1}), einen ausgedehnten diffusen Röntgenhalo und eine große Menge an Zwerggalaxien. Diese HCGs sind von Elliptischen Galaxien dominiert und in größeren Strukturen eingebettet. Aufgrund der ähnlichen Eigenschaften dieser Gruppen wie bei bekannten FS besteht die starke Vermutung, dass diese Art von Gruppen die Vorgänger für Fossile Systeme sind.

Weiters ist anzumerken, dass die genau untersuchten FS59 und FS60 *keine* low-density Umgebungen besitzen! Daher hat Mendes de Oliveira [2006] folgendes Entstehungs-Szenario entwickelt: Eine kompakte Gruppe bildete sich als Substruktur innerhalb einer großen Gruppe. Die Mitglieder der kompakten Gruppe verschmolzen und hinterließen nach Abschluss des morphologischen Transformationsvorganges eine große Elliptische Galaxie.

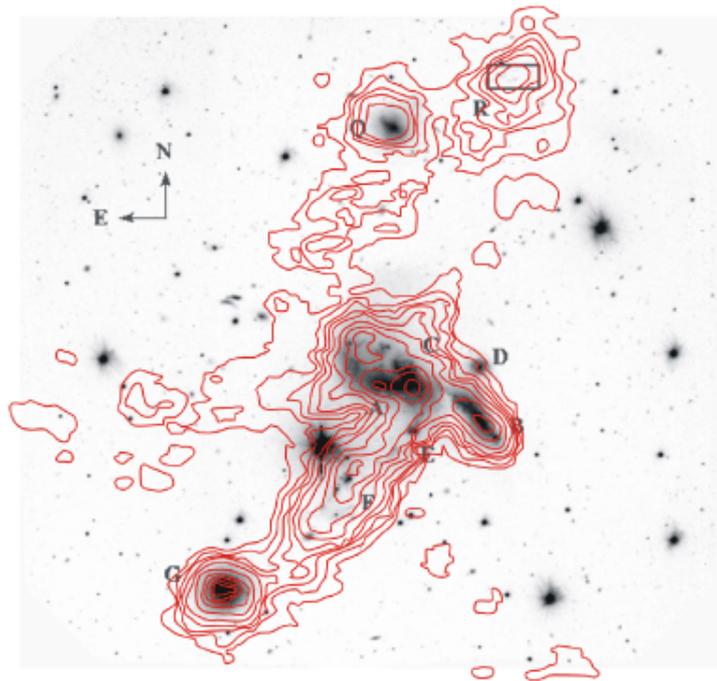


Abbildung 3.6: Galaxiengruppe HCG 31: Die optische Aufnahme im r-Band ist in schwarz dargestellt. Die roten Konturen geben die Verteilung des neutralen Wasserstoffs HI an. Der Durchmesser der Aufnahme entspricht ca. $90 h_{70}^{-1}$ kpc. [Mendes de Oliveira, 2006]

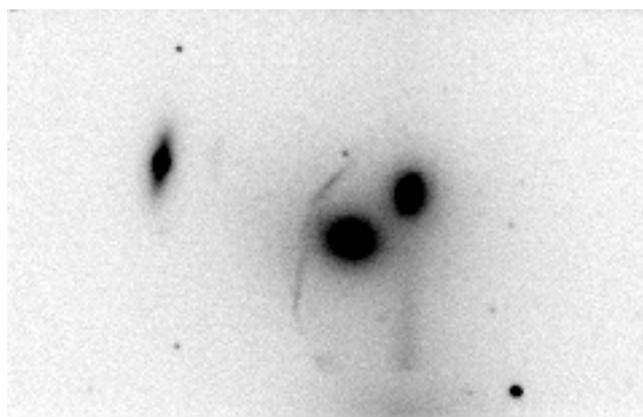


Abbildung 3.7: Optische Aufnahme der kompakten Galaxiengruppe HCG 62 im R-Filter des CFHT.

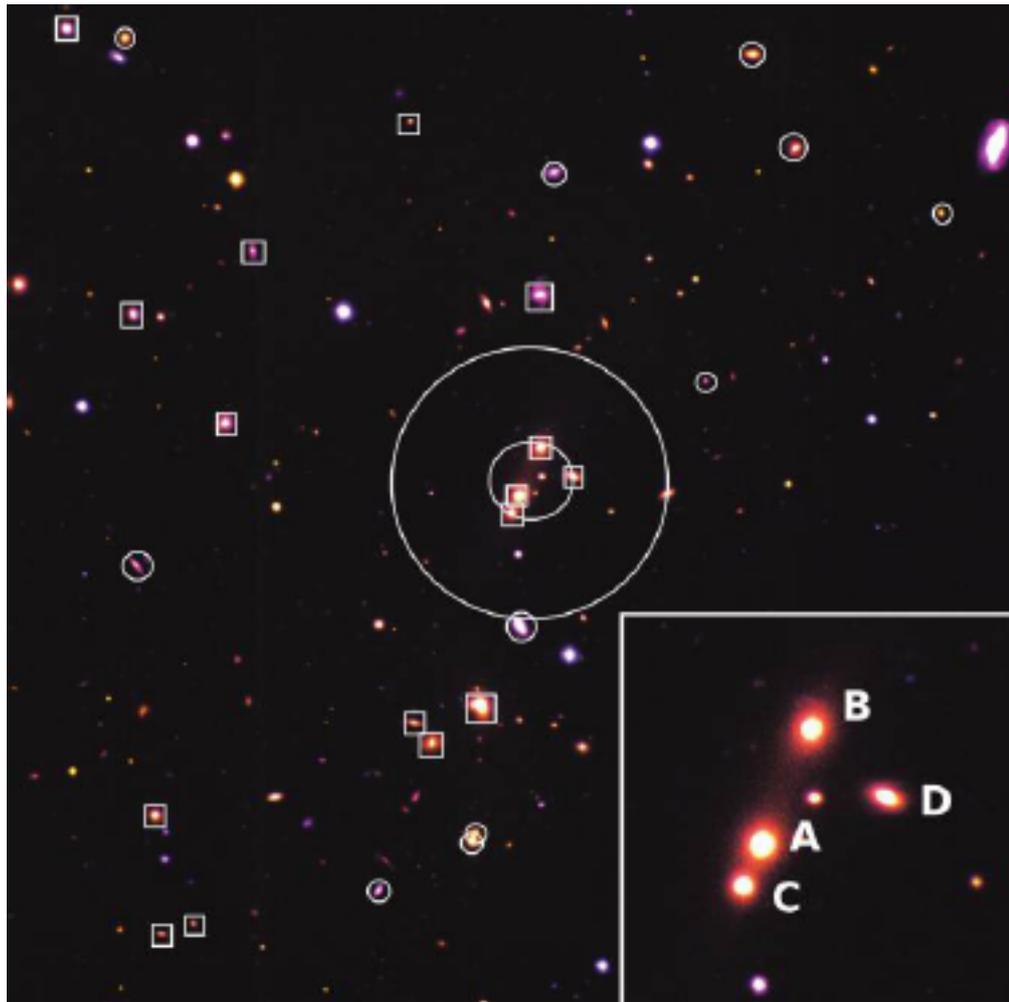


Abbildung 3.8: Farbenkomposit-Aufnahme von SDSS CG 6. Der Durchmesser des Bildes entspricht $1.12 h_{70}^{-1}$ Mpc. Die Quadrate markieren Mitgliedsgalaxien des Systems, die Kreise betreffen Vordergrund- und Hintergrund-Galaxien. [Mendes de Oliveira und Carrasco, 2007]

Eine kompakte Gruppe, die ein möglicher Vorgänger einer Fossilen Gruppe sein könnte, wurde von Mendes de Oliveira und Carrasco [2007] sorgfältig untersucht. SDSS CG 6 (siehe Abbildung 3.8) ist eine massereiche kompakte Gruppe in einer Entfernung von $z = 0.22$, besitzt 20 Mitgliedsgalaxien innerhalb eines Radius von $1 h_{70}^{-1}$ Mpc mit einer Geschwindigkeitsdispersion von 700 km s^{-1} und einer Masse von $1.8 \times 10^{14} h_{70}^{-1} M_{\odot}$. Ein Merging der vier zentralen Galaxien würde eine Galaxie mit einer Helligkeit von $M_r \sim -23.4 \text{ mag}$ bilden, typisch für eine zentrale Elliptische Galaxie in einem FS. Jedoch wäre nach dem Merging-Vorgang das Zwei-Magnituden-Kriterium nicht erfüllt, da es eine andere helle Galaxie innerhalb des halben Virialradius geben würde.

Kapitel 4

Theorie zu Fossilen Systemen

Im Abschnitt 3.4 wurde auf mögliche Entstehungsszenarien Fossiler Systeme aus Sicht der Beobachtungsergebnisse eingegangen. Dieses Kapitel zeigt im Gegensatz dazu die Erkenntnisse aus Computersimulationen.

4.1 Entstehung und Entwicklung Fossiler Systeme

Die ersten Simulationen zur Bildung von Fossilen Systemen stammen von D’Onghia et al. [2005]. Sie verwendeten zwölf hochaufgelöste N -Körper/hydrodynamische Simulationen im Rahmen der Λ CDM-Kosmologie. Dabei fanden sie eine interessante Korrelation zwischen der Magnitudendifferenz der hellsten und zweithellsten Galaxie und der Bildungszeit des FS, siehe Abbildung 4.1. Fossile Systeme haben die Hälfte ihrer Dunklen Materie-Masse bereits bei $z \geq 1$ akkretiert, während sich nicht-FS durchschnittlich später bilden. Nach $z < 1$ wachsen sie nur mehr durch Einfall kleinerer Galaxien. Die frühe Häufung der Galaxien eines entstehenden FS gibt den L^* -Galaxien genügend Zeit, durch dynamische Reibung in die zentrale Galaxie zu spiralen und mit ihr zu verschmelzen, was das bekannte Magnituden-Loch in der Leuchtkraftfunktion erzeugt. Der relativ schnelle Verschmelzungsprozess geschieht durch den Einfall von L^* -Galaxien entlang von Filamenten mit kleinen Impaktparametern.

Die Untersuchung der umgebenden Regionen ergab, dass die FS in isolierten low-density Umgebungen (R bis 7.5 Mpc) gebildet wurden. Ab 10 Mpc gibt es keine statistisch signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Umgebungen der zwei verschiedenen System-Arten. Der Anteil an FS liegt in der Simulation von zwölf Gruppen bei $33 \% \pm 16 \%$.

Sommer-Larsen [2006] ergänzt zu D’Onghia et al. [2005] einen weiteren wichtigen Parameter der bestimmt, ob eine Gruppe fossil wird oder nicht: die „anfängliche“ Geschwindigkeitsverteilung der Galaxien. Je mehr radial anisotrop diese ist, desto „fossiler“ wird das entstehende System. Abbildung 4.2 zeigt den Unterschied in der anisotropen Geschwindigkeitsverteilung zwischen FS und nicht-FS deutlich anhand der Halo-Sterne.

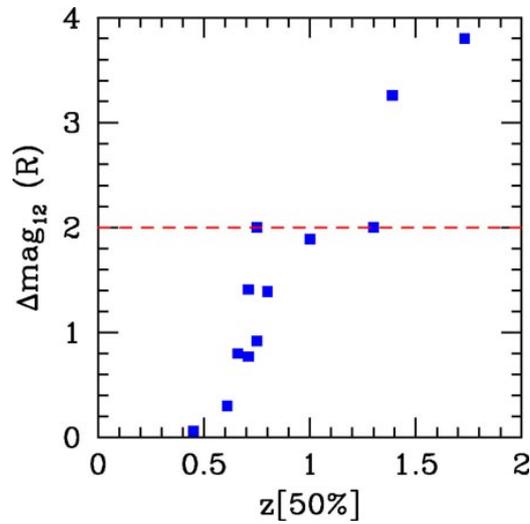


Abbildung 4.1: Magnitudendifferenz zwischen den zwei hellsten Galaxien der zwölf simulierten FG als Funktion der Bildungszeit, die definiert ist als jene Zeit, in der die Gruppe 50 % der Endmasse des Systems akkretiert hat. [D'Onghia et al., 2005]

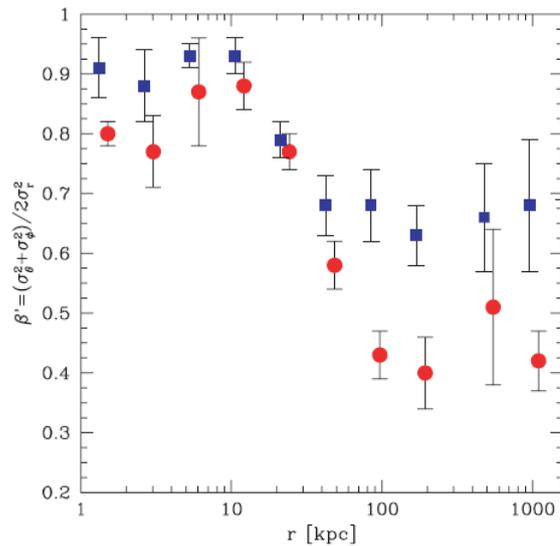


Abbildung 4.2: Geschwindigkeitsanisotropie-Parameter β' für die Halo-Sterne und Sterne der zentralen Galaxie aufgetragen gegen den Radius. Rote Kreise stellen die FS dar, blaue Quadrate die nicht-FS. Eine isotrope Geschwindigkeitsverteilung hätte $\beta' = 1$. [Sommer-Larsen, 2006]

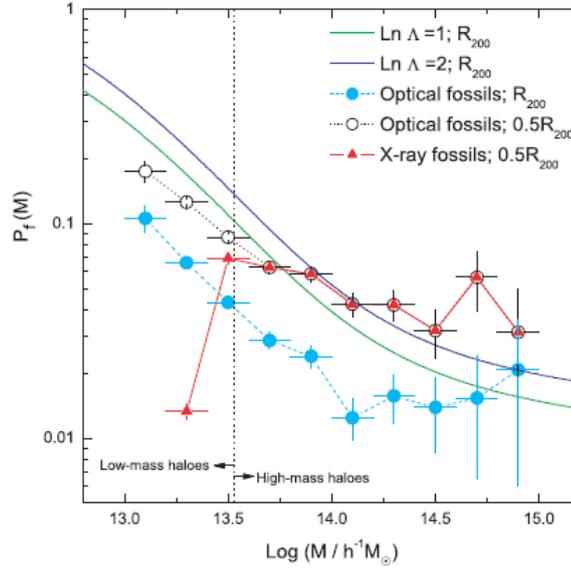


Abbildung 4.3: Die Wahrscheinlichkeit $P_f(M)$, dass ein Dunkler Materie-Halo der Masse M in der Millennium Simulation ein FS enthält, je nach Definition: mit Röntgenstrahlung (rote Dreiecke), nur optisch identifizierbares FS innerhalb von R_{200} (blaue Kreise), optisches FS innerhalb des halben R_{200} (offene Kreise) [Dariush et al., 2007]. Der Anteil Fossiler Systeme in Abhängigkeit von der Halomasse aus der analytischen Studie von Milosavljević et al. [2006] ist als grüne bzw. dunkelblaue Linie dargestellt für unterschiedliche Werte des Coulomb Logarithmus $\text{Ln } \Lambda$ (Maß für die Stärke der dynamischen Reibung). Die vertikale gepunktete Linie entspricht einer Halomasse von ca. $3.34 \times 10^{13} h^{-1} M_{\odot}$.

Analytische Schätzungen zur Häufigkeit von Fossilen Systemen sind von Milosavljević et al. [2006] durchgeführt worden. Die einfachste messbare Statistik, um das dynamische Alter eines Systems von Galaxien zu bestimmen, ist die Leuchtkraft-Lücke zwischen der hellsten und der zweithellsten Galaxie. Die Verteilung der Magnitudendifferenz in Gruppen und Haufen wurde als Funktion der Masse der Dunklen Materie-Halos analytisch geschätzt. Dabei zeigte sich, dass die mittlere Magnitudendifferenz in kleineren Halos höher ist. Die dabei bestimmten FS-Anteile liegen deutlich unter jeden von D’Onghia et al. [2005]. Ca. 1 % bis 3 % aller massiven Cluster und ca. 5 % bis 40 % aller Gruppen sollten hiernach Fossile Systeme darstellen, siehe durchgezogene Linien in Abbildung 4.3.

Eine Analyse von FS in der Millennium Simulation (siehe Abschnitt 1.1) unter Verwendung der entsprechenden Millennium Gassimulation und semi-analytischer Galaxienkataloge wurden von Dariush et al. [2007] durchgeführt. Sie bestimmten Fossile Systeme bei $z = 0$ und verfolgten ihre Halos in der Zeit zurück. Abbildung 4.3 zeigt, dass der FS-Anteil 3 % bis 4 % aller großen Cluster ausmacht. Die Wahrscheinlichkeit, ein optisches FS zu finden sinkt einerseits mit der steigenden Masse des Dunklen Materie-Halos und andererseits mit dem steigenden Anteil des Virial-Radius, indem die zwei hellsten Galaxien gefunden werden können. Umgekehrt bei

FS mit Röntgenstrahlung, ihre Anzahl sinkt bei kleinen DM-Halos.

Diese Studie zeigt auch, dass sich FS früher bilden, denn mehr als ca. 80 % ihrer Masse haben sie schon vor vier Mrd. Jahren akkretiert, siehe Abbildung 4.4. Verglichen zu nicht-FS, liegt ihr gesammelter Massenanteil in jeder Entwicklungsphase über 10 % bis 20 %. Weiters sind FS relativ isoliert verglichen zu den nicht-FS. Diese Erkenntnisse unterstützen die Annahme von Fossilen Systemen als ungestörte, früh-gebildete Systeme, in denen große Galaxien durch Merging eine dominante Elliptische Galaxie gebildet haben.

Sales et al. [2007] haben ebenfalls Daten aus der Millennium Simulation analysiert, konkret Satelliten (bis zu einer Helligkeit von $M_r = -17$ mag) von isolierten Galaxien. Es zeigte sich ein „anti-Holmberg“-Effekt: Die Satelliten sind anisotrop verteilt mit einer Bevorzugung für die Ebene senkrecht zum Drehimpuls des Halos, siehe Abbildung 4.5. Doppelt so viele Mitglieds-Galaxien befinden sich in der Rotationsebene der hellsten Galaxie als senkrecht dazu. Dies ist unter der Annahme, dass die Satelliten der Form des DM-Halos folgen und der Spin der zentralen Galaxie die Richtung des Halo-Drehimpulses bewahrt. Der Mangel an Satellitengalaxien in der Nähe der Rotationsachse der Scheibengalaxie wäre dann verständlich. Der „anti-Holmberg“-Effekt ist konsistent mit aktuellen Beobachtungen und die direkte Folge des Ausrichtungsfehlers zwischen der Drehimpuls- und der Hauptachse des triaxialen DM-Halos.

Fossile Systeme wurden von von Benda-Beckmann et al. [2008] ebenfalls mit einer kosmologischen Λ CDM-Simulation untersucht. Sie bestätigen den relativ frühen Einfall von großen Satelliten zur Bildung von FS und eine Tendenz von Einfallsorten mit niedrigerem Drehimpuls, was einen effizienteren Merging-Vorgang zur Folge hat. Die gefundene hohe Dunkle Materie-Konzentration kann gut mit der frühen Bildungszeit in Beziehung gebracht werden. Allerdings konnte die Bevorzugung von low-density Umgebungen zur Bildung von FS nicht bestätigt werden, es existiert also keine Abhängigkeit von der Umgebung, siehe Abbildung 4.6. Beide Arten von Systemen besiedeln mittlere überdichtete Regionen. Die Diskrepanz zu anderen Untersuchungen wird durch die bevorzugte Suche der beobachteten FS in dünneren Gebieten erklärt.

Eine interessante Erkenntnis ist die „fossile“ Phase: Eine Gruppe von FS bei $z = 0.93$ wurde nach ihrem Zwei-Magnituden-Kriterium ausgewählt und in der Zeit weiterverfolgt bis $z = 0$. Fast alle Systeme erhalten neue große Satelliten durch Einfall und sind bei $z = 0$ nicht mehr als FS zu erkennen, da nur mehr kleine Magnitudendifferenzen bestehen, siehe Abbildung 4.7.

4.2 Entwicklung der zentralen Elliptischen Galaxie

Wie bereits in Unterabschnitt 3.4.1 erwähnt, zeigte Barnes [1989] mittels numerischer Simulation die Entstehung einer Elliptischen Galaxie durch Merging mehrerer Scheibengalaxien in einer Gruppe. Die entstehenden Elliptischen Galaxien zeigen meist prolate (zigarrenförmige, boxy) Formen, es existieren auch oblate (linsenförmige, diskly), vergl. dazu Unterabschnitt 1.3.3. Weiters kommen Schalenstruk-

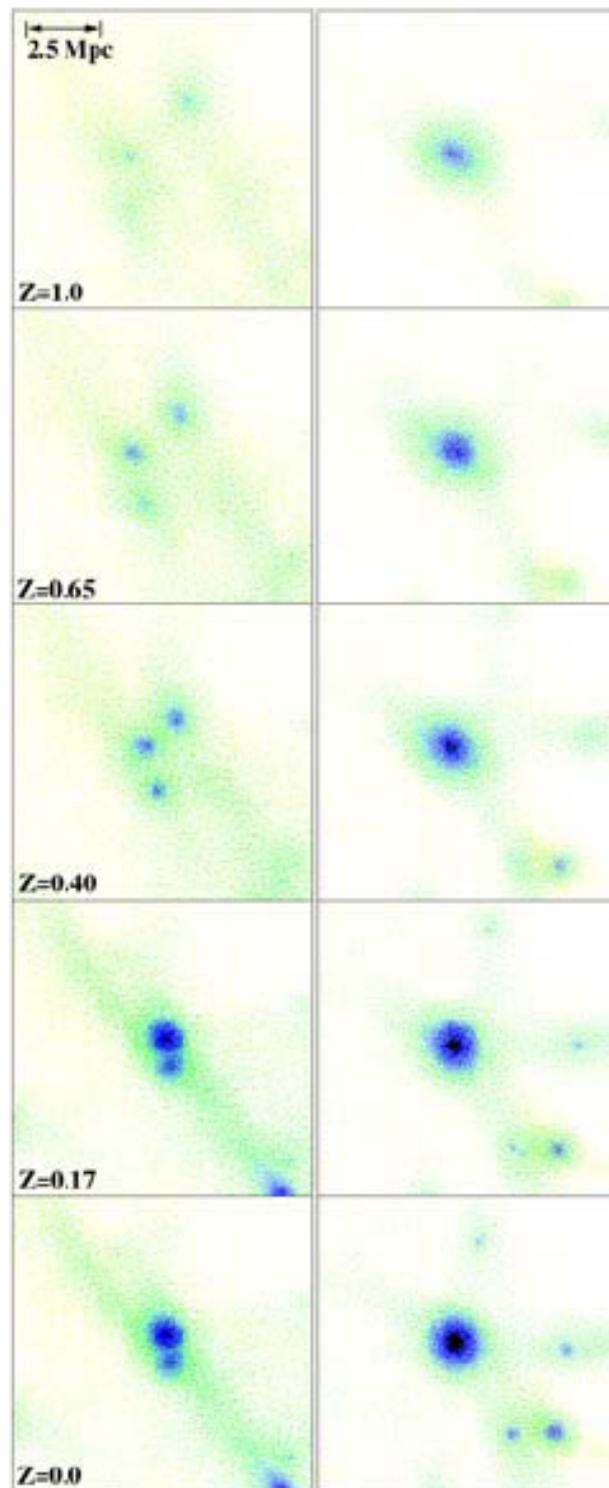


Abbildung 4.4: Entwicklung von Galaxiengruppen beginnend bei Rotverschiebung $z = 1.0$ bis $z = 0$. Links eine normale Gruppe, rechts eine FS mit Röntgenhalo. Die Größe eines Bildes entspricht 10×10 Mpc. Die Punkte repräsentieren Gaspartikel in der Millennium Gas-Simulation. [Dariush et al., 2007]

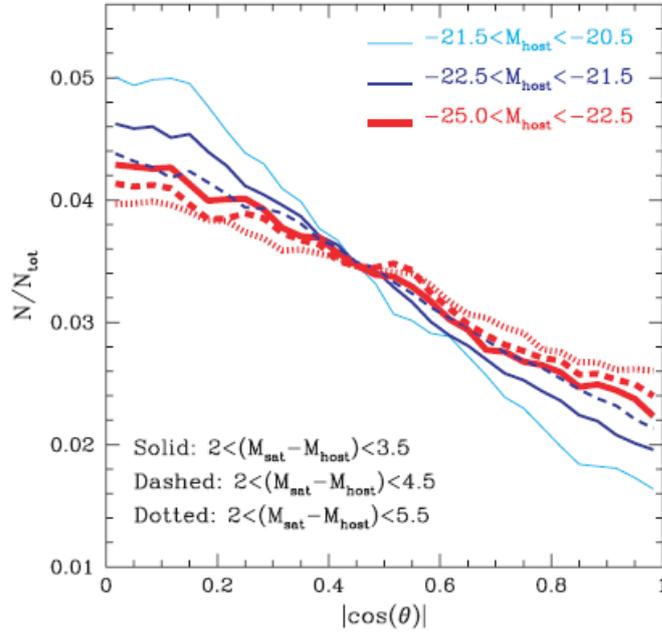


Abbildung 4.5: Anisotropie der räumlichen Satelliten-Verteilung, angegeben durch die Verteilung des Kosinus des Polarwinkels $\cos(\theta)$, gemessen von der Rotationsachse des Halos. Verschiedene Farben geben die unterschiedlichen Helligkeiten der hellsten Galaxie M_{host} an, verschiedene Linientypen entsprechen unterschiedlichen Helligkeits-Bereichen für die Auswahl der Satellitengalaxien. Eine isotrope Verteilung würde als horizontale Linie dargestellt sein. [Sales et al., 2007]

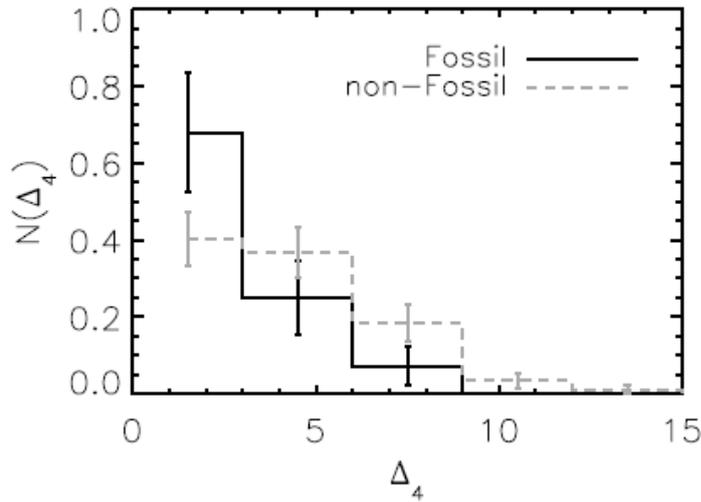


Abbildung 4.6: Die Überdichte Δ_4 der Gruppenumgebung berechnet in einer Sphäre von $4 h^{-1}$ Mpc für FS (dicke Linie) und nicht-FS (strichliert). Zum Vergleich: Die Umgebung eines Cluster weist $\Delta_4 > 10$ auf. [von Benda-Beckmann et al., 2008]

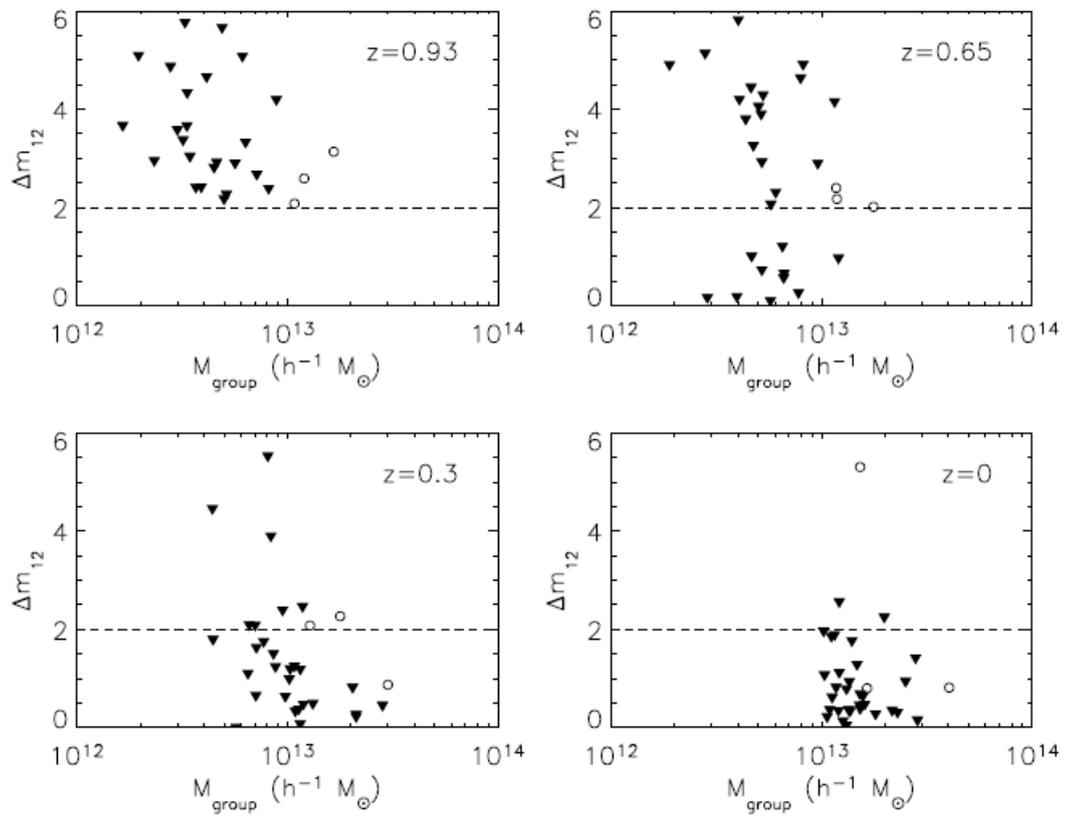


Abbildung 4.7: Die Entwicklung des Magnitudendifferenz-Parameters Δm_{12} mit der Rotverschiebung z . Von FS bei $z = 0.93$ sind bei $z = 0$ nur mehr drei zu erkennen. [von Benda-Beckmann et al., 2008]

Tabelle 4.1: Prozentuelle Anteil der hellsten zentralen Galaxie von FS (mittlere Spalte) und nicht-FS (rechte Spalte) pro Merging-Art (linke Spalte) gemäß Díaz-Giménez et al. [2008]. Die obere Hälfte enthält alle zentralen Galaxien unabhängig von ihrem morphologischen Typ (inkl. S und S0), die untere Hälfte nur E-Galaxien.

	Full sample	
	Fossils	non-Fossils
DRY (E+E)	48%	39%
Mixed (E+S0 or S0+S0)	22%	26%
WET (S+E or S+S0 or S+S)	8%	9%
No major merger	22%	26%
	E galaxy at the centre	
	Fossils	non-Fossils
DRY	57%	45%
Mixed	26%	31%
WET	8%	9%
No major merger	9%	15%
boxy	76%	75%
disky	24%	25%

turen vor, die hauptsächlich aus den Sternen des Bulges der zuletzt eingefallenen Galaxie gebildet werden. Jede „verschluckte“ Galaxie fügt eine weitere dynamische Komponente zum Merger-Rest hinzu. Daher ist es verständlich, dass die Geschwindigkeitsdispersion der Sterne der entstandenen Elliptischen Galaxie hoch anisotrop ist mit einer Dispersion, die entlang der großen Halbachse um einen Faktor ~ 1.4 höher ist als entlang der kleinen.

Bei den von Díaz-Giménez et al. [2008] untersuchten simulierten Fossilen Systemen teilen sich die morphologischen Typen der zentralen Galaxie wie folgt auf: 88 % Elliptische Galaxien, 5 % Spiralgalaxien und 7 % S0-Galaxien, vergleichbare Werte findet man bei nicht-FS. Die gefundenen Ergebnisse (nur diskly Isophoten) von Khosroshahi et al. [2006b] wurden theoretisch widerlegt, siehe Tabelle 4.1. Es zeigt sich kein Unterschied zwischen den Isophoten der hellsten Galaxie in FS und nicht-FS. Bei beiden Arten ist die Wahrscheinlichkeit für boxy Galaxien gleich hoch bei etwa 75 %. Die meisten zentralen Elliptischen Galaxien sind daher aus gasarmen Vorgänger-Galaxien entstanden, bei FS liegt der Anteil an sogenannten dry Mergern bei 57 %.

Kapitel 5

Datenquellen

5.1 SDSS

Die Sloan Digital Sky Survey (SDSS) ist die größte digitale Himmelsdurchmusterung, durchgeführt mit einem 2.5-Meter Spiegelteleskop des Apache Point Observatoriums in New Mexico (siehe Abbildung 5.1). Sie wird unter anderem finanziert von der Alfred P. Sloan Foundation, der National Science Foundation, dem U.S. Department of Energy, der National Aeronautics and Space Administration, dem Japanese Monbukagakusho, der Max Planck Society und dem Higher Education Funding Council for England.

Seit acht Jahren im Einsatz hat diese Durchmusterung tiefe Farbaufnahmen von einem Viertel des gesamten Himmels gemacht und Rotverschiebungen von über 930 000 Galaxien und 120 000 Quasaren gemessen. Bilder und Daten sind öffentlich zugänglich und unter der Webseite <http://www.sdss.org/> abrufbar, sie können zusätzlich mittels SQL (Structured Query Language) abgefragt werden. Die in dieser Arbeit verwendeten SQL-Abfragen befinden sich im Anhang A.

Neue Daten werden ca. jährlich in Releases veröffentlicht. Die in dieser Arbeit verwendete Data Release 6 (DR6) hat 9 583 Quadratgrad des Himmels photometrisch in fünf verschiedenen Filtern (u, g, r, i, z) untersucht (siehe Abbildung 5.2, links) und deckt damit einen Wellenlängenbereich von ca. 3 000 bis 10 000 Å ab. Ein CCD¹-Pixel hat eine Größe von 24 µm und entspricht damit einer Skalierung von 0.396". Die Belichtung beträgt immer 53.907 456 s. Siehe als Beispiel einer photometrischen Aufnahme Abbildung 5.3. Die spektroskopische Abdeckung beträgt 7 425 Quadratgrad in einem Wellenlängenbereich von 3 800 bis 9 200 Å und einer Auflösung von 1 800 bis 2 200, siehe Abbildung 5.2, rechts.

¹ *Charge Coupled Device*. CCD-Sensoren sind elektronische Detektoren, die ein zur empfangenen Lichtmenge proportionales Signal mit der Einheit ADU (*Analog to Digital Unit*) ausgeben.



Abbildung 5.1: Das 2.5-Meter Spiegelteleskop des Apache Point Observatoriums auf 2788 m Seehöhe. (Quelle: http://www.sdss.org/gallery/gal_photos.html)

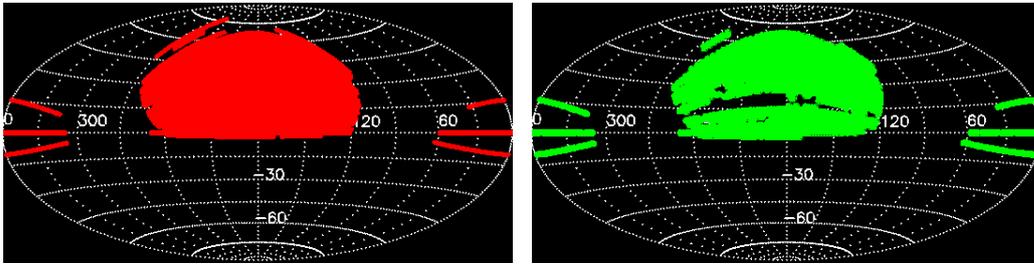


Abbildung 5.2: Abdeckung der SDSS-DR6: Links in rot die photometrische Abdeckung des Himmels, rechts in grün die spektroskopische. (Quelle: <http://www.sdss.org/dr6/>)

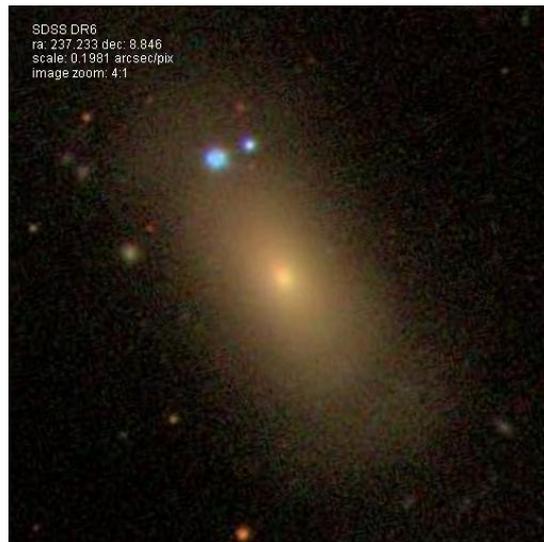


Abbildung 5.3: Die zentrale Elliptische Galaxie des FS26. Aufnahme aus der SDSS.

Durch die automatische Datenverarbeitung der SDSS-Aufnahmen werden entdeckte Objekte entweder als Stern oder als Galaxie klassifiziert. Dazu wird unterschieden, ob es sich um eine punktförmige oder ausgedehnte Quelle handelt. Diese und viele andere Informationen zu einem Objekt ermöglichen eine effiziente Suche und Identifikation von Fossilen Systemen, siehe Santos et al. [2007], Díaz-Giménez et al. [2008], Zibetti et al. [2009] und La Barbera et al. [2009].

5.2 NED

Die NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) ist eine Stammdatenbank für extragalaktische Objekte und unter der Webseite <http://nedwww.ipac.caltech.edu/> abrufbar. Sie wird vom Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology im Auftrag der National Aeronautics and Space Administration betrieben.

NED enthält unter anderem alle zu einem Objekt gehörende Namen aus verschiedenen Datenbanken und exakte Positionen. Rotverschiebungen und andere Basis-Daten wie zB Helligkeiten sind ebenfalls angegeben, sofern aus anderen Zusammenstellungen oder aus der Literatur bekannt. Die SDSS-Basis-Informationen sind ebenfalls in dieser Datenbank enthalten.

Kapitel 6

Datenauswertung

6.1 Photometrische Analyse der zentralen E-Galaxie

Für die photometrische Analyse der Flächenhelligkeit der zentralen Elliptischen Galaxie jedes Fossilen Systems wurden die CCD-Aufnahmen der SDSS im r-Band herangezogen, da einerseits Elliptische Galaxien hauptsächlich aus alten roten Sternen bestehen und andererseits die Datenqualität (Signal-zu-Rausch-Verhältnis) im r-Band am besten ist.

6.1.1 Berechnung der Helligkeitskalibrationsdaten

Die von der SDSS zur Verfügung gestellten FITS¹-Dateien enthielten im *Header*² nur in wenigen Fällen Informationen über FLUX20 (Fluss bei einer Helligkeit von 20 Magnituden) und SKY (Fluss des Himmelshintergrundes). Diese zwei Angaben sind für die Kalibration der Flächenhelligkeit bei photometrischen Analysen notwendig und wurden daher wie unten beschrieben berechnet.

Alle kalibrierten Magnituden in den photometrischen Katalogen der SDSS sind in asinh-Magnituden³ angegeben, die wie folgt berechnet werden:

$$mag = - \left(\frac{2.5}{\ln 10} \right) \left[\operatorname{asinh} \left(\frac{f}{f_0} + \ln b \right) \right] \quad (6.1)$$

Der dabei auftretende Softening Parameter b hat im r-Band den Wert von 1.2×10^{-10} . Das Verhältnis zwischen beobachteter Zählrate f zur Nullpunkts-Zählrate f_0 ist wie folgt gegeben:

¹FITS steht für *Flexible Image Transport System*, das in der Astronomie gebräuchliche Datenformat für CCD-Aufnahmen.

²Eine FITS-Datei besteht aus den eigentlichen Bilddaten und aus einem Header, der allgemeine Informationen über die Aufnahme enthält, zB Datum, Uhrzeit, Koordinaten, Belichtungszeit, etc.

³Areasinus hyperbolicus Magnitude

$$\frac{f}{f_0} = \frac{counts}{exptime} \cdot 10^{0.4 \cdot (aa + kk \cdot airmass)} \quad (6.2)$$

Der Fluss in ADU ist durch *counts* ausgedrückt, abhängig von der Belichtungszeit *exptime*. Die Werte für den Nullpunkt *aa*, den Extinktionskoeffizienten⁴ *kk* und die Luftmasse *airmass* sind für jede Aufnahme in der SDSS-Datenbank angegeben (siehe Anhang A.2).

Um den Fluss bei einer gegebenen Magnitude zu erhalten, können Gleichung 6.1 und 6.2 umgeformt und wie folgt zusammengefasst werden:

$$counts = exptime \cdot \frac{2b \cdot \sinh\left(-\frac{mag \cdot \ln 10}{2.5} - \ln b\right)}{10^{0.4 \cdot (aa + kk \cdot airmass)}} \quad (6.3)$$

Setzt man nun für $mag = 20$, erhält man den Fluss bei 20. Magnitude **FLUX20**. Zur Berechnung des Himmelshintergrund-Flusses setzt man bei obiger Formel $mag = 0$ und berücksichtigt den Datenbank-Wert *sky*, der in *maggies*⁵ pro Quadratbogensekunde (arcsec^2) angegeben ist. Zusammenfassend ergibt sich der Fluss des Himmelshintergrundes wie folgt:

$$SKY = 0.396^2 \cdot sky \cdot counts_{mag=0} \quad (6.4)$$

Der Wert von 0.396² in Gleichung 6.4 entspricht der skalierten CCD-Pixelgröße.

Tabelle 6.1 enthält die für die folgende photometrische Analyse notwendigen Daten, ergänzt um die scheinbare Helligkeit der zentralen Elliptischen Galaxie im r-Band der SDSS.

6.1.2 Photometrische Analyse mit IRAF

Da nicht alle Fossilen Systeme im Durchmusterungsbereich der SDSS liegen, wurde die photometrische Analyse für FS50, FS51, FS52, FS62, FS63 und FS64 nicht durchgeführt. Für das weit entfernte FS55 ($z = 0.59$) war die Auflösung in der SDSS und sogar auf den HST-Aufnahmen deutlich zu gering, um brauchbare Analysen durchzuführen, daher existiert für dieses System auch keine photometrische Analyse.

Die Flächenhelligkeitsanalyse wurde mit der astronomischen Software IRAF⁶ unter Verwendung des ELLIPSE-Programms (enthalten im Programmpaket STSDAS⁷) durchgeführt. ELLIPSE *fittet*⁸ Isophoten (siehe Unterabschnitt 1.3.3) zur Lichtverteilung.

⁴Die Extinktion gibt die Lichtschwächung eines beobachteten Objekts an. Sie ist von der Luftmasse zwischen Erdbeobachter und Objekt abhängig, da sie durch die Erdatmosphäre verursacht wird.

⁵Die Einheit *maggie* gibt einen linear gemessenen Fluss an. 1 *maggie* = 0 mag bzw. eine Flächenhelligkeit von 20 mag arcsec^{-2} würde 10^{-8} *maggies* arcsec^{-2} entsprechen.

⁶Image Reduction and Analysis Facility. IRAF ist eine lizenzfreie Software, die von der IRAF Programming Group und dem National Optical Astronomy Observatories (NOAO) in Tucson, Arizona programmiert wurde.

⁷Space Telescope Science Data Analysis System

⁸Eingedeutschtes Wort aus dem Englischen *to fit* ... anpassen.

Tabelle 6.1: Werte für die Helligkeitskalibration der zentralen Elliptischen Galaxie: (1) zur E-Galaxie gehörende FS, (2) scheinbare SDSS-Helligkeit im r-Band, (3) Fluss bei 20. Magnitude, (4) Fluss des Himmelshintergrundes.

FS-Nr.	m_r [mag]	FLUX20 [ADU]	SKY [ADU]
FS01	17.3	1838.77	162.73
FS02	15.7	1719.03	103.12
FS03	14.5	1991.58	186.48
FS04	16.4	2079.89	177.39
FS05	16.8	2009.19	116.41
FS06	14.1	2009.42	116.76
FS07	18.1	2071.10	113.36
FS08	18.2	2030.05	123.69
FS09	16.0	1968.97	161.31
FS10	17.7	2052.02	162.72
FS11	17.1	1950.80	135.16
FS12	17.0	1977.87	259.43
FS13	16.0	1949.60	146.74
FS14	16.4	2009.77	257.55
FS15	16.5	1950.58	125.97
FS16	17.6	1982.12	107.44
FS17	15.9	1938.58	129.50
FS18	16.9	1959.96	90.59
FS19	15.8	1992.96	131.98
FS20	14.7	1960.64	92.04
FS21	17.9	2187.99	125.63
FS22	15.9	1849.99	146.22
FS23	15.8	1848.31	140.74
FS24	17.2	2012.80	138.62
FS25	14.9	1963.17	80.71
FS26	13.5	1937.43	105.72
FS27	15.8	1933.34	88.21
FS28	14.5	1945.58	79.95
FS29	16.1	2004.85	127.52
FS30	15.3	2105.82	118.00
FS31	15.4	1945.32	88.54
FS32	16.7	2053.18	138.48
FS33	16.8	2002.79	151.79
FS34	16.1	1935.89	139.99
FS53	15.7	2021.85	112.65
FS54	14.1	2037.87	139.85
FS55	19.5	1949.33	93.91
FS56	16.8	1950.76	125.25
FS57	15.4	1916.14	122.19
FS58	16.4	2014.10	86.07
FS59	15.2	1897.50	86.33
FS60	15.4	1839.47	90.05
FS61	13.5	1829.25	108.94

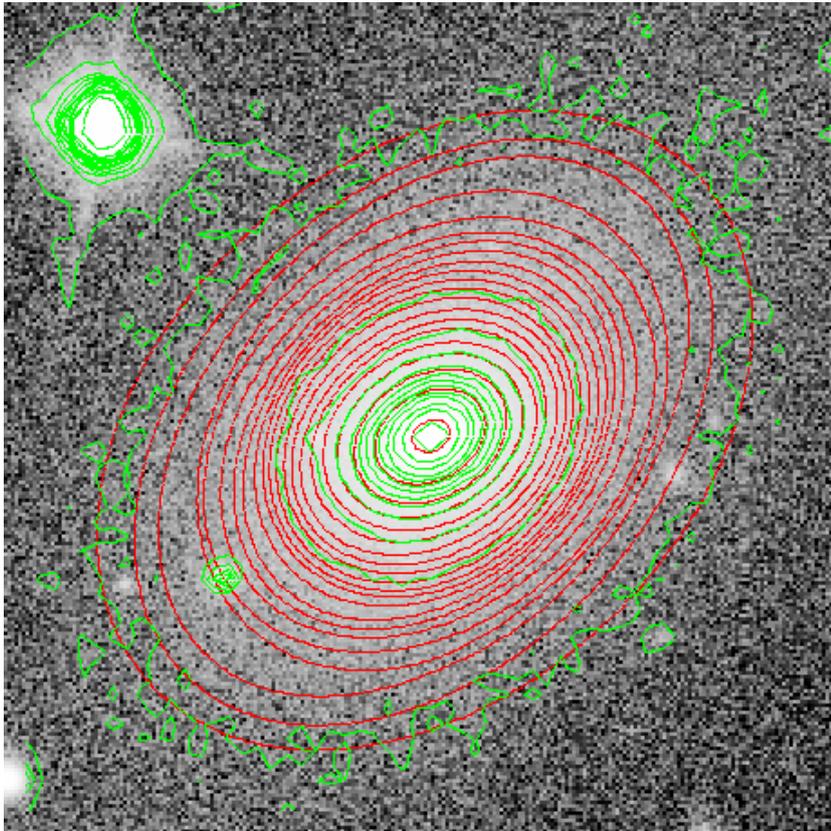


Abbildung 6.1: Helligkeitsverteilung der zentralen Elliptischen Galaxie von FS61, SDSS-Aufnahme im r-Filter, grün: Konturen der Pixel gleicher Intensität, rot: gefittete Isophoten des ELLIPSE-Programms von IRAF.

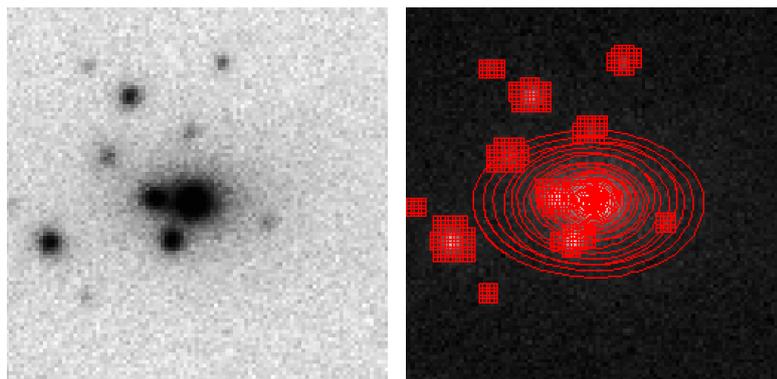


Abbildung 6.2: Im Zentrum der beiden Abbildungen befindet sich die Elliptische Galaxie des FS23: Links SDSS-Aufnahme im r-Filter (Helligkeiten invertiert), rechts die Isophoten (rote Ellipsen) und ausmaskierten Pixel (rote Kästchen) des interaktiven ELLIPSE-Programms von IRAF.

lung einer Galaxie als Ellipsen mit kleinen Abweichungen von der reinen elliptischen Form [Jedrzejewski, 1987], siehe Abbildung 6.1. Durch die Fourier-Analyse des Abstandes R zu allen Kontur-Punkten als Funktion des Positionswinkels ϕ ergibt sich die Intensität eines Ellipsenfits aus

$$I = I_0 + A_n \sin(nE) + B_n \cos(nE) \quad (6.5)$$

mit der exzentrischen Anomalie E und den Fourier-Koeffizienten

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int R(\phi) \sin(n\phi) d\phi \quad (6.6)$$

und

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int R(\phi) \cos(n\phi) d\phi \quad (6.7)$$

Im interaktiven Fitting-Modus können Pixel, die nicht zur Helligkeitsverteilung der untersuchten Galaxie beitragen (zB Vordergrundsterne) maskiert werden, siehe Abbildung 6.2, rechts. Diese Pixel werden bei der Isophoten-Fit-Methode nicht berücksichtigt, um Verfälschungen zu vermeiden.

Das Programm variiert die zentralen Koordinaten X_0 und Y_0 , die Elliptizität ε , den Positionswinkel ϕ und die Fourier-Koeffizienten höherer Ordnung A_3, B_3, A_4, B_4 um den besten Fit zu erhalten. Der im Unterabschnitt 1.3.3 und 3.2.4 erwähnte a_4 -Parameter von Bender et al. [1988] entspricht hier dem B_4 -Koeffizient von Jedrzejewski [1987]. Die Fourier-Koeffizienten geben die Abweichung der Galaxien-Helligkeitsverteilung von einer reinen Ellipse an. So führen die Koeffizienten 3. Ordnung zu dreieckigen Abweichungen, die Helligkeitsverteilung hat dann eine Ei- oder Herz-Form, während der B_4 -Koeffizient 4. Ordnung einen Lichtmangel (negativer Wert, boxy Isophote) oder Lichtüberschuss (positiver Wert, diskly Isophote) entlang der Halbachsen anzeigt. Die integrierte Helligkeit entlang der erhaltenen Isophote wird mit Hilfe der Kalibrationswerte FLUX20 und SKY berechnet. Als Ergebnis erhält man ein Flächenhelligkeitsprofil und alle oben erwähnten freien Parameter inklusive Fehler abhängig vom Radius in Pixel für alle gefitteten Isophoten. Für die Skalierung der Ergebnisse auf Bogensekunden ist eine Umrechnung der Flächenhelligkeiten μ wie folgt notwendig (1 Pixel entspricht 0.396''):

$$\mu [\text{mag arcsec}^{-2}] = \mu [\text{mag pixel}^{-2}] + 5 \log 0.396 \quad (6.8)$$

Konkret werden hiermit die Helligkeiten aus dem ELLIPSE-Programm um die Konstante 2.01 verringert, um die Flächenhelligkeit in Einheiten von Magnituden pro Quadratbogensekunde zu erhalten. Die Fehler der Flächenhelligkeit bleiben unverändert, da es sich nur um relative Einheiten handelt.

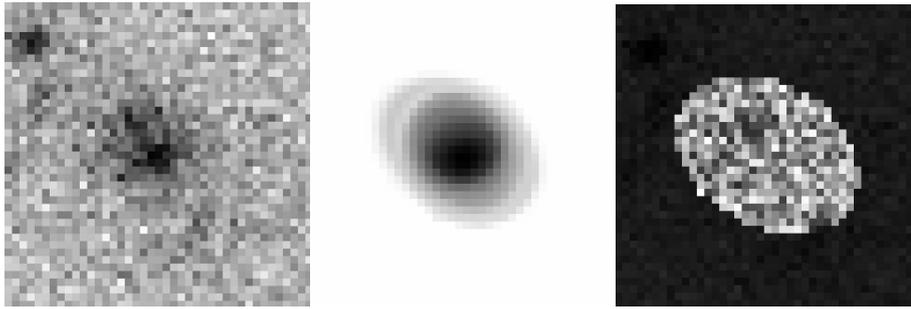


Abbildung 6.3: Zentrale Elliptische Galaxie des FS07. Links: SDSS-Aufnahme im r-Filter, Mitte: Modell der Galaxie aus dem IRAF-Programm BMODEL, Rechts: Residuenbild = Originalaufnahme – Modell. Hier erkennt man eine weitere Lichtquelle im Residuenbild.

Für die zentralen Bereiche der Galaxien, die vom *Seeing*⁹ betroffen sind, wurden die beeinträchtigten Daten nicht in die Flächenhelligkeitsdiagramme aufgenommen. Das Seeing pro Aufnahme wurde ebenfalls aus der SDSS-Datenbank abgefragt, siehe Anhang A.3.

Mit dem Programm BMODEL wird aus den in ELLIPSE gewonnenen Isophoten ein Helligkeitsmodell (siehe Abbildung 6.3, Mitte) erstellt, das vom Originalbild pixelweise abgezogen werden kann. Das dabei entstehende Residuenbild (siehe Abbildung 6.3, rechts) ist frei von Helligkeitsbeiträgen der Galaxie, vorausgesetzt das erstellte Modell konnte die Galaxie exakt nachbilden. Somit können in diesem Differenzbild Merkmale, wie zB nahe Mitglieds-Galaxien, doppelte Kerne oder Wechselwirkungssignaturen sehr gut erkannt werden und geben eventuell Aufschlüsse über die Entstehung der Elliptischen Galaxie.

Alle Ergebnisse dieser Analyse (Flächenhelligkeitsdiagramme, Isophotenmodelle, Residuenbilder) sind im Kapitel 7 für jedes Fossile System enthalten. Die Flächenhelligkeit ist mit dem Radius^{1/4} aufgetragen, da die Helligkeit Elliptischer Galaxien normalerweise linear mit $r^{1/4}$ abfällt [de Vaucouleurs, 1948].

6.1.3 Boxy- und Diskyness der Elliptischen Galaxie

Das ELLIPSE-Programm berechnet die Abstände zwischen den Isophoten durch exponentielle Pixelanzahl-Erhöhung der großen Halbachse. Betrachtet man die Flächenhelligkeitsanalyse auf einer logarithmischen Skala (wie es für Helligkeiten üblich ist), so handelt es sich um äquidistante Abstände zwischen den Datenwerten. Stark abweichende Werte beeinträchtigen den Median im Gegensatz zum Mittelwert deutlich geringer. Daher wurde für eine grobe Abschätzung über die Form der Isophoten der zentralen Elliptischen Galaxien der Median der in den Flächenhelligkeitsanalysen dargestellten B4-Werte gebildet (siehe Tabelle B.1). Die dabei herangezogenen Da-

⁹Das Seeing ist ein Maß für die Qualität einer astronomischen Beobachtung aufgrund atmosphärischer Störungen. Sie wird in Bogensekunden gemessen. Zum Beispiel erscheint eine punktförmige Lichtquelle je nach Stärke der Luftunruhe als größeres oder kleineres Scheibchen.

tenwerte starten im Radius nach der Seeing-Beeinträchtigung und reichen bis zu jenem äußersten Radius, bei dem die Fehler nicht wesentlich größer als die Werte selbst sind, siehe Fehlerbalken der B4-Werte in den Diagrammen der Flächenhelligkeitsanalyse (zB Abbildung 7.2).

Die ermittelten Mediane der B4-Werte pro Galaxie geben im positiven Fall eine Tendenz zu einer disky Elliptischen Galaxie an, im negativen zu einer boxy Form. Sie sind für jedes Fossile System im Kapitel 7 angegeben. Eine Gesamtauswertung über alle zentralen Elliptischen Galaxien findet sich in Abbildung 8.1.

6.1.4 Positionswinkel

Der Positionswinkel ϕ ist in IRAF mit positiven Werten gegen den Uhrzeigersinn und negativen im Uhrzeigersinn definiert. In dieser Arbeit wurden negative Positionswinkel durch Addition mit 180° auf positive Werte umgerechnet, ϕ liegt daher nur im Intervall von $[0, 180[$. Würde man entlang der großen Halbachse einer Elliptischen Galaxie eine Gerade legen, die einen Positionswinkel von zB 135° aufweist, so hätte diese Gerade eine Steigung von 1, bei einem Positionswinkel von 90° würde sie waagrecht liegen.

Im Header der SDSS-CCD-Aufnahmen ist der Positionswinkel θ der Kamera angegeben (siehe Tabelle B.3). Er gibt den Verdrehungswinkel der Kamera in Bezug auf Norden N an und ist positiv gegen den Uhrzeigersinn definiert. Um den tatsächlichen Positionswinkel PA einer Elliptischen Galaxie im äquatorialen (J2000) Koordinatensystem zu berechnen, muss der Positionswinkel der Kamera mit dem Positionswinkel, der aus IRAF ermittelt wurde, addiert werden:

$$PA = \phi + \theta \quad (6.9)$$

Bei dieser Berechnung wurde für ϕ generell der IRAF-Positionswinkel der äußersten Isophote herangezogen, da die Innenbereiche einer Elliptischen Galaxie photometrisch entkoppelte Regionen mit deutlich anderen Positionswinkeln enthalten können. Der ermittelte Positionswinkel PA (siehe Tabelle B.3) kann in der räumlichen Lage mit den umgebenden Galaxien, Gruppen und Clustern verglichen werden, die zB in Abbildung 7.9 dargestellt sind.

6.2 Umgebung des Fossilen Systems

Die Umgebung der Fossilen Systeme wurde nach spektroskopisch bestimmten Begleitgalaxien und anderen Galaxiengruppen bzw. Haufen abgesucht. Als Grundlage diente die NED, da sie im Gegensatz zur SDSS Informationen von mehreren Datenbanken vereint. Von Nachteil ist allerdings die Inkonsistenz der Daten. Wurde zB ein FS von der SDSS vollständig spektroskopisch untersucht, wird es statistisch betrachtet mehr Begleiter aufweisen als ein FS, das noch von keiner Durchmusterung betroffen war. Weiters sind die verschiedenen Durchmusterungen bezüglich ihrer Rotverschiebung unterschiedlich tief.

Ausgehend von der zentralen Elliptischen Galaxie wurden zuerst alle Galaxien innerhalb eines projizierten Abstandes von 5 Mpc (abgeleitet vom Winkelabstand D in Bogenminuten) gesucht und anschließend noch auf die Tiefenentfernung (mitbewegte radiale Distanz) d entsprechend ± 5 Mpc eingeschränkt. Die dazu benötigten Skalen zur Umrechnung in Mpc sind von der Entfernung der jeweiligen Elliptischen Galaxie abhängig. Wichtig zu beachten ist hierbei die Zunahme des relativen Fehlers in der Rotverschiebung mit zunehmender Entfernung, d.h. bei der Suche nach Begleitgalaxien eines FS mit hohen z -Werten werden vergleichsweise weniger Kandidaten gefunden als bei einem nahen System, da ihre Rotverschiebungsangaben stärker als die entsprechenden ± 5 Mpc variieren.

6.2.1 Berechnung der Entfernung

Einfach betrachtet kann in einem expandierenden Universum aufgrund der Fluchtgeschwindigkeit (Radialgeschwindigkeit) v auf die radiale Entfernung d eines Objektes geschlossen werden, gemäß dem Hubble-Gesetz:

$$v = H_0 \cdot d \quad (6.10)$$

In 1. Näherung ergibt sich die Fluchtgeschwindigkeit mit dem klassischen Dopplereffekt aus Multiplikation der Rotverschiebung z mit der Lichtgeschwindigkeit $c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$:

$$v = c \cdot z \quad (6.11)$$

Diese einfache Relation darf nur für sehr nahe Objekte ($z \ll 1$) angewendet werden. Die 2. Näherung mit dem relativistischen Dopplereffekt liefert genauere Ergebnisse:

$$v = c \cdot \frac{(z + 1)^2 - 1}{(z + 1)^2 + 1} \quad (6.12)$$

Bei höheren Rotverschiebungen empfiehlt sich die Anwendung des exakten kosmologischen Modells mit dem Nachteil, dass keine analytischen Lösungen existieren und die gewünschten Ergebnisse nur mittels numerischer Integration ermittelt werden können. Da in dieser Arbeit relativ hohe Rotverschiebungen bis $z = 0.59$ vorkommen, wurde der Kosmologische Kalkulator von Ned Wright unter der Webseite <http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html> verwendet. Die Standardparameter für die Kosmologie wurden gleich wie bei Mendes de Oliveira und Carrasco [2007] und Zibetti et al. [2009] gewählt. Ein flaches ($\Omega_\Lambda + \Omega_m = 1$) Universum mit $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $\Omega_\Lambda = 0.7$ und $\Omega_m = 0.3$. Unter Eingabe dieser Parameter und der Rotverschiebung erhält man u.a. die radiale Entfernung in Mpc und eine Skala für den Winkelabstand in kpc pro Bodensekunde (siehe Tabelle B.5, Spalte 3 und 4). Diesem kosmologischen Modell entsprechend ereignete sich der Urknall vor 13.46 Mrd. Jahren.

6.2.2 Eingrenzung der Objekte

Die Suchfunktion im NED ermöglicht verschiedene Eingrenzungen:

1. Für die Begleitgalaxien wurden Objekttypen *G*, *GPair*, *GTrpl* für Galaxie, Galaxienpaar und Galaxientriplet ausgewählt, für die Suche nach Gruppen und Clustern die Typen *GGroup*, *GClstr*.
2. Die aus dem Kosmologischen Kalkulator gewonnenen radialen Entfernungangaben pro FS wurden mit ihren Rotverschiebungswerten (ausgenommen FS55 mit $z = 0.59$) in Verbindung gesetzt und mit einem Polynom 2. Grades gefittet, siehe Anhang B.3. Die dabei erhaltene Relation diente zum Rückrechnen von Mpc-Werten auf Rotverschiebungen, da für jedes FS die radiale Entfernung ± 5 Mpc vorlag und dieser Bereich im NED in Rotverschiebungswerten angegeben werden muss.
3. Der Winkelabstand vom zentralen Objekt kann in Bogenminuten angegeben werden. Für die Begleitgalaxien wurde die Skala für den Winkelabstand [kpc pro Bodensekunde] des Kosmologischen Kalkulators in Einheiten von 5 Mpc pro Bogenminute umgerechnet und dieser Wert als Suchradius in der Himmelsebene um die zentrale Elliptische Galaxie verwendet (siehe Tabelle B.5, Spalte 5).

Die Einschränkungen in Punkt 2 und 3 wurden für Galaxiengruppen und Cluster nicht zwingend angewendet, da in dem „Umgebungszyylinder“ mit einem Radius von 5 Mpc und einer „Zylinderhöhe“ von 10 Mpc bei mehr als der Hälfte der FS keine Gruppen oder Haufen vorhanden waren, siehe Abbildung 8.3.

Die Ergebnisse dieser Umgebungs-Analyse sind im Kapitel 7 für jedes FS als grafische Darstellung in vier Rotverschiebungsbereichen angegeben. Die unterschiedlichen Farben - zB rot für den entferntesten Bereich von -5 bis -2.5 Mpc ausgehend vom FS und hellblau für den näher beim Beobachter liegenden Bereich von 0 bis $+2.5$ Mpc - helfen zur räumlichen Tiefen-Vorstellung der Begleitgalaxien. Die Zentren der folgenden Galaxienaggregate sind mit verschiedenen Symbolen gekennzeichnet. Fossile Systeme mit einem schwarzen Dreieck, andere Galaxiengruppen als Plus-Zeichen und Cluster als große Kreuze. Der Durchmesser eines Feldes entspricht jeweils 10 Mpc, sowohl in Rektaszension als auch in Deklination.

Eine Liste aller Gruppen und Haufen die sich innerhalb dieses Bereichs befinden ist für jedes FS vorhanden. In jenen Fällen, bei denen keine größeren Galaxienaggregate gefunden wurden, ist die Entfernung zur nächsten Gruppe bzw. zum nächsten Cluster angegeben.

Die Auflistung aller Galaxien zu jedem FS ist aus Gründen der Übersichtlichkeit im Anhang C angeführt.

Kapitel 7

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Analyse der in dieser Arbeit studierten Fossilen Systeme (siehe Tabelle 3.3) sind wie folgend beschrieben gegliedert.

Nach Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse enthält jedes Fossile System - sofern vorhanden - eine Tabelle, zwei Diagramme und drei Abbildungen in unten beschriebener Reihenfolge:

1. Die Tabelle enthält eine Auflistung aller Galaxiensysteme um das entsprechende FS innerhalb eines Radius von 5 Mpc.
2. Diese Informationen sind auch grafisch im ersten Diagramm dargestellt. Es enthält die räumliche Verteilung aller Galaxiensysteme und Begleitgalaxien mit spektroskopisch bestimmter Rotverschiebung um ein FS innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Die Zentren der verschiedenen Objekte sind mit unterschiedlichen Symbolen gekennzeichnet.
3. Das zweite Diagramm zeigt die Ergebnisse der Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen Elliptischen Galaxie des FS.
4. Die CCD-Aufnahme im SDSS r-Filter der Elliptischen Galaxie mit ihrem Flächenhelligkeitsmodell ist als Abbildung direkt darunter dargestellt, daneben befindet sich das Residuenbild nach Abzug des Modells der Galaxie.
5. Die dritte Abbildung zeigt das Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie aus der SDSS aufgenommen in einem Wellenlängenbereich von 4000 bis 9000 Å. Die wichtigsten Spektrallinien sind darin gekennzeichnet und beschriftet, man beachte die Verschiebung der bekannten Spektrallinien aufgrund der teilweise recht hohen Rotverschiebung der E-Galaxien in den höheren Wellenlängenbereich.

Eine Untersuchung, um welche Art der galaktischen Aktivität es sich hierbei genau handelt (vergl. Unterabschnitt 1.3.2), ist nicht Ziel der vorliegenden Arbeit. Es soll lediglich das eventuelle Vorhandensein von Emissionslinien aufgezeigt werden.

7.1 FS01

Das erste Fossile System von Santos et al. [2007] besitzt eine relativ hohe Rotverschiebung von $z \sim 0.36$. In der Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc um die zentrale Elliptische Galaxie befindet sich nur eine weitere Galaxie mit bekannter Rotverschiebung (siehe zweite Grafik von links in Abbildung 7.1 bzw. Tabelle C.1). Die sehr geringe Galaxiendichte könnte hier auch durch fehlende Rotverschiebungsmessungen schwacher Mitgliedsgalaxien verursacht werden. Allerdings existieren in diesem Bereich auch keine weiteren Galaxiengruppen oder Haufen. Erst in einem projizierten Abstand von knapp 49 Mpc befindet sich der nächstgelegene Galaxienhaufen MACS J0159.8–0849 mit $z \sim 0.41$.

Die Daten aus der Flächenhelligkeitsanalyse (siehe Abbildung 7.2) zeigen bei einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.1''$ eine deutliche Änderung des Positionswinkels. Die Elliptizität nimmt bis zu diesem Radius leicht ab und steigt danach wieder an. Dies lässt auf eine photometrisch entkoppelte Stern-Komponente in der Elliptischen Galaxie schließen. Betrachtet man den tatsächlichen Positionswinkel (berechnet aus dem äußersten Positionswinkel, siehe Tabelle B.3) von $PA = 142^\circ$ in Bezug auf die Lage der Begleitgalaxie ergeben sich hier keine auffälligen Zusammenhänge. Die B4-Werte schwanken innerhalb der Fehlerbalken nahe um den Wert 0, allerdings zeigt sich eine Tendenz zu negativen Werten mit einem B4-Median von -0.0036 , also einer boxy Ellipse.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie von FS01 (siehe Abbildung 7.4) weist eine Vielzahl an deutlichen Emissionslinien auf, es handelt sich vermutlich um eine LINER. Weiters befindet sich in einem Abstand von $0.8'$ eine bekannte Radioquelle (siehe Tabelle 3.4).

Zusammenfassend betrachtet hat die zentrale Elliptische Galaxie des FS01 aufgrund ihrer entkoppelten Sternkomponente, der boxy Form und der spektralen Informationen deutliche Anzeichen für vergangene Akkretionsvorgänge.

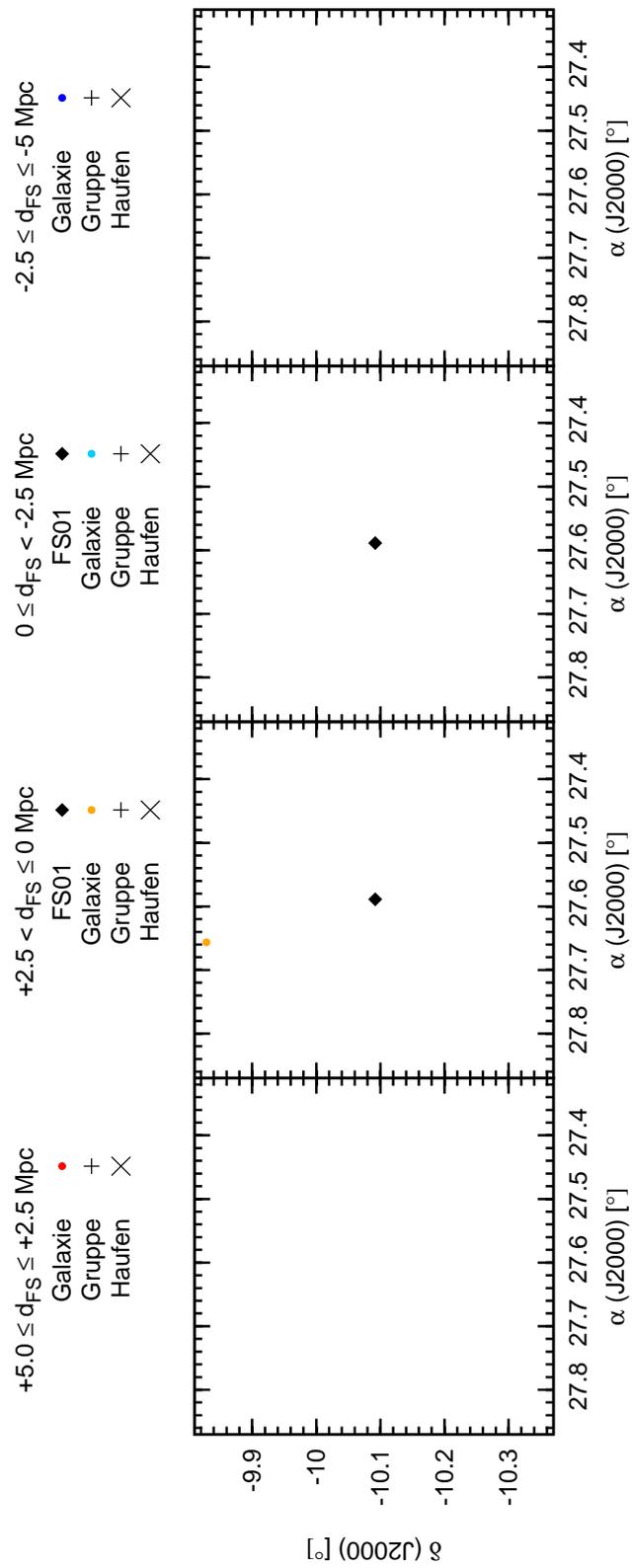


Abbildung 7.1: Räumliche Verteilung der Objekte um FS01 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

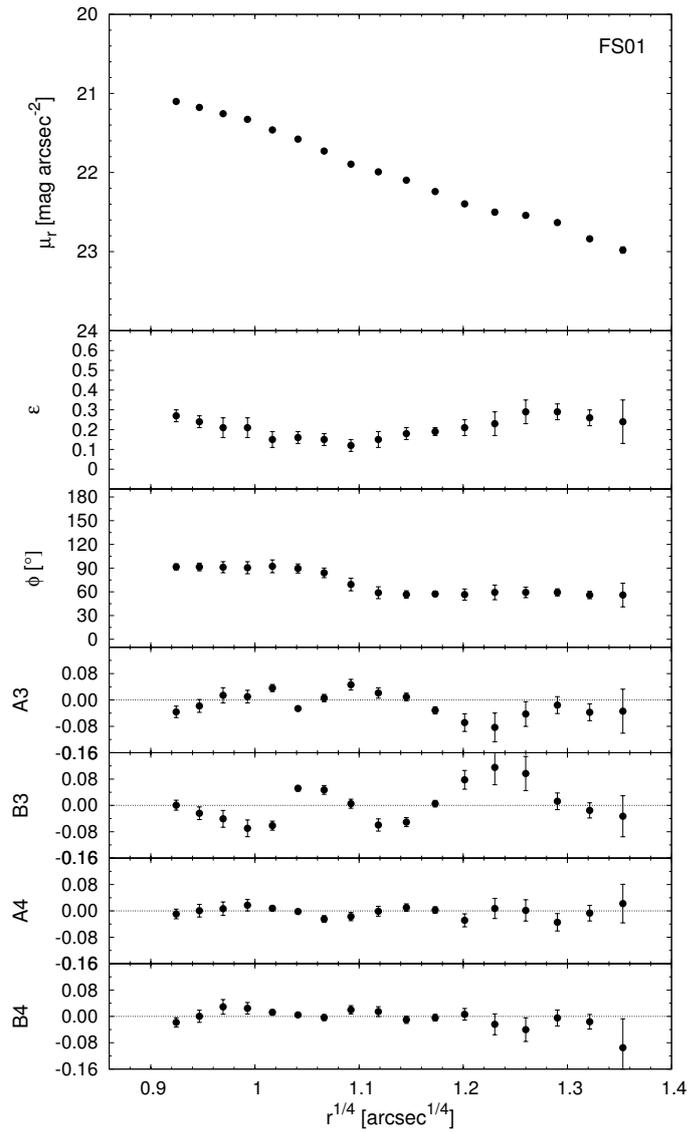


Abbildung 7.2: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS01.

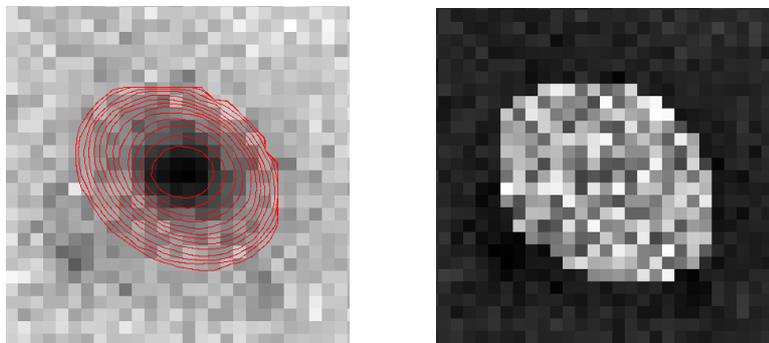


Abbildung 7.3: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS01 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

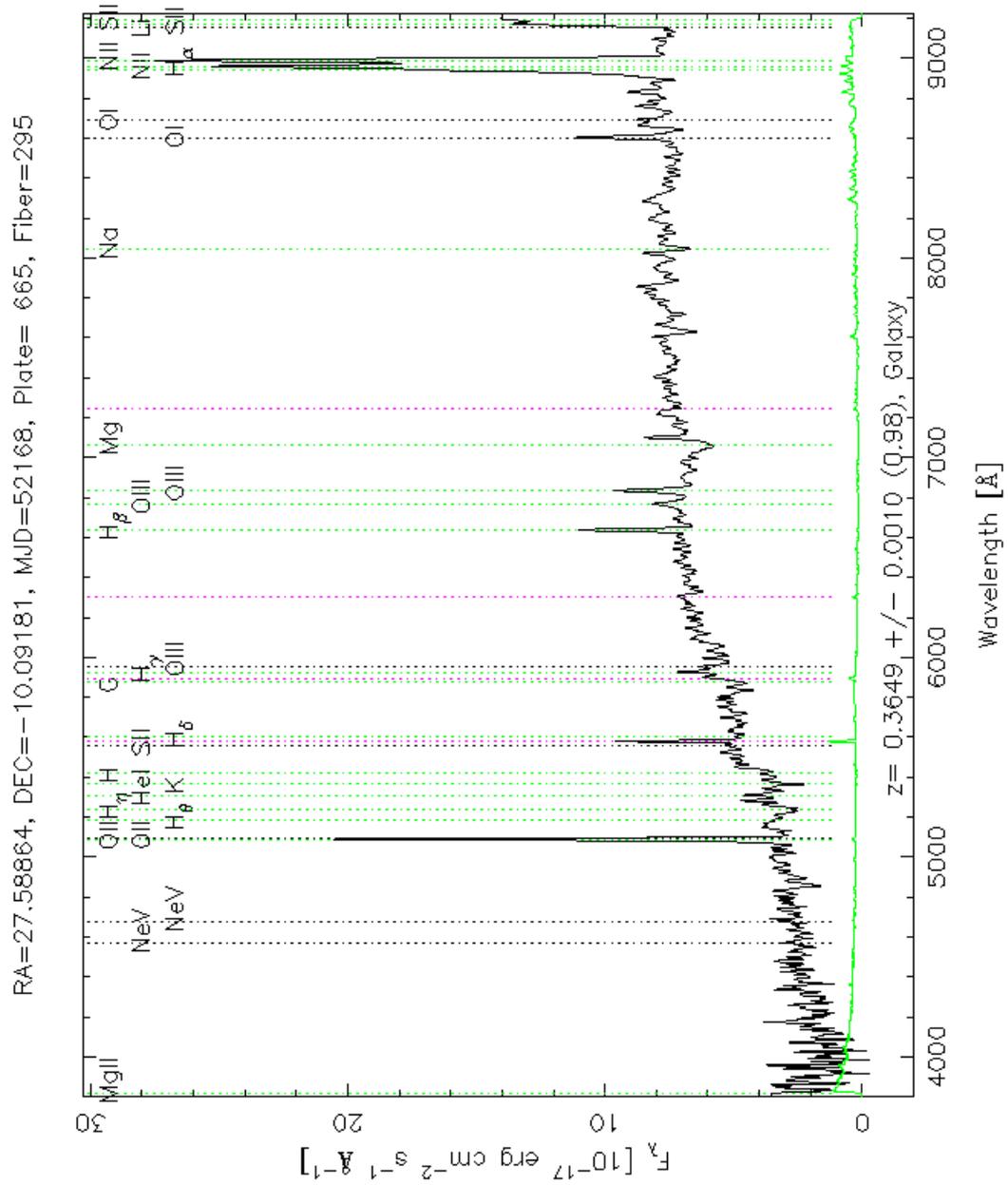


Abbildung 7.4: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS01.

7.2 FS02

Die Elliptische Galaxie des zweiten Fossilen Systems mit $z \sim 0.23$ weist in ihrer Umgebung bis 5 Mpc keine weitere Galaxie mit bekannter Rotverschiebung auf, jedoch einen Galaxienhaufen (siehe Tabelle 7.1 und Abbildung 7.5). Hierbei ist aufgrund der unterschiedlichen Rotverschiebung unklar, ob es sich um ein und dasselbe Galaxiensystem handelt oder um einen weiteren Haufen um das FS. Der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie mit $PA = 11^\circ$ schließt mit der Position in Richtung des Abell-Haufenzentrums fast einen rechten Winkel ein.

Gemäß NED ist die Elliptische Galaxie von FS02 als cD-Galaxie klassifiziert. Ihre Elliptizität steigt stetig an, ihr Positionswinkel bleibt dabei relativ unverändert (siehe Abbildung 7.6). Die B4-Werte zeigen in den inneren Bereichen positive Werte (disky Form), ab einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.3''$ nahezu nur negative Werte. Der B4-Median beträgt -0.0041 . Diese Galaxie ist deutlich von einer boxy Form geprägt. Das Residuenbild (siehe Abbildung 7.7, rechts) enthält eine Vielzahl an räumlich ausgedehnten Objekten, entweder Galaxien im Beobachtungshintergrund oder Zwerggalaxien in der Nähe von der zentralen E-Galaxie.

Abbildung 7.8 zeigt ein für eine Elliptische Galaxie typisches Absorptionslinienspektrum ohne Emissionslinien.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die zentrale Elliptische Galaxie des FS02 eine typische BCG ist.

Tabelle 7.1: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS02. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	ABELL 0267	28.21774	1.04605	3.5	0.2310	4.79

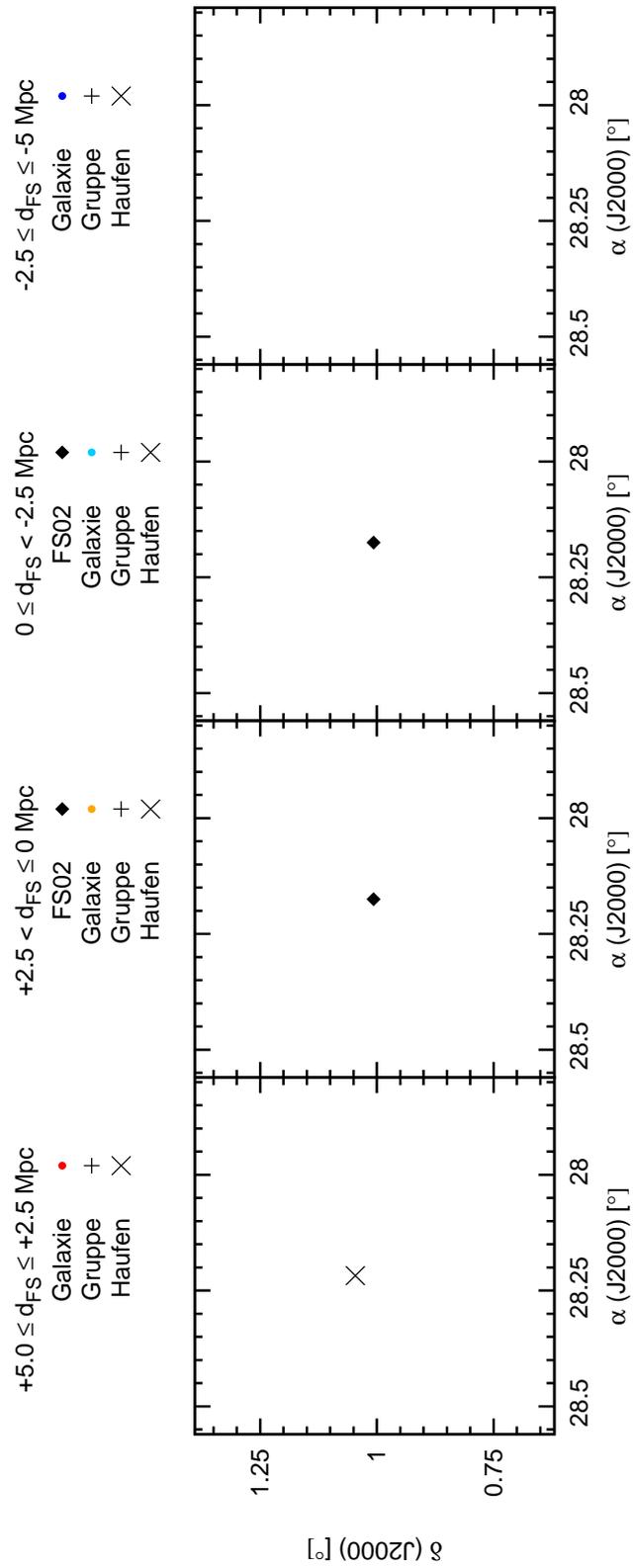


Abbildung 7.5: Räumliche Verteilung der Objekte um FS02 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

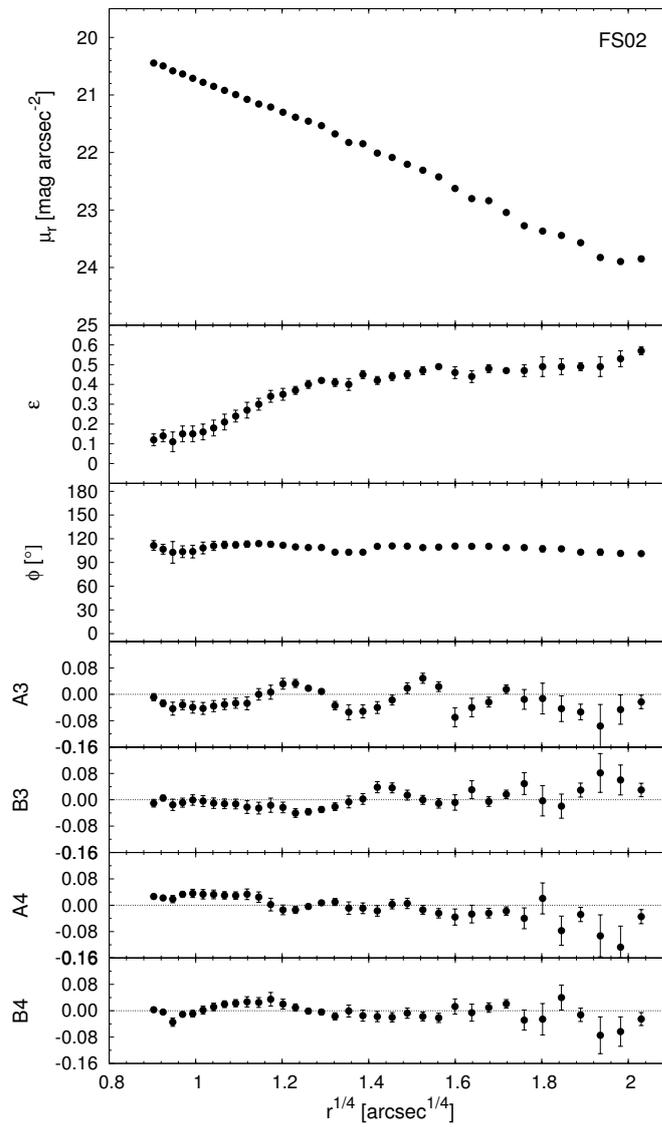


Abbildung 7.6: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS02.

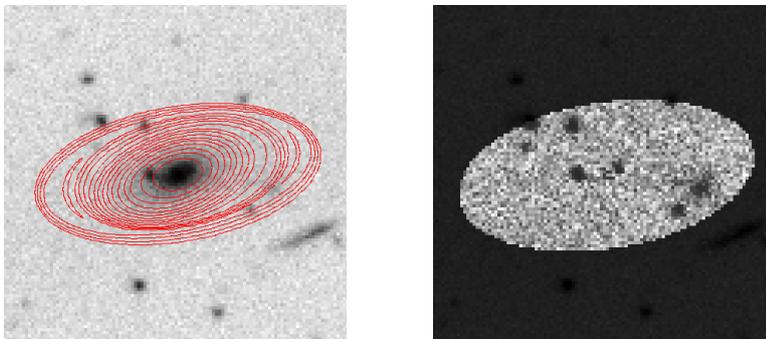


Abbildung 7.7: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS02 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.3 FS03

Das dritte Fossile System ist ein sehr nahes Galaxiensystem bei $z \sim 0.05$. Dementsprechend viele spektroskopisch bestimmte Galaxien, insgesamt 64 (siehe Tabelle C.2 und Abbildung 7.9), befinden sich innerhalb des Bereichs von 5 Mpc Radius um die zentrale Elliptische Galaxie. Weiters wurden drei SDSS-Galaxienhaufen identifiziert (siehe Tabelle 7.2). Betrachtet man den Positionswinkel der E-Galaxie von $PA = 153^\circ$, so weicht dieser nur ca. 30° von der Position in Richtung des nächsten Galaxienhaufens ab.

Die zentrale Elliptische Galaxie des FS03 ist nahezu rund, sie besitzt nur eine kleine Elliptizität von ca. 0.05 (siehe Abbildung 7.10). Trotzdem sind die Positionswinkelangaben mit vertretbaren Größen in den Fehlerbalken aussagekräftig genug, um eine leichte Elongation dieser Galaxie in die Richtung des nächstgelegenen Galaxienhaufens festzustellen. Der B4-Wert nimmt durchgehend leichte negative Werte an, ausgenommen in den äußersten Bereichen der Galaxie. Der B4-Median mit -0.0018 stuft diese E-Galaxie ebenfalls als boxy Form ein.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie ist von unterschiedlich starken Emissionslinien geprägt (siehe Abbildung 7.12), in NED ist diese Galaxie als Seyfert 1.9 klassifiziert. Zwei Radioquellen, nämlich direkt an der Position der E-Galaxie und in $0.6'$ Entfernung, runden das Bild eines AGNs ab.

Zusammenfassend festgestellt ist die Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie durch ihre Umgebung beeinflusst, die von drei weiteren Galaxienhaufen geprägt ist. Die nukleare Aktivität ist eine typische Eigenschaft für zentrale Elliptische Galaxien von Fossilen Systemen.

Tabelle 7.2: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS03. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	SDSS-C4 3048	119.18449	45.87692	42.0	0.0527	3.73
H	SDSS-C4 3185	119.24320	45.74140	46.0	0.0526	3.48
H	SDSS-C4-DR3 3154	118.71469	45.70507	26.6	0.0520	0.84

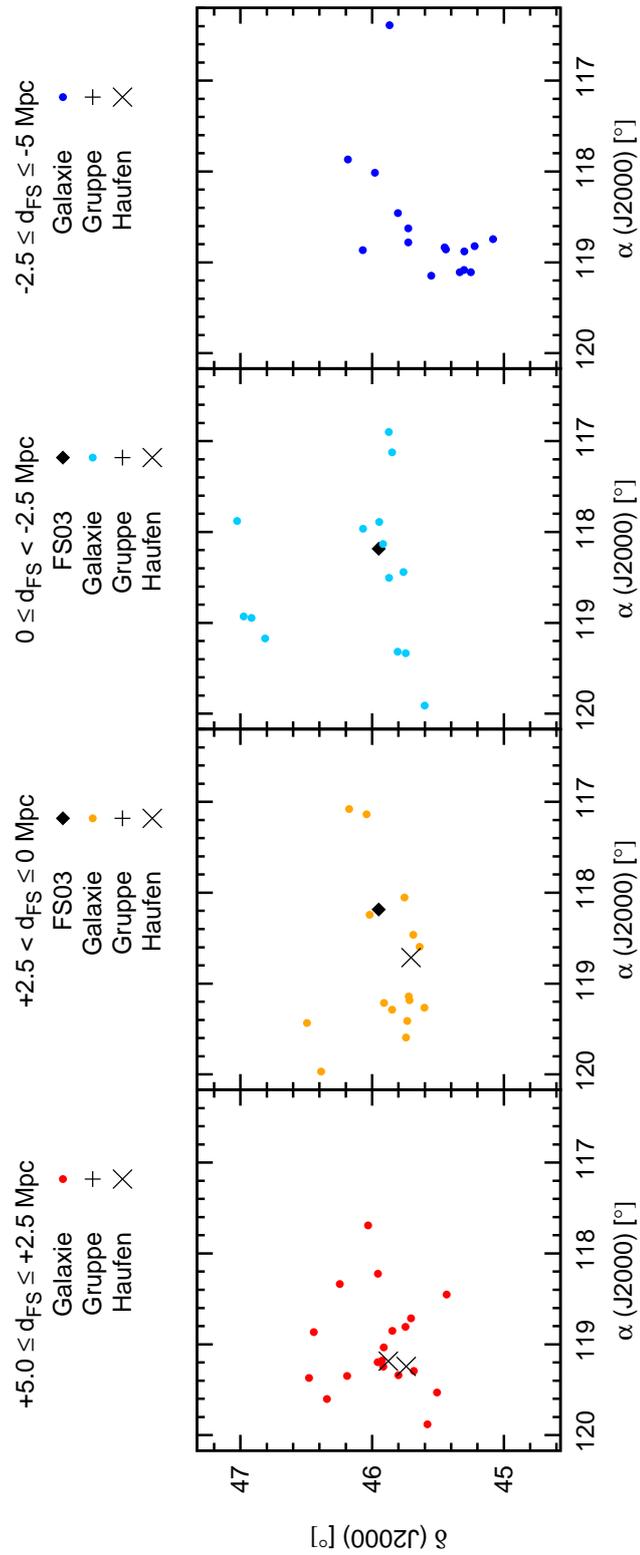


Abbildung 7.9: Räumliche Verteilung der Objekte um FS03 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

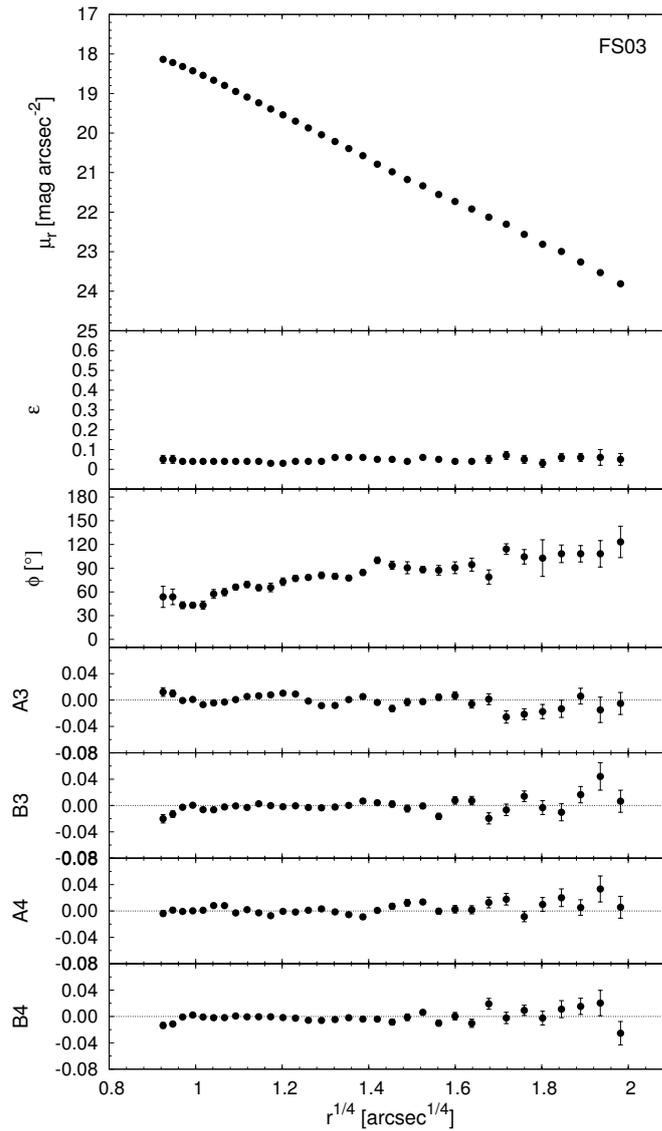


Abbildung 7.10: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS03.

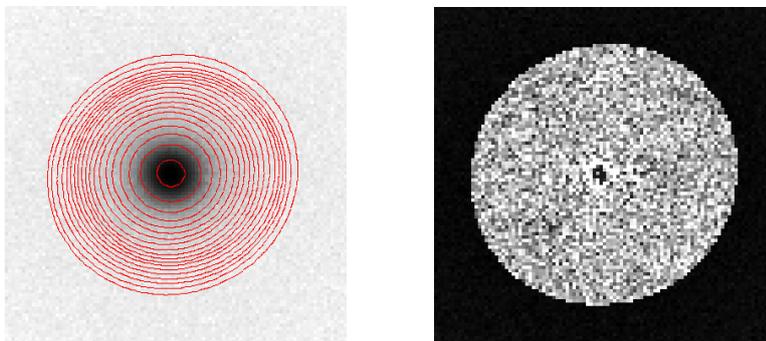


Abbildung 7.11: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS03 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

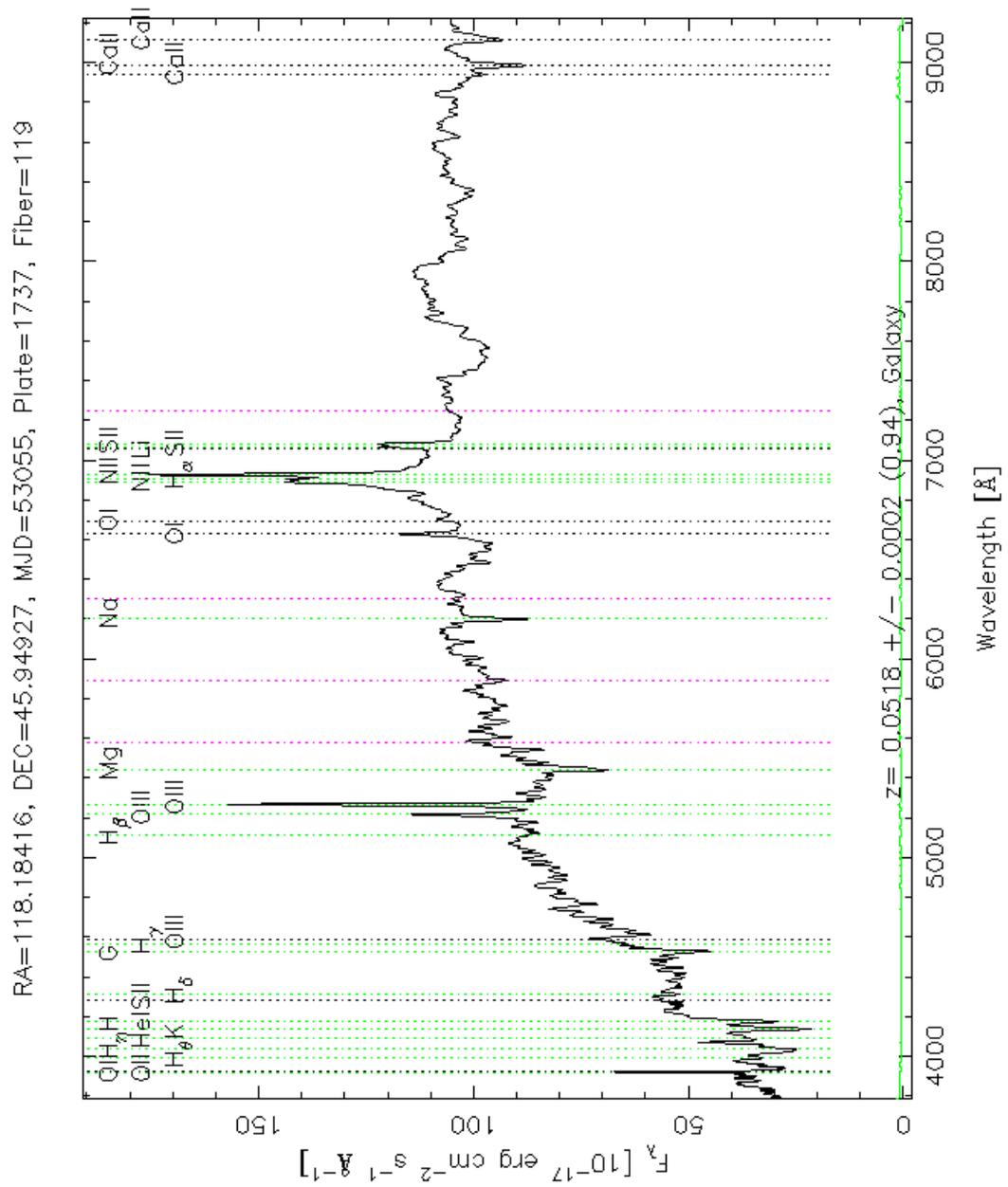


Abbildung 7.12: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS03.

7.4 FS04

Das Fossile System Nr. 4 mit einer Rotverschiebung von $z \sim 0.21$ ist von einer leeren Umgebung geprägt. Kein anderes Galaxiensystem, nur eine Galaxie befindet sich im 5 Mpc-Radius Bereich (siehe Tabelle C.3 und Abbildung 7.13). Der nächstgelegene Galaxienhaufen mit photometrisch bestimmter Rotverschiebung von $z \sim 0.20$ ist NSC J081258+341942 in einem projizierten Abstand von ca. 14 Mpc. Interessant ist die Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie mit einem Positionswinkel von $PA = 75^\circ$ exakt in Richtung der einzigen Mitglieds-Galaxie.

Das Residuenbild (siehe Abbildung 7.15, rechts) zeigt eine nahe Zwerggalaxie oder eine Hintergrundgalaxie. Die erhaltenen Daten in der Flächenhelligkeitsanalyse könnten eventuell durch den Maskierungsvorgang des flächigen Objekts beeinflusst worden sein. Bei einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.35''$ ändert sich der Positionswinkel, die Elliptizität nimmt ab diesem Radius einen gleichbleibenden Wert an (siehe Abbildung 7.14). Beides sind Hinweise auf eine photometrisch entkoppelte Sternkomponente. Die B4-Werte sind meist negativ, zu drei unterschiedlichen Radien werden sie für kurze Zeit positiv. Der B4-Median mit -0.0037 klassifiziert diese Galaxie ebenfalls als boxy Ellipse.

Das Galaxien-Spektrum (siehe Abbildung 7.16) zeigt hier deutliche Emissionslinien, in NED ist diese Galaxie als AGN klassifiziert. Weiters existiert an ihrer Position eine Radioquelle.

Die zentrale Elliptische Galaxie des FS04 ist zusammenfassend betrachtet eine typische nuklear aktive Galaxie mit Anzeichen vergangener Akkretionsvorgänge, die mit ihrer räumlichen Lage ganz deutlich den Einfluss ihrer Umgebung zeigt.

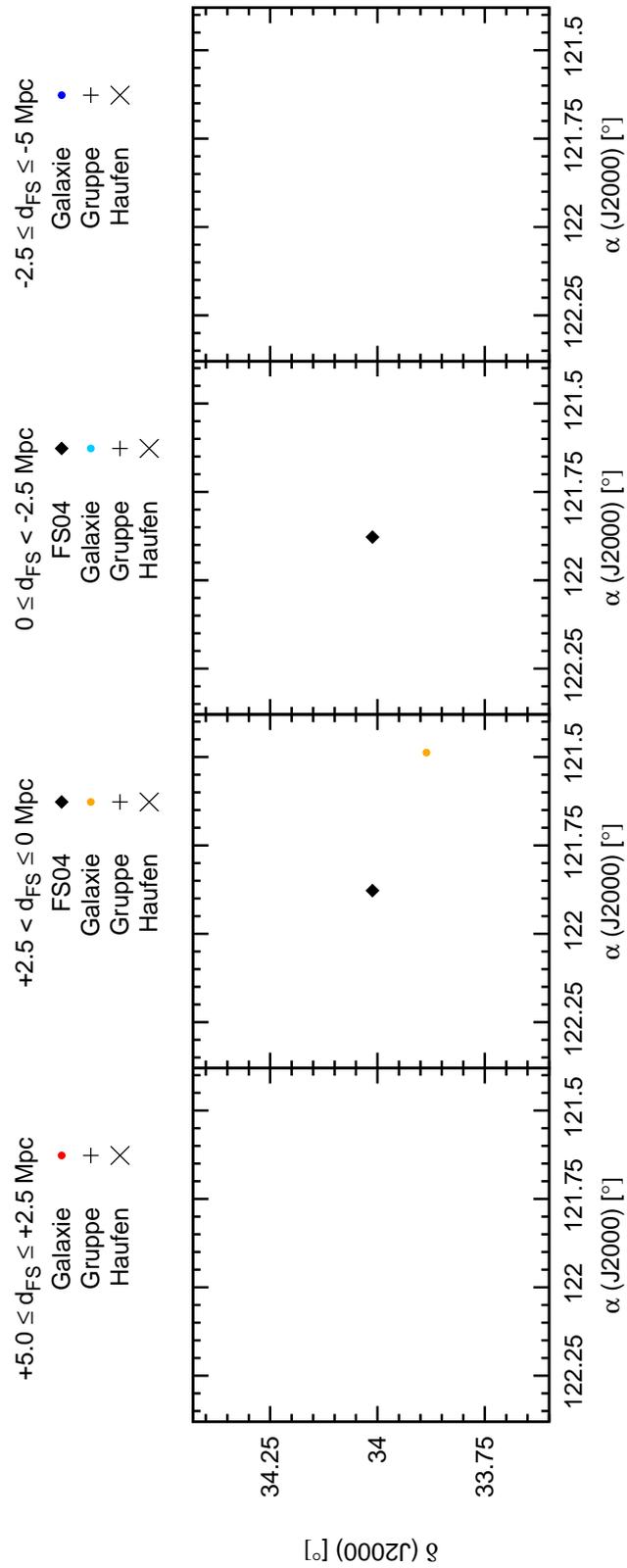


Abbildung 7.13: Räumliche Verteilung der Objekte um FS04 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

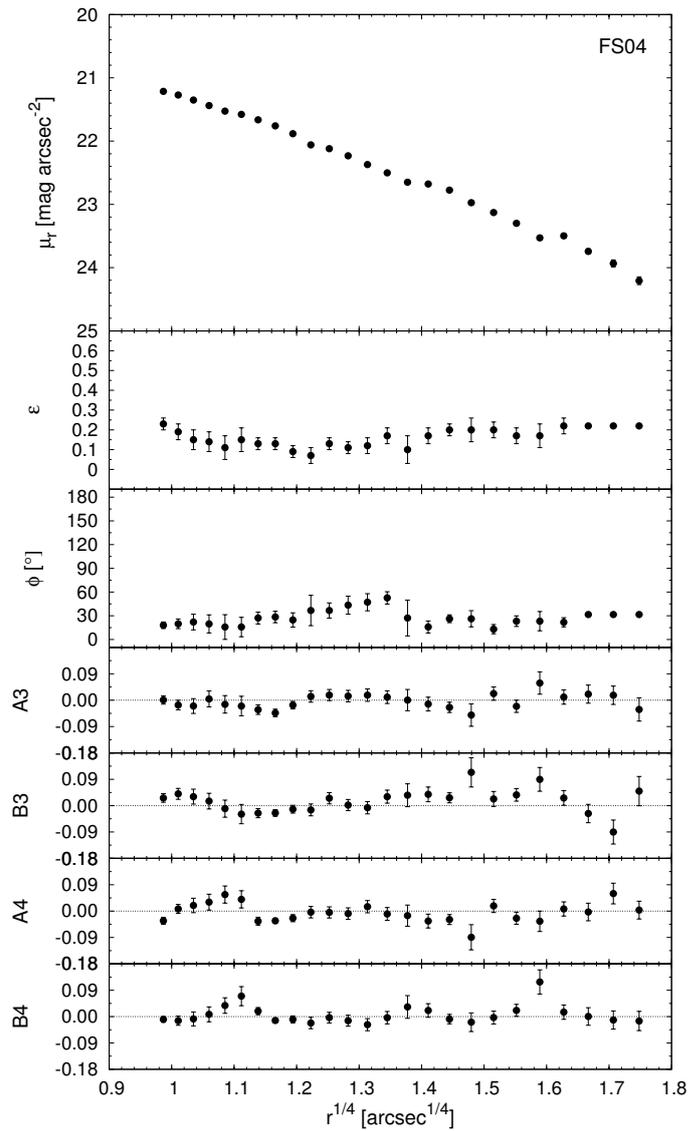


Abbildung 7.14: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS04.

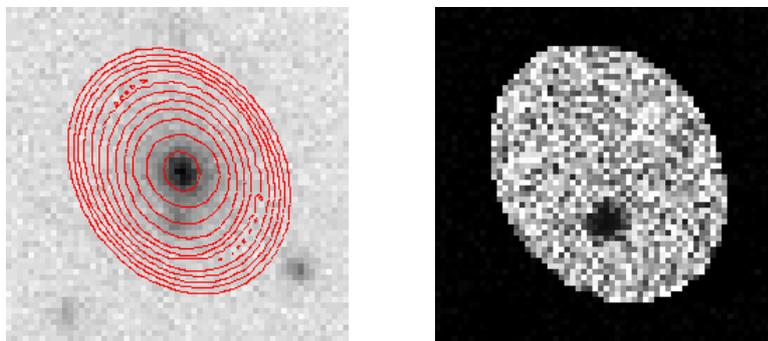


Abbildung 7.15: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS04 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

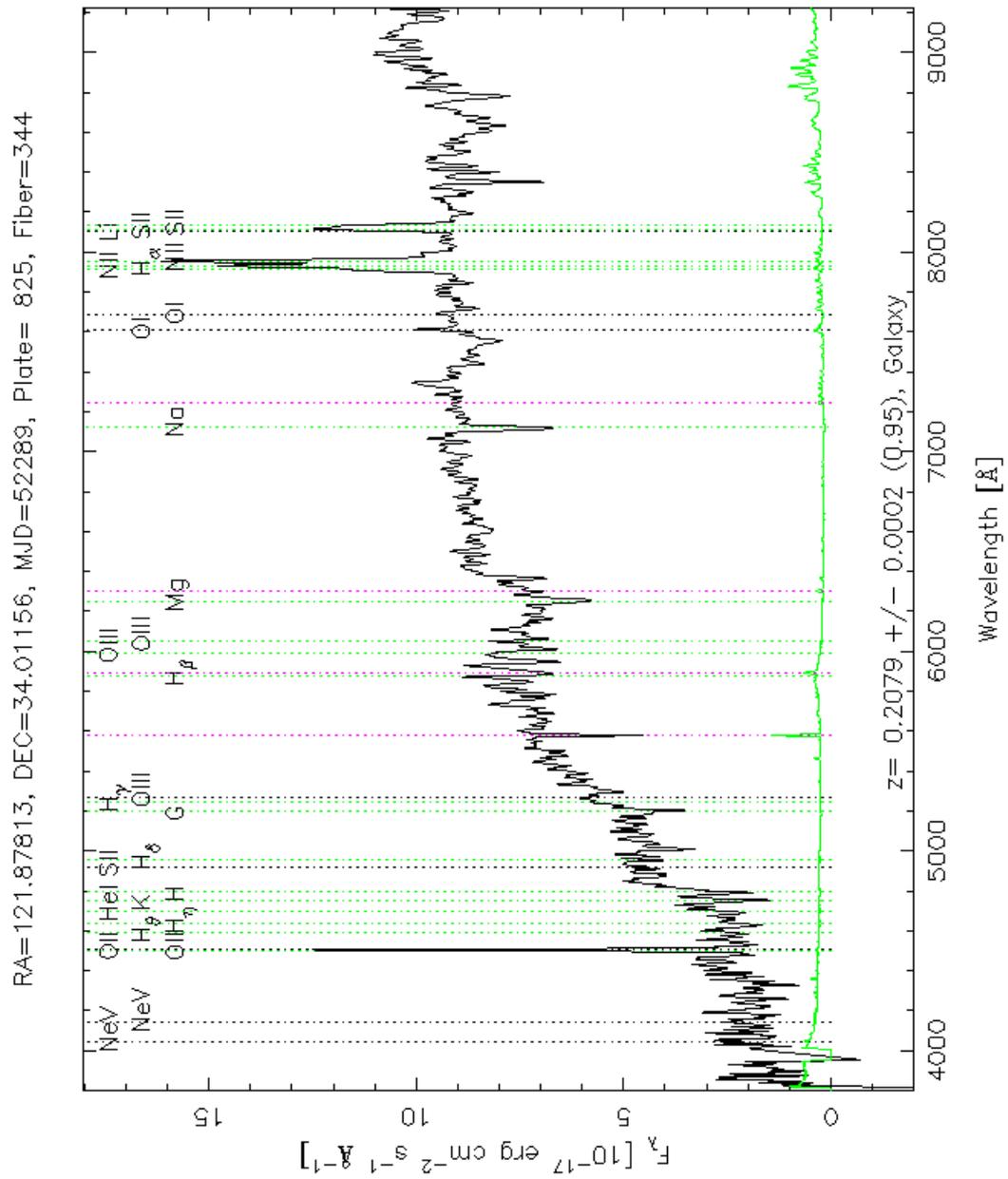


Abbildung 7.16: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS04.

7.5 FS05

Das fünfte Fossile Galaxiensystem zeigt trotz höherer Rotverschiebung von $z \sim 0.28$ insgesamt 18 Galaxien mit spektroskopisch gemessener Rotverschiebung (siehe Tabelle C.4 und Abbildung 7.17). Dieses Galaxiensystem wurde bereits früher als Abell-Haufen katalogisiert (siehe Tabelle 7.3). Ausgenommen vom eigentlichen Fossilen System befinden sich keine weiteren Galaxiensysteme in der betrachteten Umgebung. Die Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie mit einem $PA = 170^\circ$ ist hier wieder in Richtung der Position des Haufenzentrums gegeben. Auch die Mitglieder sind bis auf vier Ausnahmen nord-südlich angeordnet. Der nächstgelegene Galaxiencluster NSC J083739+365836 besitzt eine photometrisch bestimmte Rotverschiebung in vergleichbarer Höhe. Allerdings beträgt sein projizierter Abstand knapp 19 Mpc.

In der Flächenhelligkeitsanalyse zeigt die Elliptizität als auch der Positionswinkel ca. drei verschiedene, stark abgegrenzte Wertebereiche (siehe Abbildung 7.18). Sofern diese Daten nicht durch die Maskierungs-Probleme der verbleibenden flächigen Objekte (siehe Residuenbild in Abbildung 7.19, rechts) beeinflusst wurden, handelt es sich hier um zwei bis drei photometrisch entkoppelte Sternkomponenten. Die B4-Werte zeigen in den inneren Bereichen positive Werte, bei mittleren Radien sind sie annähernd gleich 0 und in den Außenbereichen durchwegs negativ. Der B4-Median bestimmt mit einem Wert von -0.0006 eine kleine Tendenz zu einer boxy Form.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie von FS05 weist keine Besonderheiten auf (siehe Abbildung 7.20).

Dieses Fossile System zeigt eine deutliche nord-süd Elongation, sowohl in der Verteilung ihrer Mitglieder als auch bei der Ausrichtung ihrer zentralen Elliptischen Galaxie. Signaturen vergangener Wechselwirkungsvorgänge können in der Elliptischen Galaxie nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Tabelle 7.3: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS05. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	ABELL 0697	130.72222	36.33655	2.0	0.2820	-0.98

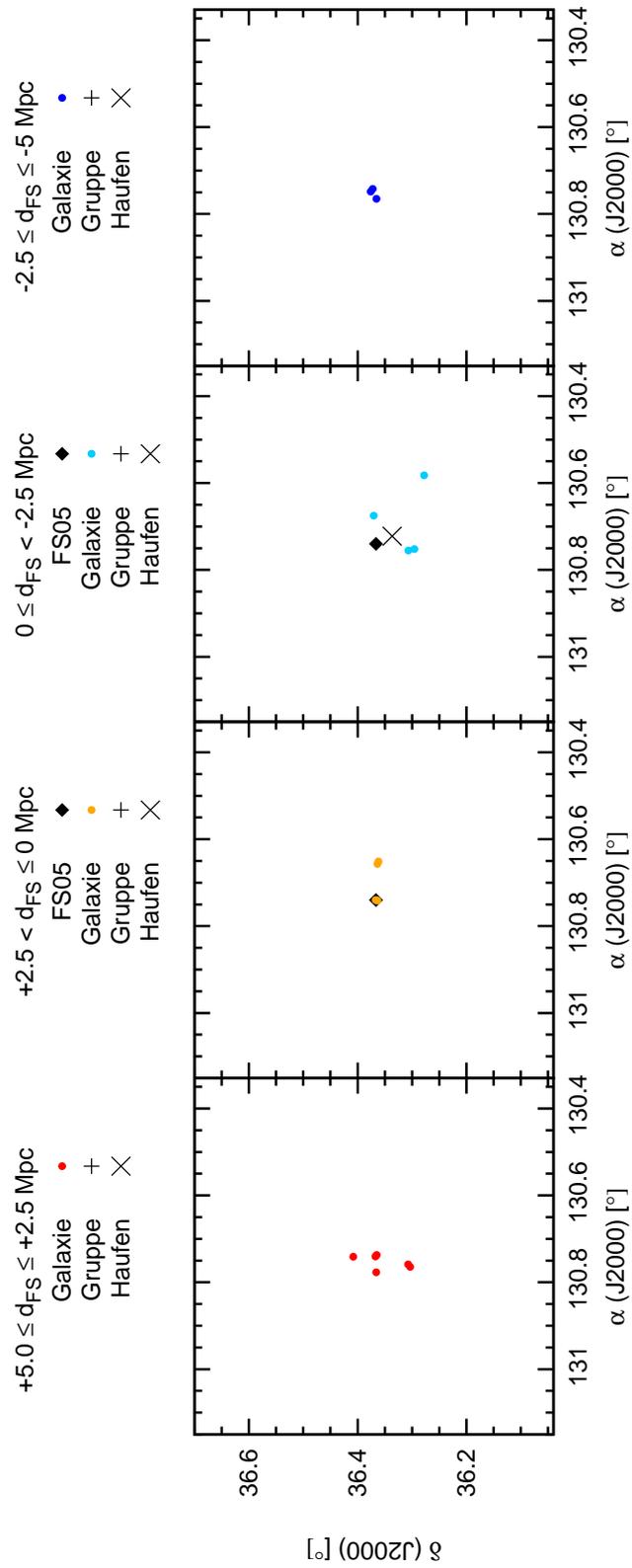


Abbildung 7.17: Räumliche Verteilung der Objekte um FS05 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

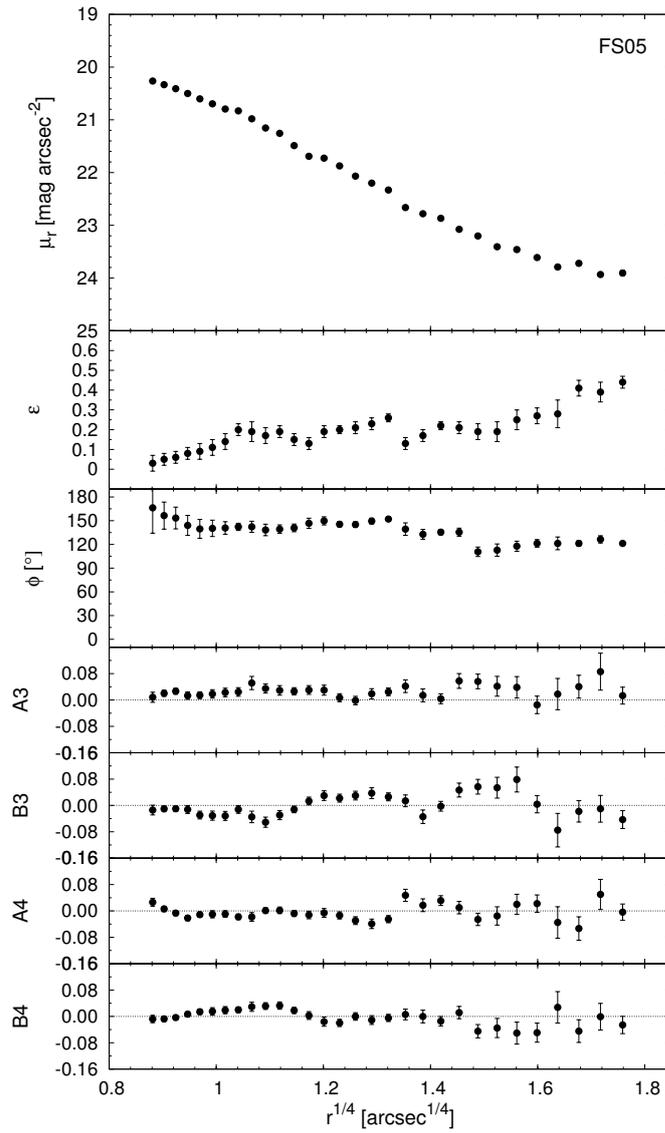


Abbildung 7.18: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS05.

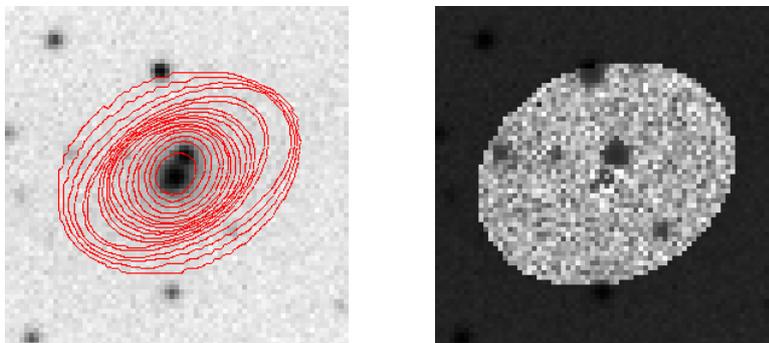


Abbildung 7.19: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS05 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

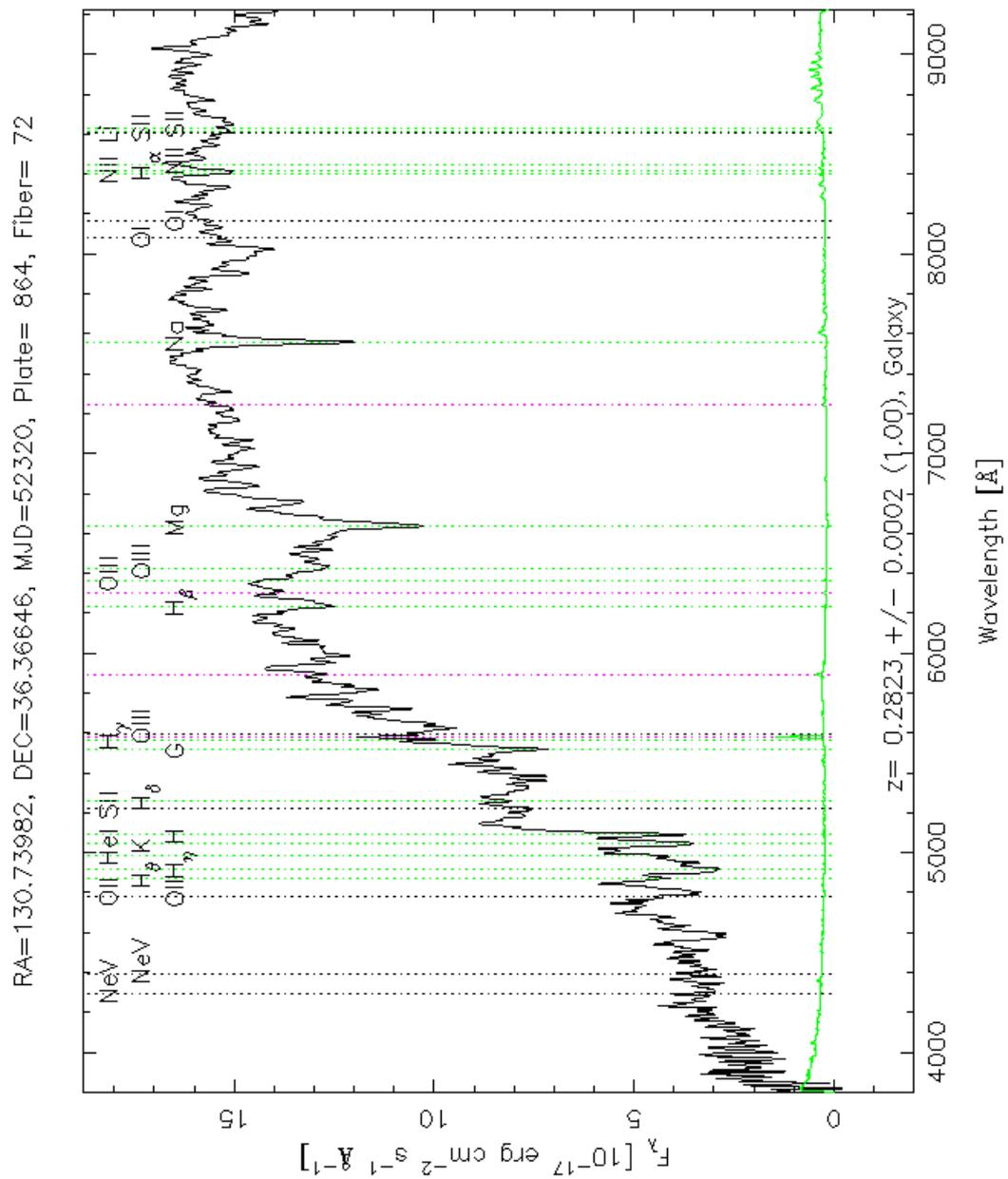


Abbildung 7.20: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS05.

7.6 FS06

Das sechste Fossile System ist mit $z \sim 0.05$ wieder ein sehr nahes Galaxiensystem mit vielen bekannten Mitgliedern. In seiner Umgebung befinden sich insgesamt 31 Galaxien (siehe Tabelle C.5 und Abbildung 7.21). Dieser Galaxienhaufen ist in NED bereits identifiziert worden (siehe Tabelle 7.4). Im radialen Entfernungsbereich von ± 2.5 Mpc ausgehend von der zentralen Elliptischen Galaxie zeigt sich auch hier eine deutliche nord-süd Ausrichtung der Mitglieder (siehe die beiden mittleren Diagramme von Abbildung 7.21). Die Elliptische Galaxie fügt sich mit ihrem PA von 19° perfekt in die Ausrichtungsachse ein. In vergleichbarer Entfernung wie das FS befindet sich das benachbarte Galaxiensystem MCG +08-16-028. Diese Galaxiengruppe besitzt jedoch einen projizierten Abstand von knapp 6 Mpc.

Die Flächenhelligkeitsanalyse zeigt keine Besonderheiten (siehe Abbildung 7.22). Die Elliptizität nimmt nach außen hin leicht zu, der Positionswinkel ändert sich kaum. Die B4-Werte bleiben anfangs konstant bei 0, ab einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.6''$ beginnen sie in den positiven als auch negativen Bereich zu schwanken. Der B4-Median mit -0.0023 definiert diese Galaxie als boxy Ellipse.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie zeigt nur schwache Emissionslinien (siehe Abbildung 7.24). Vermutlich handelt es sich hier um einen AGN. Eine bekannte Radioquelle in $0.6'$ Entfernung würde dies untermauern.

Auch dieses Fossile System zeigt eine deutliche Elongation sowohl in der Verteilung ihrer Mitglieder als auch in der Ausrichtung ihrer zentralen Elliptischen Galaxie. Die vorhandene nukleare Galaxienaktivität ist typisch für zentrale Ellipsen von Fossilen Systemen.

Tabelle 7.4: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS06. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	RXC J0844.9+4258	131.23625	42.98167	0.3	0.0541	-0.02

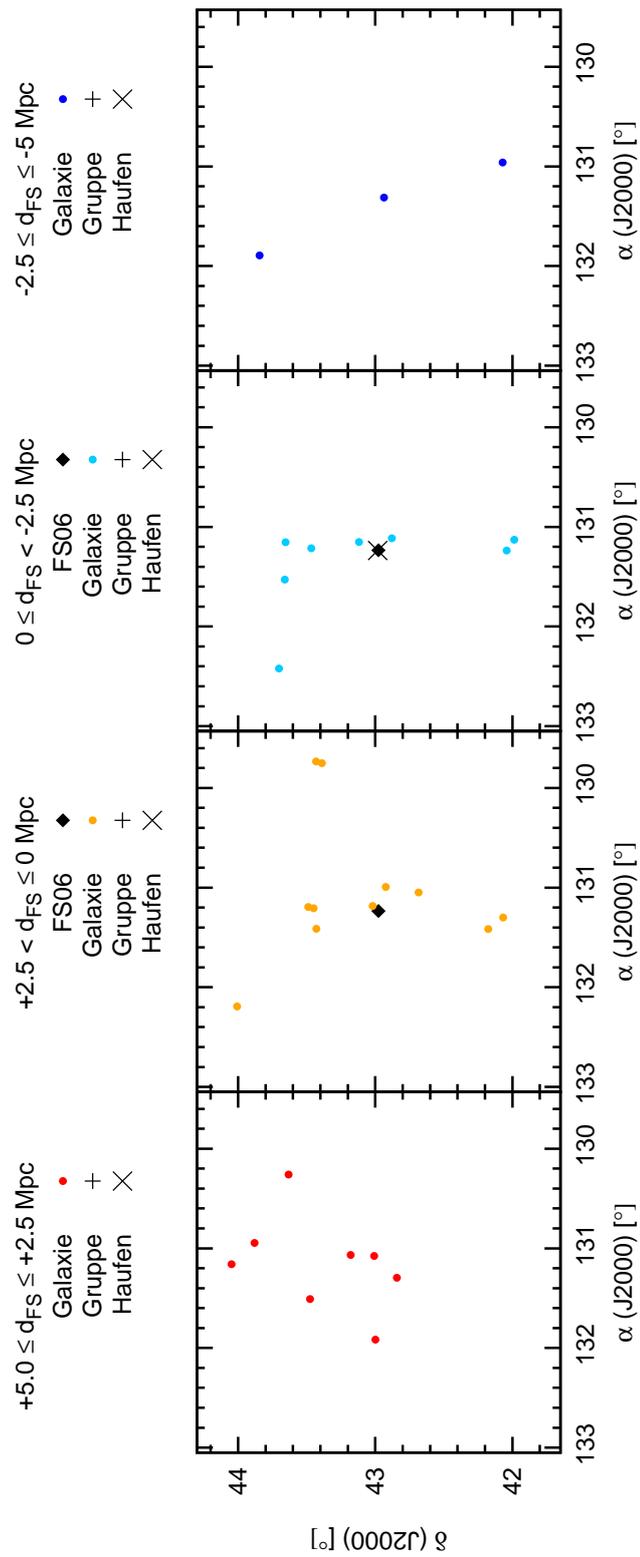


Abbildung 7.21: Räumliche Verteilung der Objekte um FS06 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

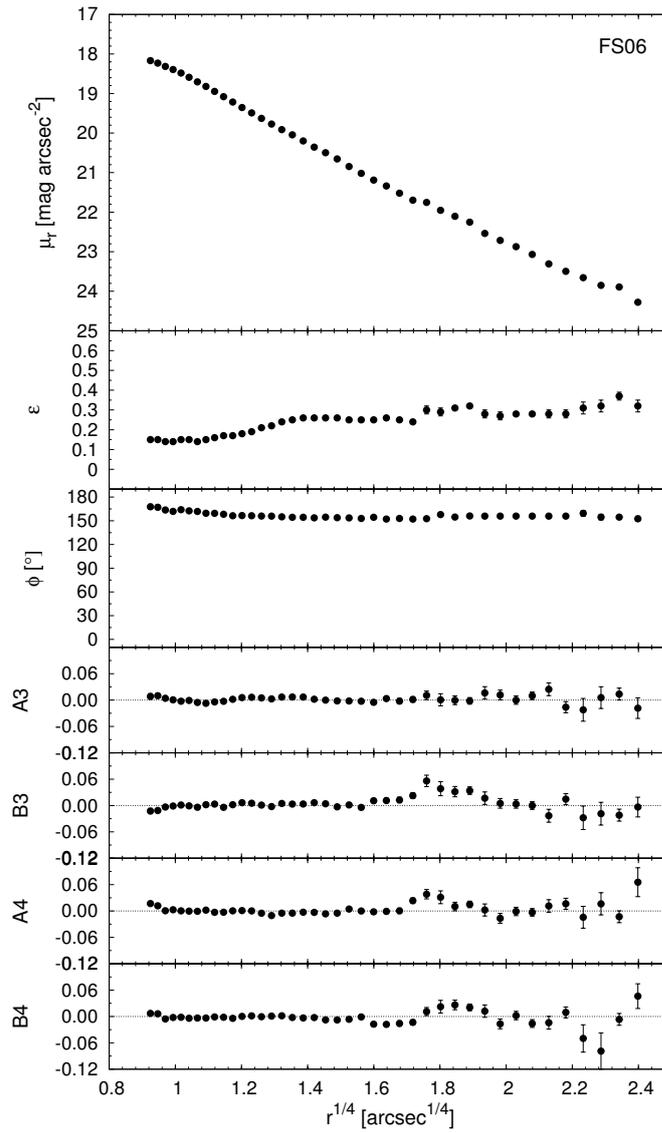


Abbildung 7.22: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS06.

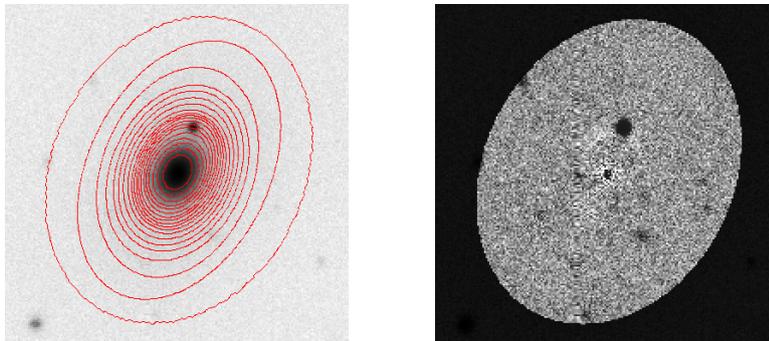


Abbildung 7.23: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS06 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

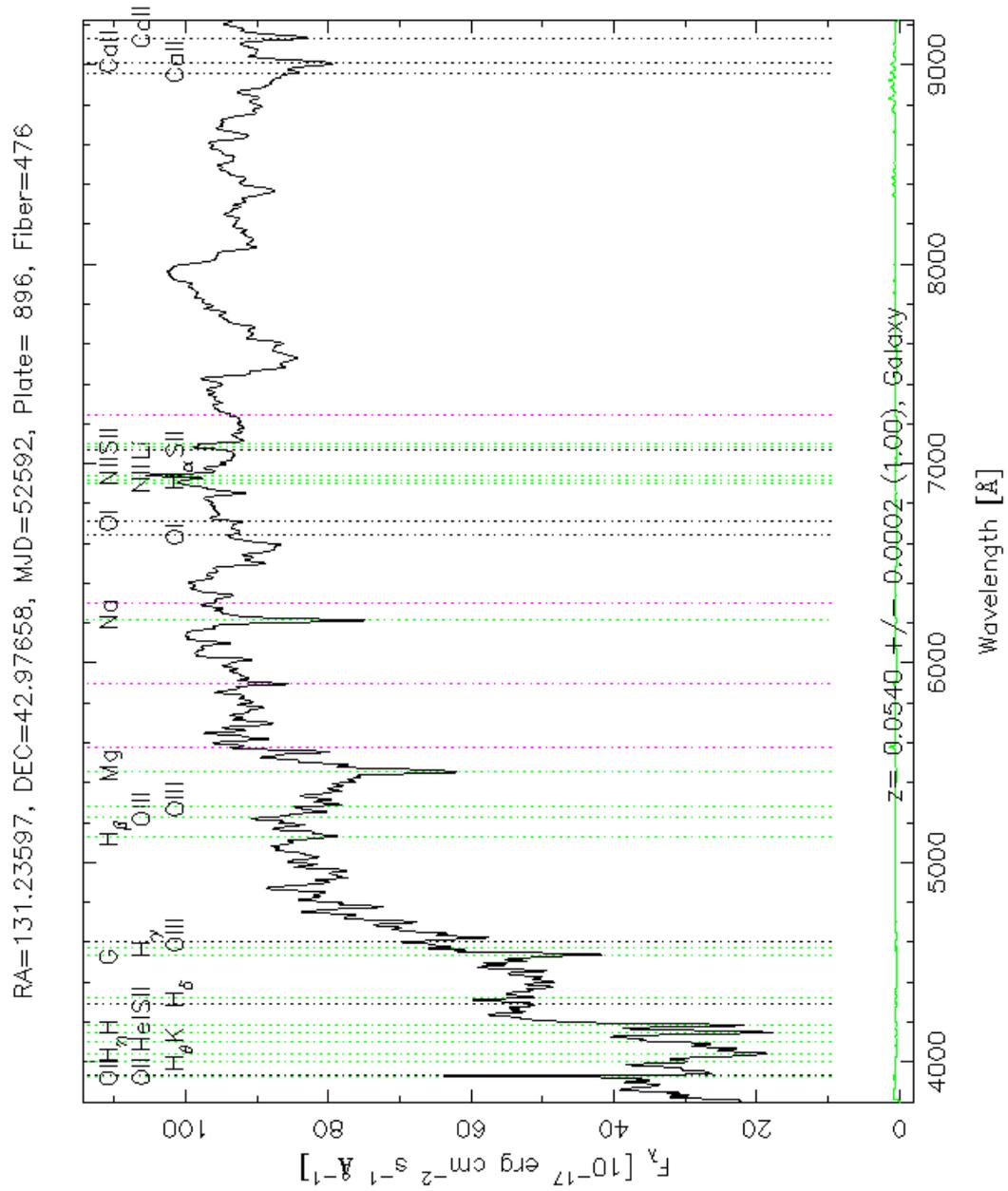


Abbildung 7.24: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS06.

7.7 FS07

Das Fossile System Nr. 7 ist das zweitweitest entfernte System bei $z \sim 0.49$. Dementsprechend gibt es kaum spektroskopisch bestimmte Mitglieder in der Umgebung. Nur eine weitere Galaxie wurde im 5 Mpc-Radius Bereich gemessen (siehe Tabelle C.6 und Abbildung 7.25). Ebenso verhält es sich mit bekannten Gruppen bzw. Haufen. Der nächstgelegene Galaxienhaufen mit bekannter Rotverschiebung bei $z \sim 0.50$ ist RX J0857.7+2747. Er weist einen projizierten Abstand von fast 26 Mpc auf. Dieses Fossile System zeigt sich isoliert, wobei dies wahrscheinlich durch die relativ hohe Entfernung bedingt ist. Der Positionswinkel der Elliptischen Galaxie mit $PA = 118^\circ$ kann daher auch nicht mit umgebenden Objekten verglichen werden.

Bei der Flächenhelligkeitsanalyse entstehen aufgrund der geringen räumlichen Auflösung der weit entfernten Elliptischen Galaxie ungenaue Daten mit erhöhten Fehlerbalken (siehe Abbildung 7.26). Die Elliptizität und der Positionswinkel schwanken stark, das Flächenhelligkeitsprofil zeigt keinen glatten Helligkeitsabfall. In der Originalaufnahme (siehe Abbildung 7.27, links) sind mehrere helle Kerne zu erkennen, der Maskierungsvorgang gestaltete sich hier sehr schwierig. Betrachtet man die B4-Werte, so schwanken diese ebenfalls sehr stark mit entsprechend hohen Fehlerbalken. Der B4-Median ergibt hier einen sehr deutlichen Trend mit -0.0197 für eine boxy Form, jedoch ist hier aufgrund der schlechten Daten keine Aussage möglich.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie ist ebensowenig aussagekräftig (siehe Abbildung 7.28). Es ist vom Rauschen geprägt und enthält keine erkennbaren Emissionslinien.

Aufgrund der hohen Entfernung dieses Fossilen Systems sind kaum Daten für eine Umgebungsbetrachtung vorhanden. Alle anderen Analysen sind aufgrund der schlechten räumlichen Auflösung der Elliptischen Galaxie nicht aussagekräftig.

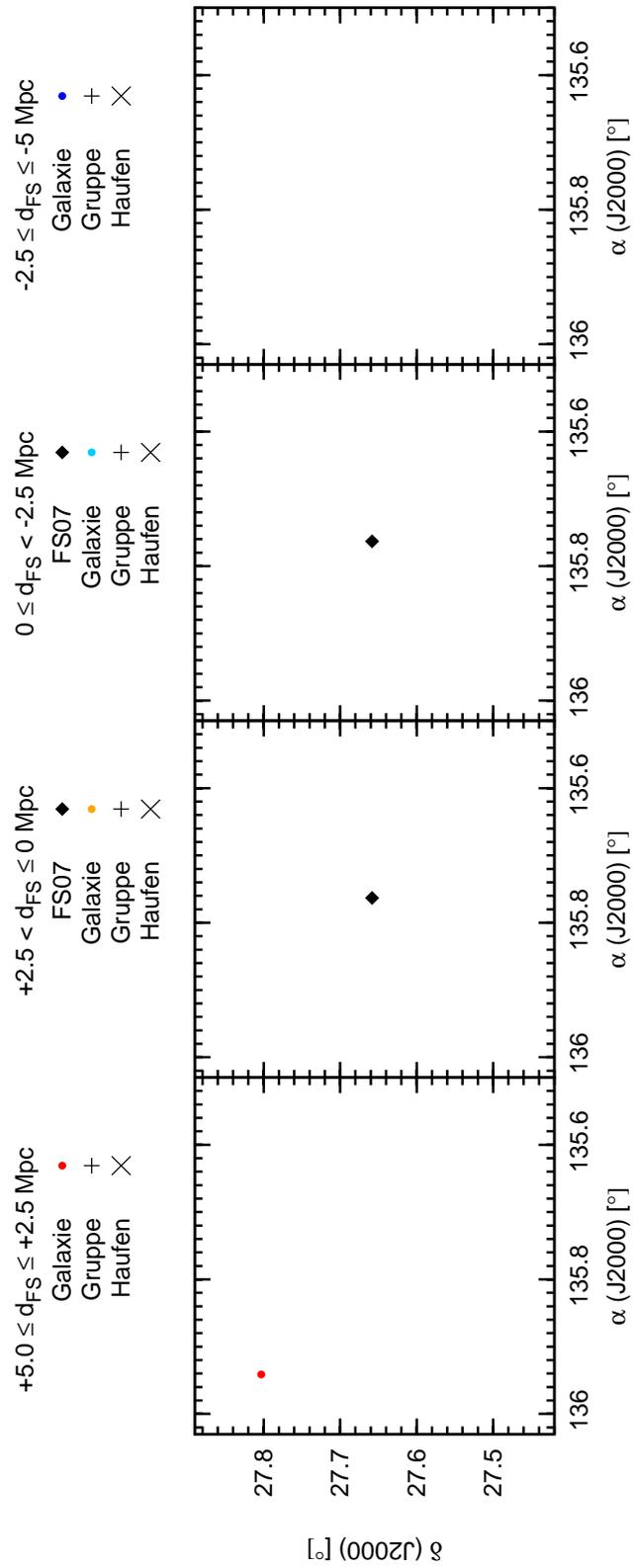


Abbildung 7.25: Räumliche Verteilung der Objekte um FS07 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

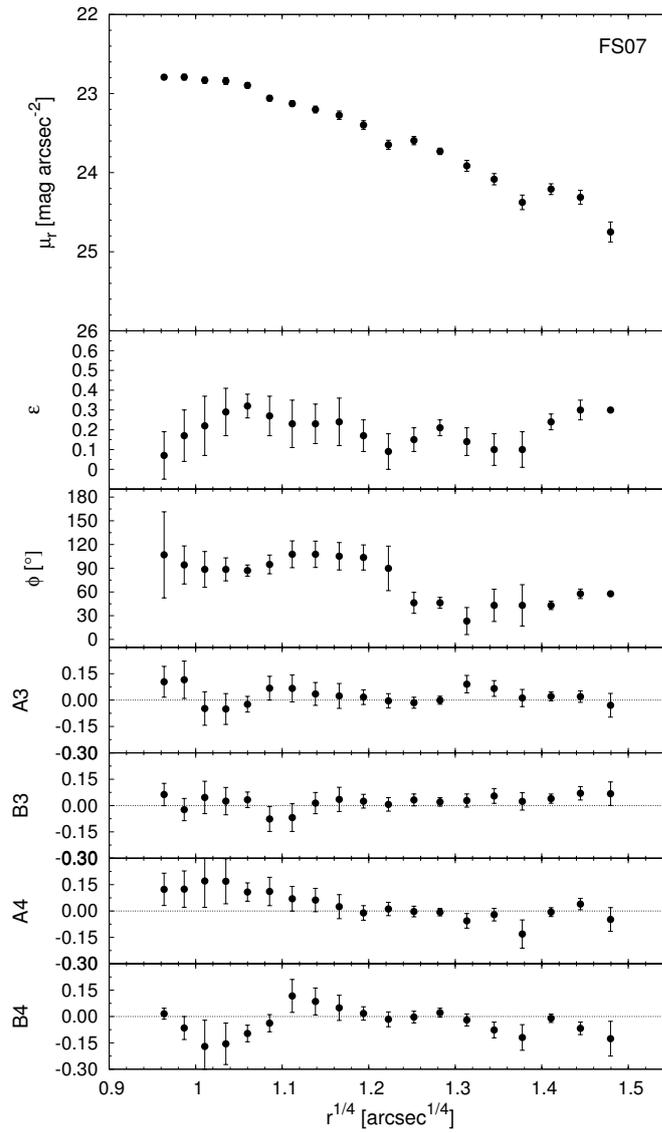


Abbildung 7.26: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS07.

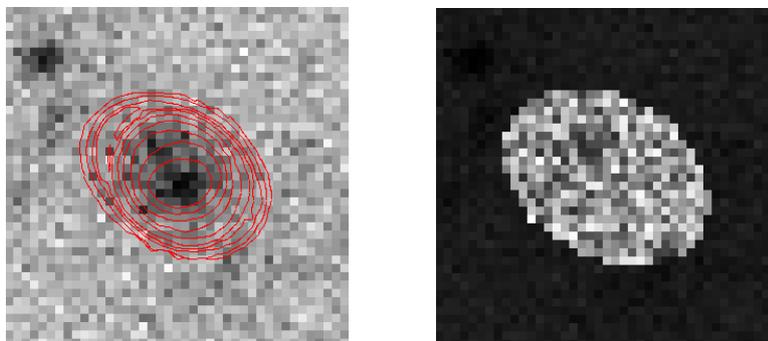


Abbildung 7.27: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS07 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

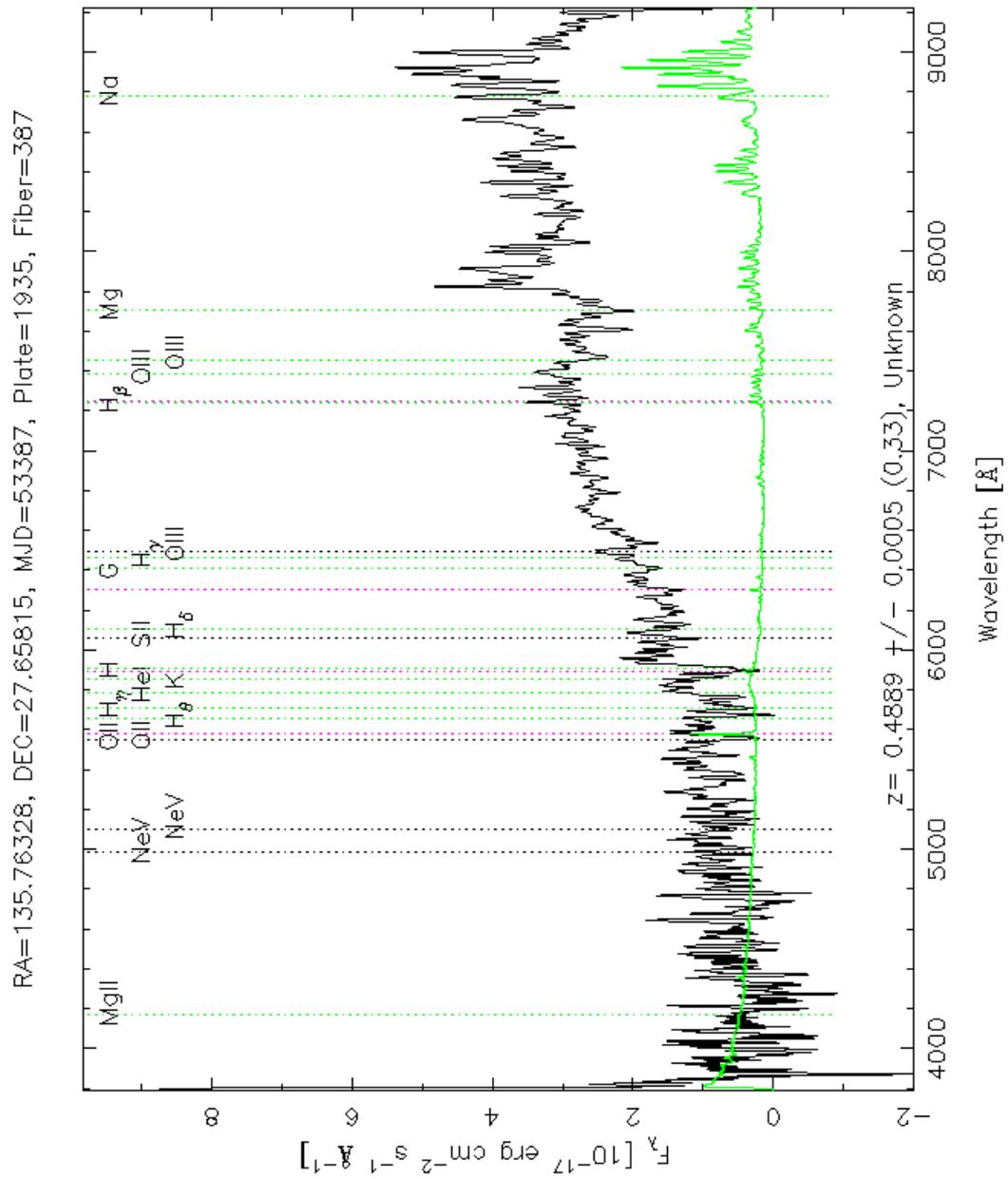


Abbildung 7.28: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS07.

7.8 FS08

Das achte Fossile System ist ebenfalls ein relativ weit entferntes System bei $z \sim 0.41$. Es sind keine Galaxien, Gruppen oder Haufen in einem Radius von 5 Mpc mit spektroskopisch bestimmter Entfernung vorhanden. Daher wurde hier auf die Abbildung der räumlichen Verteilung verzichtet, da sie nur die zentrale Elliptische Galaxie selbst beinhalten würde. Der nächstgelegene Galaxienhaufen ist ABELL 0851 bei einer vergleichbaren Rotverschiebung, allerdings ist der projizierte Abstand mit über 60 Mpc sehr groß.

Die räumliche Auflösung der Elliptischen Galaxie für die Flächenhelligkeitsanalyse ist hier ebenfalls sehr gering. Die Galaxie selbst ist jedoch von weiteren Objekten mit Lichtüberschüssen im untersuchten Bereich befreit (siehe Abbildung 7.30). Die Elliptizität nimmt mit steigendem Radius leicht zu, der Positionswinkel ändert sich nur geringfügig (siehe Abbildung 7.29). Die B4-Werte zeigen plausible Daten mit zunehmend positiven Werten Richtung Außenbereich der Galaxie. Der B4-Median beträgt hier 0.0120, also handelt es sich hier um die erste diskus Form.

Das Spektrum dieser Galaxie ist ebenfalls durch starkes Rauschen beeinträchtigt (siehe Abbildung 7.31). In NED gibt es keine weiteren Informationen zu dieser Elliptischen Galaxie. Sie ist nicht einmal als Infrarotquelle vermerkt.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass dieses Fossile System aufgrund der höheren Entfernung nur marginale Daten zur Analyse bietet. Es gibt hier keine Hinweise auf vergangene Wechselwirkungsvorgänge mit anderen Galaxien.

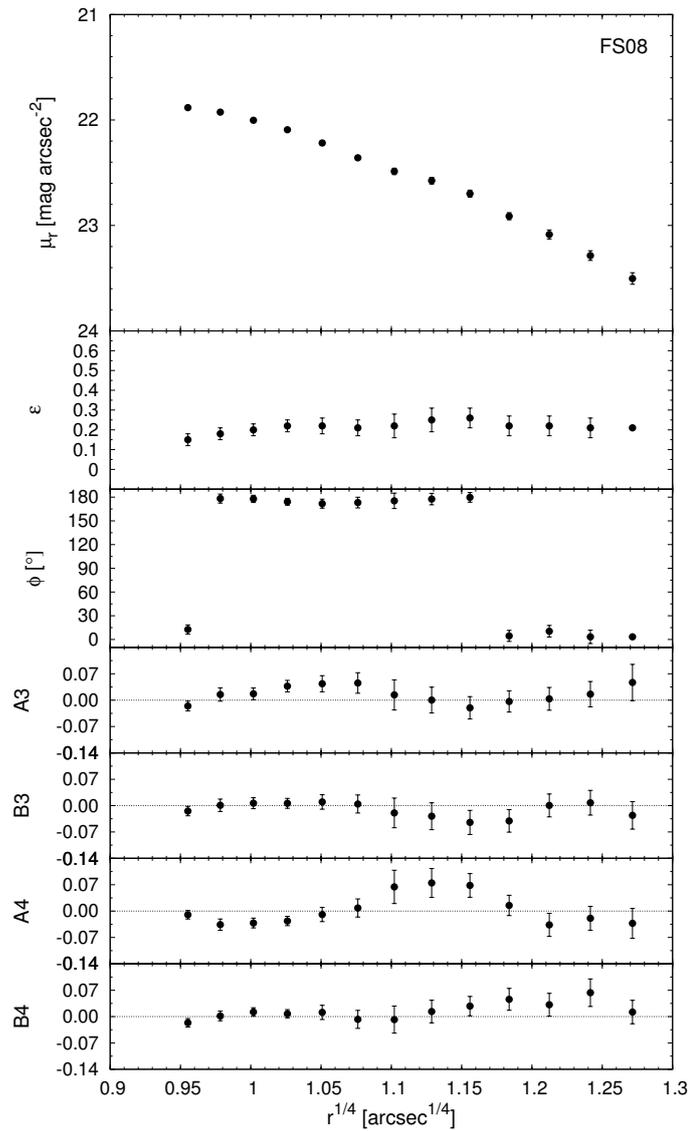


Abbildung 7.29: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS08.

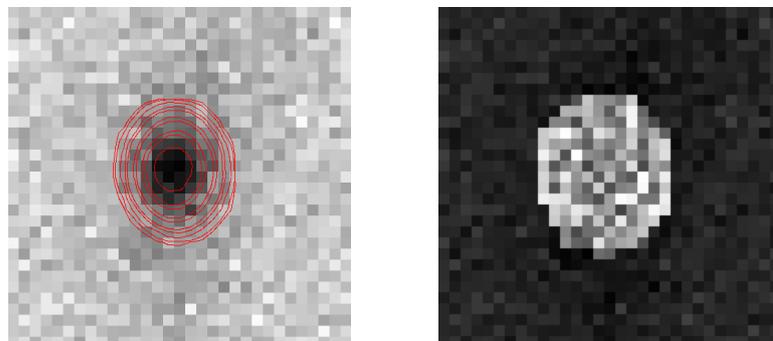


Abbildung 7.30: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS08 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

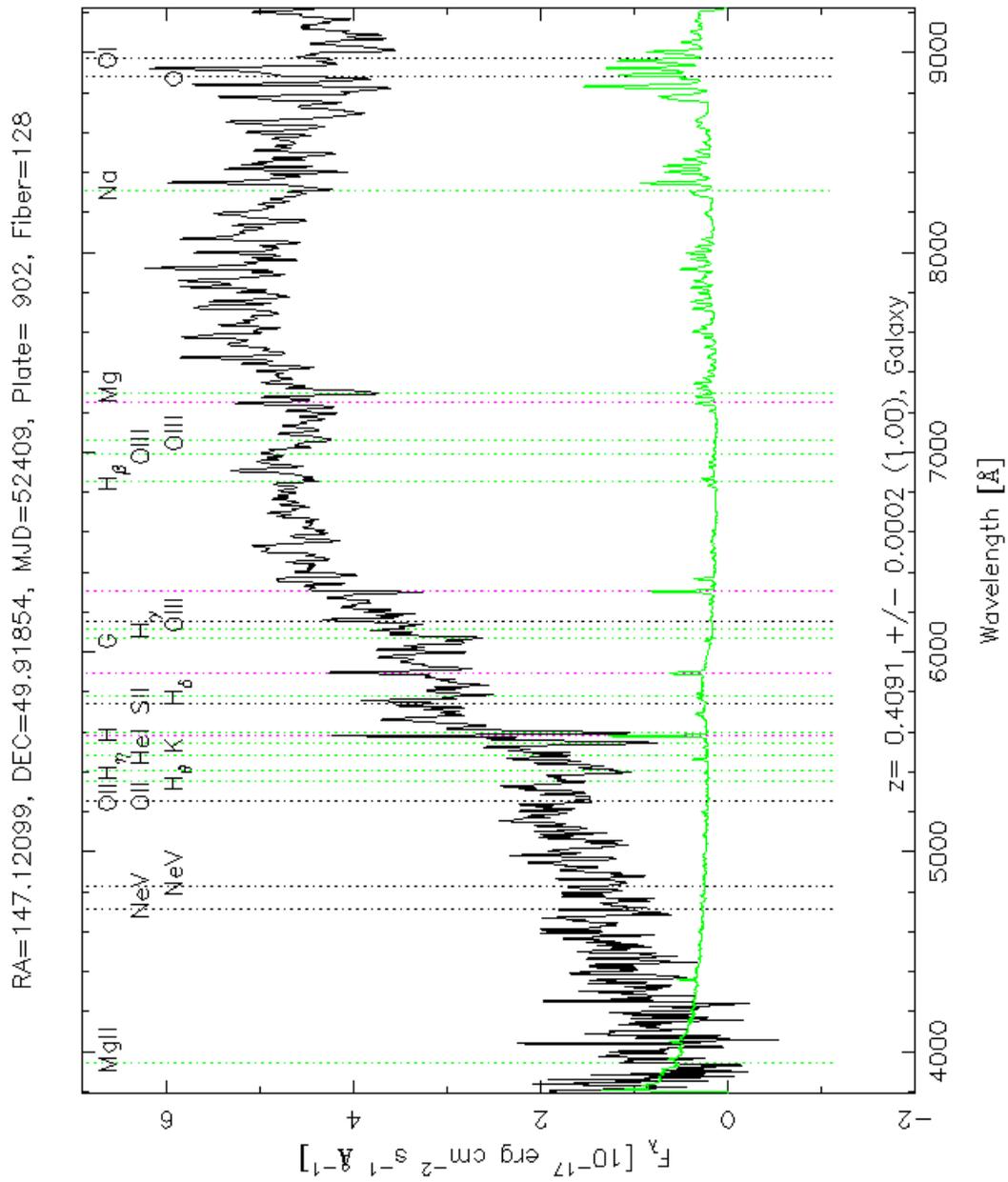


Abbildung 7.31: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS08.

7.9 FS09

Das neunte Fossile System befindet sich bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.13$. Es enthält in seiner Umgebung 17 Galaxien (siehe Tabelle C.7 und Abbildung 7.32) und einen Galaxienhaufen (siehe Tabelle 7.5). Die zentrale Elliptische Galaxie dieses Fossilen Systems zeigt mit ihrem Positionswinkel von $PA = 153^\circ$ exakt in die Richtung des Zentrums des umgebenden Galaxienhaufens. Fast alle umgebenden Galaxien sind entlang dieser Richtung positioniert.

Die Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen Elliptischen Galaxie zeigt keine besonderen Auffälligkeiten (siehe Abbildung 7.33). Die Elliptizität und der Positionswinkel steigen leicht mit dem Radius an. Es lässt sich hier keine photometrisch entkoppelte Sternkomponente erkennen. Die B4-Werte sind meist leicht negativ, der B4-Median beträgt -0.0022 , also handelt es sich hier um eine boxy Form.

Im Spektrum der Galaxie sind keine auffälligen Emissionslinien zu erkennen (siehe Abbildung 7.35).

Dieses Fossile System hat eindeutig Bezug zu dem nächstgelegenen Galaxienhaufen, da sowohl die Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie, als auch die Anordnung der umgebenden Galaxien in einem schmalen, langen Filament erkennbar ist. Die Elliptische Galaxie selbst hat keine eindeutigen Anzeichen für vergangene Akkretionsvorgänge.

Tabelle 7.5: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS09. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	ABELL 1078	160.89187	0.63745	17.9	0.1243	-4.94

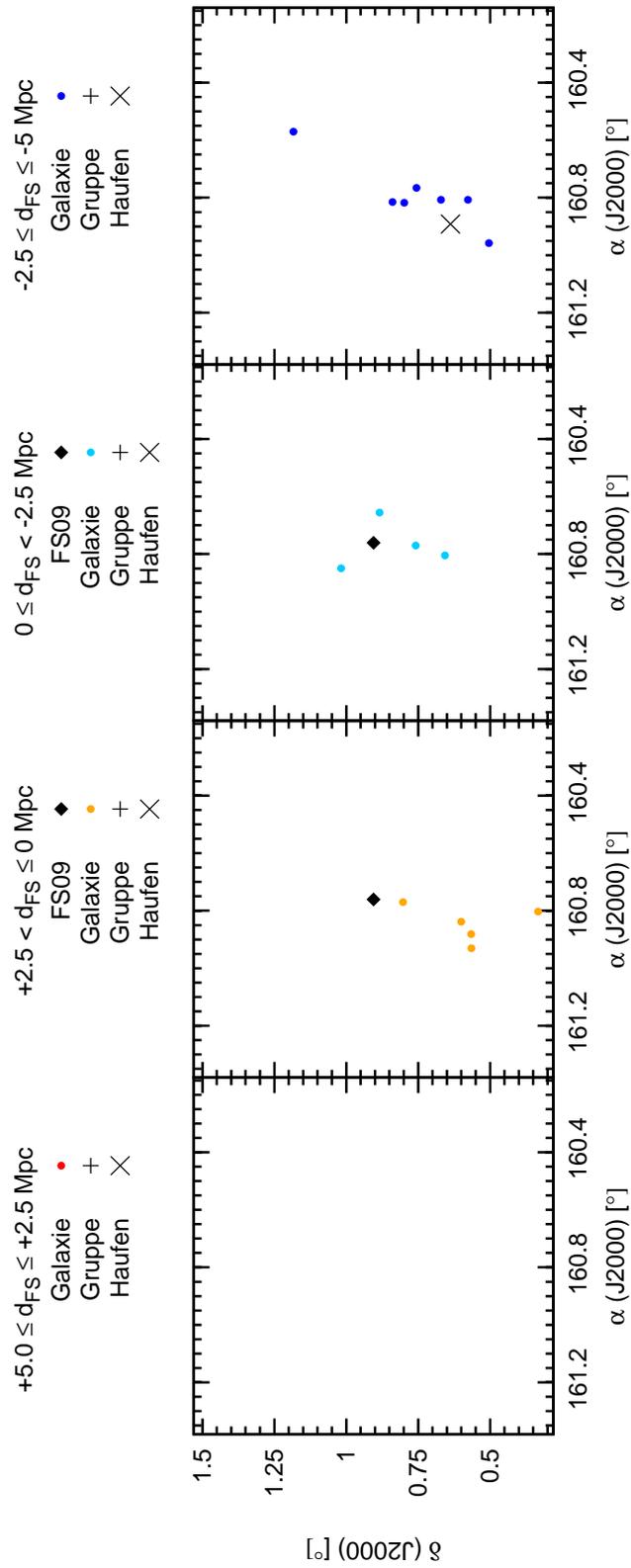


Abbildung 7.32: Räumliche Verteilung der Objekte um FS09 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

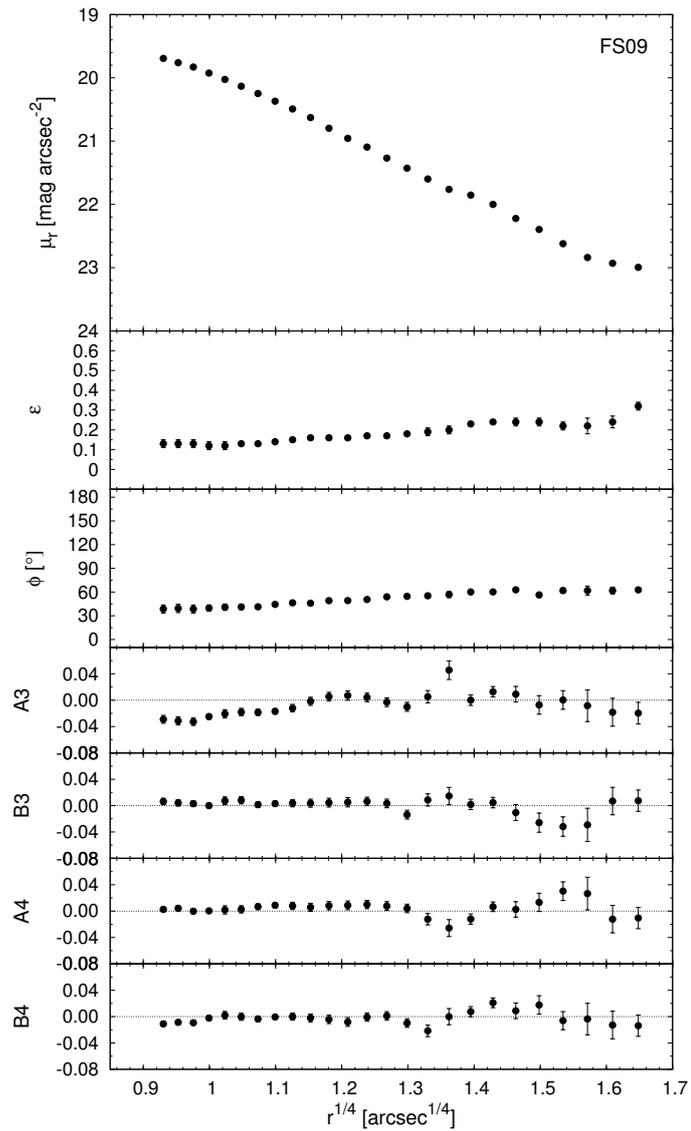


Abbildung 7.33: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS09.

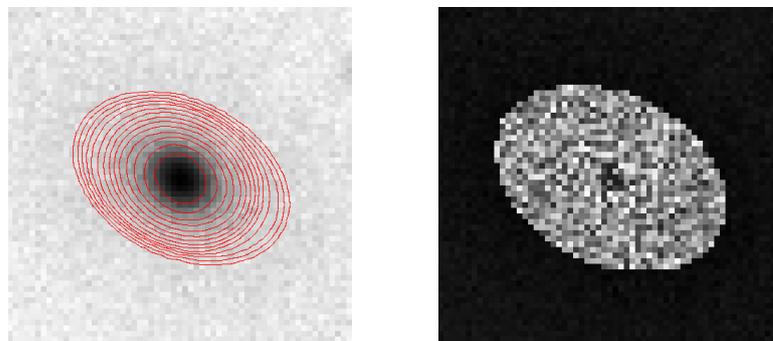


Abbildung 7.34: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS09 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

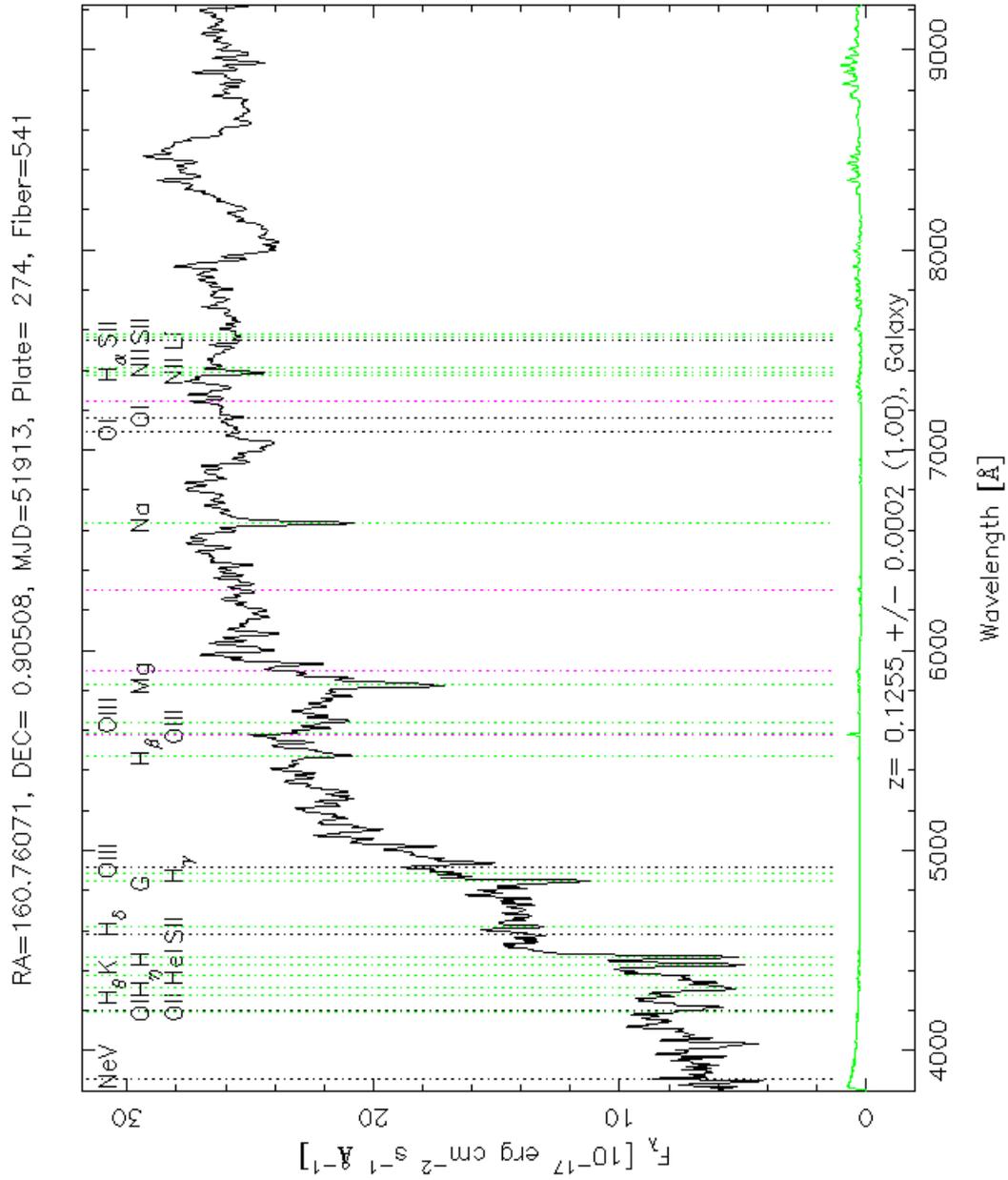


Abbildung 7.35: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS09.

7.10 FS10

Das Fossile System Nr. 10 liegt bei einer höheren Rotverschiebung von $z \sim 0.47$. In der Umgebung um die zentrale Elliptische Galaxie befinden sich nur zwei weitere Galaxien (siehe Tabelle C.8 und Abbildung 7.36). Es ist in diesem Bereich keine Galaxiengruppe und kein Haufen bekannt. Das nächste Galaxiensystem, die Gruppe RX J105350.7+572515 mit $z \sim 0.48$, befindet sich in einem projizierten Abstand von fast 44 Mpc. Der Positionswinkel der Elliptischen Galaxie von $PA = 99^\circ$ steht in keinem Zusammenhang mit der Position der zwei bekannten umgebenden Galaxien.

Die Flächenhelligkeitsanalyse gestaltet sich hier aufgrund der geringen räumlichen Auflösung ebenfalls schwierig (siehe Abbildung 7.37). Im Residuenbild sind mindestens zwei kleine Stellen mit Lichtüberschüssen erkennbar (siehe Abbildung 7.38, rechts). Dementsprechend starke Schwankungen und hohe Fehlerbalken zeigen die Elliptizität und der Positionswinkel. Sofern die Daten als plausibel betrachtet werden, könnte ab einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.3''$ eine photometrisch entkoppelte Sternkomponente vermutet werden. Die B4-Werte schwanken innerhalb der Fehlerbalken um den Wert 0, der B4-Median mit 0.0035 bestimmt diese Galaxie als diskgy.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie zeigt leichte Emissionslinien (siehe Abbildung 7.39). Vermutlich handelt es sich um einen AGN, die bekannte Radioquelle in einem Abstand von $0.1'$ würde diese Vermutung untermauern.

Zusammenfassend lässt sich über die Analyse der Umgebung keine Aussage treffen, da aufgrund der hohen Rotverschiebung zu wenig Daten vorhanden sind. Die Elliptische Galaxie selbst hat Anzeichen von nuklearer Aktivität, eine Aussage über vergangene Akkretionsvorgänge wäre aufgrund der schlechten Daten nur spekulativ.

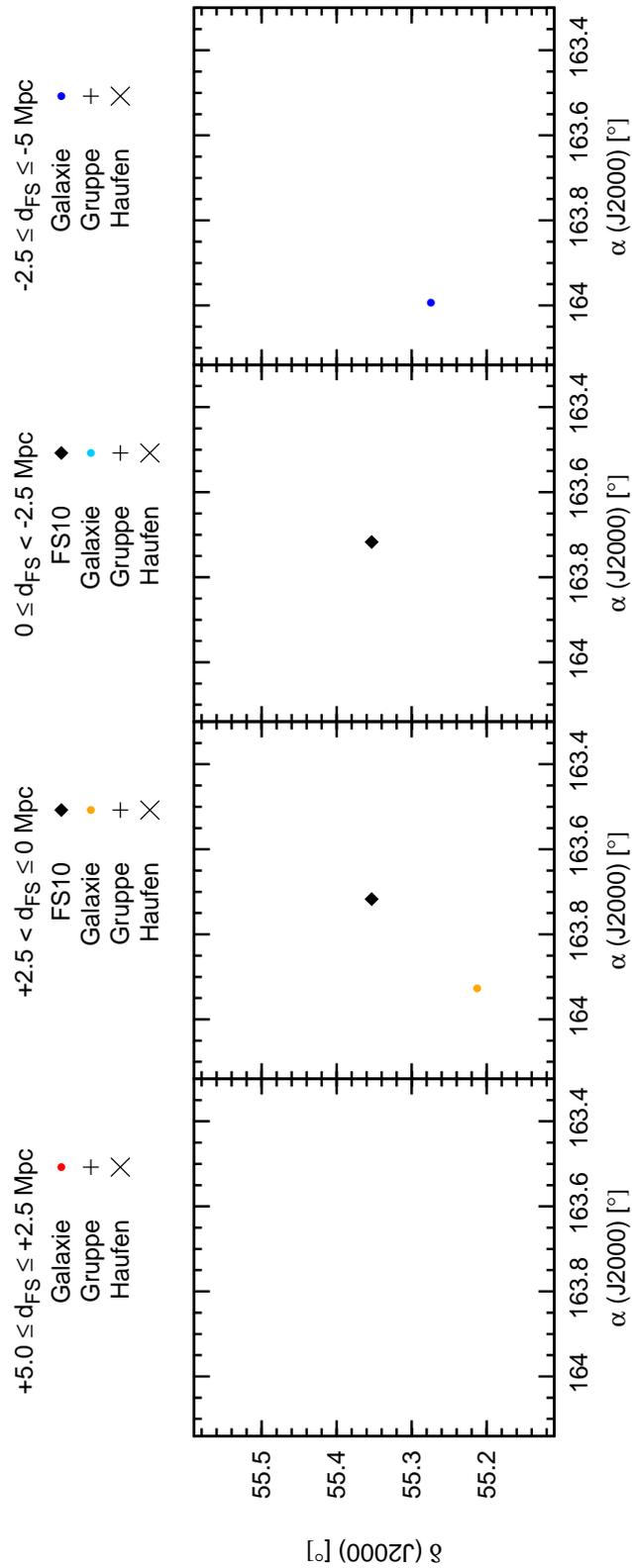


Abbildung 7.36: Räumliche Verteilung der Objekte um FS10 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

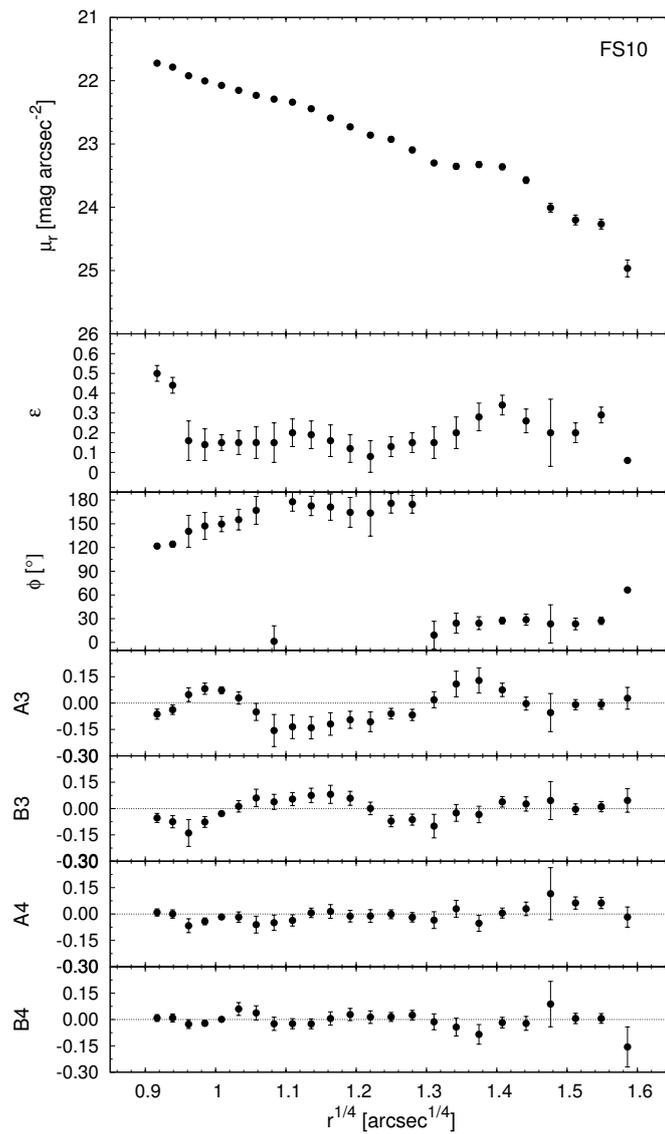


Abbildung 7.37: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS10.

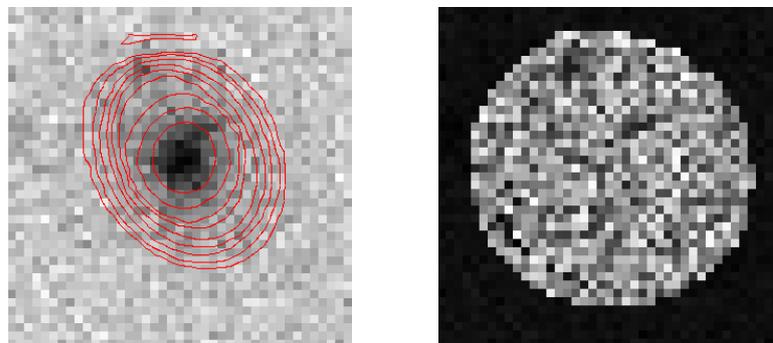


Abbildung 7.38: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS10 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

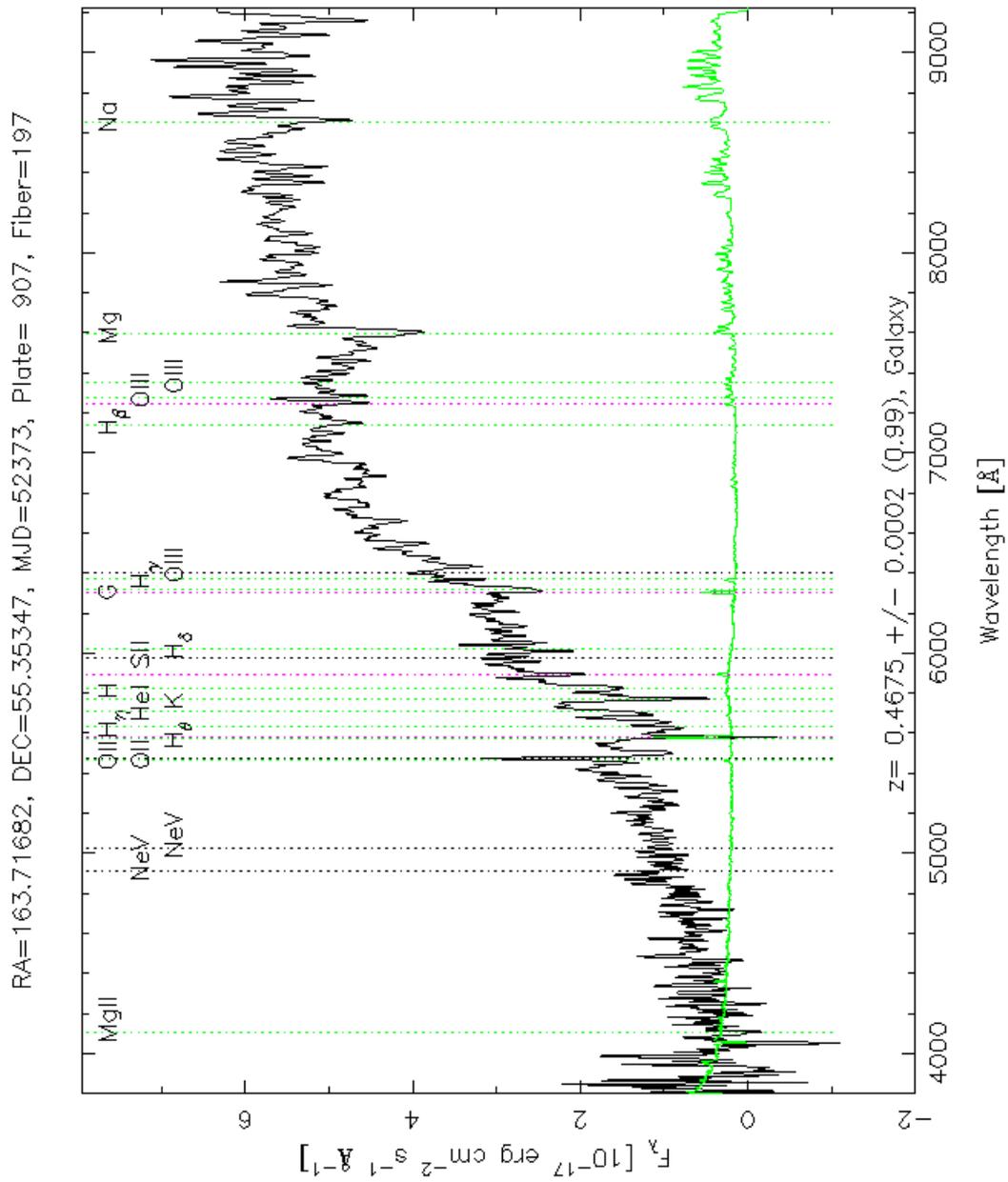


Abbildung 7.39: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS10.

7.11 FS11

Das elfte Fossile System befindet sich bei $z \sim 0.20$. Es hat keine weiteren Mitglieder oder Galaxiensysteme in seiner Umgebung. Der nächstgelegene Galaxiencluster NSC J112439+415626 mit spektroskopisch bestimmter Rotverschiebung in vergleichbarer Größe befindet sich in einem projizierten Abstand von ca. 27 Mpc. Hier könnte es sich um eine absolut isolierte Elliptische Galaxie handeln.

Die Analyse der Flächenhelligkeit zeigt eine nahezu kreisförmige Elliptische Galaxie (siehe Abbildung 7.40 und Abbildung 7.41, links). Bei so geringen Elliptizitäten ist die Bestimmung des Positionswinkels erschwert bis hinfällig. Daher zeigen die Werte von ϕ starke Schwankungen mit hohen Fehlerbalken. Die leere Umgebung lässt die Vermutung zu, dass die Elliptische Galaxie aufgrund nicht vorhandener gravitativer Einflüsse die vorhandene fast kreisrunde Form angenommen hat. Die B4-Werte bewegen sich nahe um 0, der B4-Median zeigt mit 0.0012 eine leichte Tendenz zu einer diskus Form.

Das Spektrum zeigt keine deutlichen Emissionslinien (siehe Abbildung 7.42). Interessant zu erwähnen sind mehrere bekannte Radioquellen ab einem Winkelabstand von $0.3'$.

Zusammenfassend zeigt sich hier eine isolierte Elliptische Galaxie, die weder in der Vergangenheit, noch heute nachweisbaren gravitativen Störungen ausgesetzt war bzw. ist.

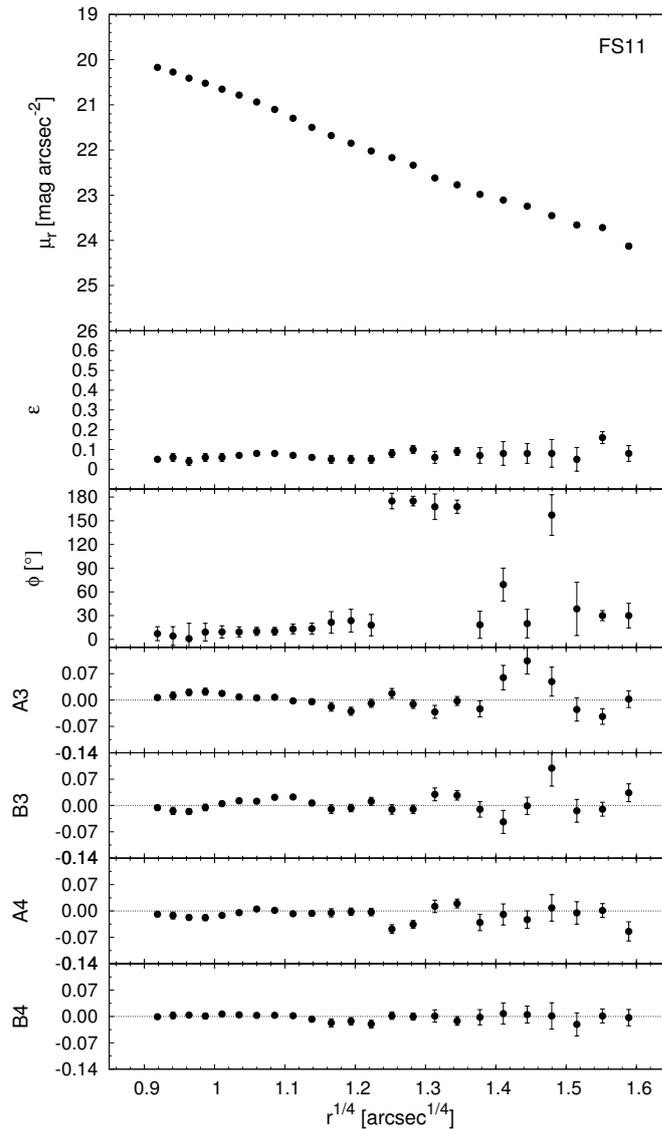


Abbildung 7.40: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS11.

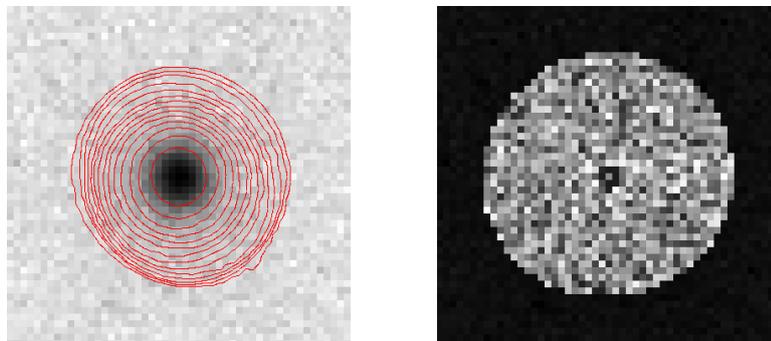


Abbildung 7.41: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS11 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

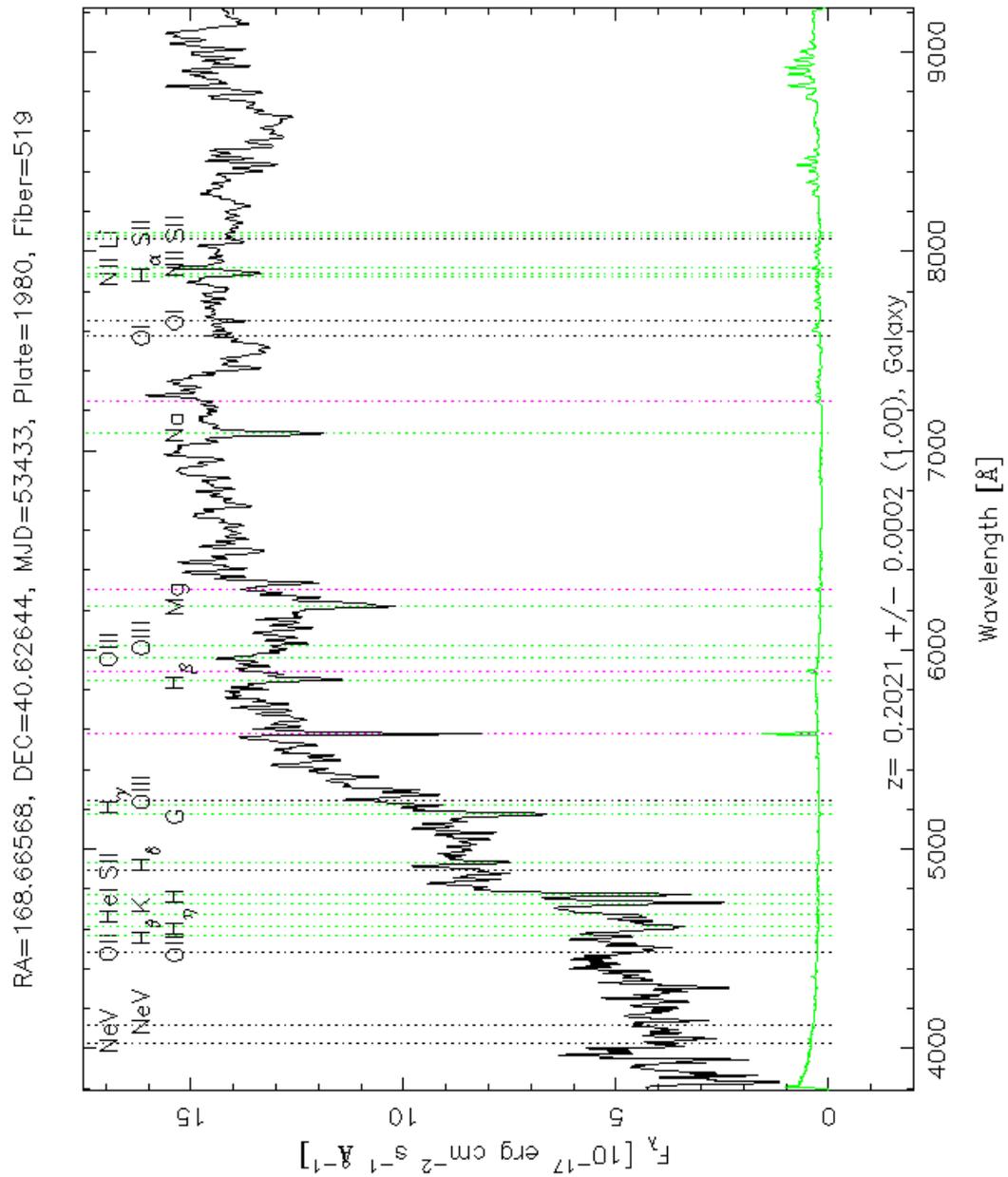


Abbildung 7.42: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS11.

7.12 FS12

Das zwölfte Fossile Galaxiensystem befindet sich bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.24$. In seiner Umgebung existiert nur eine weitere Galaxie (siehe Tabelle C.9 und Abbildung 7.43). Der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie mit $PA = 110^\circ$ zeigt fast genau in die Richtung der Mitgliedsgalaxie. Der nächste bekannte Galaxienhaufen mit spektroskopisch bestimmter Rotverschiebung ist ABELL 1277 in einer ähnlichen Entfernung. Der projizierte Abstand beträgt allerdings über 39 Mpc.

Bei der Flächenhelligkeitsanalyse zeigen sich mehrere Abstufungen unterschiedlicher Elliptizitäten und Positionswinkel (siehe Abbildung 7.44). Das Residuenbild zeigt im oberen Bereich einen schwachen Lichtüberschuss (siehe Abbildung 7.45, rechts). Eventuell hat dieser Einfluss auf die ermittelten Werte. Geht man davon aus, dass die Daten im Zentralbereich plausibel sind, so zeigt sich eine photometrisch entkoppelte Sternkomponente bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von knapp $1''$ und eine andere hier anschließend bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.1''$. Die B4-Werte sind meist positiv, in den äußeren Bereichen kommen auch negative vor. Der B4-Median beträgt 0.0120. Diese Galaxie ist global diskly.

Dafür liefert das Spektrum der Galaxie deutliche Emissionslinien (s. Abbildung 7.46). Wahrscheinlich handelt es sich hier um eine LINER. In NED ist keine morphologische Klassifikation angegeben, aber an der Position dieser Galaxie ist eine Radioquelle vermerkt.

Obwohl sich in der Umgebung der Elliptischen Galaxie dieses Fossilen Systems nur eine bestätigte Galaxie befindet, zeigen diese beiden Galaxien eine Verbindung zueinander. Die komplexe zentrale Region der Elliptischen Galaxie kann durch ein oder mehrere Akkretionsvorgänge gasreicher Zwerggalaxien entstanden sein. Die zentrale Elliptische Galaxie ist von deutlicher nuklearer Aktivität geprägt.

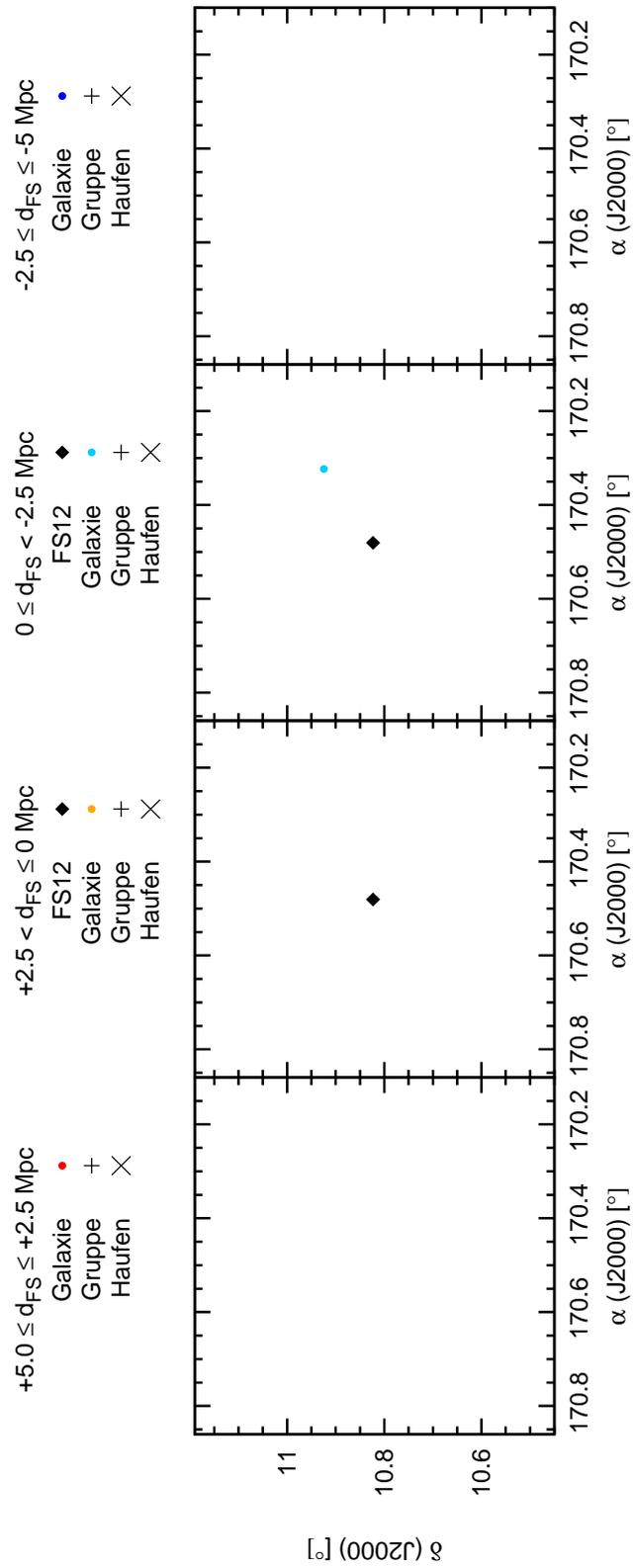


Abbildung 7.43: Räumliche Verteilung der Objekte um FS12 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

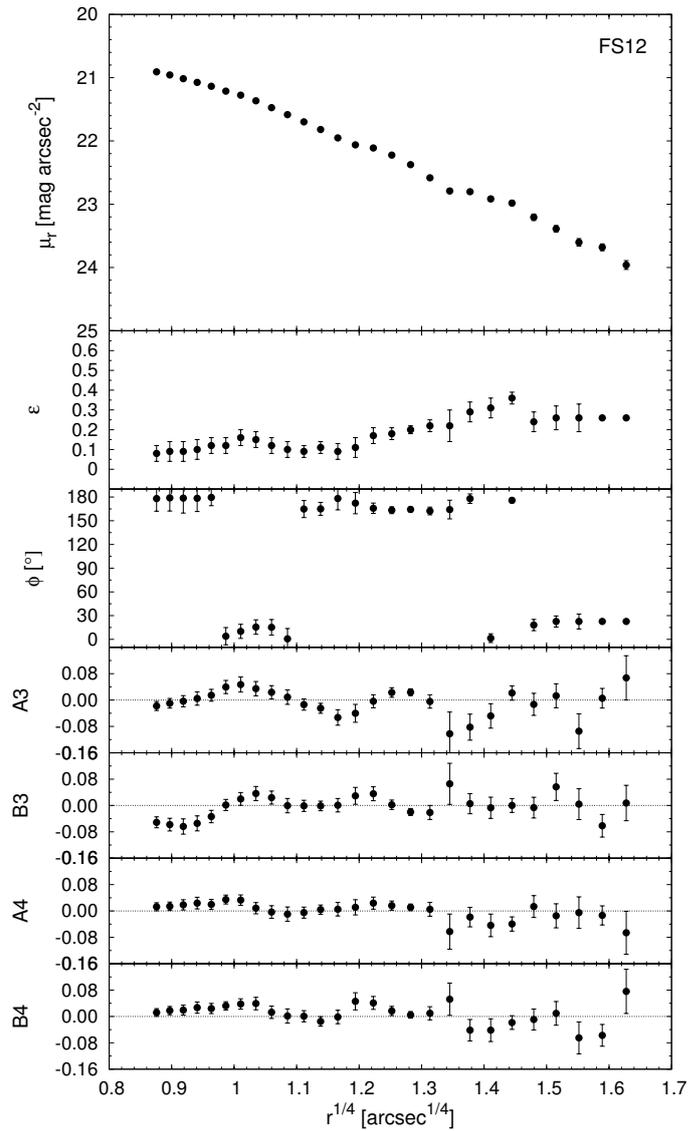


Abbildung 7.44: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS12.

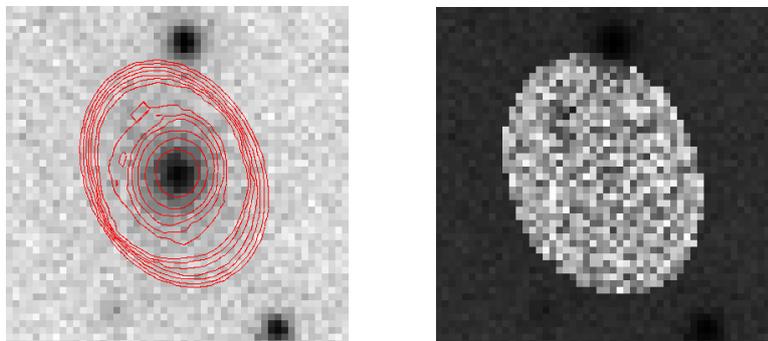


Abbildung 7.45: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS12 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.13 FS13

Das Fossile System Nr. 13 befindet sich bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.19$. In der Umgebung ist nur eine weitere Galaxie mit Rotverschiebungsangaben bekannt (siehe Tabelle C.10 und Abbildung 7.47). Keine weiteren Gruppen oder Haufen sind in der Umgebung dieses Fossilen Systems aufzufinden. Für den nächstgelegenen Galaxienhaufen NSCS J113307+090229 gibt es nur eine geschätzte Rotverschiebung von $z \sim 0.2$. Der projizierte Abstand beträgt knapp 42 Mpc. Der Positionswinkel der Elliptischen Galaxie mit $PA = 108^\circ$ zeigt keinerlei Korrelation zur Lage der weiteren einzelnen Galaxie.

Die Flächenhelligkeitsanalyse zeigt im Innenbereich der zentralen Elliptischen Galaxie eine geringere Elliptizität mit einem deutlich anderen Positionswinkel (siehe Abbildung 7.48). Dies könnte auf eine photometrisch entkoppelte Sternkomponente im Innersten der Galaxie hindeuten. Die Elliptizitätsschwankung bei einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.4''$ könnte durch den Einfluss der weiteren Helligkeitskomponenten verursacht worden sein (siehe Residuenbild in Abbildung 7.49, rechts). Die B4-Werte sind bis auf den äußeren Bereich der Galaxie meist negativ, der B4-Median beträgt -0.0038 . Diese Galaxie ist daher eine boxy Ellipse.

Das Spektrum der Galaxie zeigt erkennbare Emissionslinien (siehe Abbildung 7.50). Gemäß NED ist diese Galaxie als AGN klassifiziert. Eine Radioquelle an derselben Position wurde ebenfalls detektiert.

Somit lässt sich zusammenfassen, dass über die Umgebung um dieses Fossile System keine Aussage getroffen werden kann, da vermutlich aufgrund der Rotverschiebung zu wenig Galaxien spektroskopisch erfasst wurden. Allerdings zeigt die zentrale Elliptische Galaxie Signaturen vergangener Akkretionsvorgänge, aufgrund einer entkoppelten Kernkomponente, der boxy Form und der Kernaktivität.

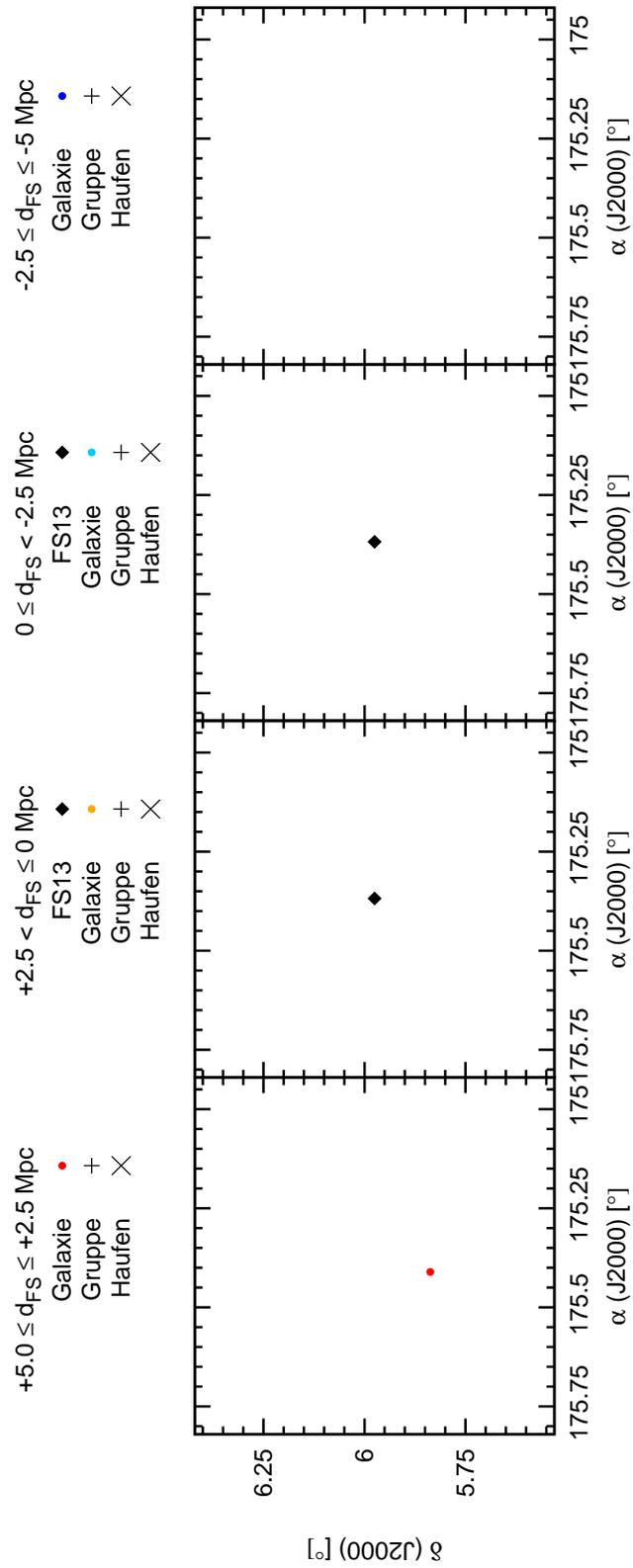


Abbildung 7.47: Räumliche Verteilung der Objekte um FS13 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

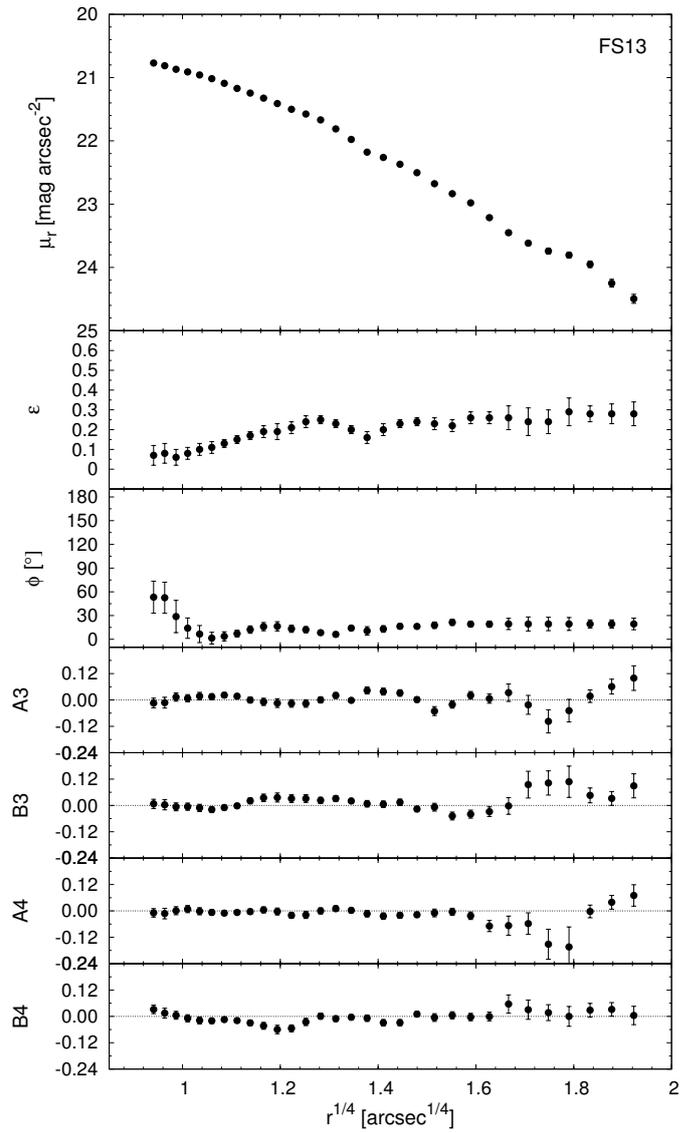


Abbildung 7.48: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS13.

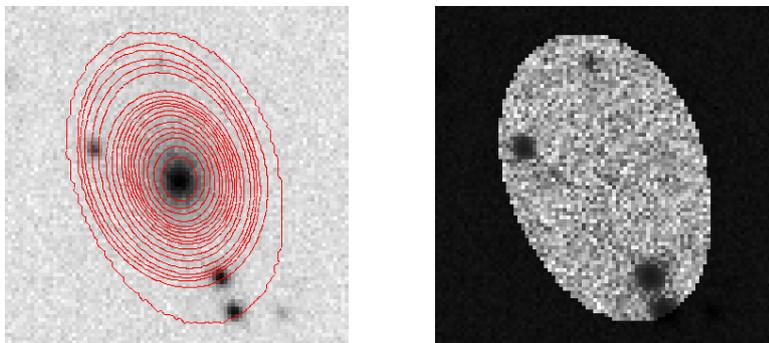


Abbildung 7.49: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS13 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

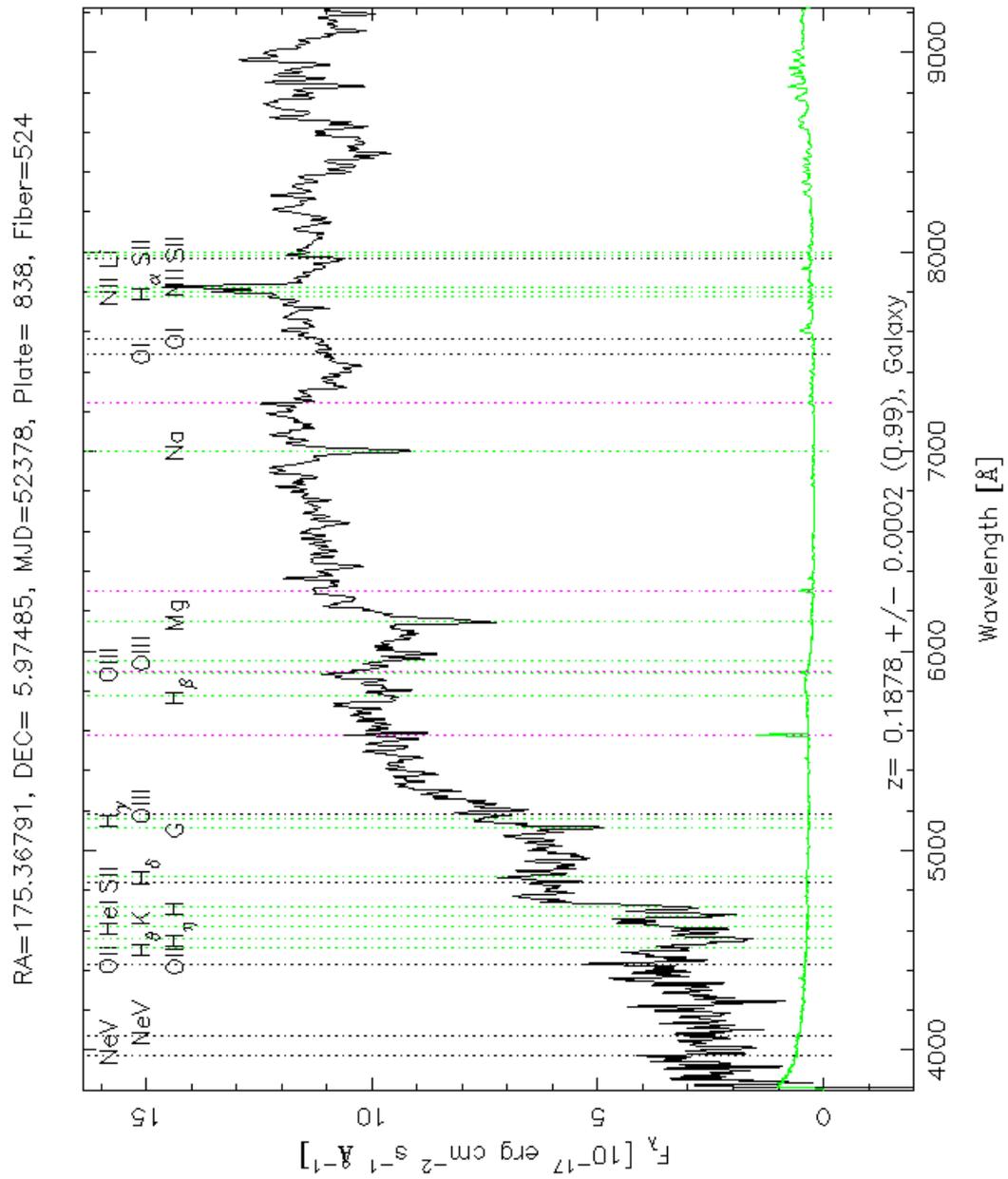


Abbildung 7.50: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS13.

7.14 FS14

Das Fossile Galaxiensystem Nr. 14 befindet sich ebenfalls bei einer mittleren Rotverschiebung von $z \sim 0.22$. In der Umgebung innerhalb von 5 Mpc um dieses System befinden sich weder Galaxien, noch andere Galaxiensysteme mit bekannten Rotverschiebungen. Der nächstgelegene Galaxiencluster NSC J120001+105701 weist nur eine photometrisch bestimmte Rotverschiebung mit vergleichbarem Wert auf. Dieser Haufen befindet sich allerdings in einem projizierten Abstand von 44 Mpc.

Die zentrale Elliptische Galaxie zeigt keine Besonderheiten in ihrer Flächenhelligkeitsanalyse (siehe Abbildung 7.51). Ihre Elliptizität nimmt gleichmäßig mit wachsendem Radius zu. Das Residuenbild ist frei von Helligkeitsvariationen aufgrund anderer Objekte (siehe Abbildung 7.52, rechts). Der B4-Parameter ist in den inneren Bereichen der Galaxie deutlich negativ, ab einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.3''$ nimmt er leicht positive Werte an bis er schließlich in den äußeren Bereichen wieder negativ wird. Der B4-Median mit -0.0095 definiert diese Galaxie als boxy Ellipse.

Das Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie zeigt keine bekannten Emissionslinien (siehe Abbildung 7.53).

Zusammenfassend gibt dieses Fossile System nur einen schwachen Hinweis auf einen vergangenen Verschmelzungsvorgang aufgrund der boxyförmigen Isophoten. Über die Umgebung um dieses System ist keine Aussage möglich.

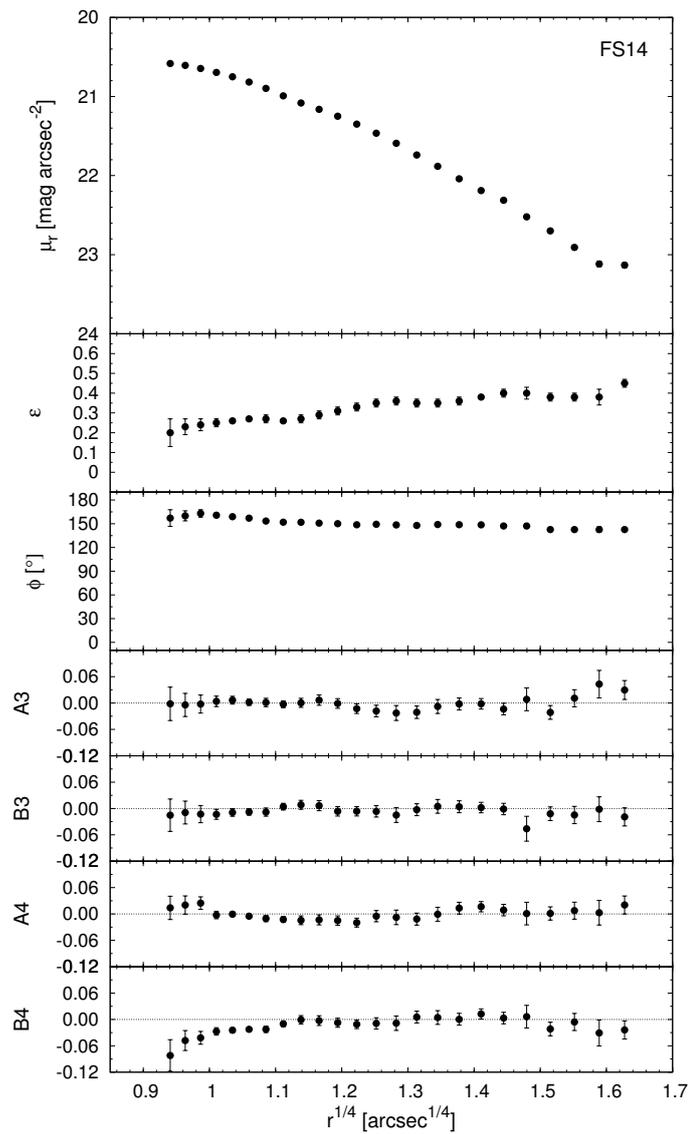


Abbildung 7.51: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS14.

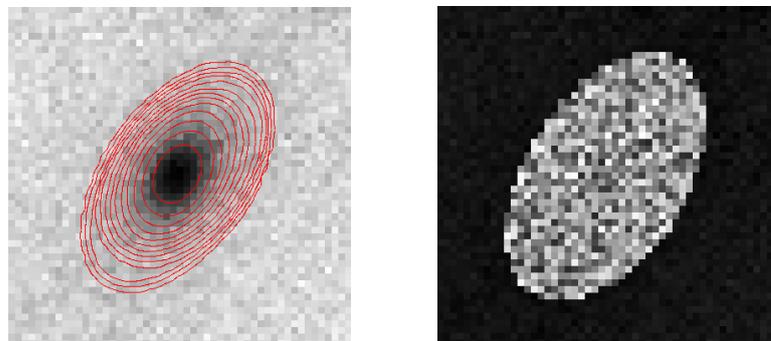


Abbildung 7.52: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS14 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.15 FS15

Das Fossile System Nr. 15 mit einer Rotverschiebung von $z \sim 0.10$ weist insgesamt sechs Galaxien in der untersuchten Umgebung auf (siehe Tabelle C.11 und Abbildung 7.54). Die zur zentralen E-Galaxie nächstgelegene Galaxie - mit einem hellblauen Punkt in Abbildung 7.54 gekennzeichnet bzw. als laufende Nr. 5 in der Tabelle C.11 ausgewiesen - dürfte in gravitativer Wechselwirkung mit der zentralen Elliptischen Galaxie stehen, da die E-Galaxie mit ihrem Positionswinkel von $PA = 32^\circ$ genau in ihre Richtung zeigt. Der zu diesem Fossilen System nächstgelegene Galaxiencluster NSC J115217+562355 hat nur eine photometrisch bestimmte Rotverschiebung in vergleichbarer Höhe. Er weist einen projizierten Abstand von 5.3 Mpc auf.

Die Analyse der Flächenhelligkeit bei der zentralen Elliptischen Galaxie zeigt keine Besonderheiten (siehe Abbildung 7.55). Die Elliptizität steigt nach außen leicht an, der Positionswinkel bleibt nahezu konstant. Die B4-Werte sind meist positiv und resultieren daher in einen B4-Median von 0.0095, also einer diskus Ellipse.

Das Spektrum zeigt Emissionslinien, die auf eine Seyfert 2-Galaxie schließen lassen (siehe Abbildung 7.57). Weiters existiert eine Radioquelle in einem Abstand von 0.5'.

Die nähere Umgebung um das Fossile System hat vermutlich Einfluss auf die Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie. Die deutliche diskus Form könnte durch einen gasreichen Merging-Vorgang entstanden sein. Anzeichen nuklearer Aktivität sind hier deutlich zu erkennen.

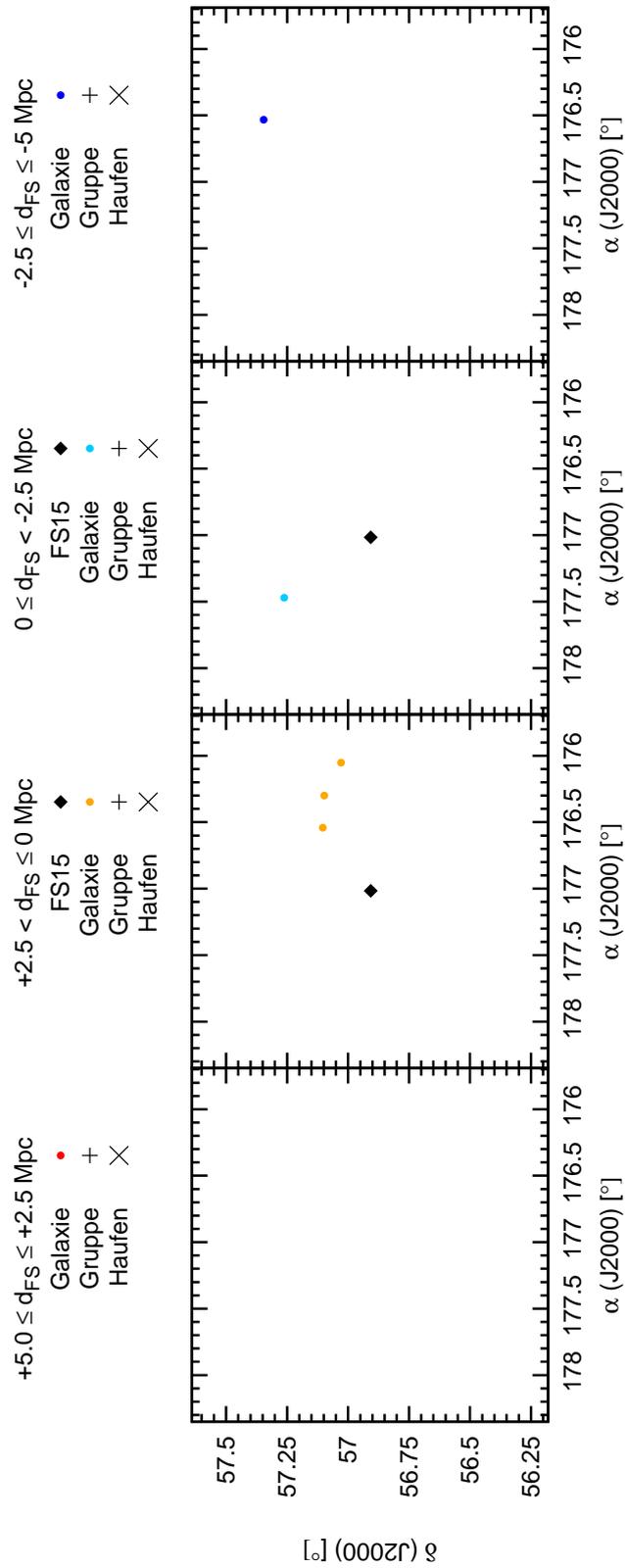


Abbildung 7.54: Räumliche Verteilung der Objekte um FS15 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

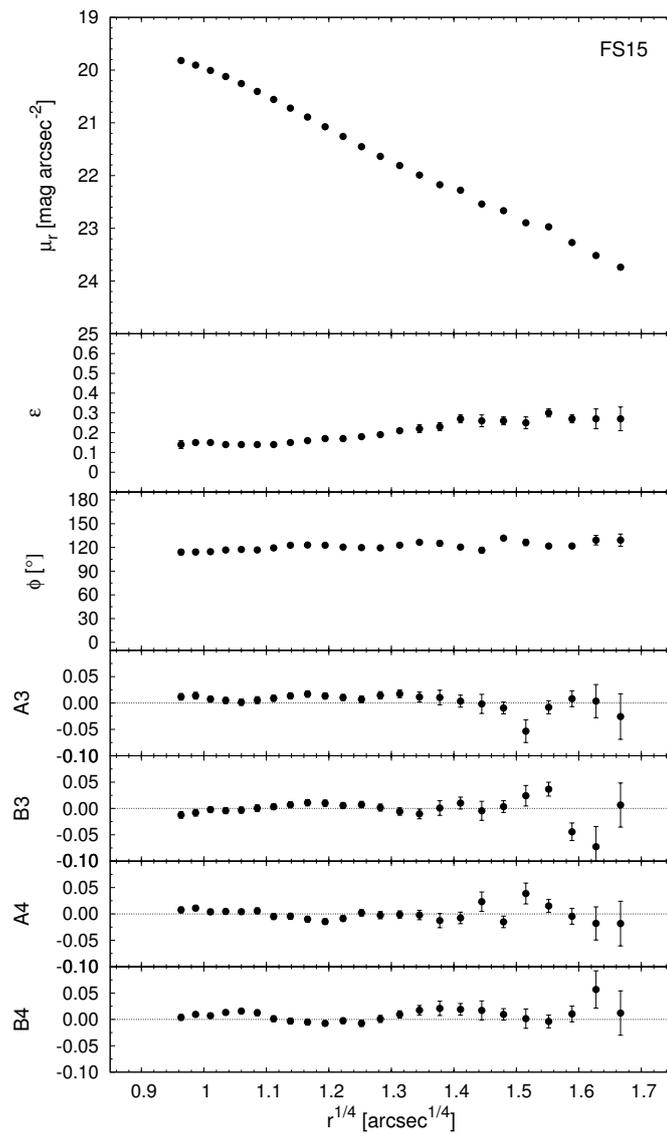


Abbildung 7.55: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS15.

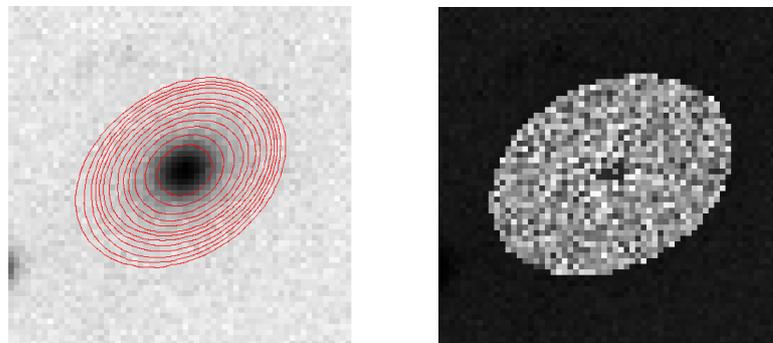


Abbildung 7.56: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS15 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

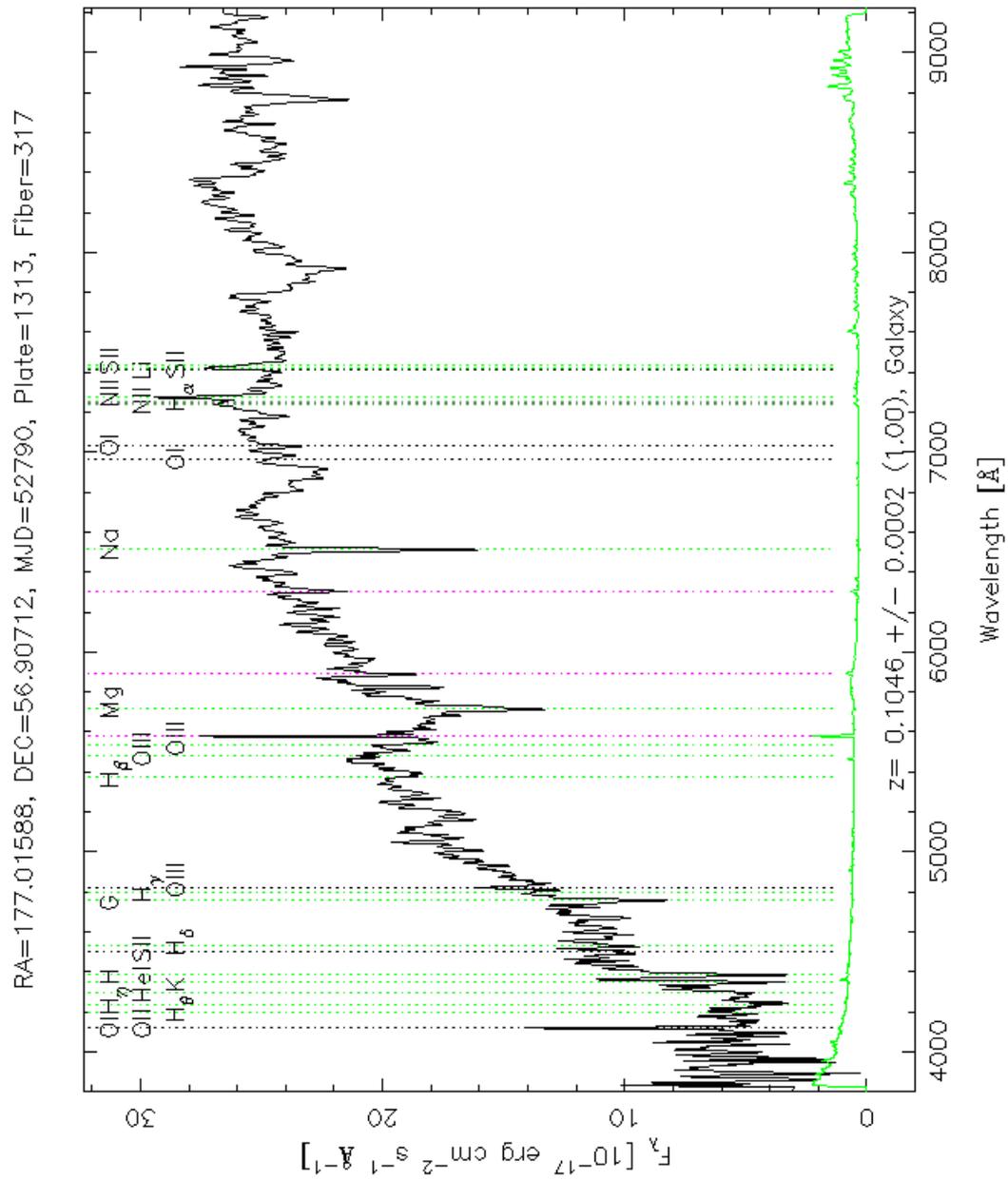


Abbildung 7.57: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS15.

7.16 FS16

Das Fossile System Nr. 16 befindet sich bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.28$ und hat daher vermutlich keine spektroskopisch bestimmten Mitglieder. Es sind auch keine anderen Galaxiensysteme bekannt. Nur der Galaxienhaufen ABELL 1393 liegt in vergleichbarer geschätzter Entfernung. Der projizierte Abstand beläuft sich hier auf fast 19 Mpc.

Auch diese Galaxie zeigt bei ihrer Flächenhelligkeitsanalyse keine Besonderheiten (siehe Abbildung 7.58). Der Positionswinkel bleibt konstant und die Elliptizität nimmt mit steigendem Radius zu. Die B4-Werte sind nur in den Innenbereichen der Galaxie negativ, ansonsten größtenteils positiv. Dies zeigt sich auch im B4-Median von 0.0073, also eine diskus Ellipse.

Auch das Spektrum der Galaxie ist unauffällig (siehe Abbildung 7.60).

Zusammenfassend betrachtet liegen über dieses Fossile System keine besonderen Erkenntnisse vor.

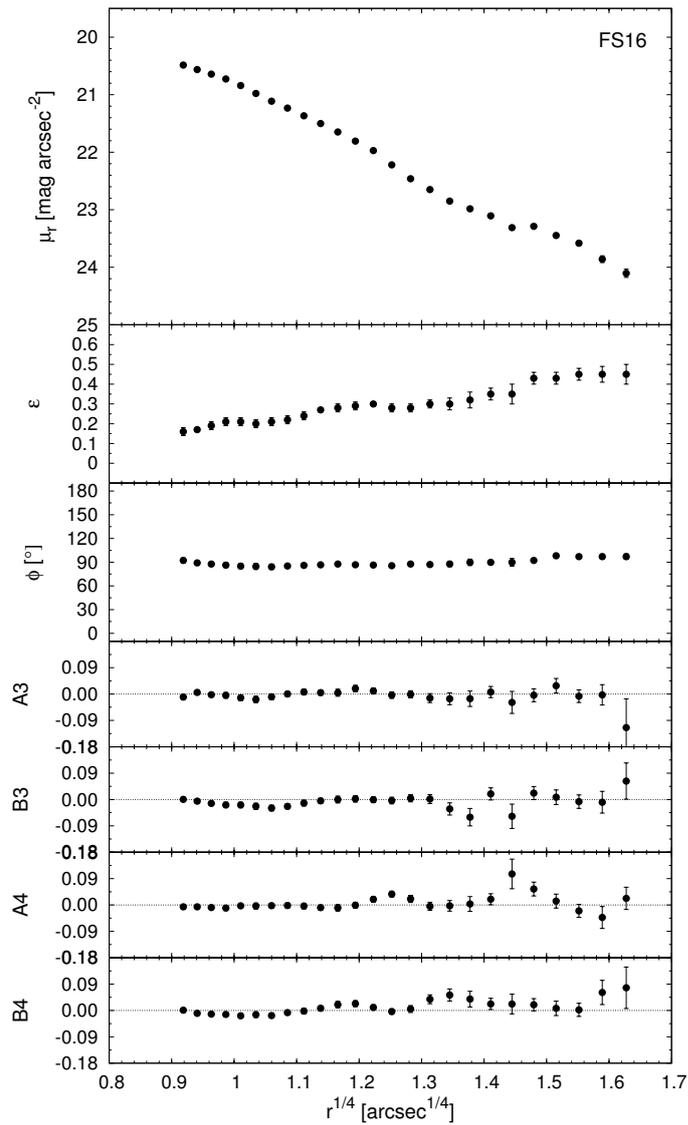


Abbildung 7.58: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS16.

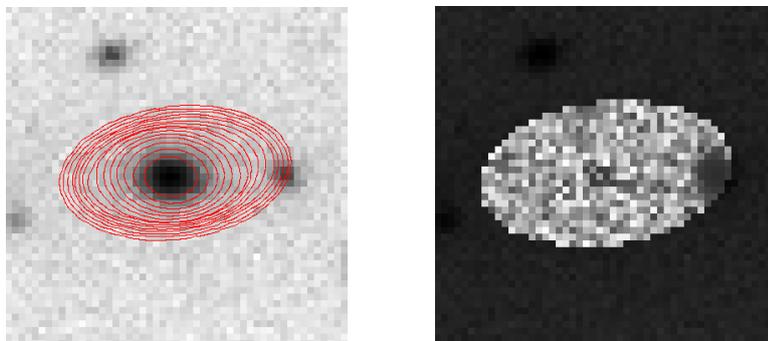


Abbildung 7.59: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS16 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

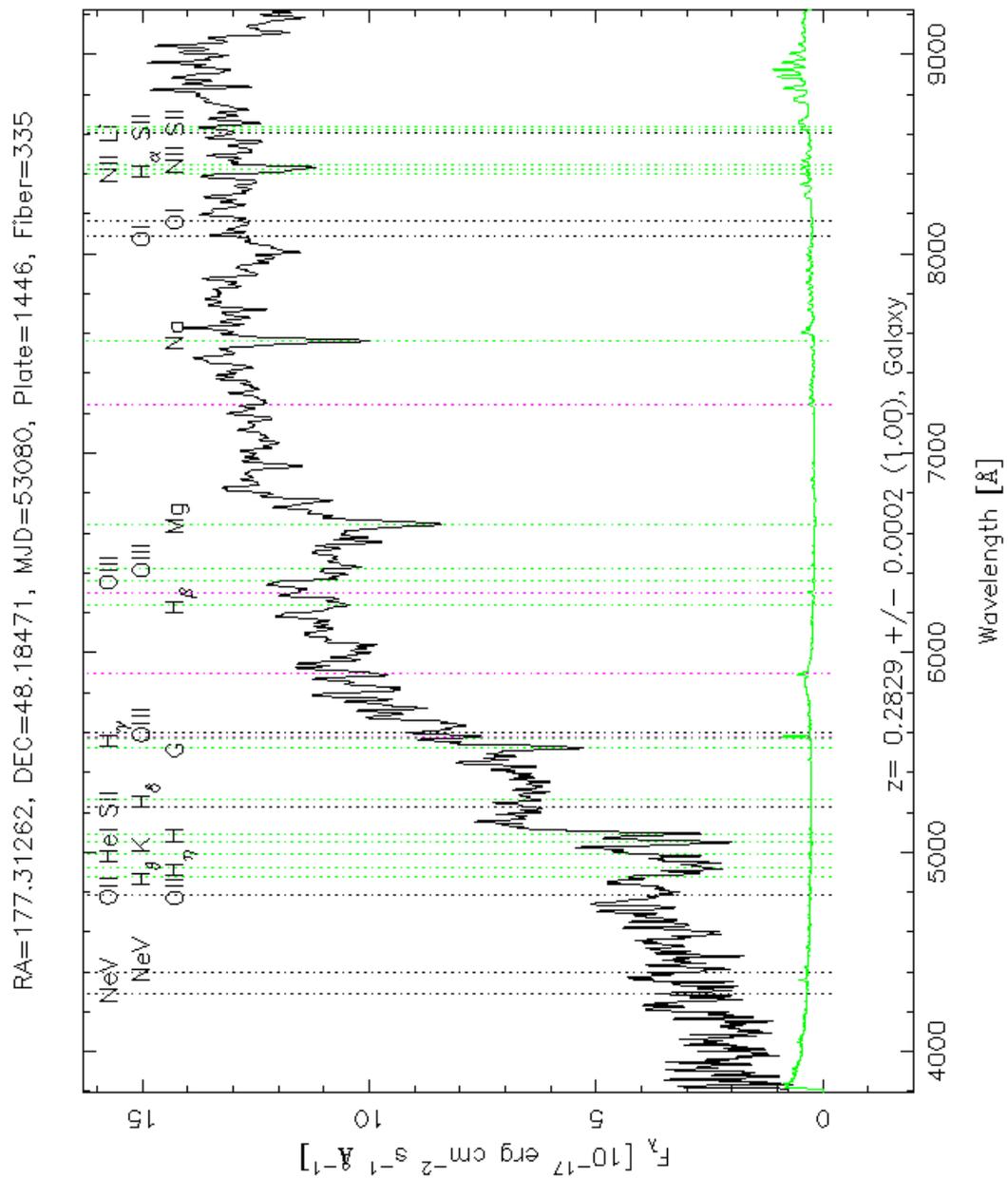


Abbildung 7.60: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS16.

7.17 FS17

Das Fossile System Nr. 17 weist eine Rotverschiebung von $z \sim 0.16$ auf. In seiner Umgebung befinden sich keine anderen Galaxiensysteme. Die Rotverschiebung des nächstgelegenen Galaxienclusters NSC J123532+414344 ist nur mit photometrischen Methoden bestimmt. Diese beiden Systeme haben somit nur ähnliche Entfernungen und einen projizierten Abstand von ca. 22 Mpc. Das FS beinhaltet insgesamt acht Galaxien in seiner Umgebung (siehe Tabelle C.12 und Abbildung 7.61). Die Anordnung von sieben dieser Galaxien lässt einen leichten NO-SW-Trend erkennen, der auch durch den Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie mit $PA = 143^\circ$ bestätigt wird.

Die Flächenhelligkeitsanalyse der Elliptischen Galaxie von FS17 zeigt eine photometrisch entkoppelte Sternkomponente im Zentrum der Galaxie (siehe Abbildung 7.62). Bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.05''$ zeigt die Elliptizität keine Änderungen, der Positionswinkel steigt in diesem Bereich kontinuierlich an. Ab diesem Radius ändert sich der Trend bei beiden Messwerten. Die Elliptizität steigt, während der Positionswinkel nun konstant bleibt. Das Residuenbild (siehe Abbildung 7.63, rechts) zeigt in der zentralen Region einen leichten Lichtüberschuss, der das Vorhandensein von zwei Kernkomponenten vermuten lässt. Die große flächenhafte Lichtquelle am Rand der Galaxie könnte von einer nahen Begleitgalaxie stammen oder von einer Galaxie im Beobachtungshintergrund herrühren. Betrachtet man den B4-Parameter, so zeigt dieser im zentralen Bereich, in der Mitte und am Rand der Galaxie negative Werte, aber in den zwei anderen Zonen positive Werte. Hier kann somit keine globale Aussage über die Form der Elliptischen Galaxie getroffen werden. Die Werte mitteln sich somit zu einem B4-Median von 0.0001.

Betrachtet man das Spektrum der zentralen Galaxie (siehe Abbildung 7.64), so sind keine eindeutigen Emissionslinien erkennbar. An der Position dieser Galaxie ist lt. NED eine Radioquelle bekannt.

Die Analyse der Umgebung ergibt hier auch einen Trend zu filamentartigen Strukturen, in diese sich auch die Ausrichtung der Elliptischen Galaxie fügt. Die entkoppelte Kernkomponente der zentralen Elliptischen Galaxie mit boxy Isophoten und die vorhandene Radioemission lassen auf vergangene Akkretionsvorgänge schließen.

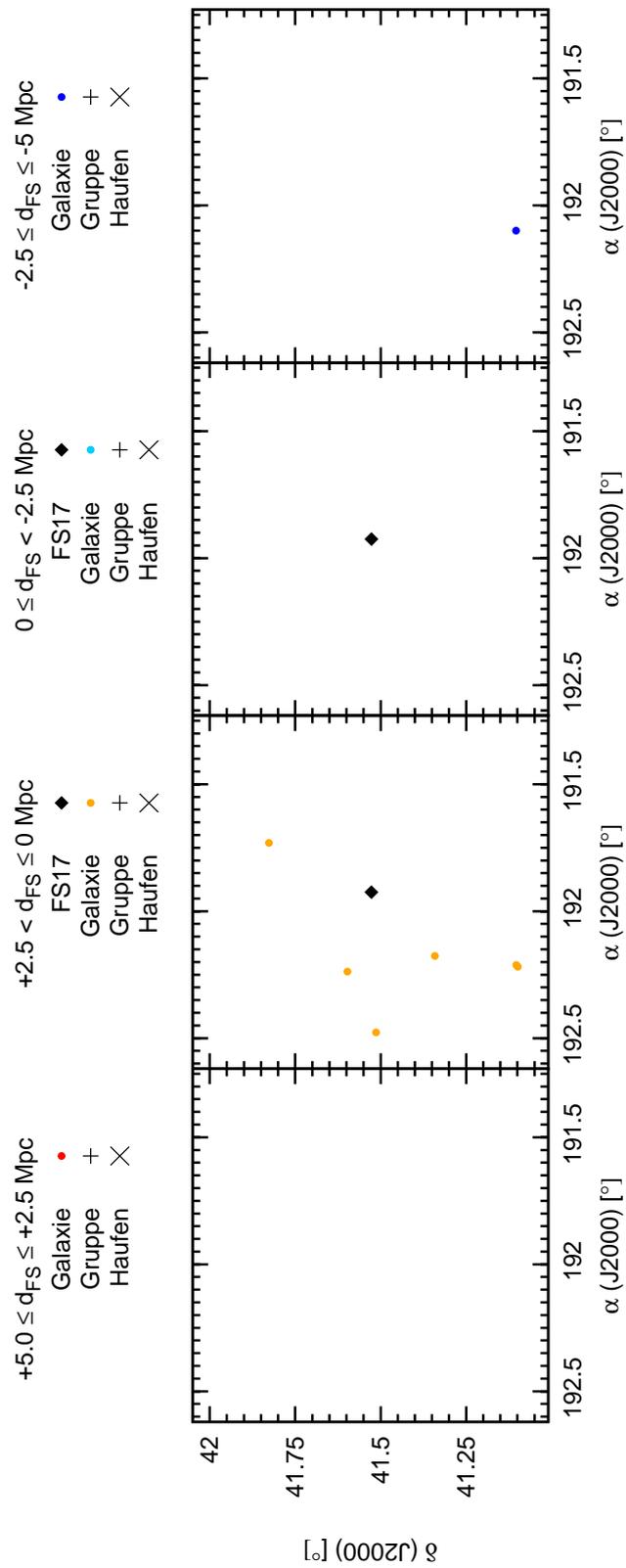


Abbildung 7.61: Räumliche Verteilung der Objekte um FS17 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

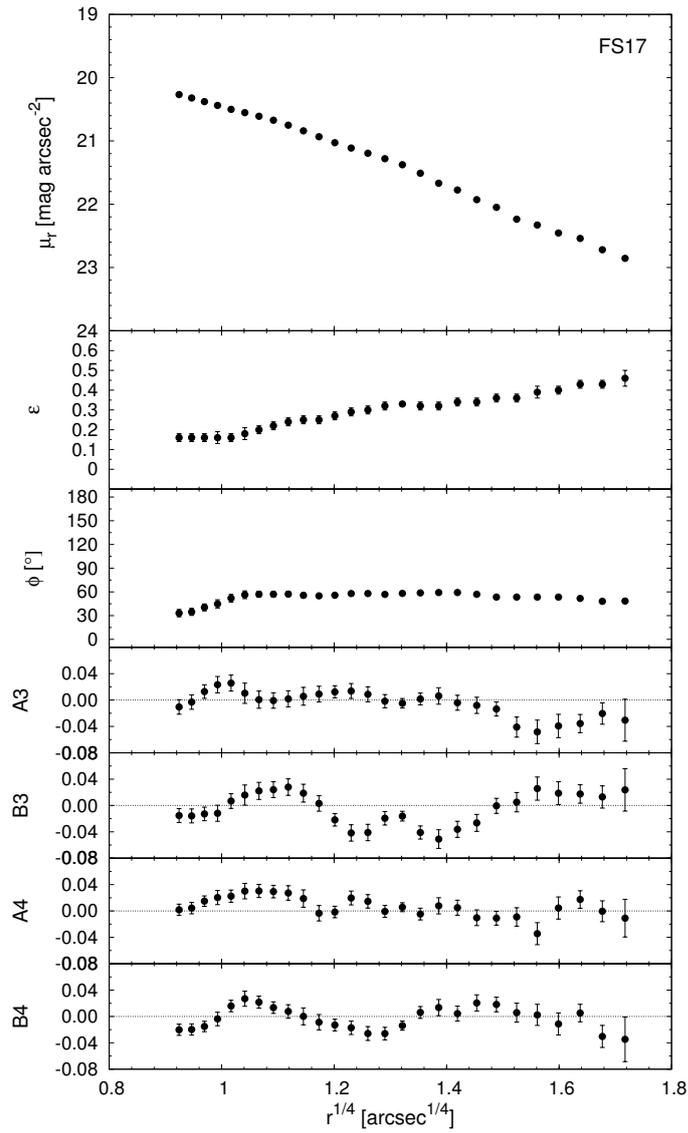


Abbildung 7.62: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS17.

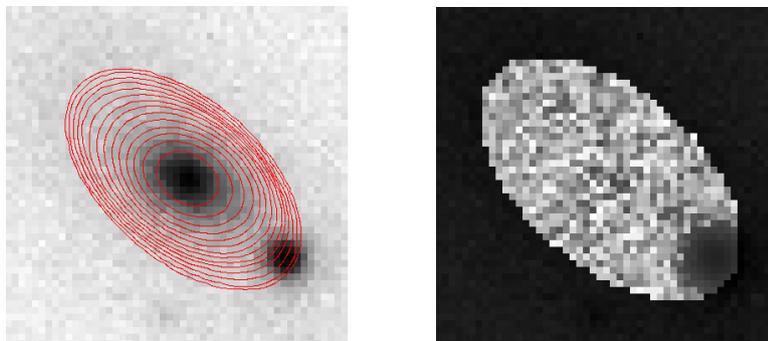


Abbildung 7.63: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS17 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.18 FS18

Das 18. Fossile System bei $z \sim 0.23$ weist nur zwei weitere Galaxien innerhalb seiner Umgebung von 5 Mpc Radius auf (siehe Tabelle C.13 und Abbildung 7.65). Der Positionswinkel von $PA = 114^\circ$ der zentralen Elliptischen Galaxie zeigt keinen Zusammenhang mit der Lage der umgebenden Galaxien. Weiters sind auch keine anderen Galaxiensysteme vorhanden. Der Galaxienhaufen NSC J130109+451559 mit photometrisch bestimmter Rotverschiebung befindet sich in vergleichbarer Entfernung. Der projizierte Abstand zwischen FS und diesem Haufen beträgt 7.7 Mpc.

Die Flächenhelligkeitsanalyse (siehe Abbildung 7.66) ist eventuell von einer kernnahen Zwerggalaxie bzw. von einem Hintergrundobjekt beeinflusst. Im Residuenbild sind zwei Quellen mit Lichtüberschüssen enthalten (siehe Abbildung 7.67, rechts). Sofern die Kontamination des zentralen Objekts mit der Maskierungsprozedur vollständig entfernt wurde, lässt hier der zentrale Positionswinkel auf eine photometrisch entkoppelte Sternkomponente schließen. Bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von $0.95''$ nimmt der Positionswinkel andere Werte an als danach. Die Elliptizität fällt bis zu diesem Radius leicht, anschließend steigt sie. Die B4-Werte sind bis auf wenige Ausnahmen positiv. Der B4-Median beträgt 0.0063. Es handelt sich hier um eine diskus Ellipse.

Das Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie ist vom Rauschen geprägt (siehe Abbildung 7.68). Es sind keine Emissionslinien erkennbar.

Zusammenfassend kann bezüglich der Umgebungsanalyse aufgrund der wenigen Daten keine Aussage getroffen werden. Die zentrale Elliptische Galaxie zeigt Hinweise auf einen vergangenen Mergingvorgang mit einer gasreichen Zwerggalaxie, da eine entkoppelte zentrale Sternregion mit diskus Isophoten erkennbar ist.

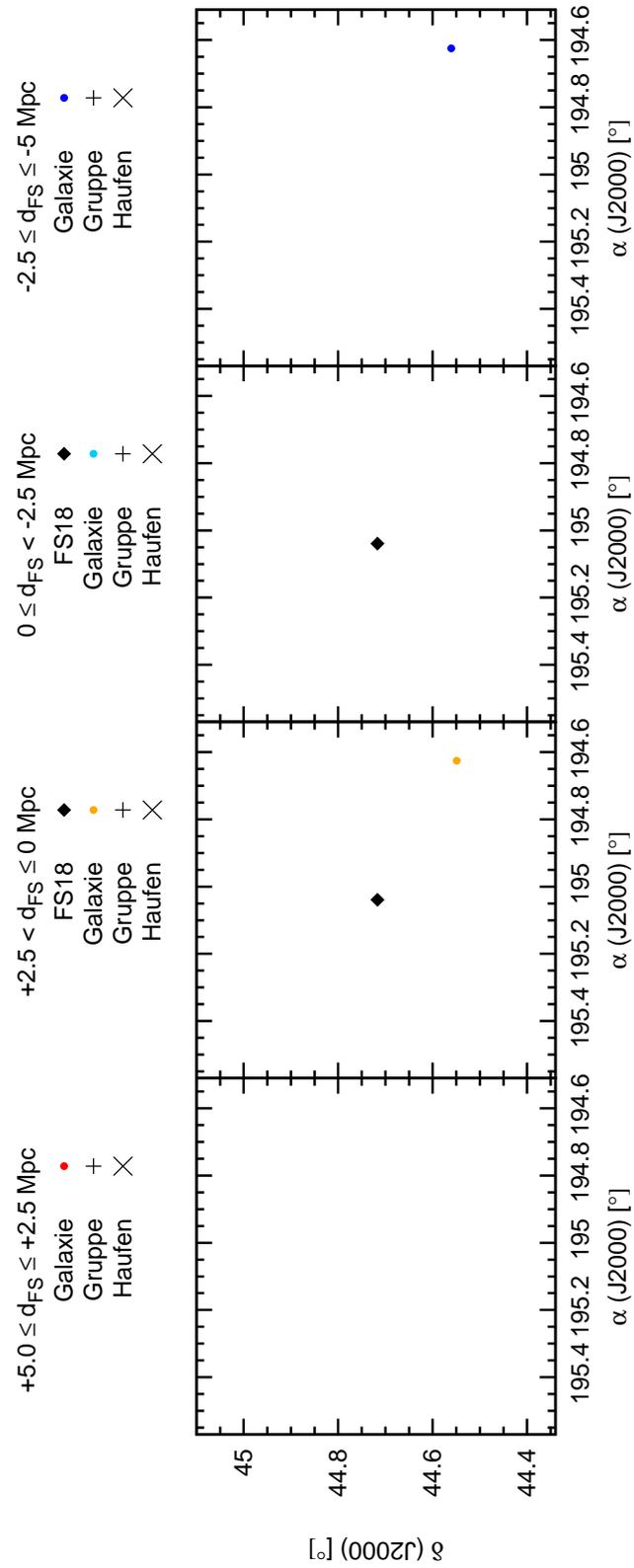


Abbildung 7.65: Räumliche Verteilung der Objekte um FS18 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

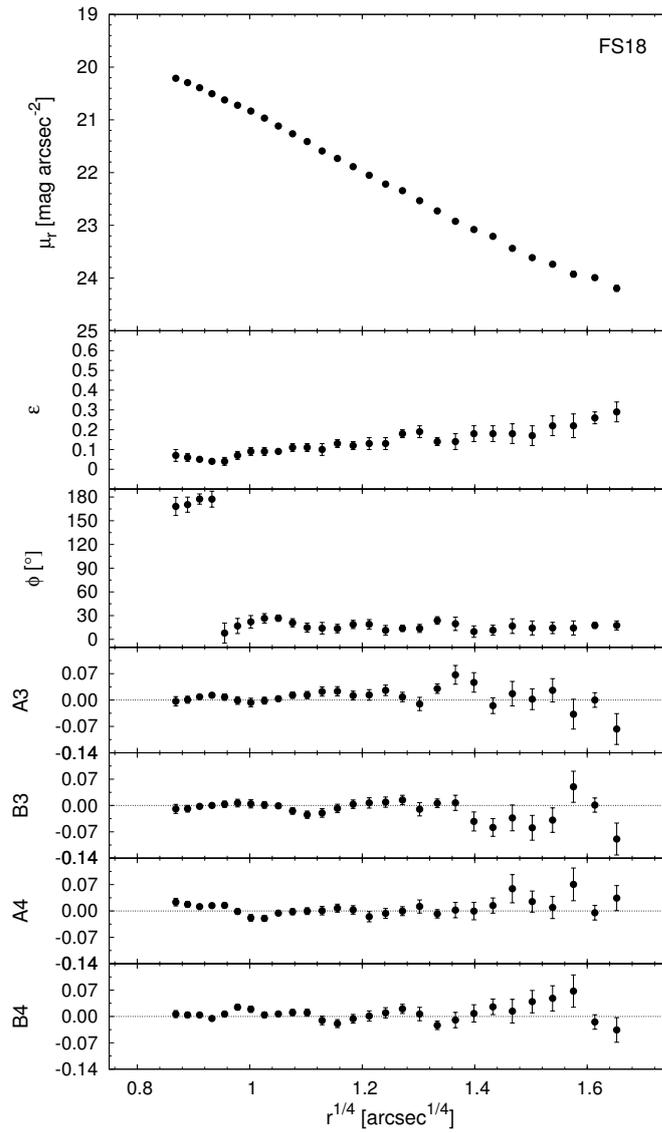


Abbildung 7.66: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS18.

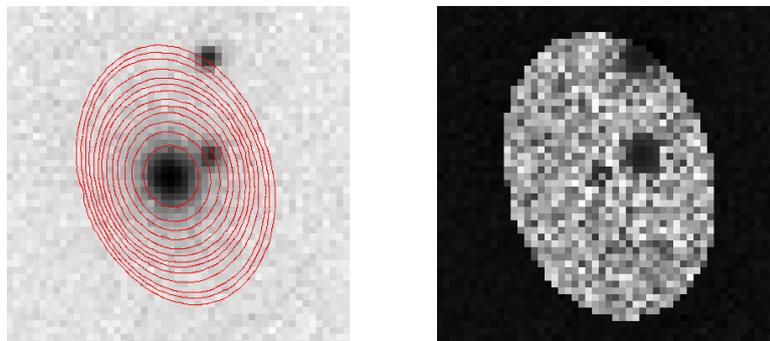


Abbildung 7.67: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS18 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

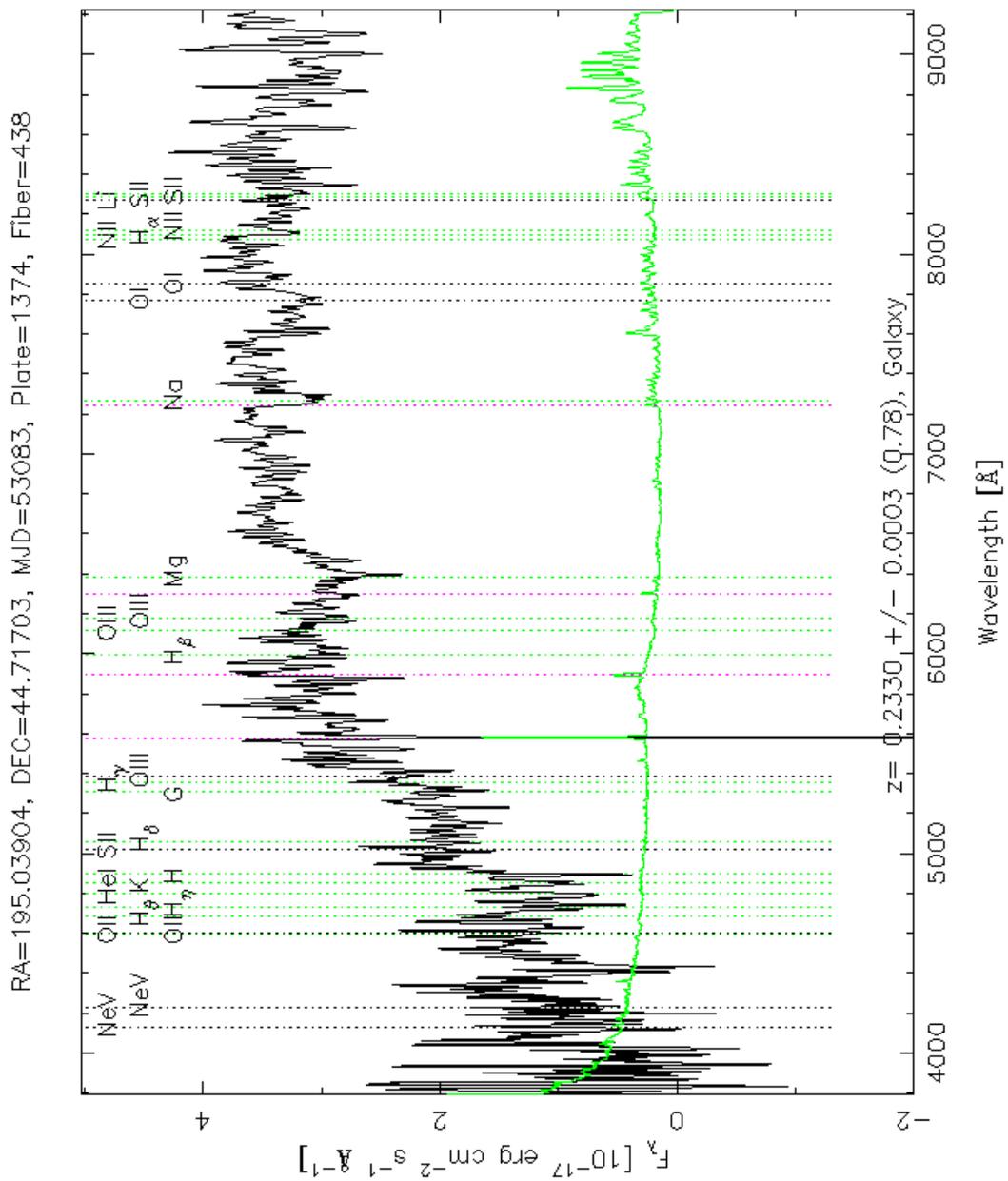


Abbildung 7.68: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS18.

7.19 FS19

Das Fossile System Nr. 19 bei $z \sim 0.18$ zählt insgesamt sieben Galaxien in seiner Umgebung (siehe Tabelle C.14 und Abbildung 7.69). Betrachtet man den Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie mit $PA = 131^\circ$, so zeigt dieser mit nur wenigen Grad Abweichung in Richtung der nächstgelegenen Galaxie mit der laufenden Nr. 6 gemäß Tabelle C.14, die als hellblauer Punkt im dritten Diagramm der Abbildung 7.69 dargestellt ist. In der Umgebung von 5 Mpc Radius befinden sich keine anderen Galaxiensysteme. Die nächstgelegene Galaxiengruppe MZ 05481 befindet sich in einem projizierten Abstand von ca. 10 Mpc.

Besonders interessant gestaltet sich hier die Analyse der Flächenhelligkeit (siehe Abbildung 7.70). Die Originalaufnahme zeigt einen dezentralen länglichen Kern und das Residuenbild mehrere Stellen mit Lichtüberschüssen und -Defiziten (siehe Abbildung 7.71). Die Helligkeitsvariationen im Residuenbild sind durch den Modellierungsvorgang bedingt, da das Galaxienmodell aus Ellipsen besteht und die tatsächliche Lichtverteilung der zentralen Region der Galaxienzentrums wahrscheinlich aus zwei oder mehreren Kernen besteht. Diese Eigenart spiegelt sich auch in den stark und untypisch variierenden Elliptizitäten wider. Der Positionswinkel hingegen steigt nur leicht und gleichmäßig. Verständlicherweise zeigt auch das Flächenhelligkeitsprofil der Galaxie einen untypischen Verlauf im Helligkeitsabfall mit dem Radius. Die B4-Werte sind fast immer negativ. Der B4-Median mit -0.0218 identifiziert diese Galaxie als extrem boxy.

Passend dazu zeigt auch das Spektrum deutliche Emissionslinien (s. Abbildung 7.72). Leider fehlt ein Teil der spektralen Daten im Bereich von 7300 bis 8200 Å, da hier die Linien von [N II] und $H\alpha$ liegen, die für die Klassifikation der Aktivität herangezogen werden. Gemäß NED ist diese Galaxie als vermutlicher AGN klassifiziert.

Zusammenfassend zeigt die zentrale Elliptische Galaxie des FS19 einen Zusammenhang mit ihrem nächsten Mitglied. Mehrere Kernkomponenten zeigen hier einen noch nicht abgeschlossenen Akkretionsvorgang einer oder mehrerer Galaxien. Die aktive galaktische Kern ist durch das Spektrum erkennbar.

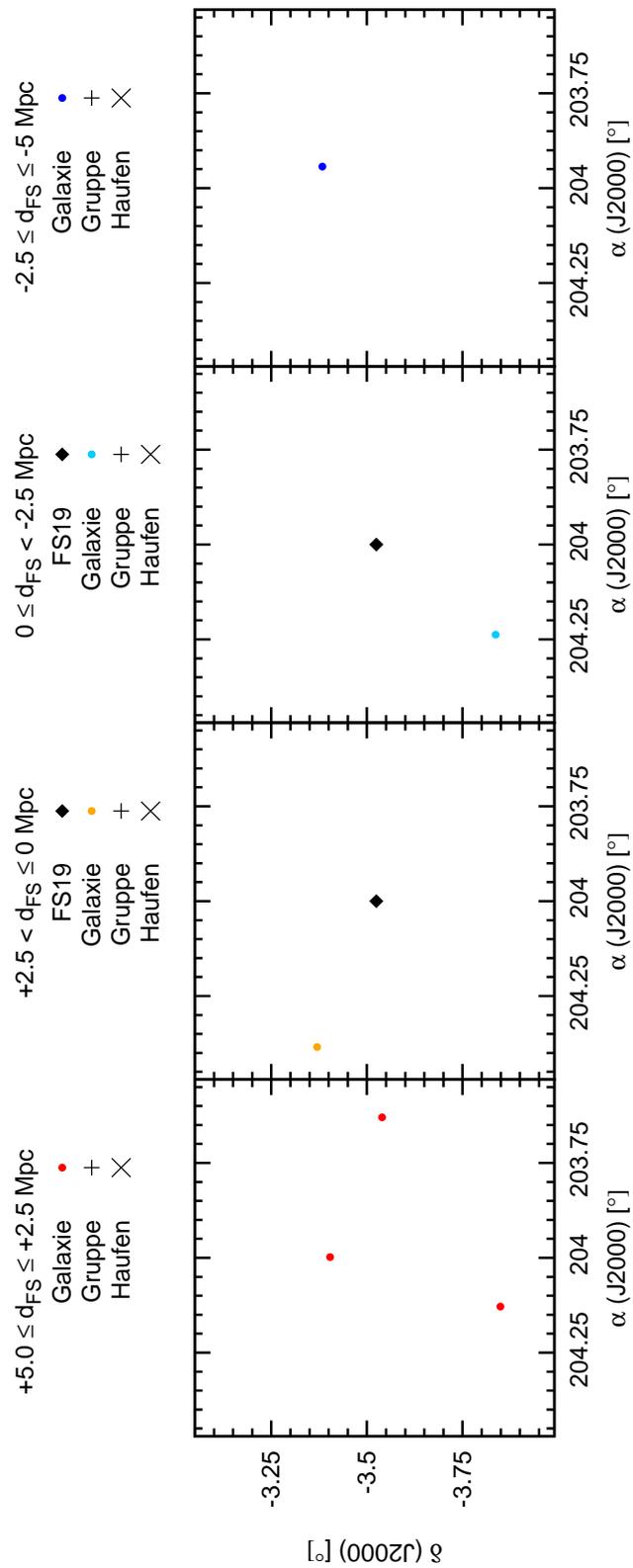


Abbildung 7.69: Räumliche Verteilung der Objekte um FS19 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

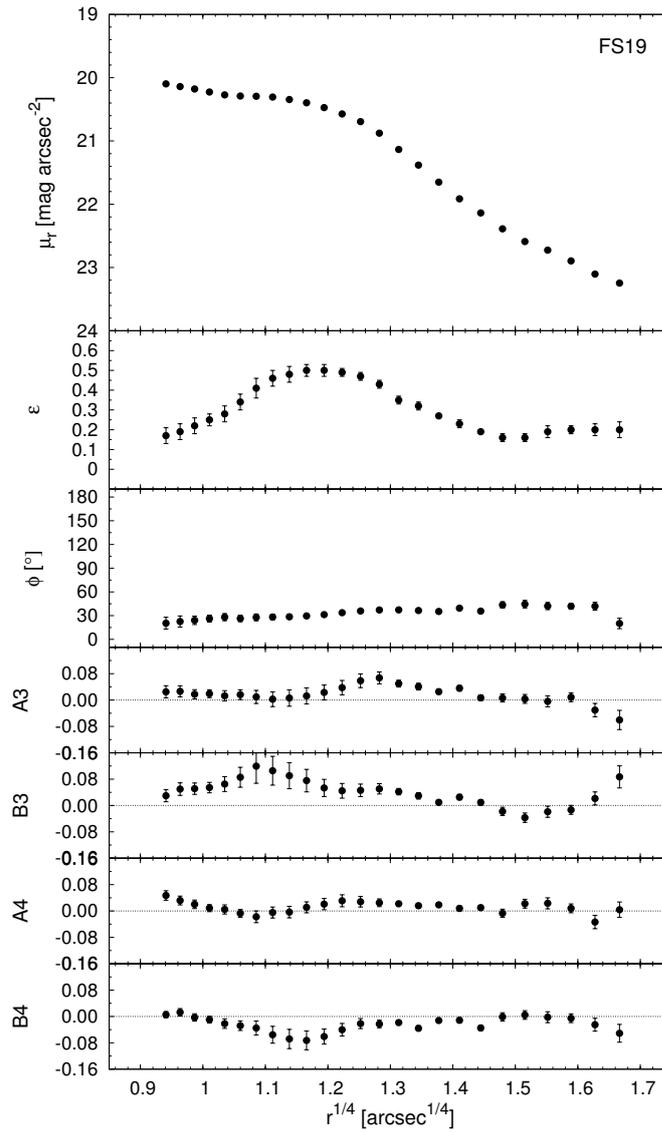


Abbildung 7.70: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS19.

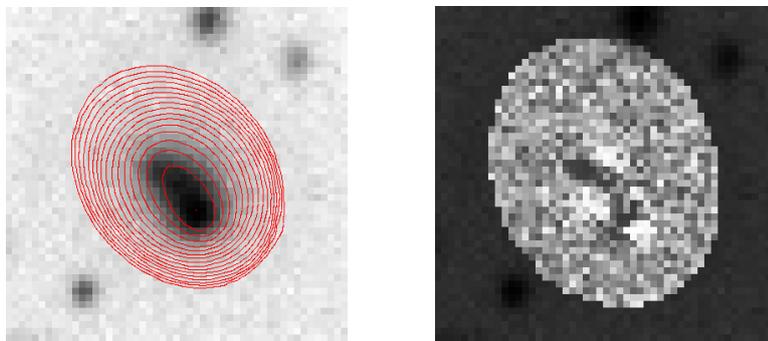


Abbildung 7.71: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS19 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.20 FS20

Das Fossile System Nr. 20 befindet sich bei einer geringeren Rotverschiebung von $z \sim 0.09$. Daher gibt es in der Umgebung dieses Systems 27 Galaxien mit spektroskopisch bestimmter Rotverschiebung (siehe Tabelle C.15 und Abbildung 7.73). Betrachtet man die Anordnung der Galaxien, so ist diese in jedem Rotverschiebungsbereich völlig anders. Zum Beispiel ordnen sich die Galaxien im Entfernungsbereich von $+2.5 < d_{\text{FS}} \leq 0$ Mpc als horizontales Filament an, während sie im näheren Bereich von $0 \leq d_{\text{FS}} < -2.5$ Mpc ringförmig um die zentrale Elliptische Galaxie liegen. Der Positionswinkel von $PA = 59^\circ$ zeigt daher auch keine Korrelation mit den umgebenden Galaxien. Weiters enthält die Umgebung des Fossilen Systems keine anderen Galaxiensysteme. Der nächstgelegene Galaxienhaufen NSC J140535+400445 weist nur eine photometrisch bestimmte Rotverschiebung in vergleichbarer Höhe auf. Der projizierte Abstand zum FS beträgt fast 12 Mpc.

Die Flächenhelligkeitsanalyse zeigt keine Auffälligkeiten (siehe Abbildung 7.74). Sowohl die Elliptizität als auch der Positionswinkel ändern sich kaum. Der Außenbereich der Galaxie wird vom Licht einer anderen Galaxie beeinflusst (siehe Abbildung 7.75). Die B4-Werte bewegen sich nahe um 0. Der B4-Median beträgt 0.0001. Diese Galaxie besitzt keine besondere Form, sie ist eine perfekte Ellipse.

Ebenso unspektakulär ist das Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie (siehe Abbildung 7.76). Es zeigt keine Emissionslinien.

Zusammenfassend betrachtet konnten weder bei der Umgebungsanalyse Besonderheiten festgestellt werden, noch bei der zentralen Elliptischen Galaxie selbst.

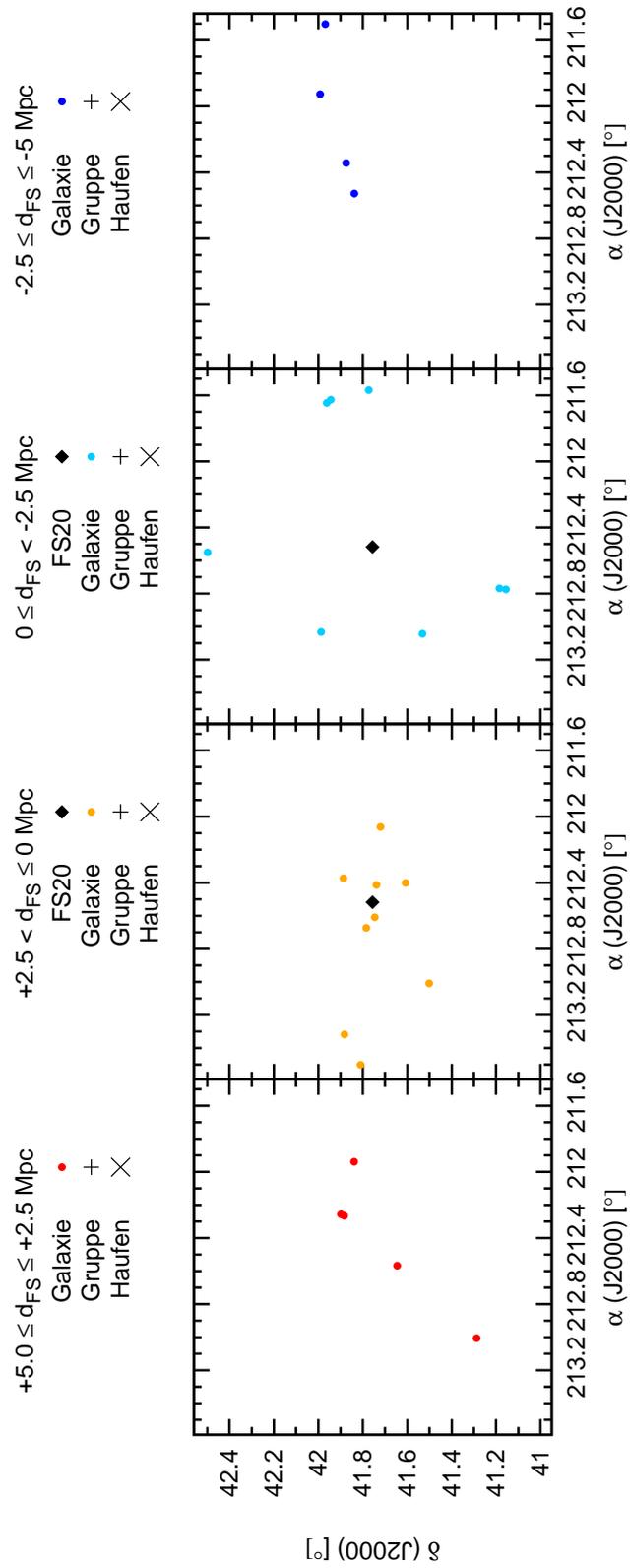


Abbildung 7.73: Räumliche Verteilung der Objekte um FS20 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

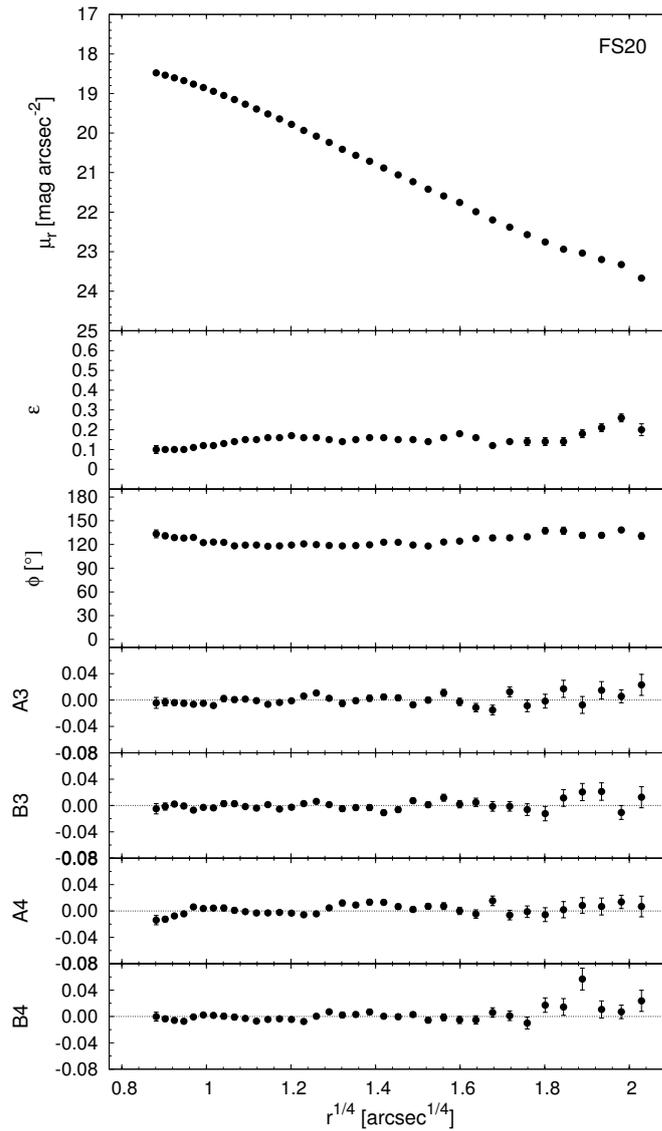


Abbildung 7.74: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS20.

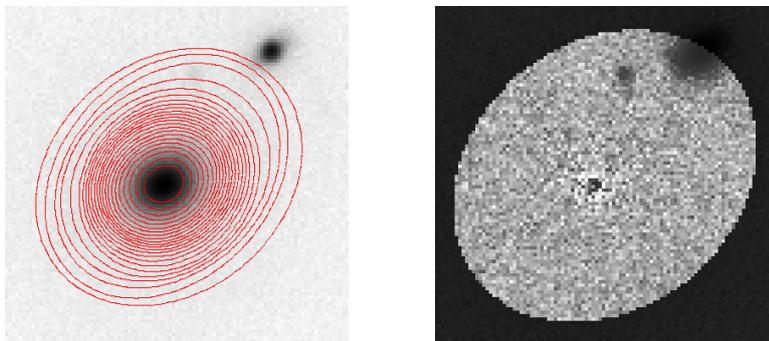


Abbildung 7.75: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS20 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

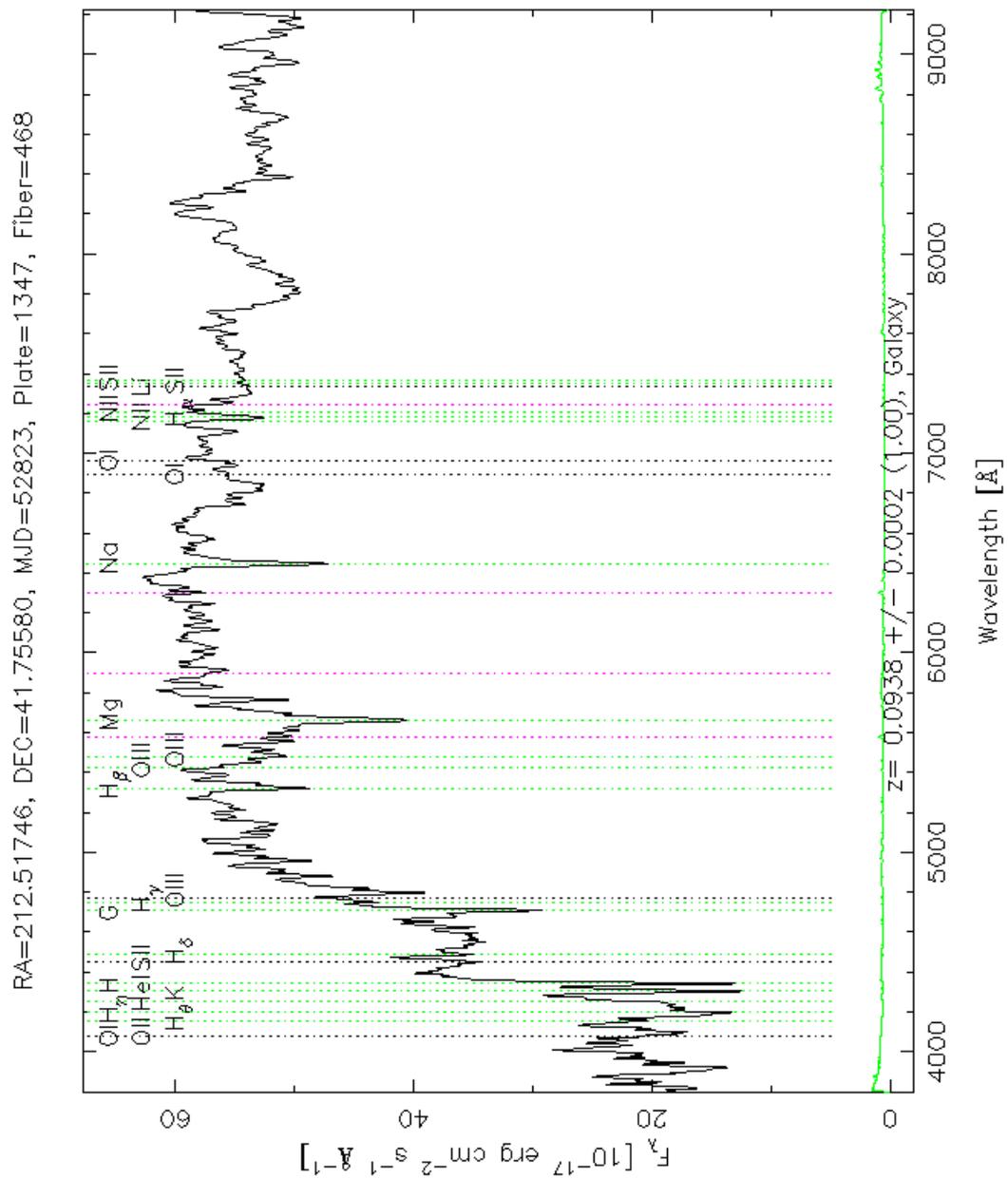


Abbildung 7.76: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS20.

7.21 FS21

Das 21. Fossile System liegt bei höherer Rotverschiebung von $z \sim 0.31$. Dies könnte der Grund dafür sein, dass weder andere Galaxien, noch weitere Galaxiensysteme mit spektraler Entfernungsbestimmung in der Umgebung um dieses FS vorhanden sind. Der nächstgelegene Galaxienhaufen SDSS CE J221.216507+00.448048 weist nur eine geschätzte Rotverschiebung in ähnlicher Höhe auf. Der projizierte Abstand beträgt nur knappe 4 Mpc. Somit könnte sich der benachbarte Galaxienhaufen innerhalb der Fehlerbalken eventuell in der 5 Mpc-Radius Umgebung um FS21 befinden.

Die räumliche Auflösung der Galaxienaufnahme ist gering, bedingt durch die höhere Entfernung der Galaxie (siehe Abbildung 7.78, links). Die Daten aus der Flächenhelligkeitsanalyse sind daher kritisch zu betrachten (siehe Abbildung 7.77). Es zeigt sich eine starke Positionswinkeländerung, kombiniert mit zuerst leicht fallender, dann wieder steigender Elliptizität. Daher könnte hier eine photometrisch entkoppelte Sternkomponente vermutet werden, die bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von 1.05" reicht. Die B4-Werte sind öfter positiv als negativ. Der B4-Median liegt bei 0.0006, also ist diese Galaxie zusammenfassend betrachtet eher diskly.

Die entkoppelte Sternkomponente wird durch Emissionslinien im Galaxienspektrum bestätigt (siehe Abbildung 7.79). Wahrscheinlich handelt es sich hier um einen AGN.

Durch fehlende spektroskopische Daten über Begleiter in der Umgebung um dieses Fossile System kann keine Analyse diesbezüglich durchgeführt werden. Die zentale Elliptische Galaxie selbst zeigt Hinweise vergangener Akkretionsvorgänge aufgrund einer entkoppelten Komponente von Sternen und der spektroskopisch bestimmten Kernaktivität.

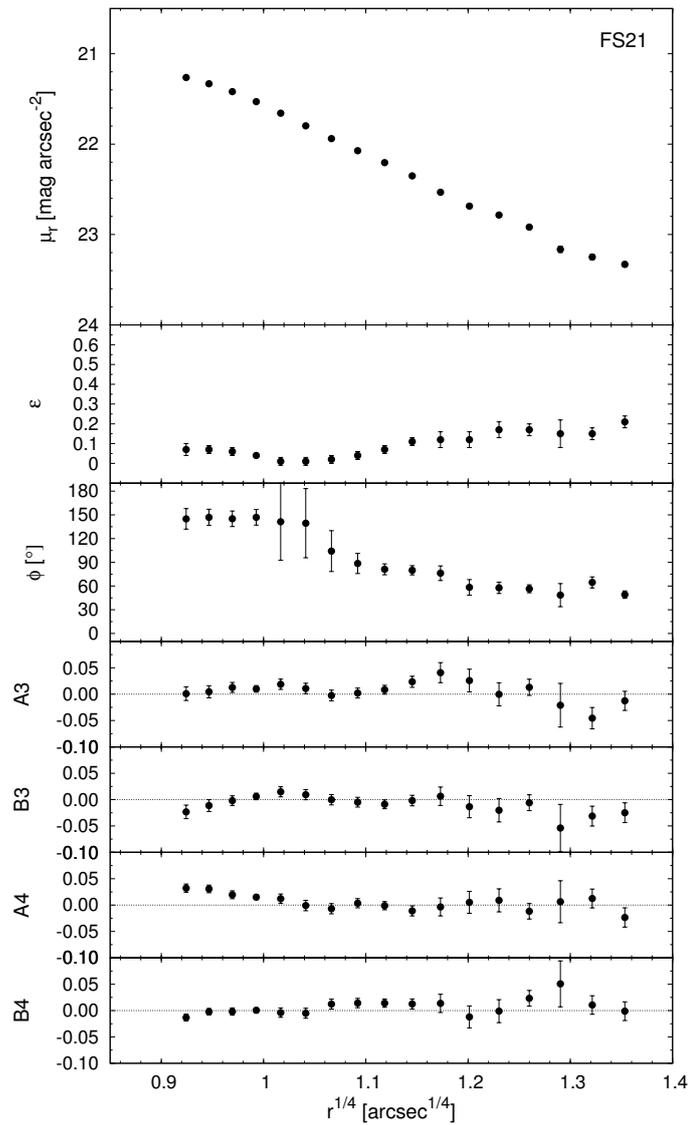


Abbildung 7.77: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS21.

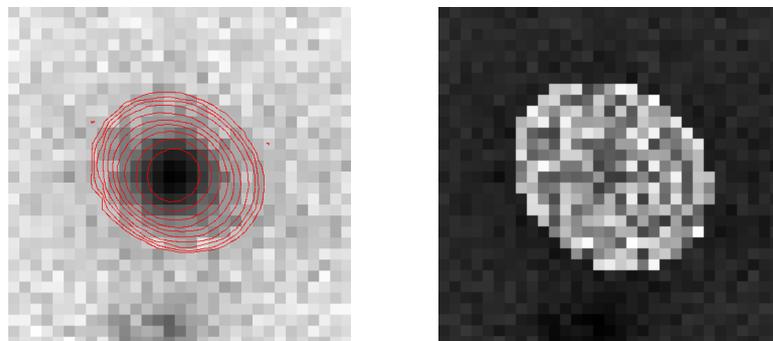


Abbildung 7.78: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS21 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

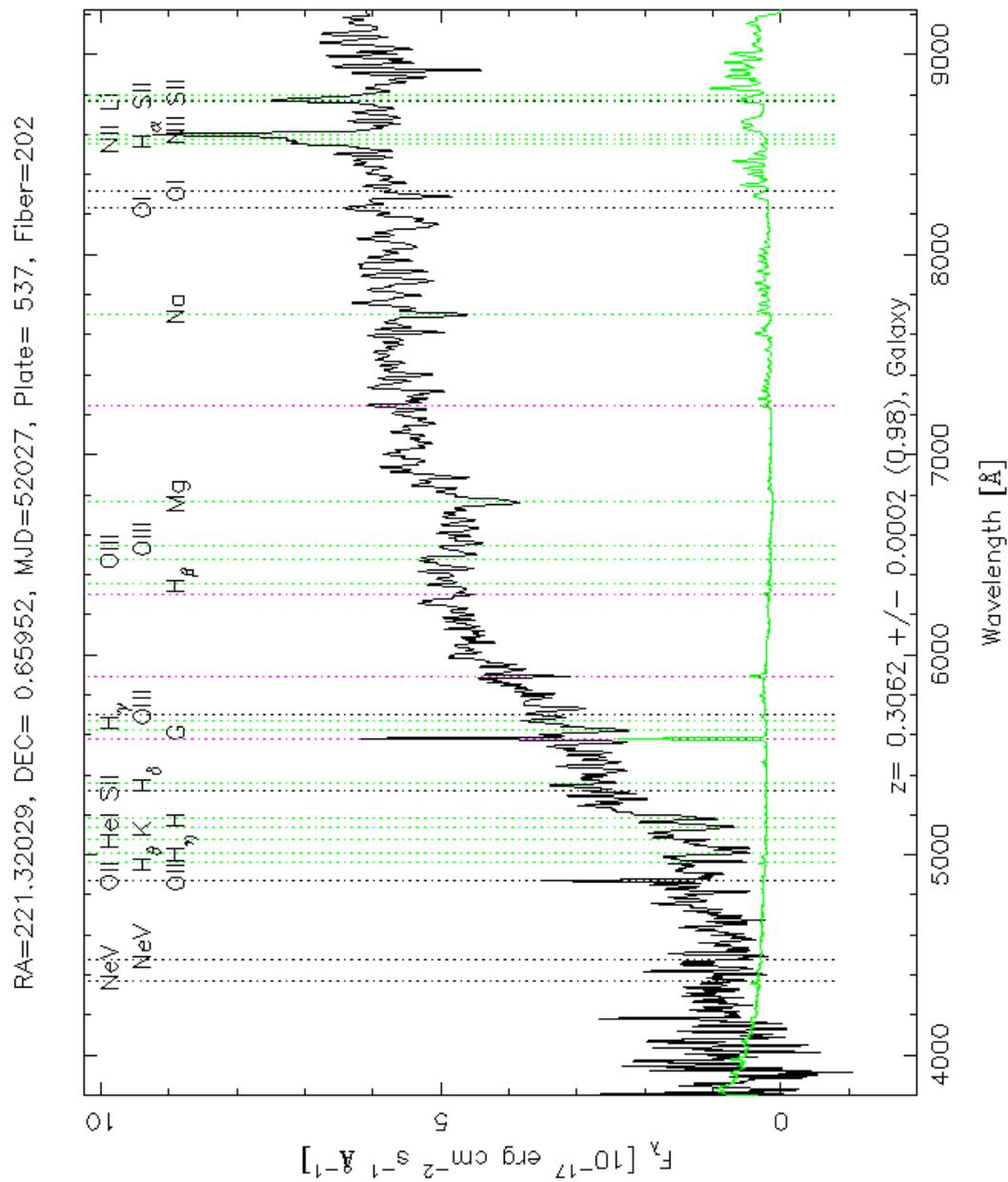


Abbildung 7.79: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS21.

7.22 FS22

Das Fossile System Nr. 22 befindet sich bei $z \sim 0.15$. Es wird von zwei weiteren Galaxien umgeben (siehe Tabelle C.16 und Abbildung 7.80). Diese drei Galaxien liegen nahezu auf einer Geraden. Auch der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie weist mit $PA = 144^\circ$ dieselbe Ausrichtung auf. In der untersuchten Umgebung befinden sich keine anderen Galaxiensysteme. Der Galaxienhaufen NSC J151532+454409 mit photometrisch bestimmter Rotverschiebung in ähnlicher Höhe befindet sich in einem projizierten Abstand von knapp 42 Mpc.

Das Residuenbild der Elliptischen Galaxie zeigt einige schwache Lichtquellen im Bereich der modellierten Galaxie (siehe Abbildung 7.82). Ein kleiner hellerer Bereich unter dem Galaxienzentrum - vermutlich eine Zwerggalaxie oder eine andere Galaxie im Beobachtungshintergrund - könnte Einfluss auf die ermittelten Daten aus der Flächenhelligkeitsanalyse im zentralen Bereich der Galaxie haben (siehe Abbildung 7.81). Die Elliptizität bleibt bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.1''$ konstant und steigt danach steil an. Der Positionswinkel verhält sich hier wieder umgekehrt. Er steigt bis zu diesem Radius und bleibt danach konstant. Aufgrund des Flächenhelligkeitsprofils, das einen Lichtüberschuss im Zentralbereich der Galaxie zeigt, handelt es sich hier vermutlich nicht um eine entkoppelte Sternkomponente, sondern um den Einfluss des Nahe des Zentrums gelegenen Objekts. Der B4-Wert zeigt meist positive Werte, erst in den Außenbereichen der Galaxie einige negative Daten. Der B4-Median beträgt 0.0064 und klassifiziert diese Galaxie daher als diskus Ellipse.

Das Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie von FS22 zeigt keine Emissionslinien (siehe Abbildung 7.83).

Hier zeigt sich wieder ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie und ihrer Begleiter. Die Elliptische Galaxie selbst weist keine Besonderheiten auf, außer ihre extreme Elliptizität von 0.6 mit der dazupassenden diskus Form.

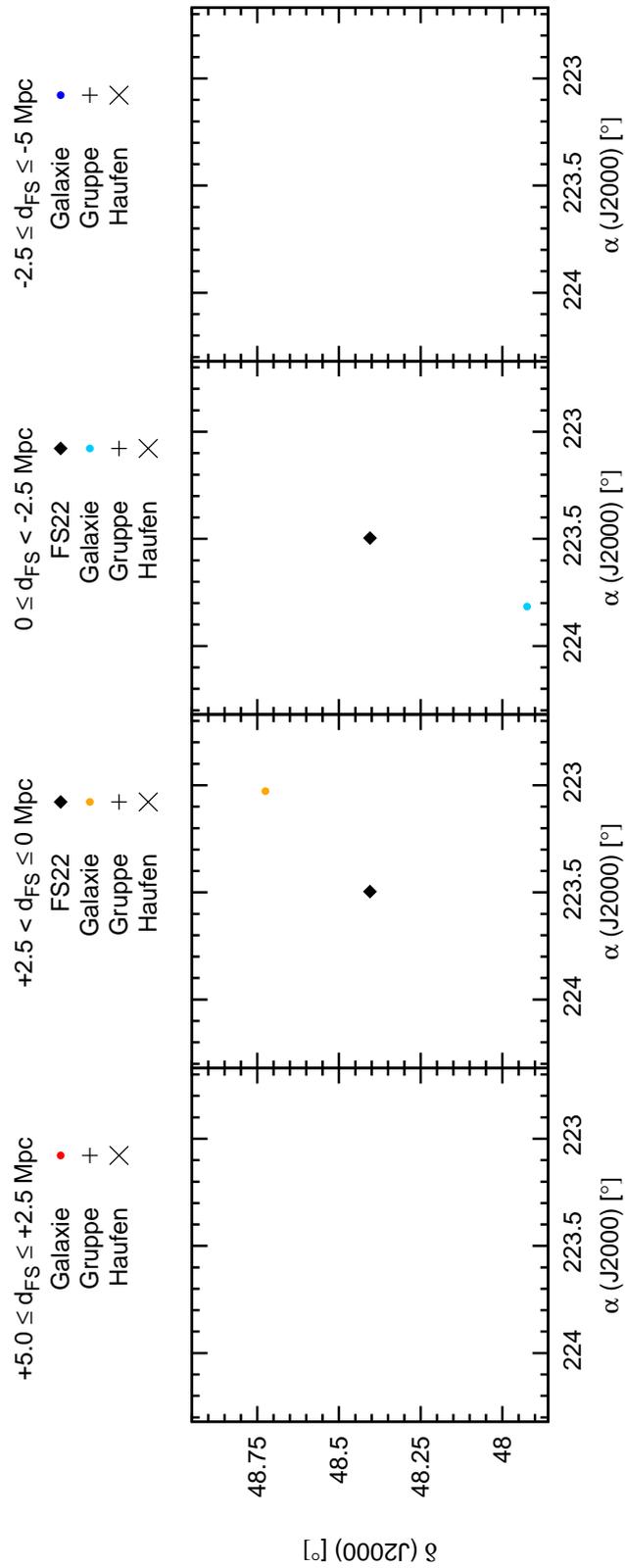


Abbildung 7.80: Räumliche Verteilung der Objekte um FS22 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

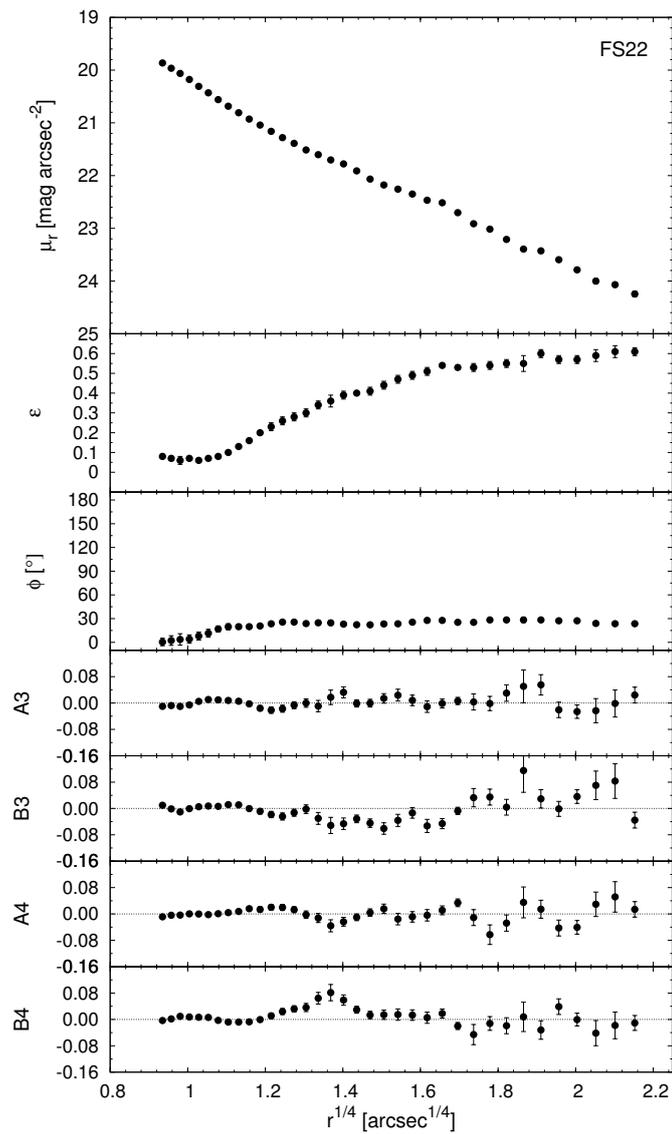


Abbildung 7.81: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS22.

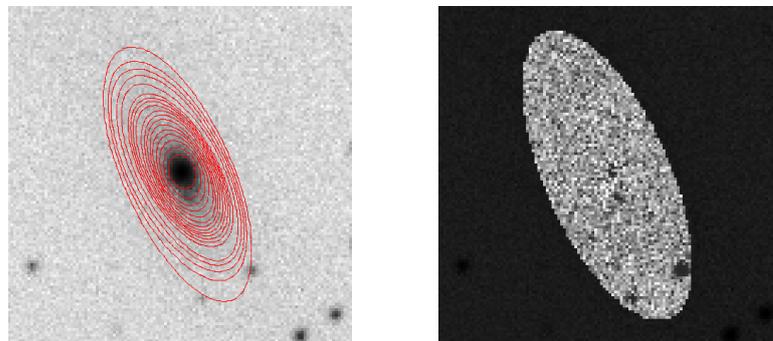


Abbildung 7.82: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS22 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

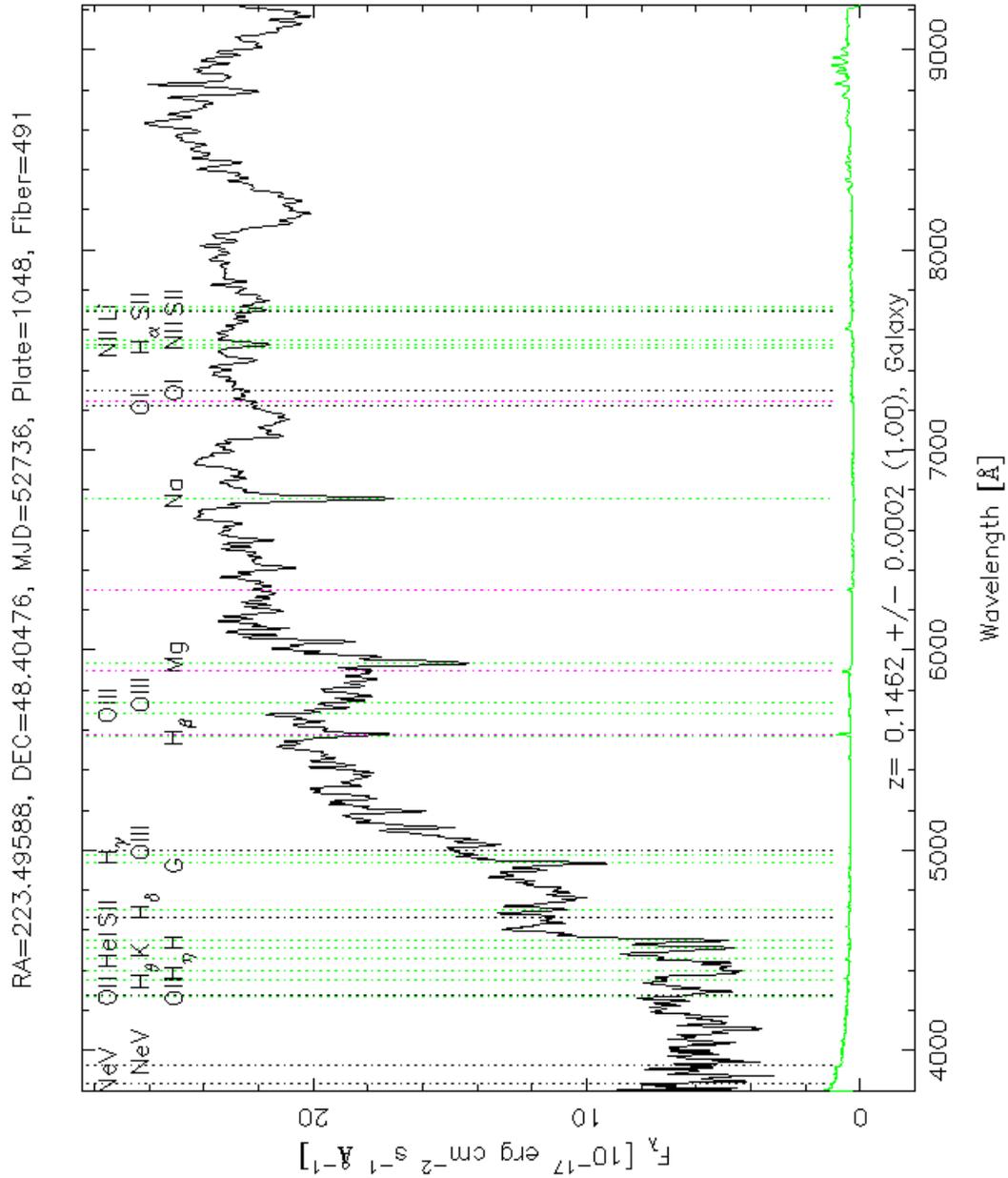


Abbildung 7.83: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS22.

7.23 FS23

Das Fossile System Nr. 23 mit $z \sim 0.15$ beinhaltet insgesamt 20 Galaxien bis zu einem Radius von 5 Mpc (siehe Tabelle C.17 und Abbildung 7.84). Die Galaxien sind eher gleichmäßig um die zentrale Elliptische Galaxie verteilt, die einen Positionswinkel von $PA = 36^\circ$ hat. Die Lage der Positionsachse hat daher auch keine auffälligen Verbindungen zu der Position der umgebenden Galaxien. Weiters sind in diesem Bereich keine anderen Galaxiengruppen oder Cluster bekannt. Die mit photometrischen Methoden bestimmte Rotverschiebung des Galaxienhaufens NSC J152840+425746 ist mit der des Fossilen Systems vergleichbar, der projizierte Abstand beträgt jedoch ca. 11 Mpc.

Abbildung 7.86 zeigt das Vorhandensein mehrerer Objekte im Bereich der Elliptischen Galaxie. Die meisten sind wahrscheinlich Zwerggalaxien, die die große E-Galaxie umgeben. Daher zeigt die Flächenhelligkeitsanalyse einen nicht besonders glatten Helligkeitsabfall (siehe Abbildung 7.85), obwohl mit dem Maskierungsvorgang versucht wurde, den Einfluss der anderen Lichtquellen zu eliminieren (siehe Abbildung 6.2). Bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.25''$ zeigt die Elliptizität einen schwachen Anstieg und der Positionswinkel eine verlaufende kleine Änderung. Ab diesem Radius steigt die Elliptizität sprunghaft an und der Positionswinkel verbleibt nahezu konstant. Es könnte hier also eine deutlich ausgedehnte zentrale Region als photometrisch entkoppelte Sternkomponente erkannt werden. Diese Zone ist von positiven B4-Werten geprägt, besitzt also eine diskusformige Form. Im mittleren Bereich herrschen die negativen Werte vor und in den äußeren Zonen der Galaxie wieder die positiven. Der B4-Median beträgt somit 0.0029. Diese Elliptische Galaxie ist vorwiegend diskusförmig.

Das Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie zeigt keine Emissionslinien (siehe Abbildung 7.87). Die Klassifikation gemäß NED lautet für diese Galaxie BCG und wahrscheinlicher AGN. Die Klassifikation AGN widerspricht sich hier mit dem Nichtvorhandensein von Emissionslinien. Zur Aufklärung des Widerspruchs sind mehr spektrale Informationen notwendig.

Die Umgebungsanalyse zeigt keine filamentartigen Strukturen, sondern eine gleichmäßige Verteilung der Begleiter. Die zentrale Elliptische Galaxie zeigt Hinweise auf einen abgeschlossenen Akkretionsvorgang einer gasreichen Galaxie, da der zentrale Bereich eine diskusförmige Form zeigt. Weiters befinden sich viele Galaxien in unmittelbarer Nähe dieser hellen Haufengalaxie und werden vermutlich in den nächsten Mrd. Jahren von ihr akkretiert.

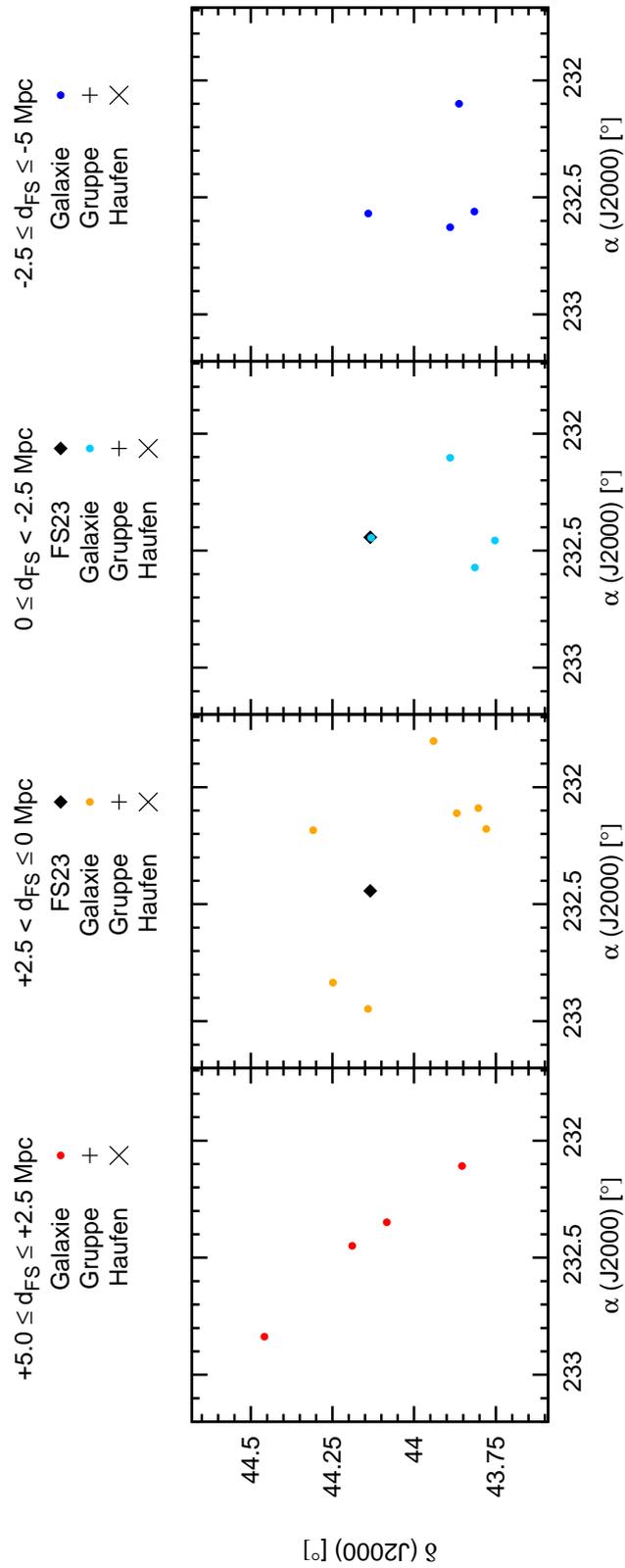


Abbildung 7.84: Räumliche Verteilung der Objekte um FS23 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

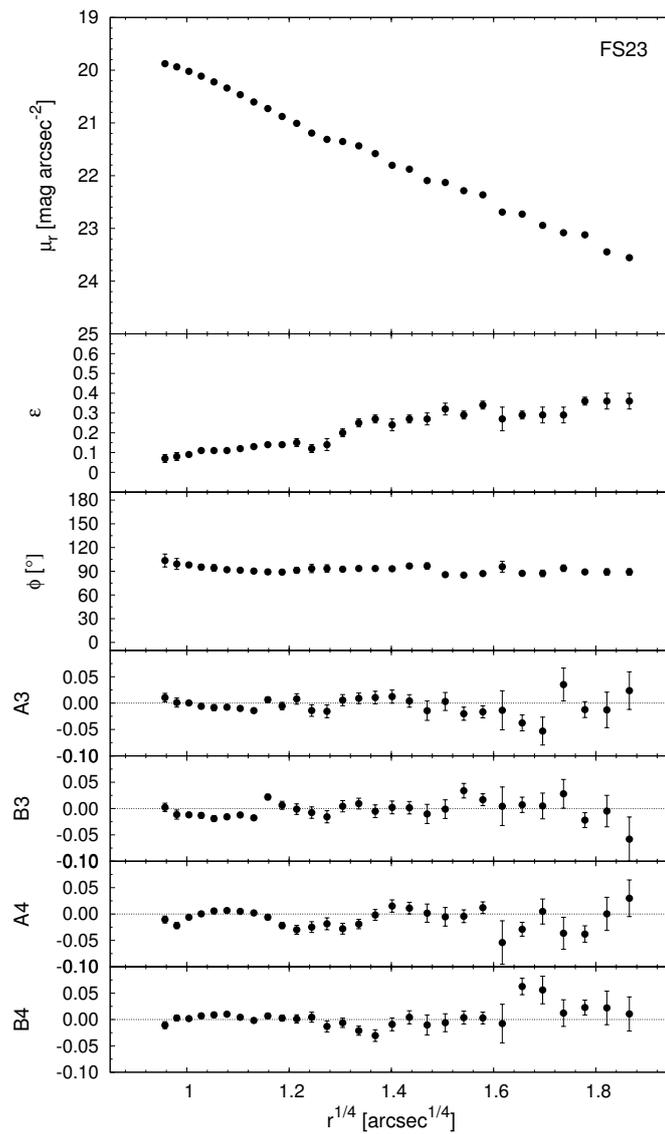


Abbildung 7.85: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS23.

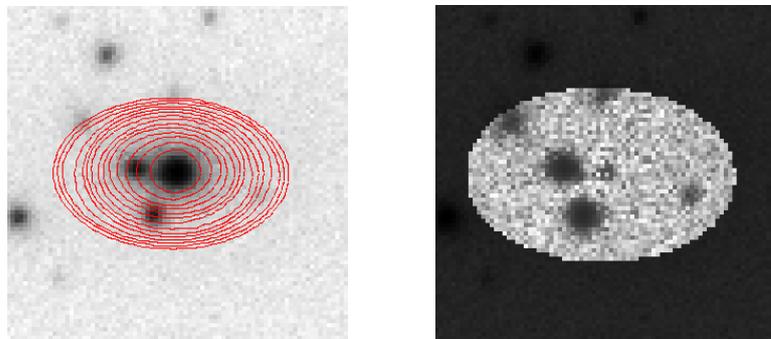


Abbildung 7.86: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS23 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

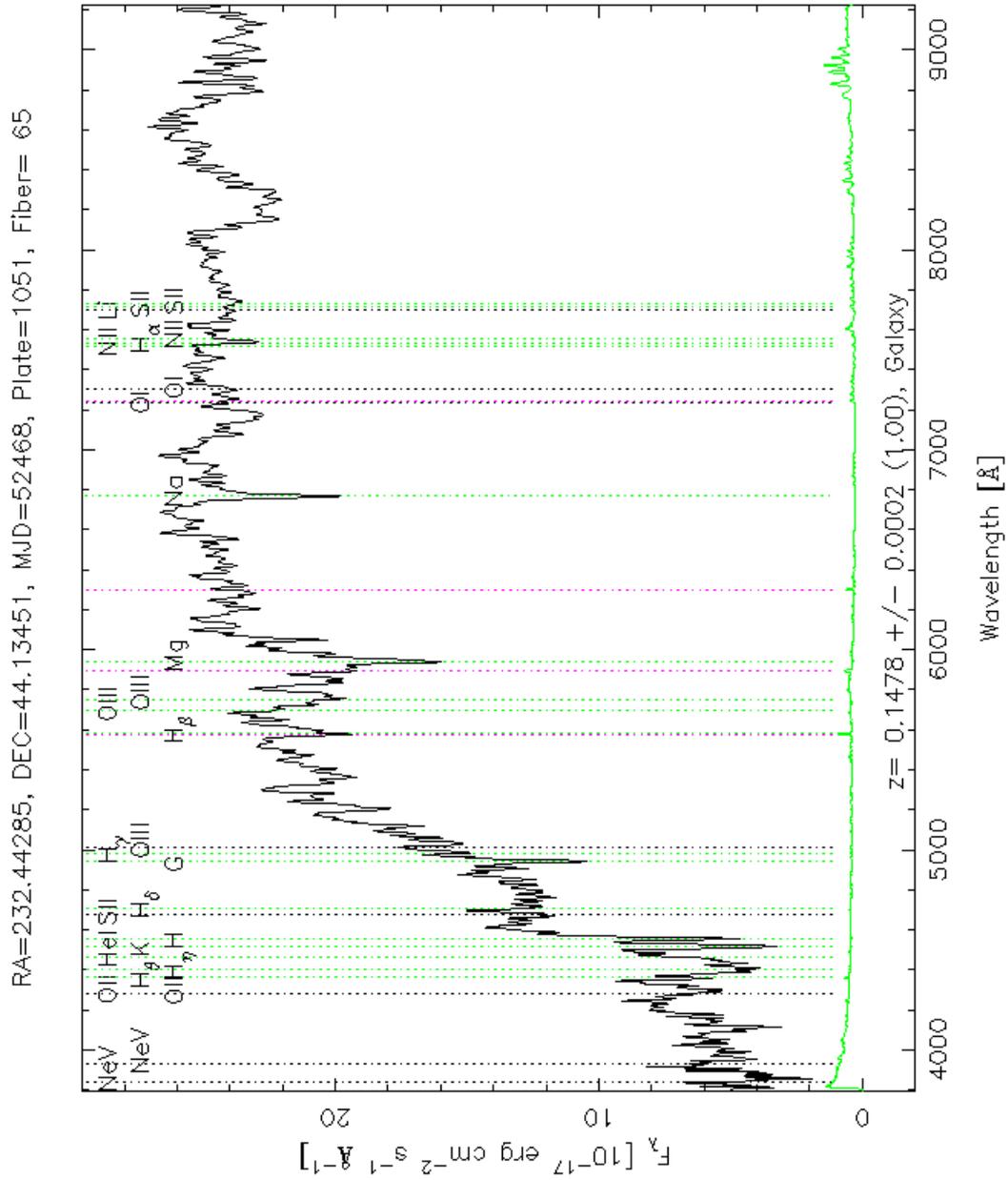


Abbildung 7.87: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS23.

7.24 FS24

Das 24. Fossile System besitzt eine höhere Rotverschiebung von $z \sim 0.29$ und weist daher keine weiteren Galaxien mit gemessenen Spektren auf. Ebenso wenig liegen Daten von anderen Galaxiengruppen oder Haufen in der Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc vor. Der nächste Galaxiencluster mit photometrisch bestimmter Rotverschiebung in vergleichbarer Höhe ist NSC J154011+025125. Er hat jedoch einen projizierten Abstand von ca. 28 Mpc zum Fossilen System.

Die Flächenhelligkeitsanalyse ist durch geringere räumliche Auflösung geprägt (siehe Abbildung 7.88). Abbildung 7.89 zeigt links vom Zentrum der Galaxie einen eigenartigen kleinen Lichtüberschuss, der aufgrund der schlechten Auflösung nicht eindeutig als Objekt identifiziert werden kann. Der stetige Anstieg des Positionswinkels und die starke Änderung der Elliptizität bei einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.15''$ lässt auf eine photometrisch entkoppelte Sternkomponente schließen. Die B4-Werte schwanken um 0, sind aber eher positiv. Der B4-Median beträgt 0.0045. Damit handelt es sich um eine diskus Elliptische Galaxie.

Das Spektrum besitzt keine Emissionslinien (siehe Abbildung 7.90). Gemäß NED ist diese Galaxie nicht einmal als Infrarotquelle bekannt.

Zusammenfassend sind die Analysen durch die höhere Entfernung eingeschränkt. Über die Betrachtung der Umgebung kann aufgrund fehlender Daten keine Aussage gemacht werden. Die Elliptische Galaxie selbst zeigt eventuell eine zentrale entkoppelte Sternkomponente, wobei diese Analyse durch die nicht aufgelöste Lichtquelle verfälscht sein könnte.

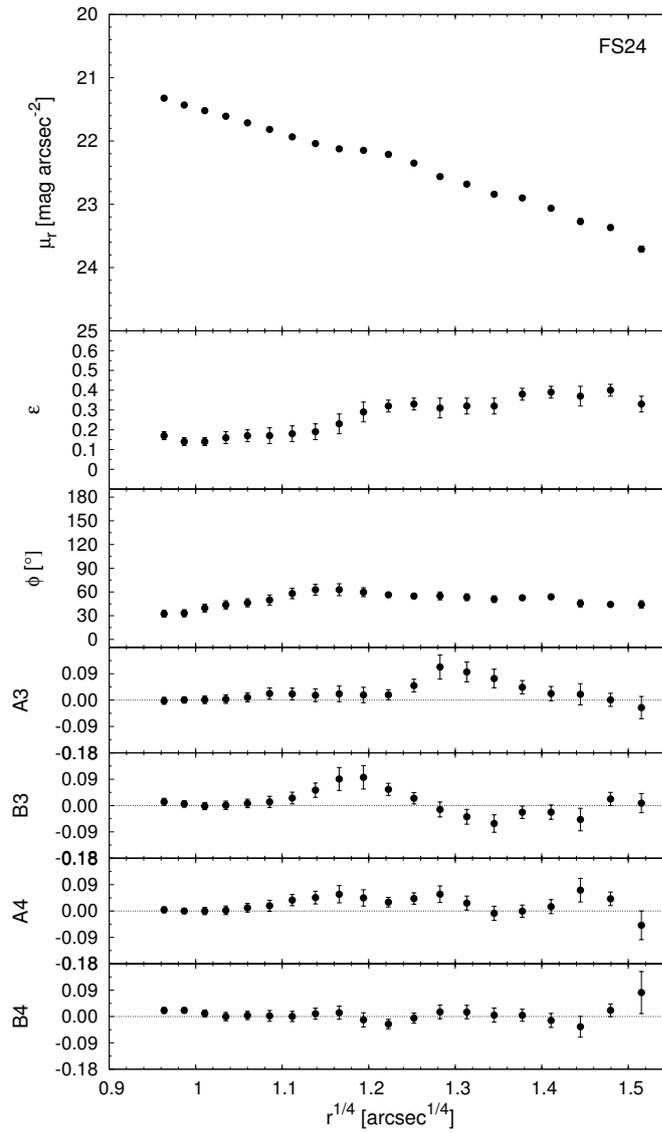


Abbildung 7.88: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS24.

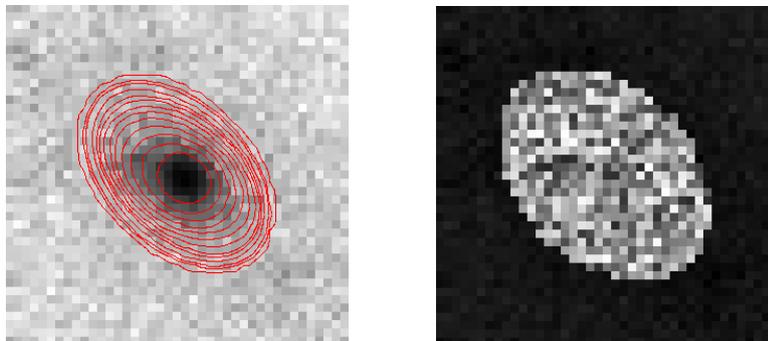


Abbildung 7.89: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS24 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

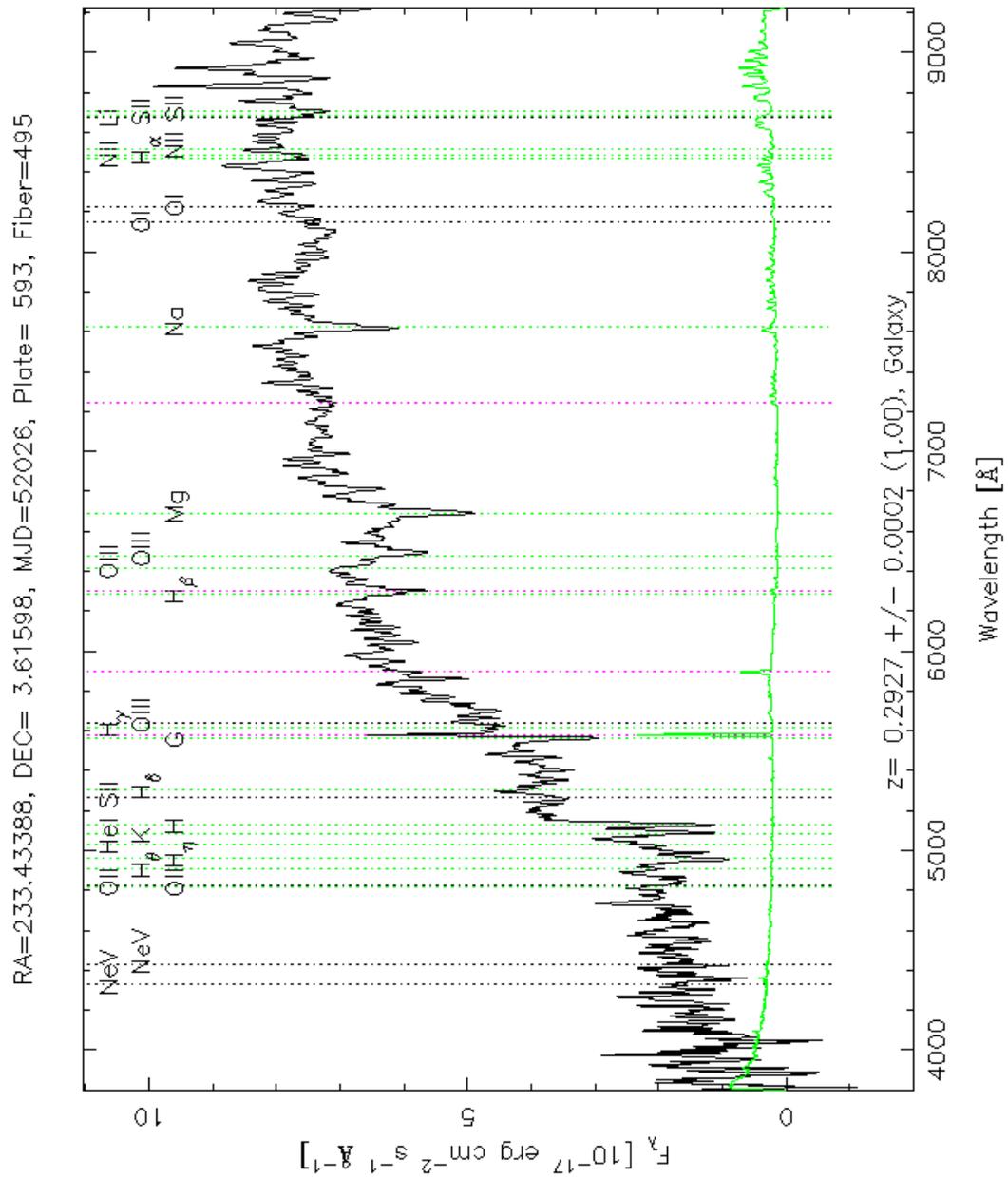


Abbildung 7.90: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS24.

7.25 FS25

Das Fossile System Nr. 25 befindet sich bei $z \sim 0.10$. Es besitzt 35 Mitglieder bis zu einem Radius von 5 Mpc (siehe Tabelle C.18). Alle Galaxien sind in einem ost-westlich verlaufenden Filament angeordnet (siehe Abbildung 7.91). Perfekt dazu passend liegt auch die Positionsachse der zentralen Elliptischen Galaxie mit $PA = 91^\circ$. Nur $1.8'$ von der Position der E-Galaxie entfernt liegt das Zentrum des Galaxienhaufens ABELL 2110 (siehe Tabelle 7.6). Der nächstgelegene Galaxiencluster NSCS J153310+280222 weist nur eine geschätzte Rotverschiebung in vergleichbarer Höhe auf. Er befindet sich jedoch in einem projizierten Abstand von knapp 20 Mpc.

Das Flächenhelligkeitsprofil der zentralen Elliptischen Galaxie von FS25 zeigt einen Lichtüberschuss in den Außenbereichen der Galaxie, typisch für eine cD-Galaxie (siehe Abbildung 7.92). Jene nahen Galaxien, die in den Bereich des Galaxienmodells hineinragen, wurden mit dem Maskierungsvorgang vollständig aus der Analyse herausgenommen, diese tragen also nicht zum Lichtüberschuss am Rande der E-Galaxie bei (siehe Abbildung 7.93). Die Elliptizität steigt kontinuierlich mit dem Radius, der Positionswinkel zeigt keine starken Veränderungen. Die B4-Werte sind fast immer positiv, der B4-Median beträgt daher 0.0059. Diese Galaxie ist eindeutig diskly.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie zeigt keine auffälligen Emissionslinien (siehe Abbildung 7.94). Gemäß NED ist diese Galaxie als BCG klassifiziert, an ihrer Position wurde auch eine Radioquelle vermerkt.

Dieses Fossile System ist als Galaxiencluster einzustufen, es besitzt eine typische große und leuchtkräftige zentrale Haufengalaxie. Die Anordnung des Haufens entspricht einem länglichen Filament, in dem sich auch die zentrale E-Galaxie dementsprechend anordnet. Vergangene Akkretionsvorgänge sind nur durch den Lichtüberschuss in den Außenbereichen der Galaxie zu vermuten, die Flächenhelligkeitsanalyse zeigt ansonsten keine Besonderheiten.

Tabelle 7.6: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS25. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	ABELL 2110	234.93042	30.70574	1.8	0.0980	3.77

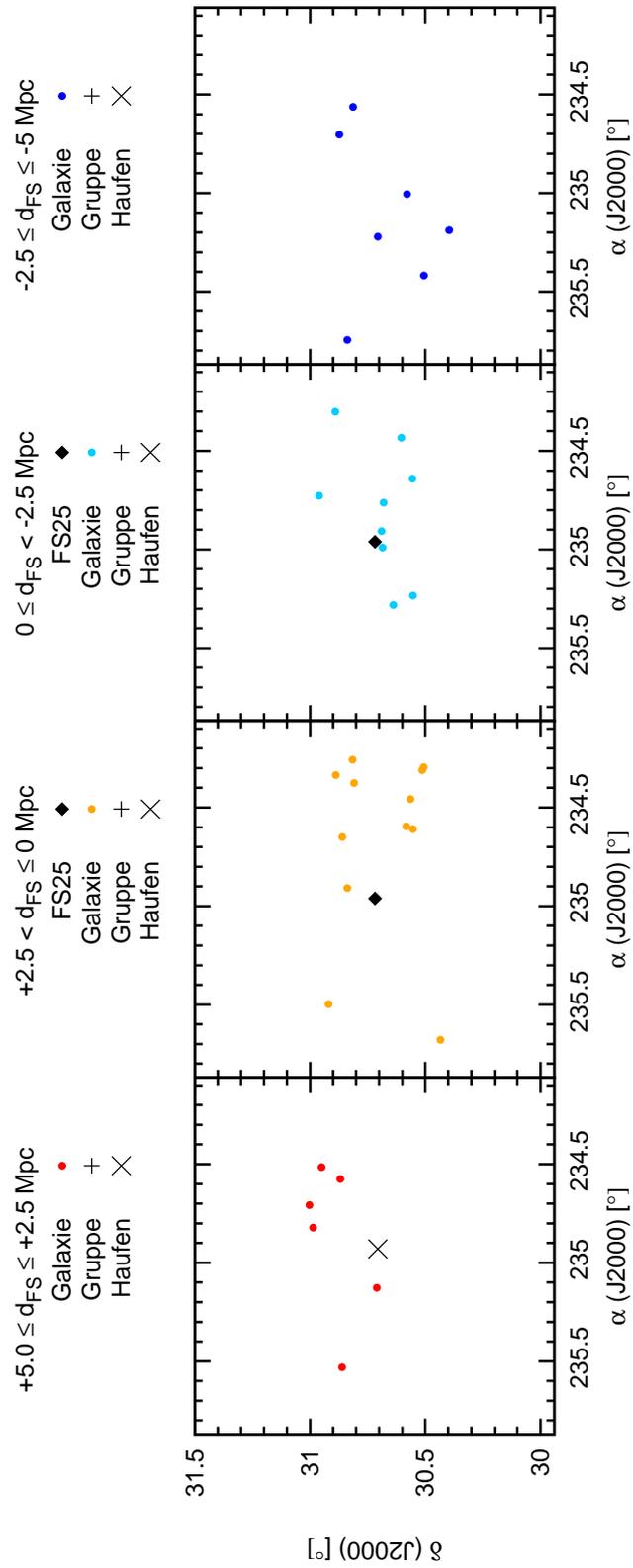


Abbildung 7.91: Räumliche Verteilung der Objekte um FS25 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

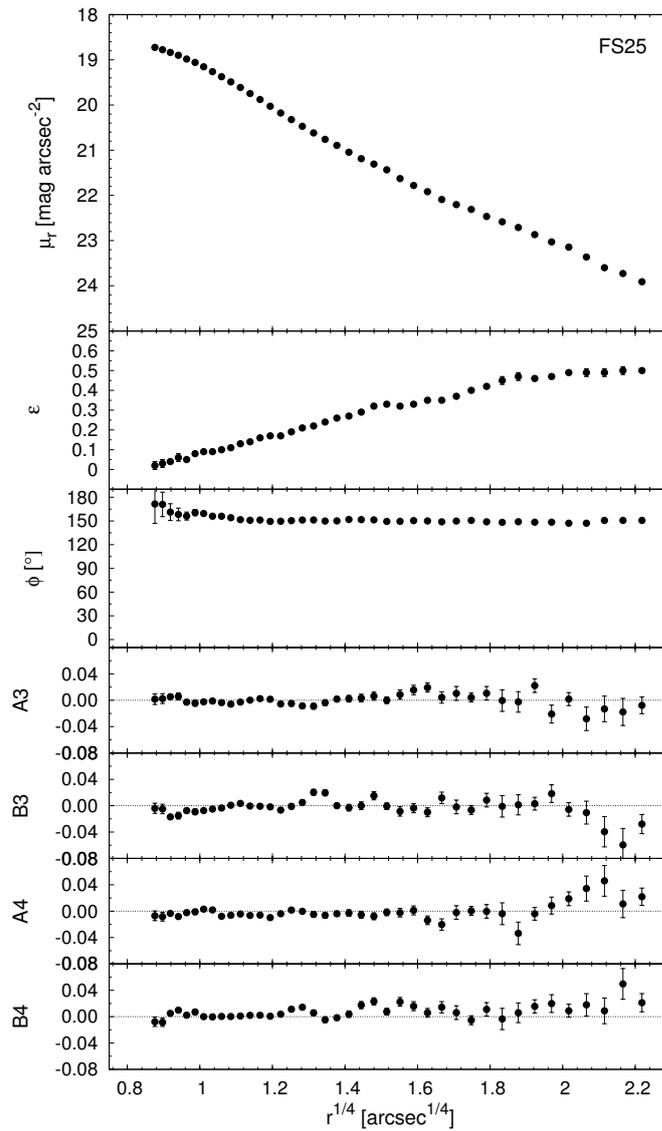


Abbildung 7.92: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS25.

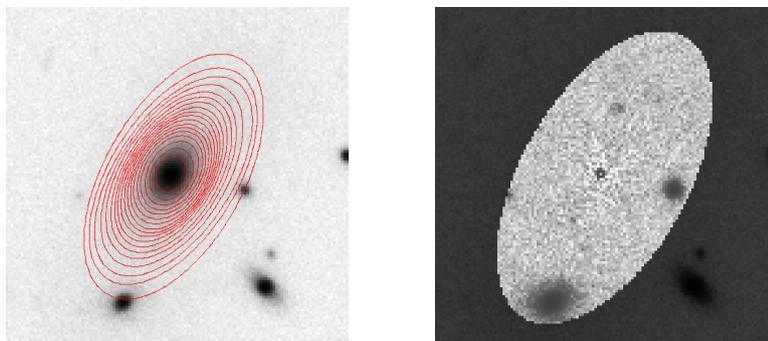


Abbildung 7.93: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS25 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

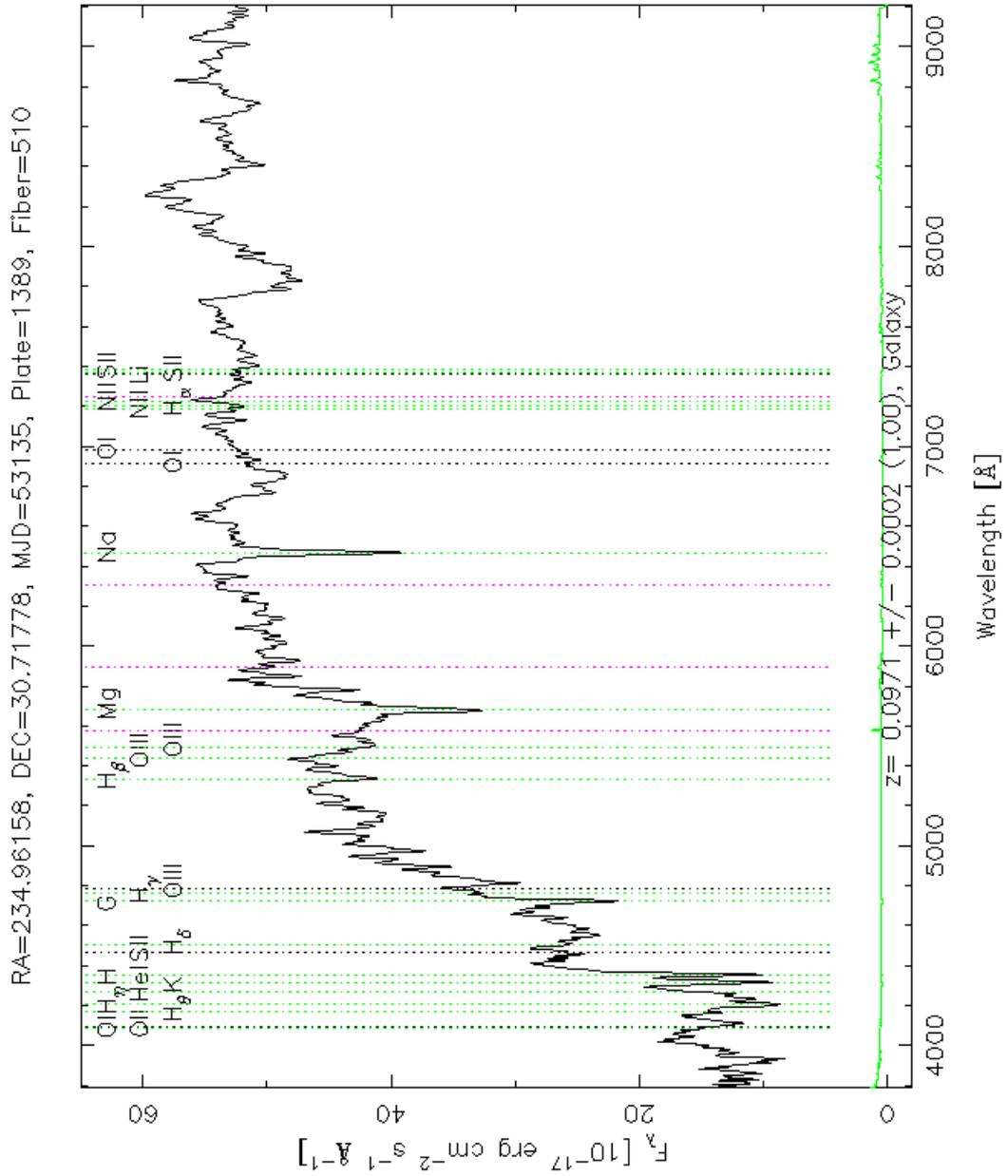


Abbildung 7.94: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS25.

7.26 FS26

Das 26. Fossile System befindet sich bei $z \sim 0.07$. Seine Umgebung beinhaltet insgesamt 25 Galaxien mit spektroskopisch bestimmten Rotverschiebungen (siehe Tabelle C.19 und Abbildung 7.95). Die Anordnung der meisten Galaxien erfolgt in einem länglichen Filament. Auch der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie passt hier wieder perfekt dazu, er beträgt $PA = 31^\circ$. Im Bereich von 5 Mpc Radius befindet sich kein anderes Galaxiensystem. Der Galaxienhaufen NSC J154727+103501 weist fast dieselbe Rotverschiebung auf, allerdings beträgt der projizierte Abstand knapp 9 Mpc.

Die Flächenhelligkeitsanalyse der Elliptischen Galaxie zeigt keine Auffälligkeiten (siehe Abbildung 7.96). Die Elliptizität steigt mit dem Radius gleichmäßig bis zu einem Maximalwert von ca. 0.55, der Positionswinkel bleibt konstant. Die B4-Werte schwanken, sind aber meistens negativ. Der B4-Median ergibt den Wert -0.0057 . Diese Galaxie ist eindeutig boxy, siehe auch Abbildung 5.3 mit der kastenartigen Lichtverteilung.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie von FS26 zeigt keine Hinweise auf Emissionslinien (siehe Abbildung 7.98).

Zusammenfassend zeigt die Umgebungsanalyse eine eindeutige Korrelation zwischen der Anordnung der umgebenden Galaxien und der Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie. Die E-Galaxie selbst hat keine auffällige Besonderheiten, außer ihre starke boxy Form, die auf vergangene Akkretionsvorgänge von gasarmen Galaxien hinweist bzw. könnte sie auch durch einen Mergingvorgang zweier vergleichbar großer Galaxien entstanden sein.

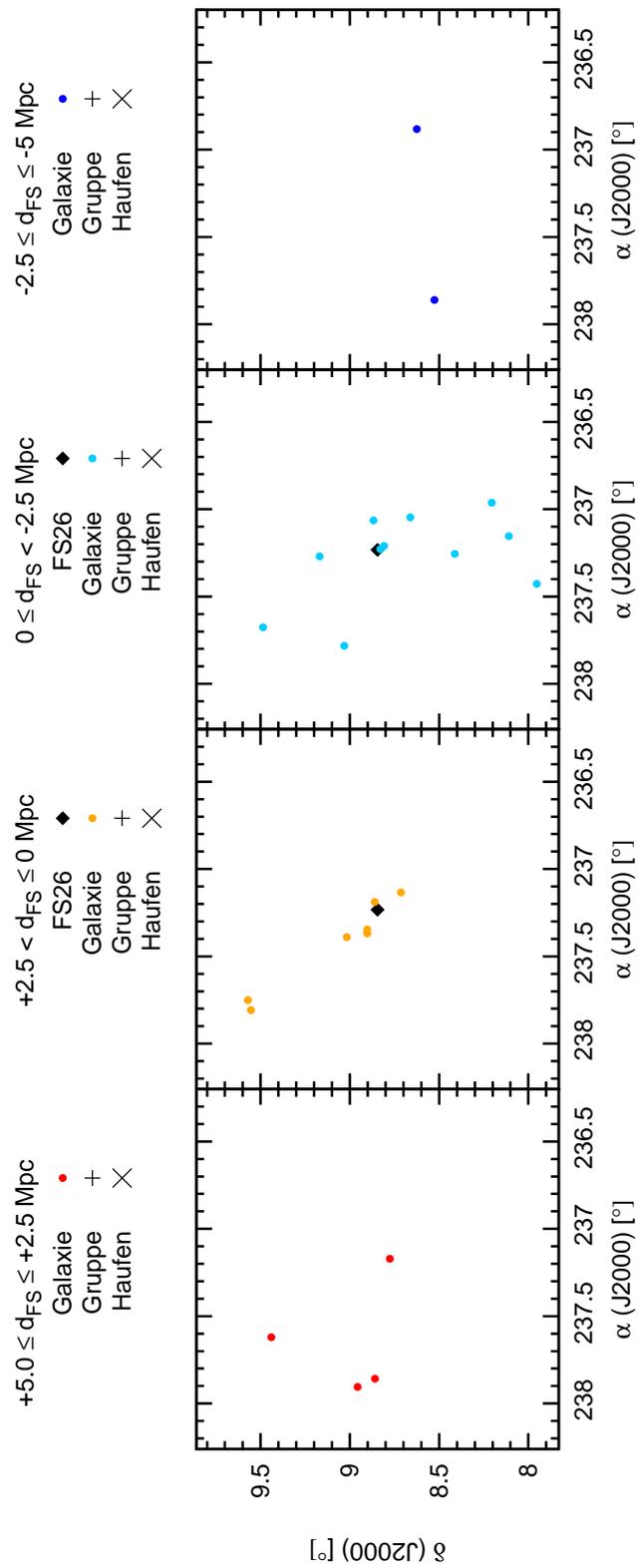


Abbildung 7.95: Räumliche Verteilung der Objekte um FS26 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

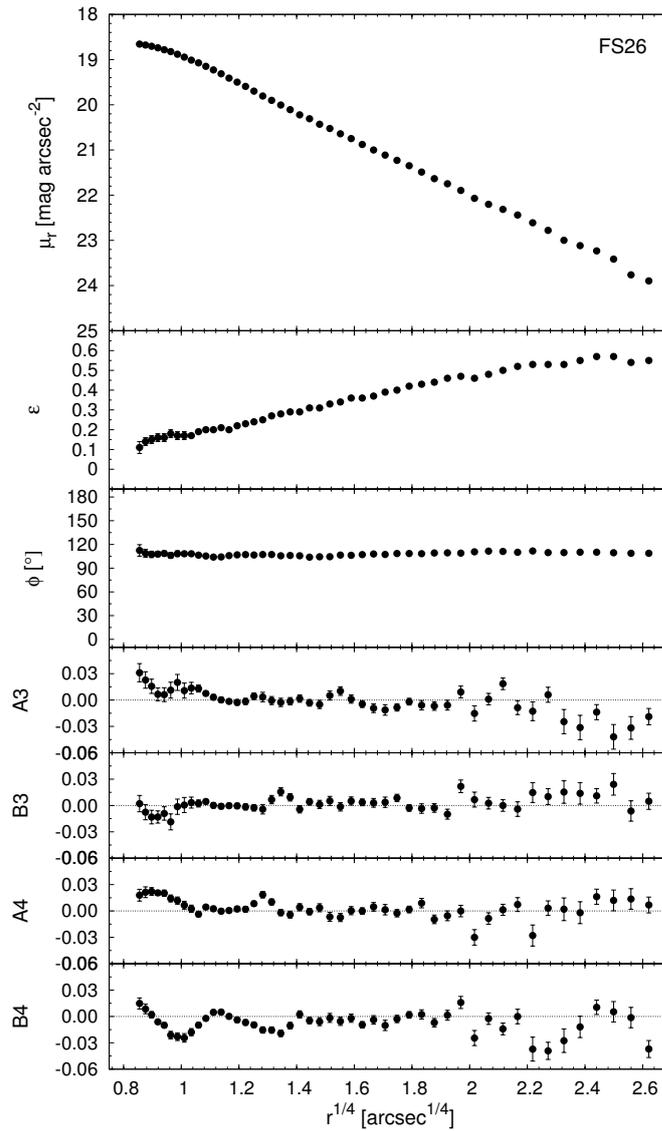


Abbildung 7.96: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS26.

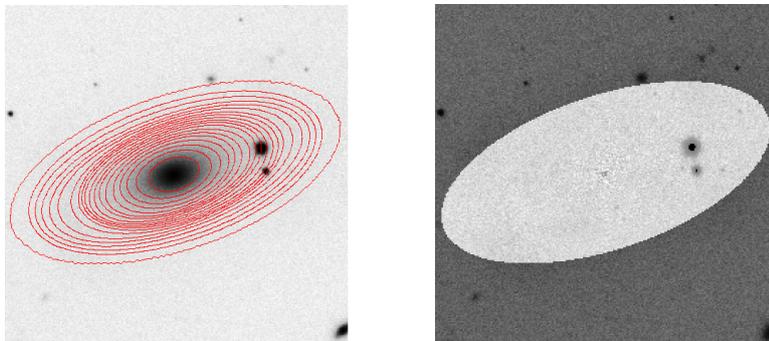


Abbildung 7.97: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS26 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.27 FS27

Das Fossile System Nr. 27 liegt bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.18$. In seiner Umgebung sind weder andere Galaxien, noch andere Systeme bekannt. Wichtig zu erwähnen ist hier, dass ab einem radialen Abstand von ca. +6.2 Mpc bis +13 Mpc mehrere Galaxien existieren, die einen geringen projizierten Abstand ab 1 Mpc aufweisen. Auch der nächstgelegene Galaxiencluster NSC J161416+275846 mit photometrisch bestimmter Rotverschiebung weist einen leicht höheren z -Wert auf, allerdings befindet sich dieser in einem projizierten Abstand von knapp 14 Mpc. Entweder ist bei der Elliptischen Galaxie die Messung von z fehlgeschlagen oder diese Galaxie befindet sich tatsächlich im Vordergrund vor einem anderen Galaxiensystem.

Im Bereich des Galaxienmodells befinden sich mehrere Lichtquellen (siehe Abbildung 7.100), die eventuell die Flächenhelligkeitsanalyse beeinflusst haben (siehe Abbildung 7.99). Bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von ca. $1''$ zeigen sowohl die Elliptizität als auch der Positionswinkel einen anderen Trend. Dies lässt auf eine photometrisch entkoppelte Sternkomponente im Zentralbereich der Galaxie schließen. Die weiteren Schwankungen in den Werten sind wahrscheinlich durch die anderen Lichtquellen verursacht. Der B4-Wert zeigt fast bis zur Hälfte der Galaxie positive Werte, in der äußeren Hälfte negative. Der B4-Median mittelt sich daher zu 0.0004.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie besitzt keine Emissionslinien (siehe Abbildung 7.101).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass dieses Fossile System nur durch einen Projektionseffekt als solches identifiziert wurde. Vertraut man den ermittelten Rotverschiebungsangaben, so liegt diese Galaxie isoliert im Beobachtungsvordergrund vor einem anderen Galaxiensystem. Die Flächenhelligkeitsanalyse zeigt zwar Hinweise auf abgeschlossene Akkretionsvorgänge gasreicher Zwerggalaxien, allerdings könnten diese Daten durch viele Objekte im Beobachtungshintergrund verfälscht sein.

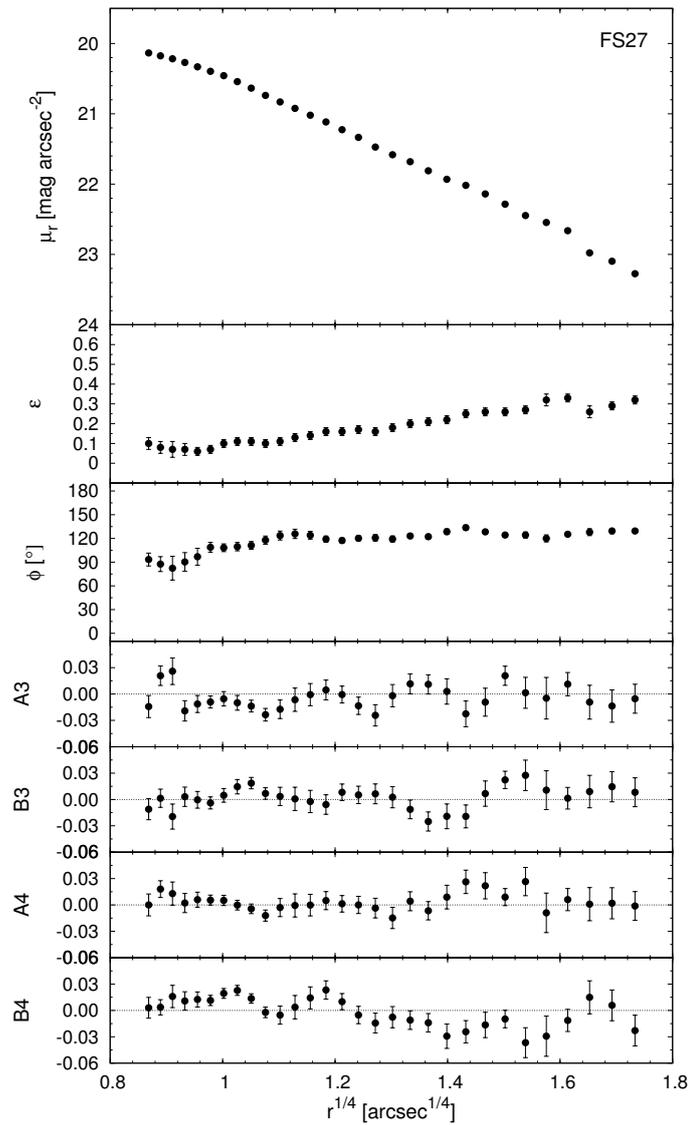


Abbildung 7.99: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS27.

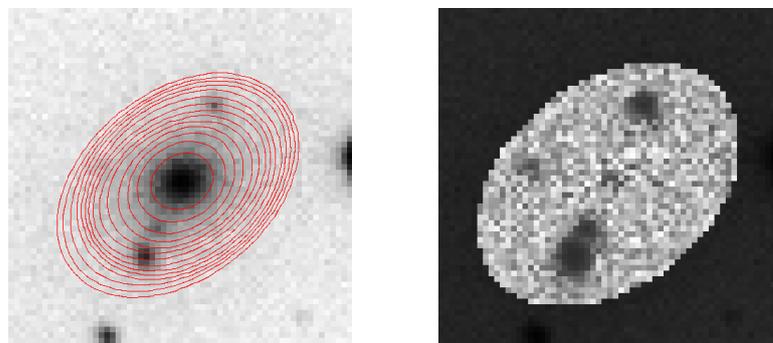


Abbildung 7.100: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS27 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

RA=243.62960, DEC=26.73065, MJD=53496, Plate=1576, Fiber=342

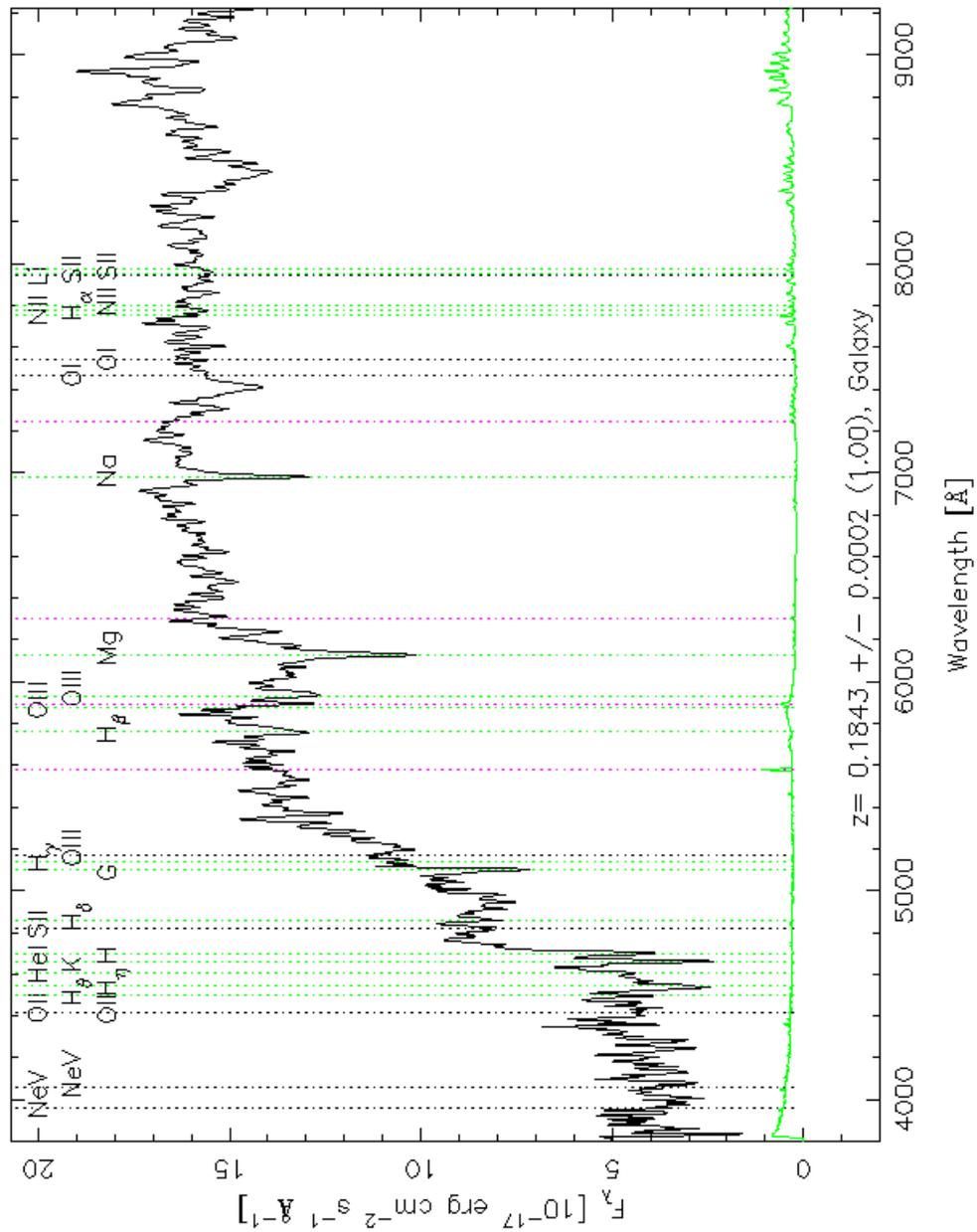


Abbildung 7.101: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS27.

7.28 FS28

Das 28. Fossile System ist sehr nahe bei $z \sim 0.03$. Dementsprechend viele Spektren konnten von umgebenden Galaxien gemessen werden. In seiner Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc befinden sich insgesamt 177 Galaxien (siehe Tabelle C.20 und Abbildung 7.102), drei Galaxiengruppen und drei Galaxienhaufen (siehe Tabelle 7.7). Bei der Verteilung der Galaxien lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen. Der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie beträgt $PA = 57^\circ$ und schließt mit der Richtung zu vier Galaxiensystemen - drei Galaxienhaufen und eine Galaxiengruppe weisen sehr ähnliche Positionszentren auf - nur einen Winkel von ca. 25° ein. Zu den Positionen der anderen beiden Gruppenzentren existiert ein vom Positionswinkel abweichender Winkel von ca. 80° .

Das Residuenbild der Elliptischen Galaxie zeigt im zentralen Bereich komplexe Strukturen (siehe Abbildung 7.104, rechts). Hierfür könnten mehrere Kerne im Zentrum der Galaxie verantwortlich sein. Auch der Positionswinkel zeigt einen anderen Trend bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von ca. $1.2''$, die Elliptizität steigt in diesem Bereich nur leicht an, danach deutlich stärker (siehe Abbildung 7.103). Die B4-Werte sind meistens leicht positiv, der B4-Median beträgt 0.0055. Diese Galaxie ist von einer disky Form geprägt.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie zeigt keine auffälligen Emissionslinien (siehe Abbildung 7.105). NED hat keine Vermerke zu morphologischen Klassifikationen für diese Galaxie.

Die Elliptische Galaxie von FS28 liegt in einem Bereich, der in unmittelbarer Nähe bis zu einem Radius von ca. 0.5 Mpc weniger Galaxien aufweist, als in weiterer Entfernung. Diese sind dann bereits von den gruppierten Mitgliedern benachbarter Galaxiensysteme geprägt. Man erkennt eine Tendenz in der Ausrichtung der E-Galaxie in Richtung der Galaxienhaufen. Die Elliptische Galaxie selbst zeigt Hinweise von akkretierten gasreichen Zwerggalaxien, deren Kerne noch nicht vollständig von der großen E-Galaxie aufgelöst wurden. Dieses Fossile System zeigt sich passend zu der Theorie über die Entstehung und Entwicklung von Fossilien Systemen gemäß Mendes de Oliveira [2006], siehe Unterabschnitt 3.4.3.

Tabelle 7.7: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS28. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
G	RASSCALs NRGs 399	250.42667	39.78528	97.8	0.0323	2.37
G	WBL 617	247.16601	41.20774	97.9	0.0316	-0.42
H	ABELL 2197W	246.92083	40.92778	110.4	0.0310	-2.95
G	USGC U775	249.94920	39.62029	98.2	0.0310	-2.96
H	ABELL 2197	247.04358	40.90719	105.1	0.0308	-3.88
H	SDSS-C4 3143	246.95240	41.19980	107.6	0.0308	-3.93

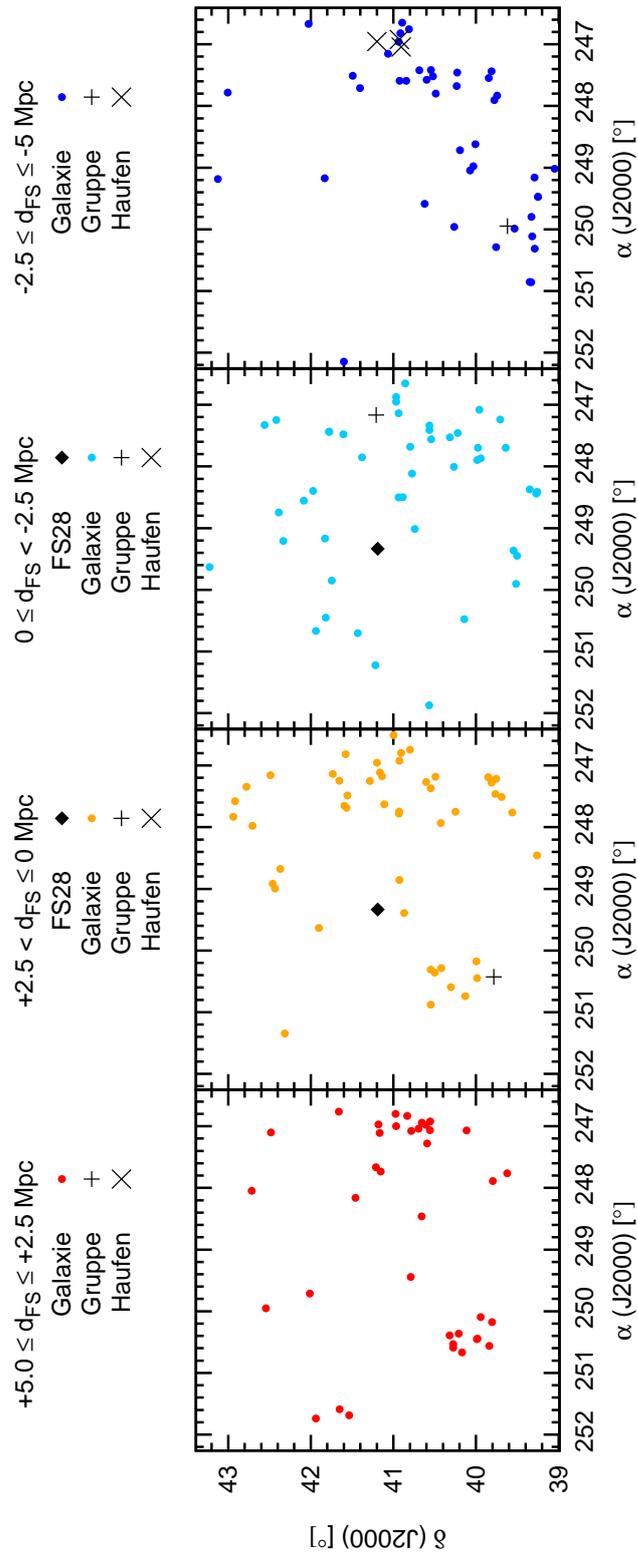


Abbildung 7.102: Räumliche Verteilung der Objekte um FS28 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

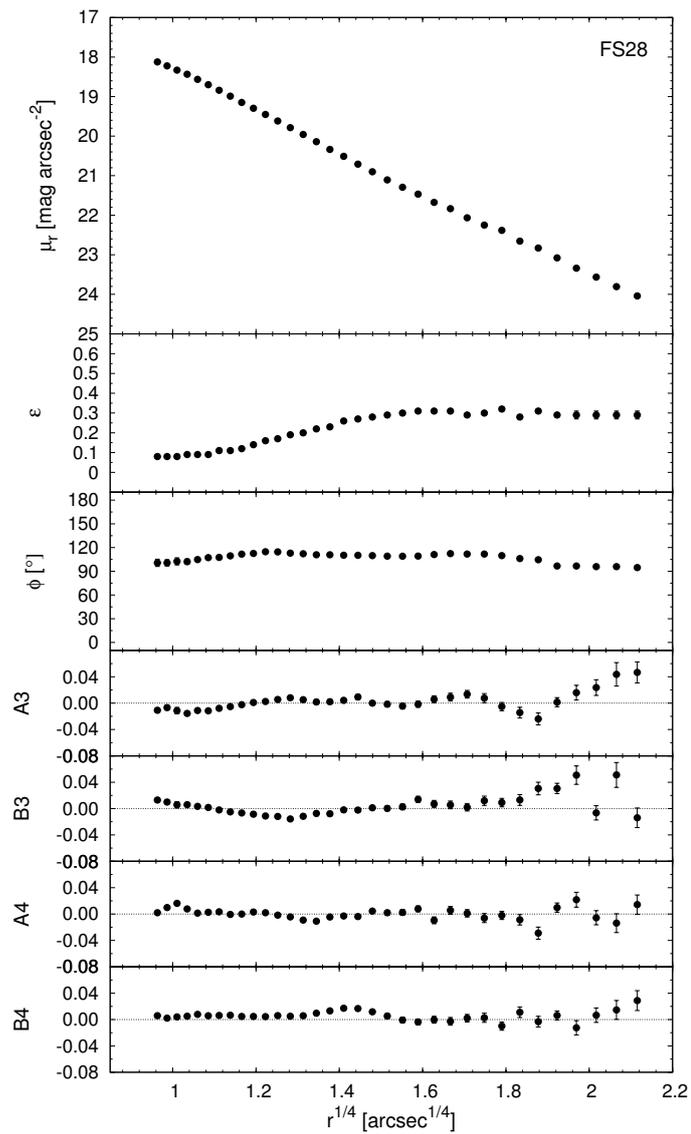


Abbildung 7.103: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS28.

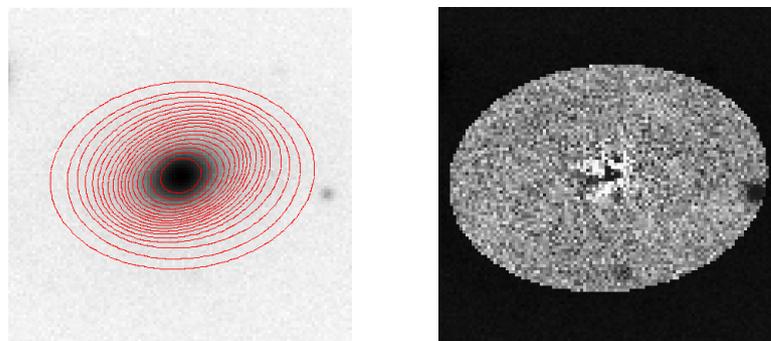


Abbildung 7.104: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS28 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.29 FS29

Das Fossile System Nr. 29 befindet sich bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.14$. In seiner Umgebung sind insgesamt nur sechs Galaxien mit spektroskopisch bestimmter Rotverschiebung vorhanden (siehe Tabelle C.21 und Abbildung 7.106). Die räumliche Verteilung dieser Galaxien zeigt keine Besonderheiten. Der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie mit $PA = 116^\circ$ hat auch keine Zusammenhänge mit den umgebenden Galaxien. Weiters sind keine anderen Galaxiensysteme bekannt. Der nächstgelegene Galaxienhaufen NSC J164132+383412 weist nur eine photometrisch bestimmte Rotverschiebung in ähnlicher Höhe auf. Er liegt in einem projizierten Abstand von knapp 10 Mpc.

Die Flächenhelligkeitsanalyse zeigt eine photometrisch entkoppelte Sternkomponente im Zentralbereich der Elliptischen Galaxie (siehe Abbildung 7.107). Bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.1''$ ist die Elliptizität konstant, danach steigt sie gleichmäßig an. Der Positionswinkel schwankt bis zu diesem Radius und nimmt danach einen kleineren Winkel an, der nahezu konstant bleibt. Die B4-Werte schwanken zw. positiven und negativen Werten, sind jedoch meistens positiv. Somit ergibt sich der B4-Median mit 0.0103 und ordnet diese Galaxie als diskus Ellipse ein.

Das Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie zeigt eine schwache Emissionslinie: [N II] bei ca. 7430 \AA , die wahrscheinlich über dem Rauschen liegt (siehe Abbildung 7.109). Dies würde auf eine schwache nukleare Aktivität hinweisen. Gemäß NED ist bei der Position dieser E-Galaxie eine Radioquelle vermerkt, ebenso in einem Abstand von $1.3'$.

Die Analyse der Umgebung zeigt keine Besonderheiten. Die Elliptische Galaxie selbst weist eine zentrale photometrisch entkoppelte Sternkomponente auf, die wahrscheinlich durch einen Akkretionsvorgang einer gasreichen Zwerggalaxie entstanden ist. Hinweise auf nukleare Aktivität sind ebenfalls vorhanden.

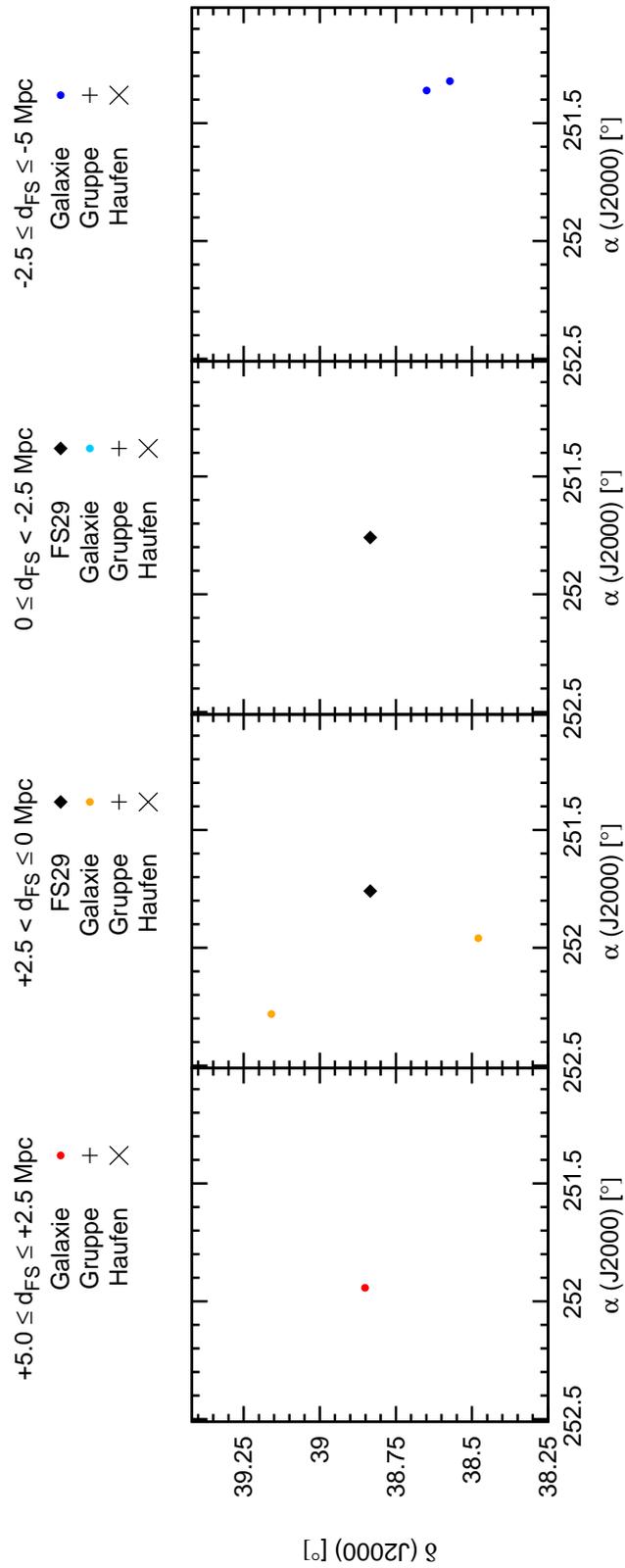


Abbildung 7.106: Räumliche Verteilung der Objekte um FS29 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

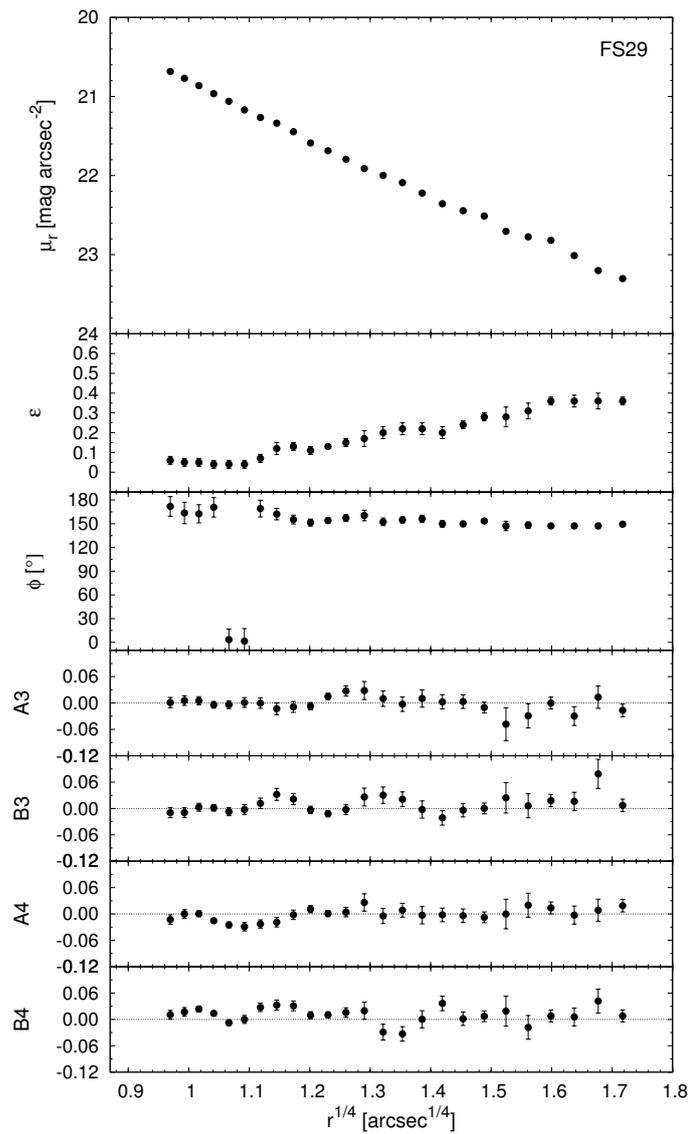


Abbildung 7.107: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS29.

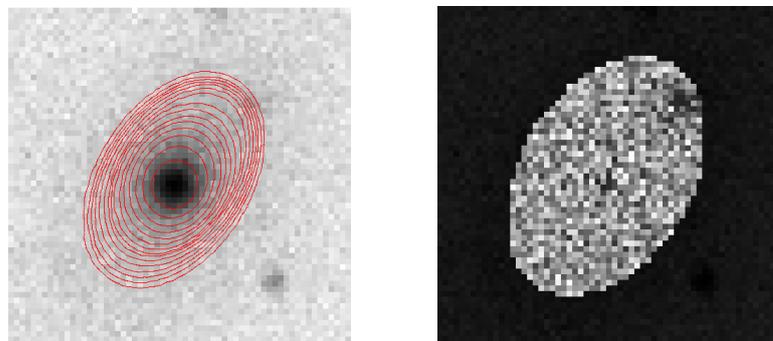


Abbildung 7.108: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS29 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

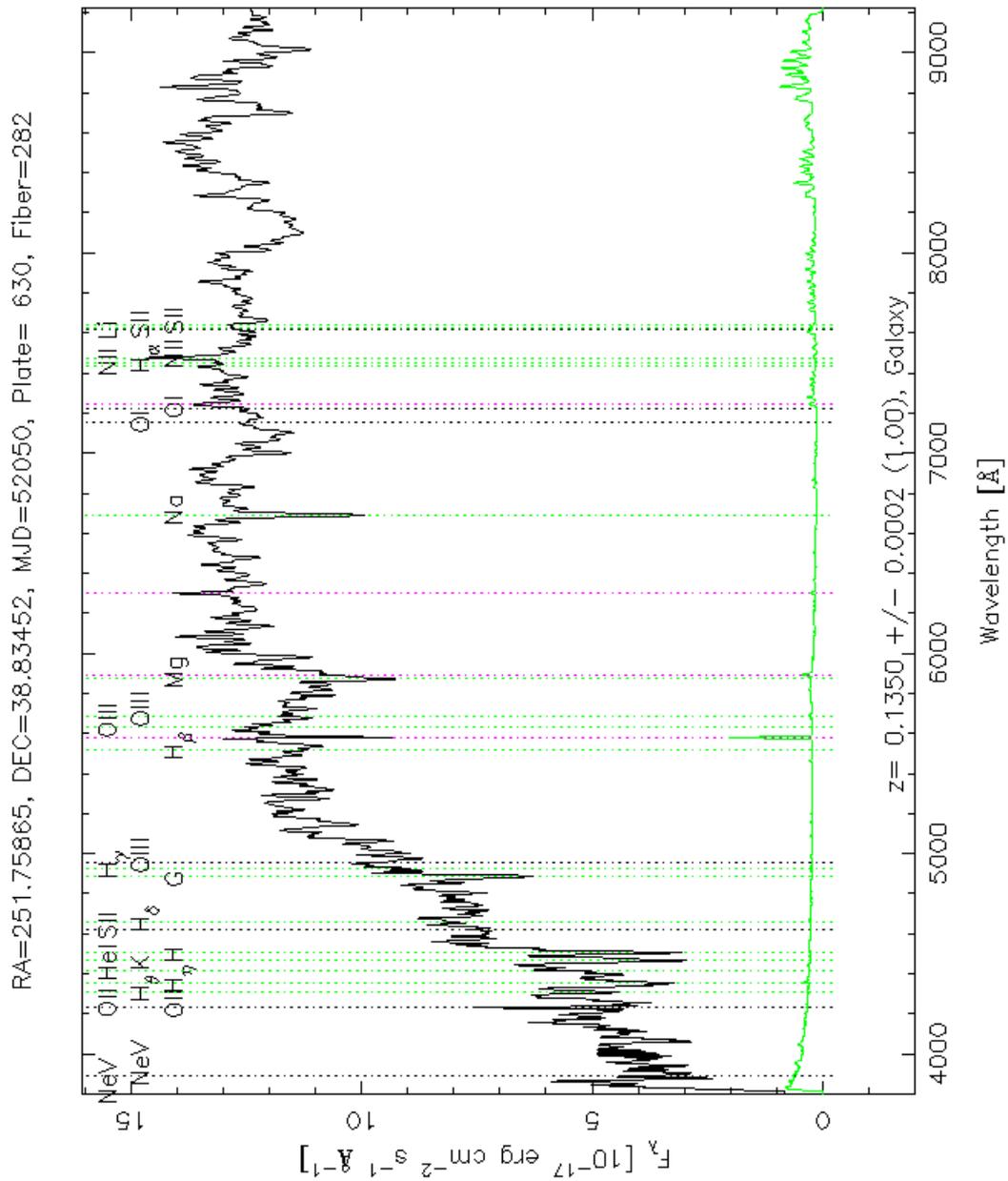


Abbildung 7.109: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS29.

7.30 FS30

Das Fossile System Nr. 30 befindet sich bei $z \sim 0.11$. Die Umgebung dieses FS enthält insgesamt 15 Galaxien (siehe Tabelle C.22 und Abbildung 7.110) und drei Galaxienhaufen (siehe Tabelle 7.8). Bei dem ersten Haufen handelt es sich um das Fossile System selbst. Die Verteilung der wenigen Galaxien wirkt eher kreuzförmig als entlang eines Filaments. Daher kann auch keine Besonderheit bei der Lage des Positionswinkels von $PA = 90^\circ$ der zentralen Elliptischen Galaxie festgestellt werden. Die Ausrichtung der E-Galaxie orientiert sich nur nach dem Haufenzentrum des dritten Galaxienclusters aus Tabelle 7.8.

Der Bereich des Galaxienmodells ist von einigen anderen Objekten kontaminiert (siehe Abbildung 7.112). Dies könnten nahegelegene Zwerggalaxien sein, oder Objekte im Beobachtungshintergrund. Die Flächenhelligkeitsanalyse könnte von diesen Lichtüberschüssen aufgrund des unvollständigen Maskierungsvorgangs Beeinflussungen aufweisen (siehe Abbildung 7.111). So zeigt zB die Elliptizität unplausible Schwankungen. Der Positionswinkel hingegen bleibt nahezu konstant. Betrachtet man die B4-Werte, so wechseln diese auch zwischen positiven und negativen Datenpunkten, sind aber größtenteils deutlich positiv. Der B4-Median mit 0.0023 klassifiziert diese Galaxie als disk Form.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie ist von starken Emissionslinien geprägt (siehe Abbildung 7.113). Die Klassifikation gemäß NED lautet Seyfert 1.9. Diese Galaxie ist ebenso Radioquelle und besitzt an der Position in 0.1' Entfernung eine weitere Radioemission.

Die Umgebungsanalyse des FS30 zeigt keine auffälligen Korrelationen, nur eine Ausrichtungs-Tendenz der Elliptischen Galaxie zum Zentrum eines Galaxienhaufens. Die zentrale Elliptische Galaxie ist von deutlicher nuklearer Aktivität geprägt, die auch im Radiobereich feststellbar ist. Vergangene Wechselwirkungen mit anderen Galaxien deuten auf gasreiche Akkretionen hin.

Tabelle 7.8: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS30. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	RBS 1636	259.54083	56.66556	0.3	0.1138	0.82
H	ZwCl 1717.9+5636	259.70097	56.54972	8.6	0.1135	-0.40
H	SDSS-C4 3051	259.30980	56.67040	7.9	0.1132	-1.78

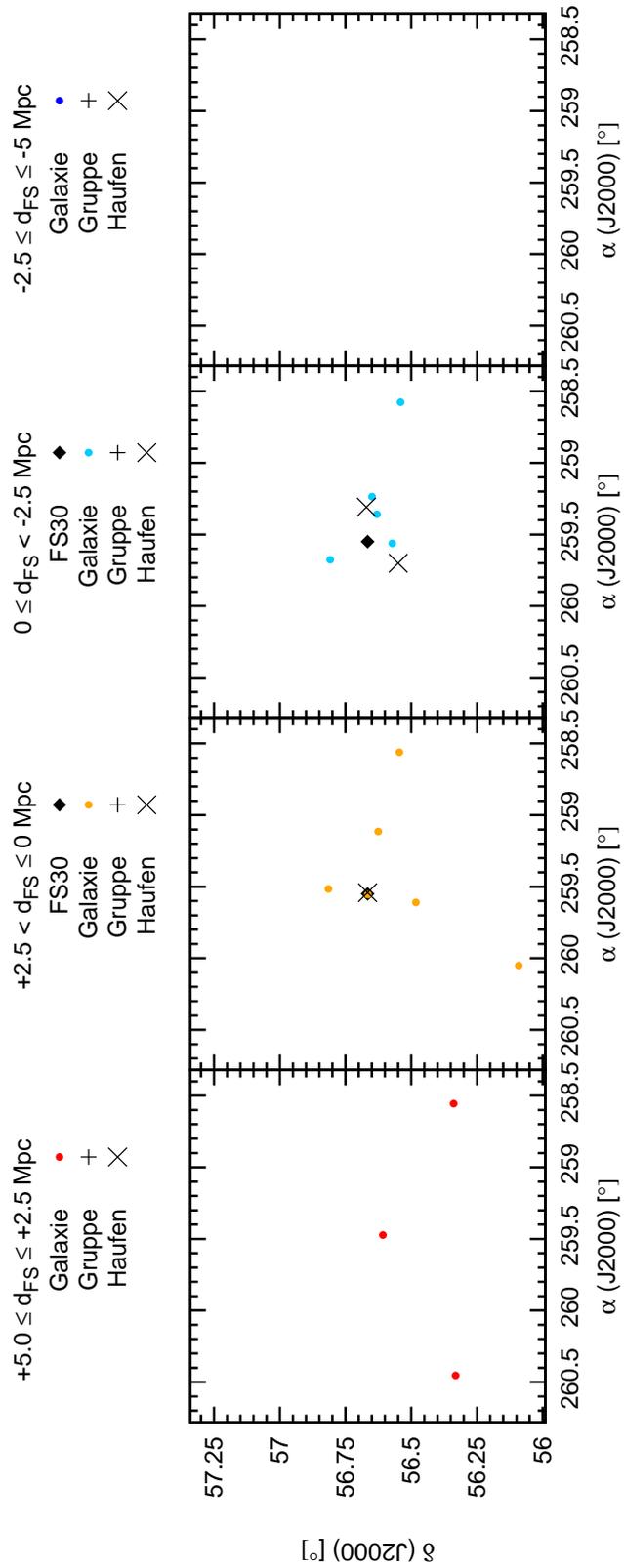


Abbildung 7.110: Räumliche Verteilung der Objekte um FS30 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

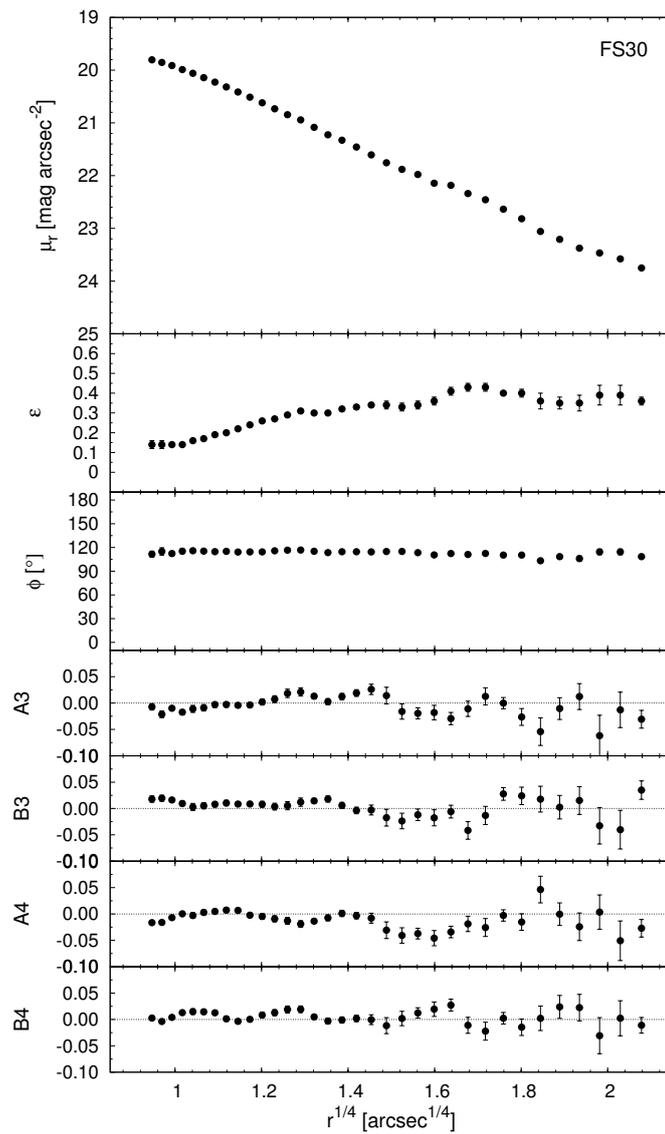


Abbildung 7.111: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS30.

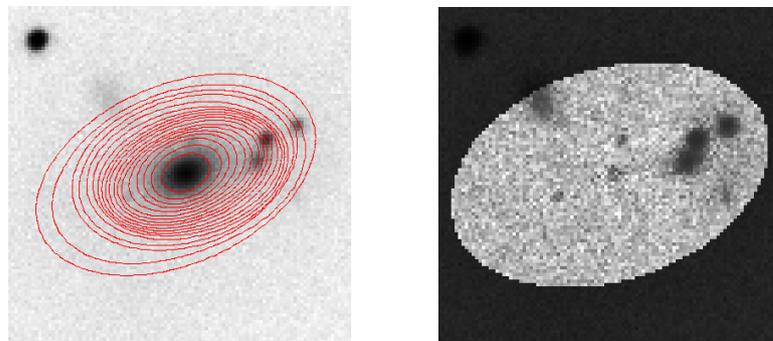


Abbildung 7.112: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS30 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

RA=259.54977, DEC=56.66560, MJD=51788, Plate= 355, Fiber= 96

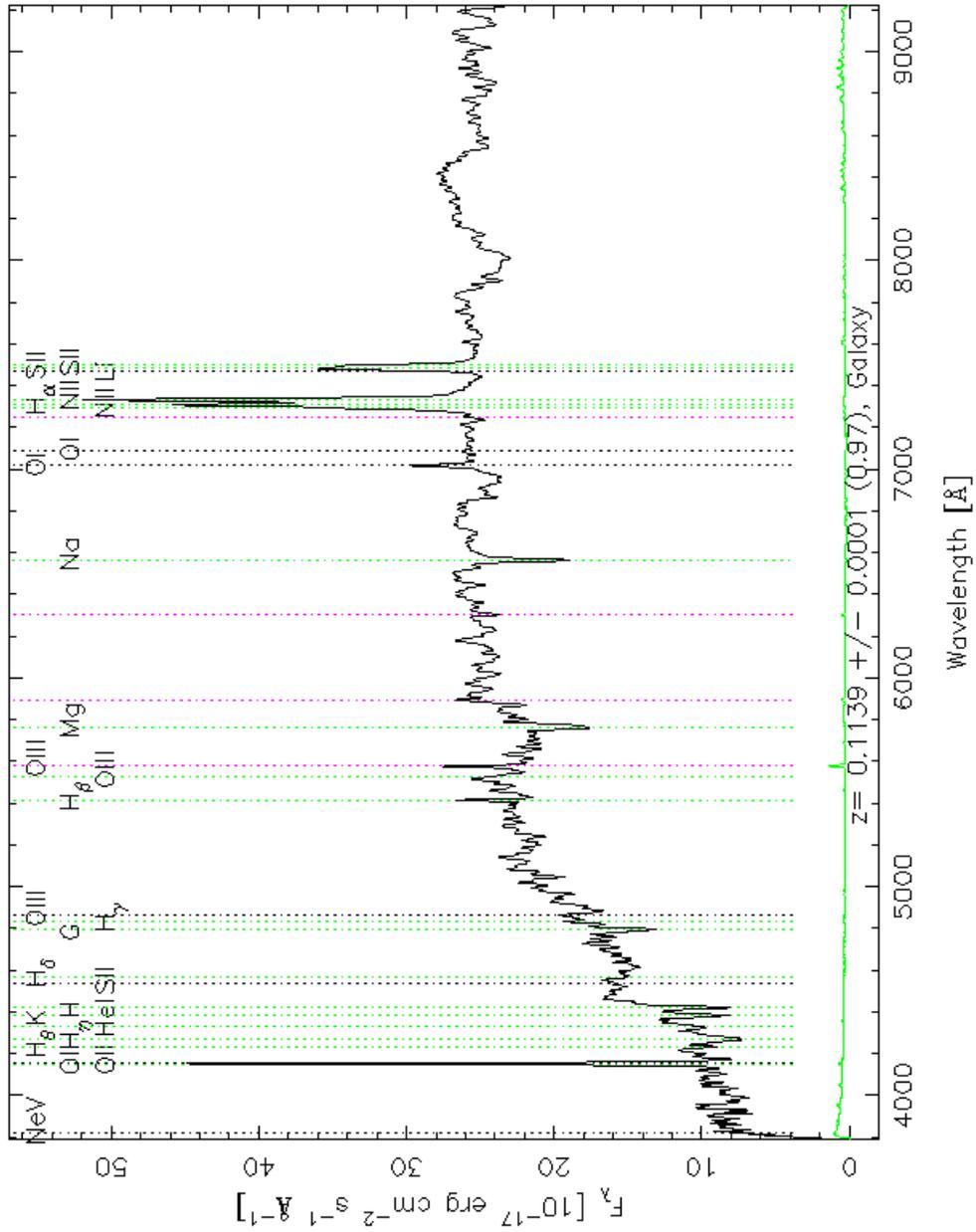


Abbildung 7.113: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS30.

7.31 FS31

Das 31. Fossile System befindet sich bei $z \sim 0.16$. In seiner Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc sind 13 Galaxien mit Spektren bekannt (siehe Tabelle C.23 und Abbildung 7.114). Die Verteilung der Galaxien zeigt eine längliche Struktur. Die Ausrichtung der Elliptischen Galaxie mit einem Positionswinkel von $PA = 25^\circ$ fügt sich ebenfalls in die Längsrichtung des Filaments. Andere Galaxiensysteme sind in diesem Bereich nicht bekannt. Das Zentrum des Galaxienclusters FSVS.CL J172015+263858 befindet sich in einem geringen projizierten Abstand von nur 0.3 Mpc entfernt vom Fossilen System, sein z -Wert ist leicht erhöht verglichen zu FS31. Innerhalb der Fehlerbalken wäre es möglich, dass dieser Galaxienhaufen innerhalb des 5 Mpc-Radius Bereichs liegt.

Abbildung 7.116 zeigt viele Objekte, die innerhalb der Elliptischen Galaxie liegen. Es kann sich hier um Zwerggalaxien in unmittelbarer Nähe zu der großen Elliptischen Galaxie handeln oder um Galaxien im Beobachtungshintergrund. Weiters ist aufgrund des SDSS-Farbkomposits mindestens ein Vordergrundstern aufgrund seiner blauen Farbe identifizierbar. Dementsprechend starke Schwankungen sind in den Daten bei der Flächenhelligkeitsanalyse, vor allem bei der Elliptizität vorhanden (siehe Abbildung 7.115). Der Maskierungsvorgang wurde wie immer äußerst sorgfältig durchgeführt, daher sind größere Trends dennoch aussagekräftig. So zeigt die Elliptizität eine Abnahme bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von $1''$, der Positionswinkel liegt nahe bei 0° . Danach steigen beide Werte deutlich an. Die B4-Werte sind im entsprechenden zentralen Bereich durchgehend positiv. Es handelt sich hier um eine photometrisch entkoppelte zentrale Sternregion, die diskus Isophoten aufweist. Ab diesem Radius sind die B4-Werte meist negativ. Der B4-Median beträgt -0.0066 und klassifiziert diese Galaxie daher global als boxy Ellipse.

Das Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie weist viele Emissionslinien auf (siehe Abbildung 7.117). Gemäß NED ist diese Galaxie als AGN klassifiziert. Sie ist auch Radioquelle und in einer Entfernung von $1.8'$ ist eine weitere Radioemission detektiert worden.

Zusammenfassend zeigt sich bei diesem Fossilen System eine längliche Struktur in der Verteilung seiner Galaxien, in diese sich auch die große Halbachse der Elliptischen Galaxie ausrichtet. Eventuell könnte die Röntgenstrahlung zur Identifikation dieses Fossilen Systems von Santos et al. [2007] aus einem Galaxiencluster im Beobachtungshintergrund stammen, sofern die gegebenen Rotverschiebungsangaben korrekt sind. Die Galaxie selbst weist eine diskus-förmige, photometrisch entkoppelte zentrale Region auf, die vermutlich durch Akkretion einer gasreichen Zwerggalaxie entstanden ist. Starke nukleare Aktivität der Galaxie sind hier ebenfalls typisch.

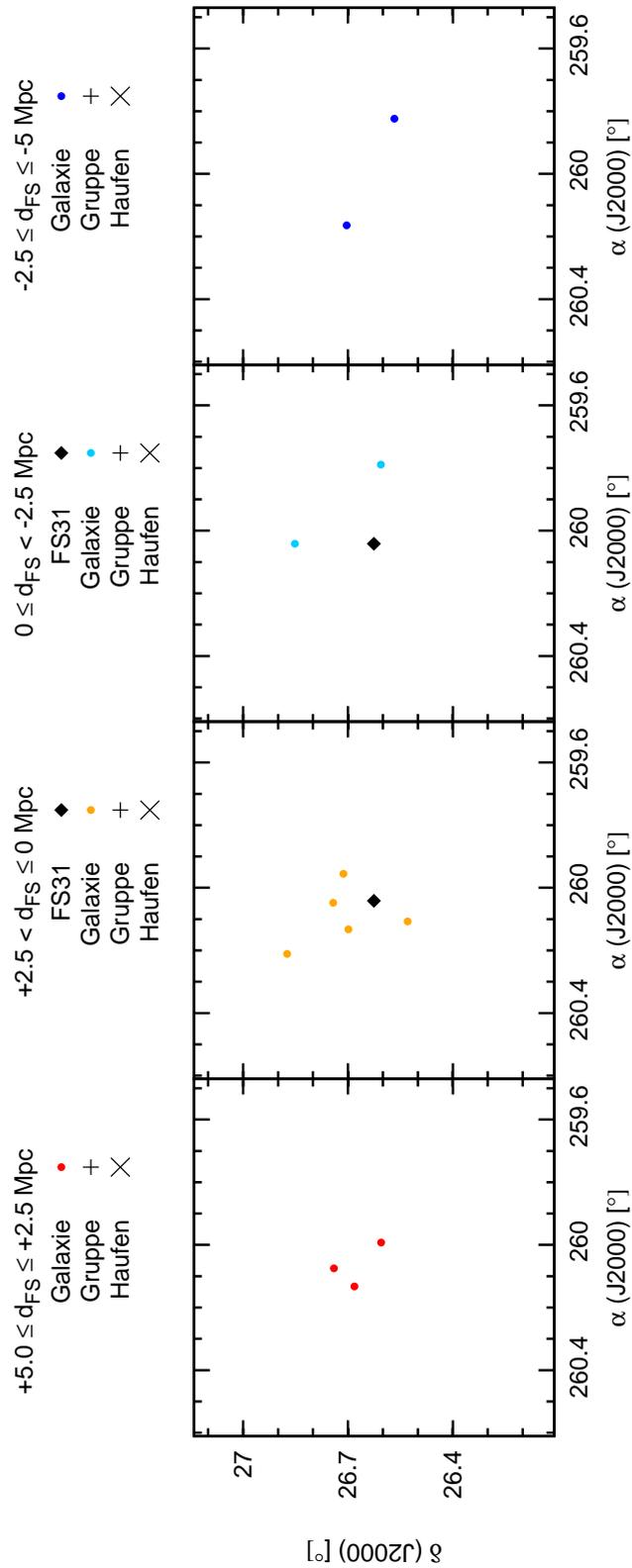


Abbildung 7.114: Räumliche Verteilung der Objekte um FS31 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

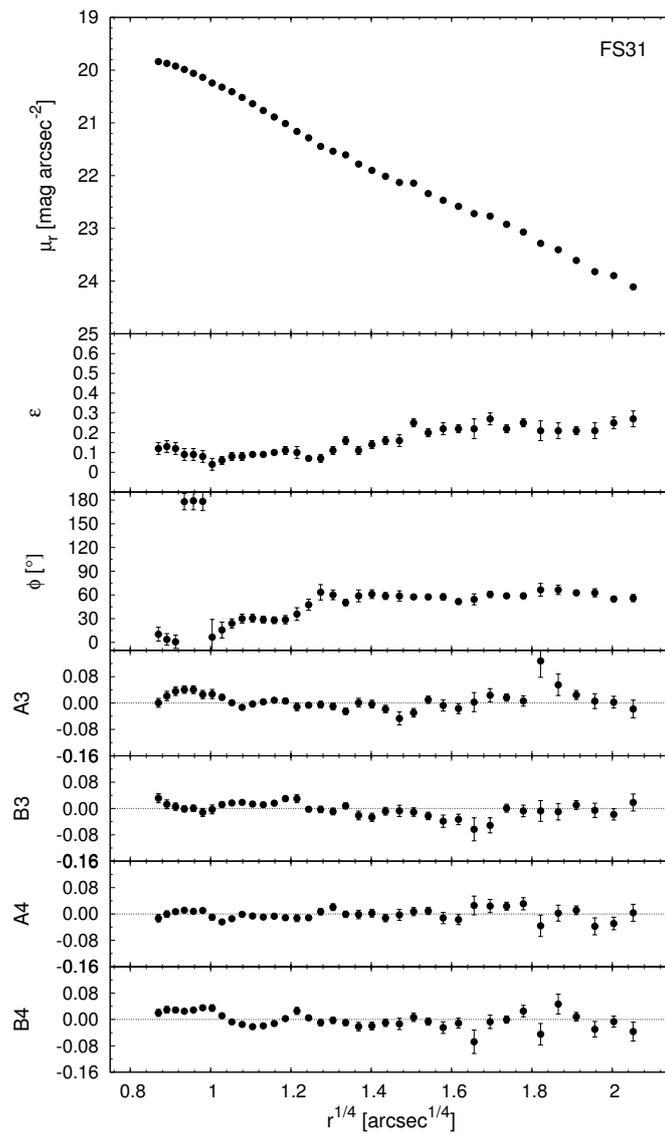


Abbildung 7.115: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS31.

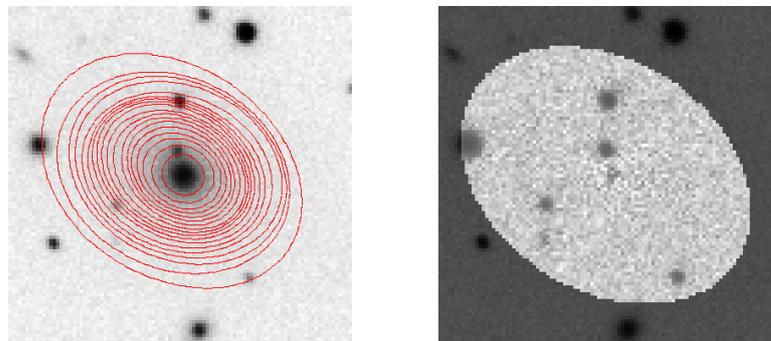


Abbildung 7.116: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS31 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

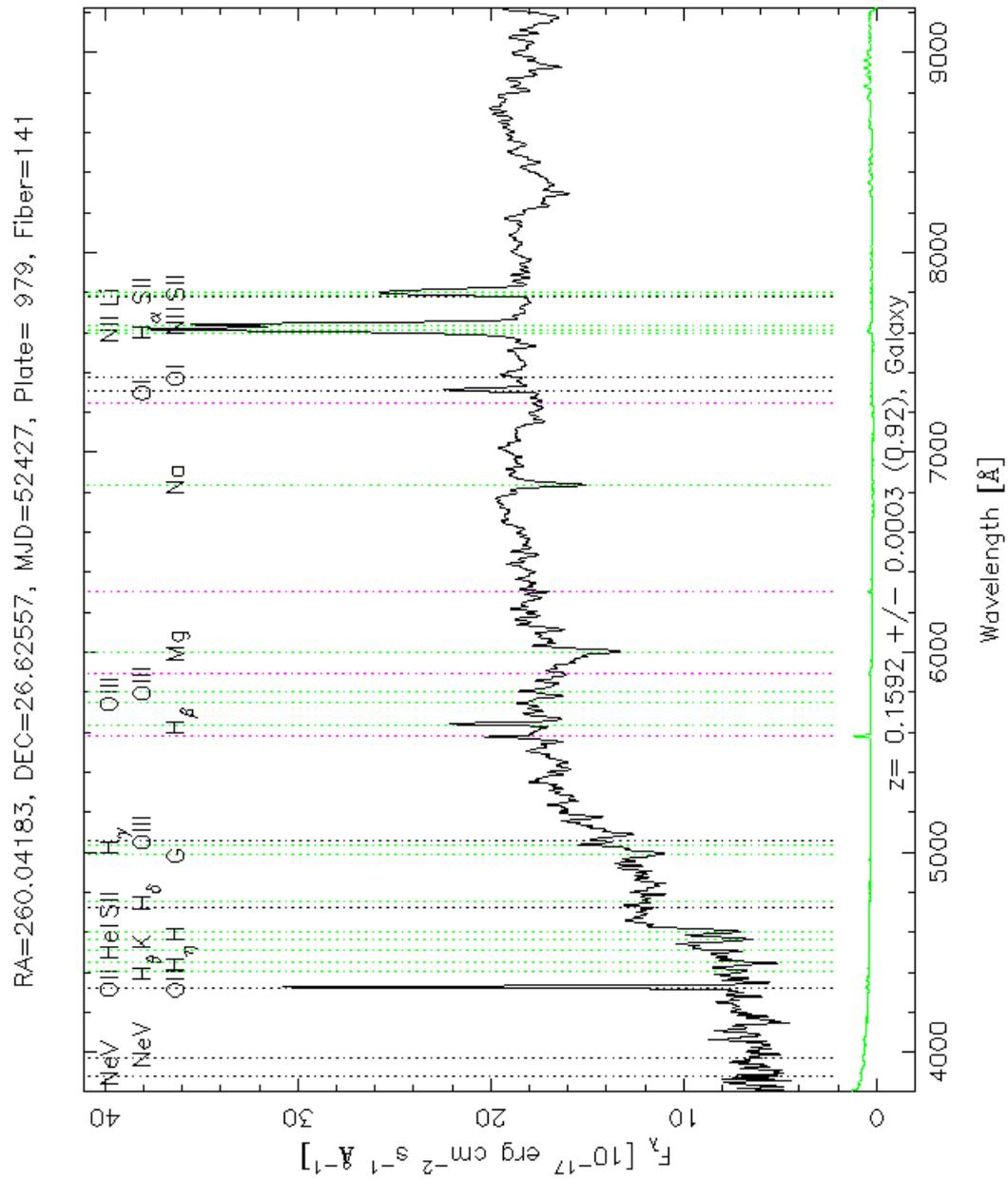


Abbildung 7.117: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS31.

7.32 FS32

Das Fossile System Nr. 32 weist eine Rotverschiebung von $z \sim 0.15$ auf. Obwohl diese Entfernung nicht besonders hoch ist, gibt es keine Galaxien oder andere Systeme mit Rotverschiebungsangaben in einer Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc. Der Galaxiencluster NSC J175226+541212 mit photometrisch bestimmter Rotverschiebung in vergleichbarer Höhe zeigt einen projizierten Abstand von über 33 Mpc zum FS. Es könnte sich hier tatsächlich um eine sehr leere Umgebung handeln.

Die Elliptische Galaxie zeigt in der Flächenhelligkeitsanalyse keine besonderen Auffälligkeiten (siehe Abbildung 7.118). Sie ist eine fast kreisrunde Galaxie mit nur geringer Elliptizität. Bei einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.1''$ könnte eine kleine Trendänderung in der Entwicklung der Elliptizität und des Positionswinkels erkannt werden, allerdings ist diese zu wenig deutlich um hier eine eigene Sternkomponente zu vermuten. Die B4-Werte schwanken um den Wert 0, der B4-Median beträgt -0.0007 . Damit besitzt diese Galaxie einen leichten Trend zu einer boxy Ellipse.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie zeigt keine Emissionslinien (siehe Abbildung 7.120).

Zusammenfassend betrachtet handelt es sich bei diesem System wahrscheinlich um eine räumlich isolierte Elliptische Galaxie. Sie zeigt keine Hinweise auf vergangene Wechselwirkungsvorgänge mit anderen Galaxien.

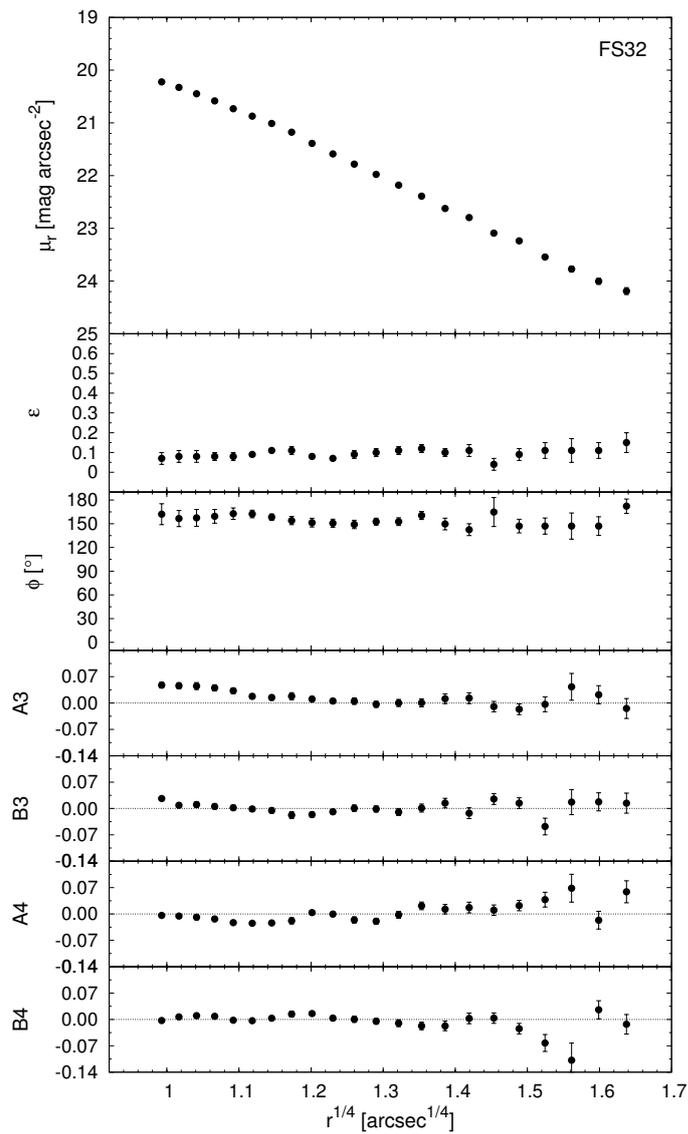


Abbildung 7.118: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS32.

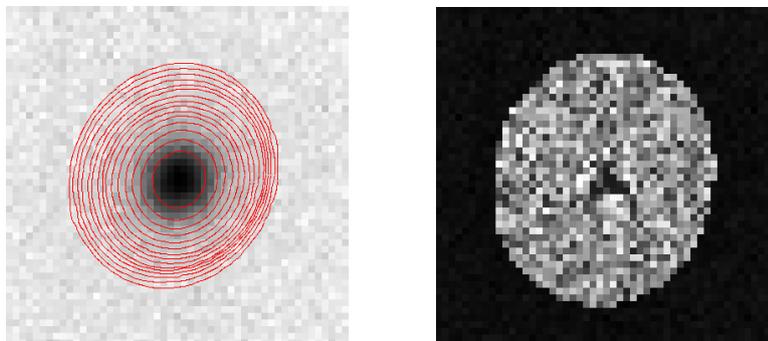


Abbildung 7.119: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS32 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

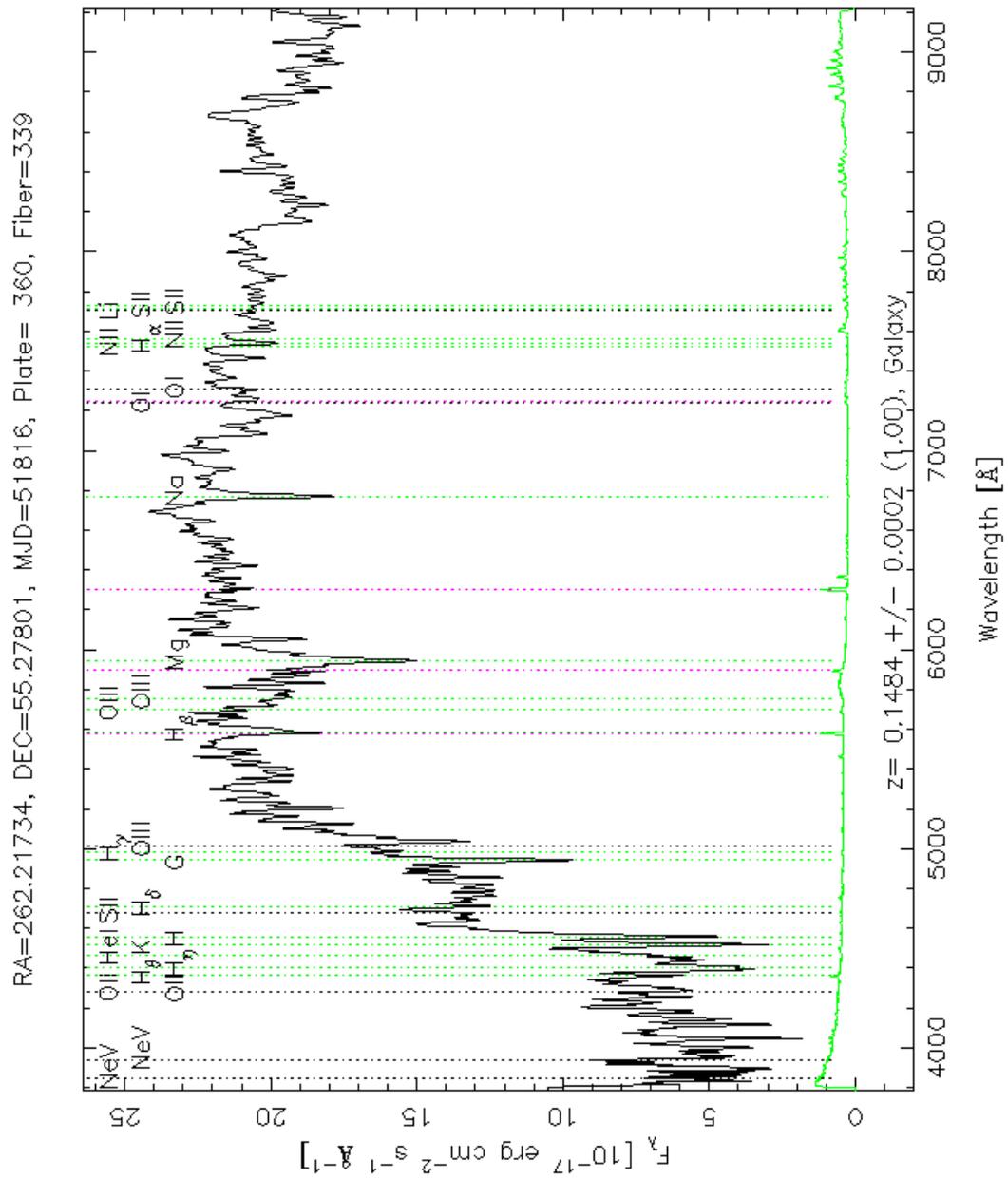


Abbildung 7.120: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS32.

7.33 FS33

Das 33. Fossile System liegt bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.22$. In der Umgebung um das Fossile System befinden sich insgesamt nur vier Galaxien mit bekannter spektroskopisch bestimmter Rotverschiebung (siehe Tabelle C.24 und Abbildung 7.121). Der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie beträgt $PA = 50^\circ$. Diese Galaxie zeigt mit ihrer großen Halbachse in Richtung der beiden nächstgelegenen Galaxien (mit der laufenden Nr. 3 und 4 lt. Tabelle C.24), die in Abbildung 7.121 hellblau gekennzeichnet sind. Weitere Galaxiensysteme neben diesem FS sind nicht bekannt. Der Galaxienhaufen NSCS J231333+003401 mit geschätzter Rotverschiebung von $z \sim 0.24$ befindet sich erst in einem projizierten Abstand von ca. 57 Mpc.

Das Flächenhelligkeitsprofil der zentralen Elliptischen Galaxie zeigt bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.2''$ einen kleinen Lichtüberschuss (siehe Abbildung 7.122). Auch die Elliptizität zeigt eine interessante Veränderung ihrer Werte bis zu diesem Radius, danach steigt sie kontinuierlich an. Der Positionswinkel fällt im entsprechenden Bereich ab und bleibt danach konstant. Da das Residuenbild keine verbleibenden Lichtüberschüsse enthält (siehe Abbildung 7.123, rechts), sind die Daten aus der Flächenhelligkeitsanalyse korrekt und weisen auf ein bis zwei photometrisch entkoppelte zentrale Regionen hin, wobei die innere positive B4-Werte aufweist, die zweitinnerste von negativen Werten dominiert wird. Global betrachtet ergibt der B4-Median 0.0026, also eine diskus Ellipse.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie weist keine signifikanten Emissionslinien auf (siehe Abbildung 7.124). Allerdings sind in NED zwei Radioquellen vermerkt, eine direkt an der Position der Elliptischen Galaxie und eine weitere in $0.8'$ Entfernung.

Obwohl hier nur wenige Galaxien in der Umgebung um dieses Fossile System bekannt sind, zeigt sich trotzdem ein Zusammenhang zwischen der Ausrichtung der Elliptischen Galaxie und ihrer näheren zwei Mitglieder. Die E-Galaxie besitzt eine zentrale Sternregion, die sich photometrisch vom Rest der Galaxie entkoppelt bewegt. Eine spekulative Vermutung zum Zustandekommen dieser Region wäre die Akkretion von einer gasreichen und einer gasarmen Zwerggalaxie. Das Spektrum zeigt keine Anzeichen nuklearer Aktivität, obwohl Radioquellen vorhanden sind.

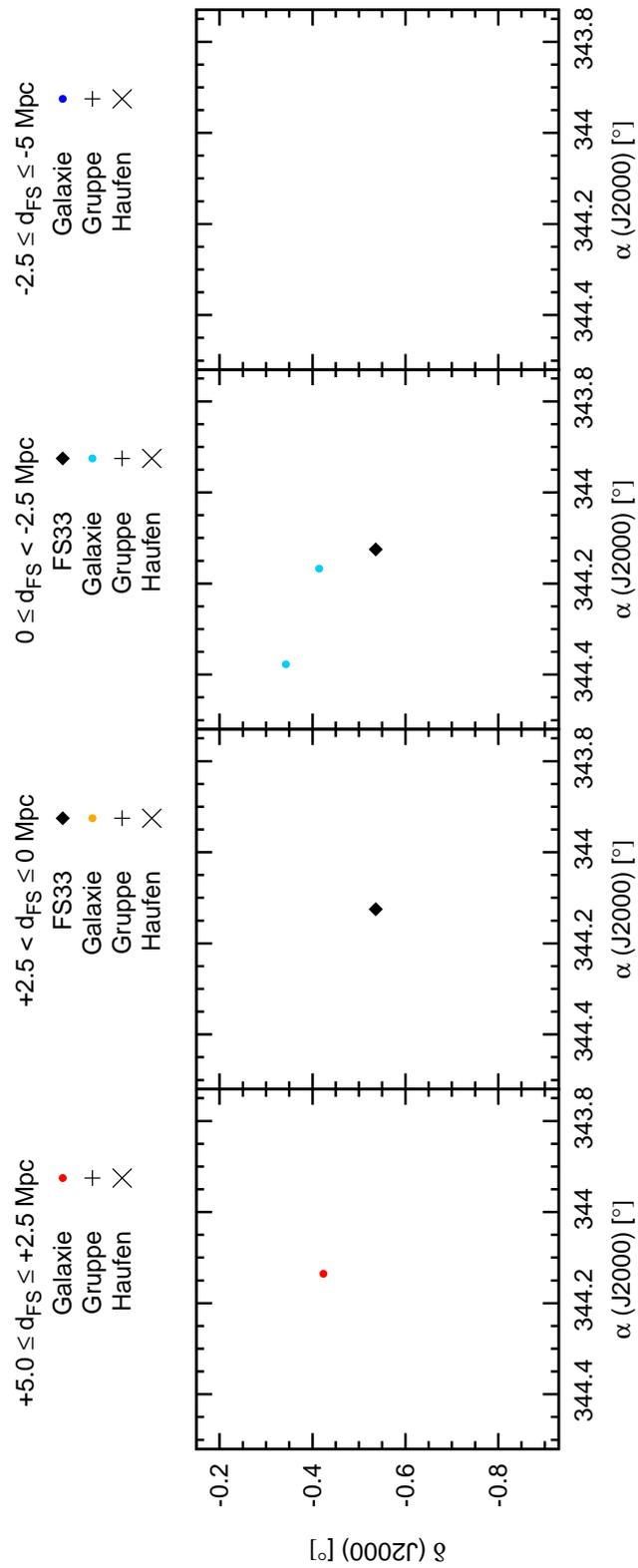


Abbildung 7.121: Räumliche Verteilung der Objekte um FS33 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

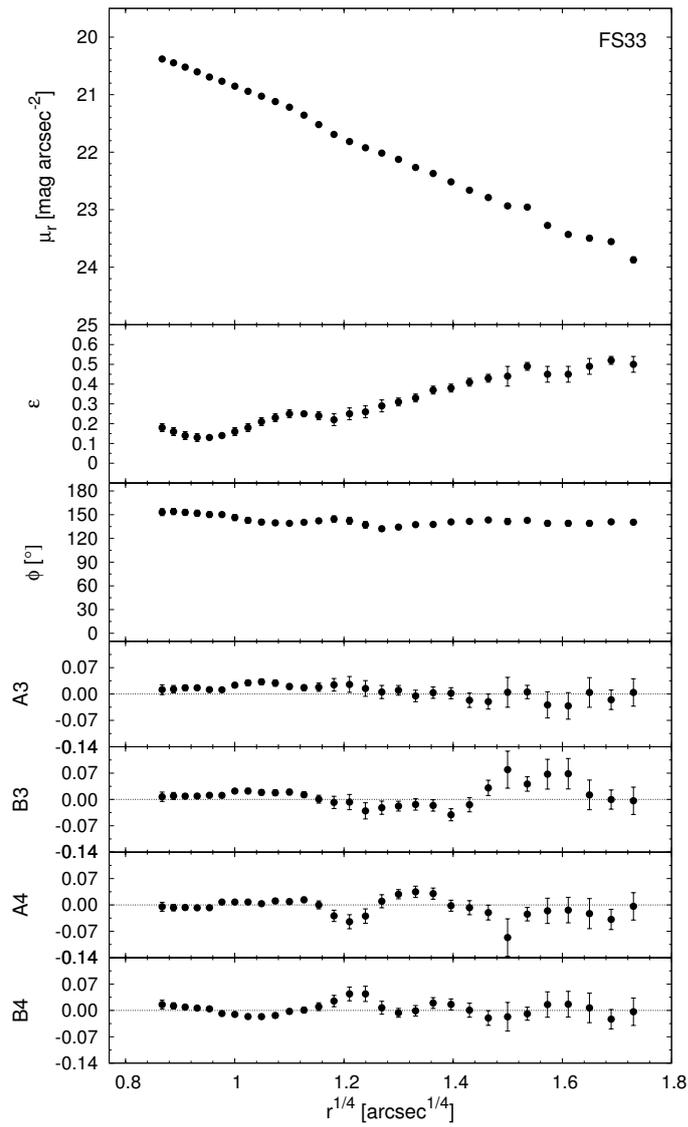


Abbildung 7.122: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS33.

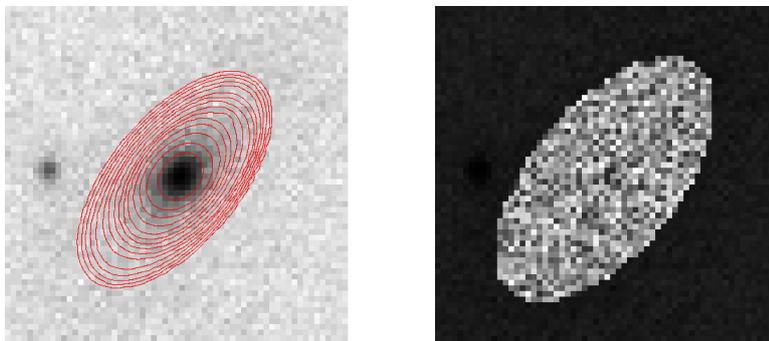


Abbildung 7.123: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS33 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

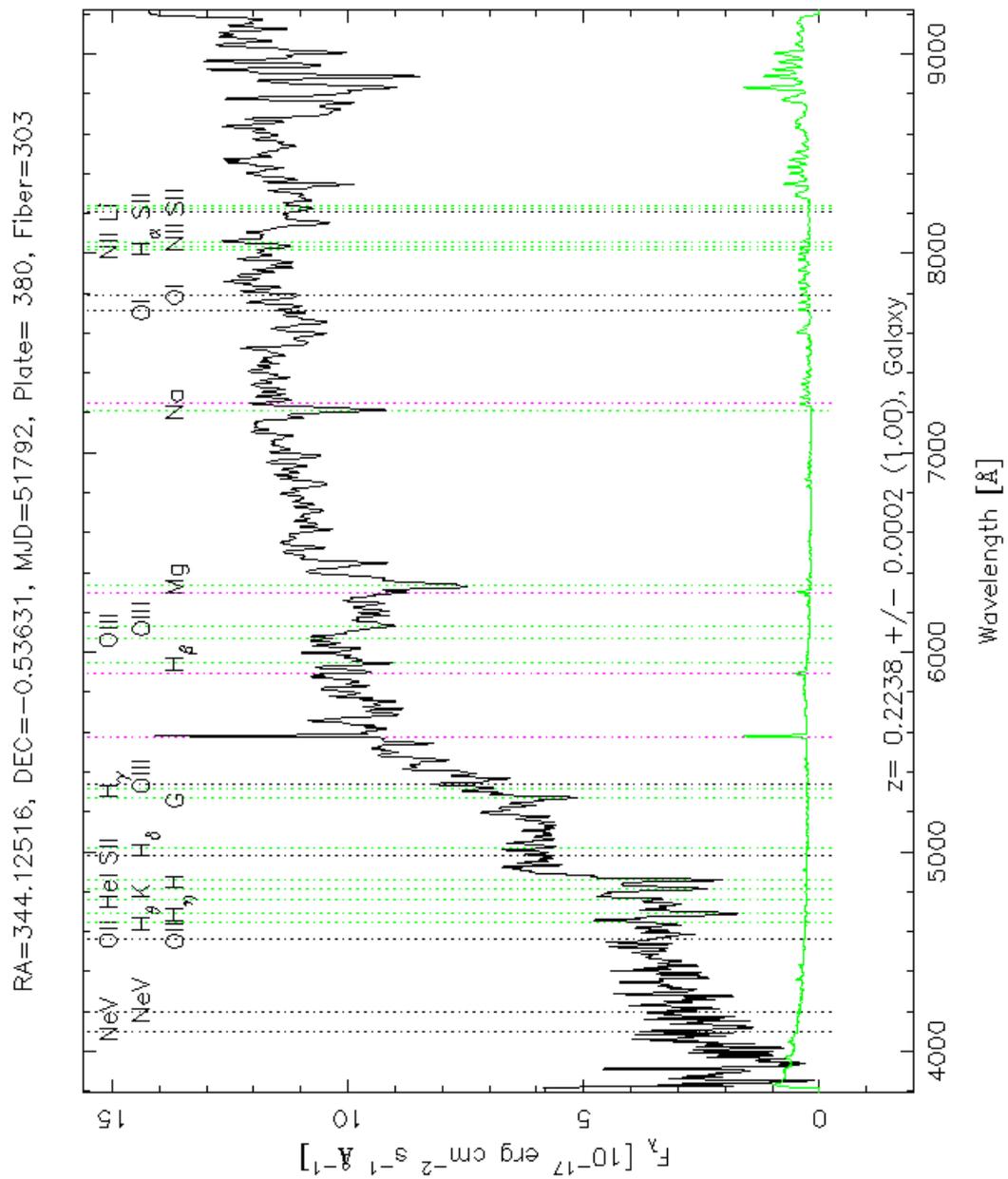


Abbildung 7.124: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS33.

7.34 FS34

Das letzte Fossile System, das von Santos et al. [2007] identifiziert wurde, befindet sich bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.18$. In seiner Umgebung sind nur zwei weitere Galaxien katalogisiert (siehe Tabelle C.25 und Abbildung 7.125). Der Positionswinkel der Elliptischen Galaxie beträgt $PA = 99^\circ$. Eine Galaxie liegt fast genau in Richtung der großen Halbachse der E-Galaxie, die Position der anderen ist nahezu senkrecht dazu. Daher können hier keine Zusammenhänge festgestellt werden. Weiters sind auch keine anderen Galaxiensysteme in der Umgebung bekannt. Der nächstgelegene Galaxienhaufen NSCS J000535+112859 mit geschätzter Rotverschiebung in vergleichbarer Höhe befindet sich in einem projizierten Abstand von knapp 44 Mpc.

Zwei kleine Objekte, die im Residuenbild erkennbar sind (siehe Abbildung 7.127, rechts) beeinflussen trotz Maskierung die Daten in der Flächenhelligkeitsanalyse (siehe Abbildung 7.126). Die Elliptizität zeigt knapp vor dem $r^{1/4}$ -Radius von $1.4''$ eine unplausible Schwankung. Bis zu diesem Radius ist auch im Flächenhelligkeitsprofil ein Lichtüberschuss erkennbar. Die B4-Werte sind fast ausnahmslos positiv, der B4-Median beträgt somit 0.0099 und klassifiziert diese Galaxie als deutliche diskypse.

Das Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie zeigt Emissionslinien, die auf eine Seyfert 2-Galaxie hinweisen (siehe Abbildung 7.128).

Für eine Umgebungsanalyse stehen zu wenig Daten zur Verfügung. Die drei vorhandenen Galaxien zeigen keine Zusammenhänge. Die Elliptische Galaxie selbst weist außer ihrer nuklearen Aktivität keine weiteren Besonderheiten auf.

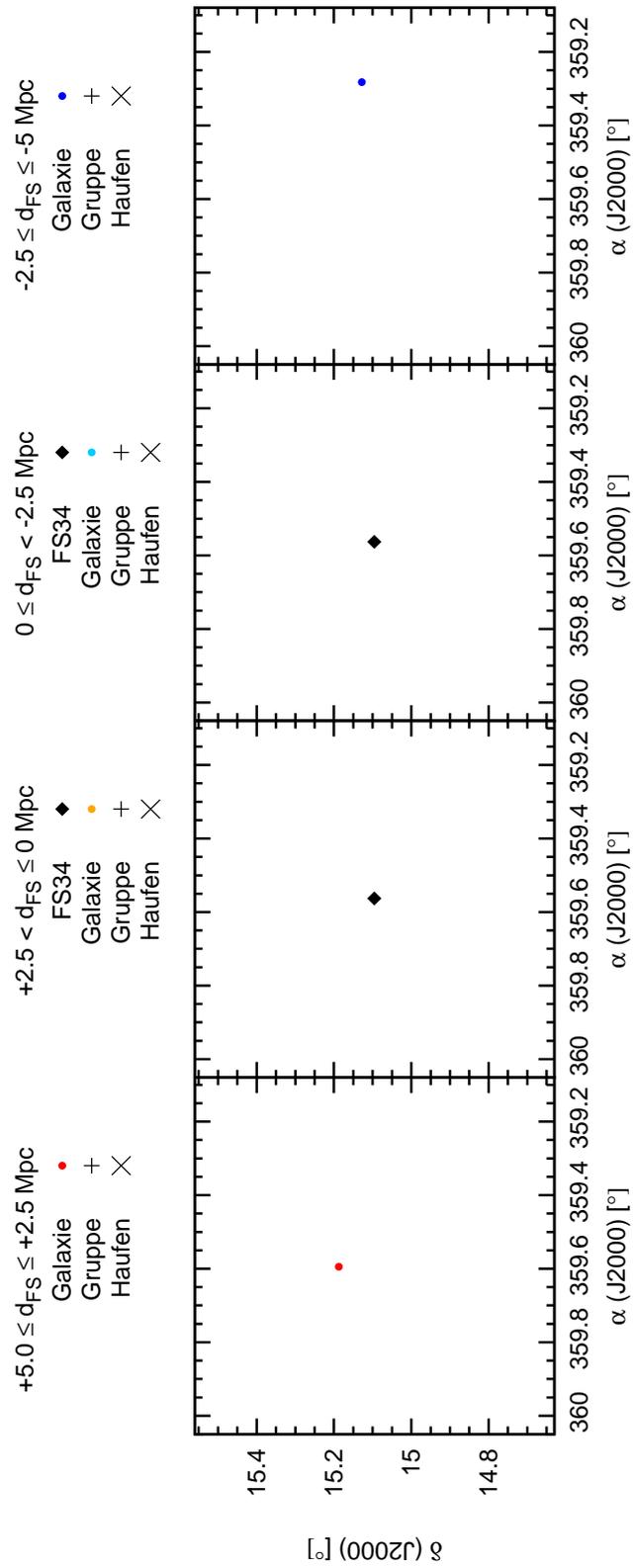


Abbildung 7.125: Räumliche Verteilung der Objekte um FS34 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

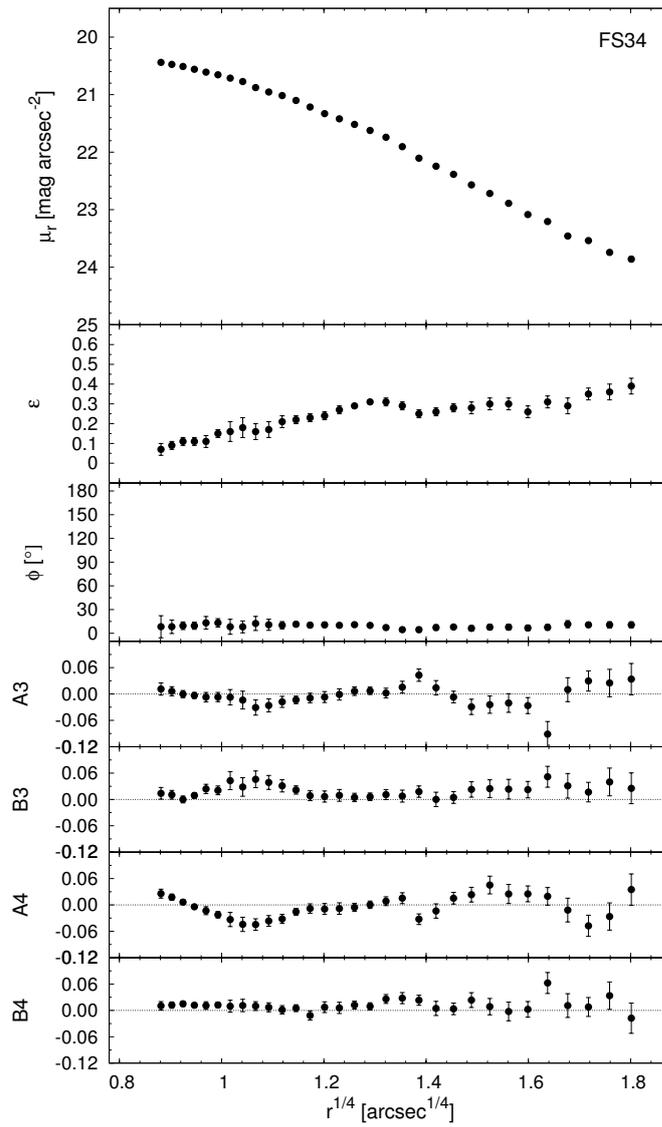


Abbildung 7.126: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS34.

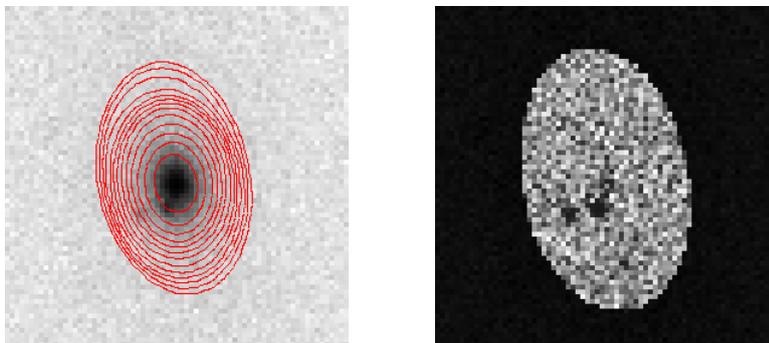


Abbildung 7.127: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS34 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

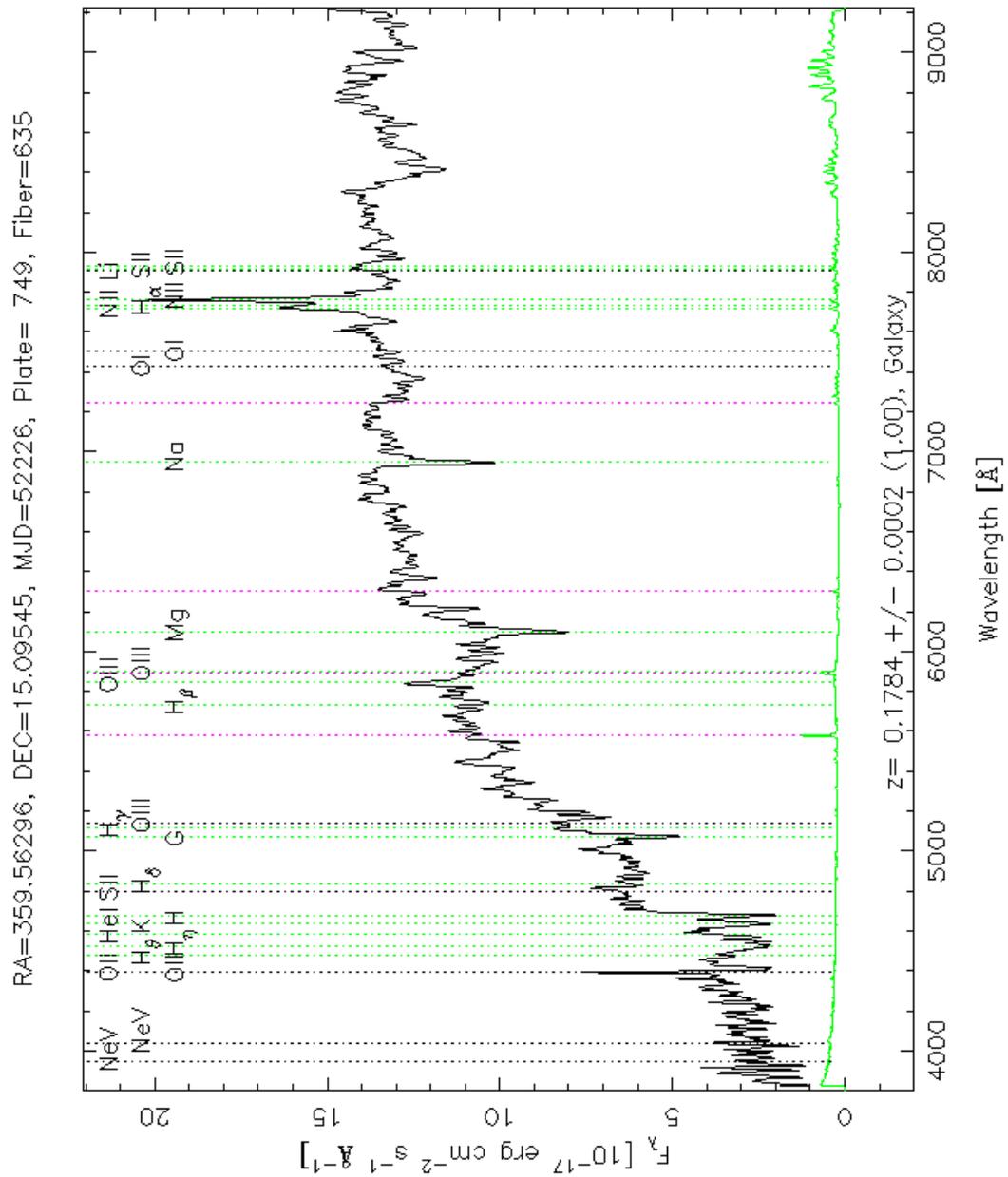


Abbildung 7.128: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS34.

7.35 FS50

Die Elliptische Galaxie NGC 1132 ist mit der internen Nr. 50 der untersuchten Fossilen Systeme versehen. Sie wurde von Mulchaey und Zabludoff [1999] als nahe isolierte Elliptische Galaxie klassifiziert.

Sie befindet sich in sehr geringer Entfernung, da ihre Rotverschiebung nur $z \sim 0.02$ beträgt. Dementsprechend viele Galaxien mit spektroskopischer Rotverschiebung befinden sich in ihrer Umgebung (siehe Tabelle C.26 und Abbildung 7.129). Insgesamt sind 37 Galaxien, fünf Galaxiengruppen und ein Galaxienhaufen in einem Bereich bis zu einem Radius von 5 Mpc vorhanden (siehe Tabelle 7.9).

Die Galaxiensysteme ordnen sich entlang eines schmalen Filaments an, ebenso die Galaxien selbst bis auf wenige Ausnahmen. Da diese Galaxie außerhalb des Bereichs der SDSS liegt, existiert hierfür keine Flächenhelligkeitsanalyse und daher auch keine Angabe über den Positionswinkel. Eine Schätzung hierfür kann gemäß der Aufnahme von NGC 1132 aus der Publikation von Mulchaey und Zabludoff [1999] erfolgen. Der Positionswinkel beträgt ca. 130° . Damit liegt die große Halbachse der zentralen Elliptischen Galaxie genau entlang der Anordnung der näheren umgebenden Galaxien und Galaxiensysteme.

Ein Spektrum für diese Galaxie existiert ebenfalls nicht aus der SDSS. Gemäß NED ist diese Galaxie auch Radioquelle.

Zusammenfassend betrachtet zeigt die Umgebungsanalyse sehr deutlich eine filamentartige Struktur, der auch die Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie folgt.

Tabelle 7.9: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS50. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
G	USGC U149	43.20292	-1.28389	1.0	0.0242	4.58
G	WBL 087	43.18612	-1.26261	1.9	0.0239	3.21
G	HIPASS J0249-00	42.45208	-0.88417	51.5	0.0238	2.68
G	USGC U152	43.04333	-1.03500	17.7	0.0234	1.31
H	UGC1 043	42.16353	-0.54260	76.9	0.0230	-0.50
G	[M98j] 047	42.78675	-1.07797	28.3	0.0228	-1.51

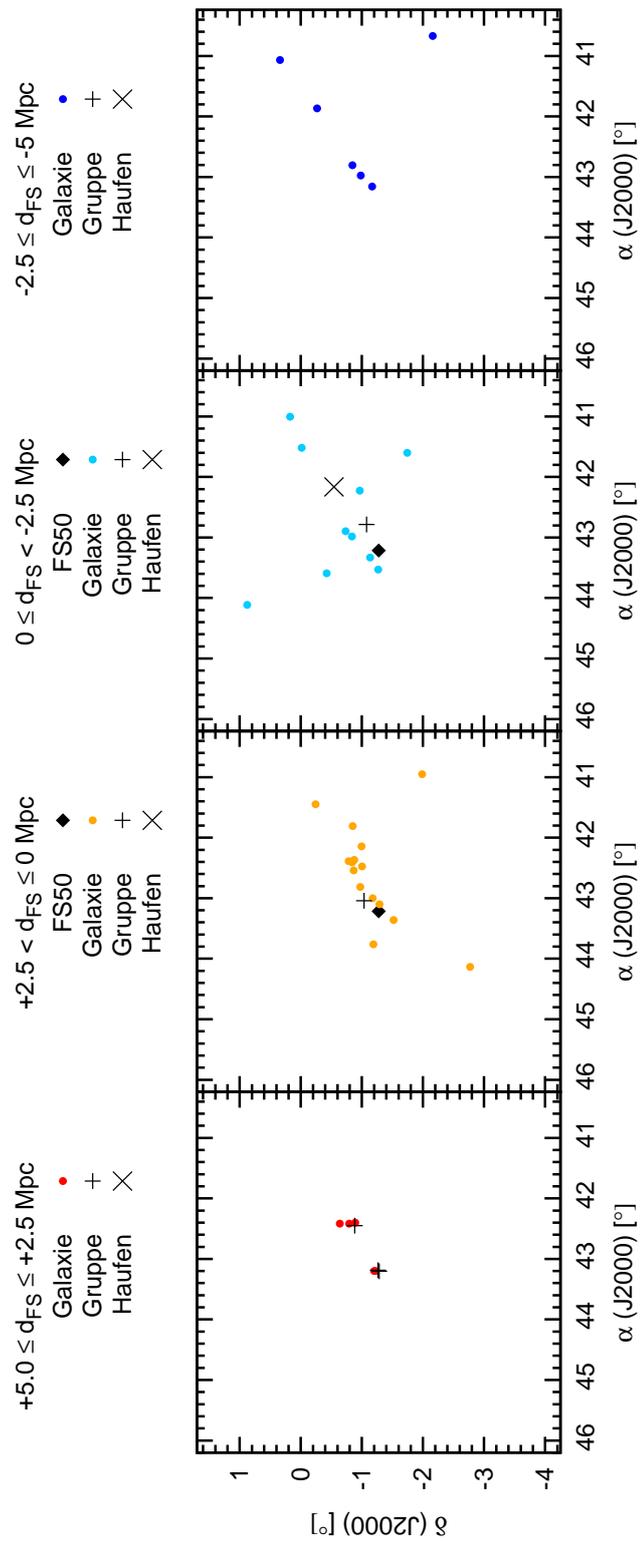


Abbildung 7.129: Räumliche Verteilung der Objekte um FS50 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

7.36 FS51

Das Fossile System RX J0454.8–1806 hat die interne Bezeichnung FS51. Es wurde von Yoshioka et al. [2004] als IOLEG definiert (siehe Abschnitt 2.3).

Diese Elliptische Galaxie befindet sich bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.03$. In ihrer Umgebung sind 15 Galaxien enthalten (siehe Tabelle C.27 und Abbildung 7.130) und ein Galaxienhaufen (siehe Tabelle 7.10).

Die Anordnung der Galaxien und des benachbarten Galaxienclusters erfolgt so wie bei FS50 entlang eines schmalen Streifens. Da auch diese Galaxie außerhalb des SDSS-Bereichs liegt, erfolgte hier ebenso keine Flächenhelligkeitsanalyse. Der Positionswinkel kann in diesem Fall nicht einmal aus den vorhandenen Publikationen ermittelt werden, da keine Aufnahmen der Elliptischen Galaxie enthalten sind.

Gemäß NED ist diese Galaxie als cD-Galaxie klassifiziert. Ein Spektrum liegt für diese Galaxie nicht vor.

Die Analyse der Umgebung zeigt auch hier eine filamentartige Struktur. Leider kann über die Ausrichtung der Elliptischen Galaxie keine Aussage getroffen werden.

Tabelle 7.10: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS51. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	CID 29	72.82500	-17.50000	63.0	0.0317	1.09

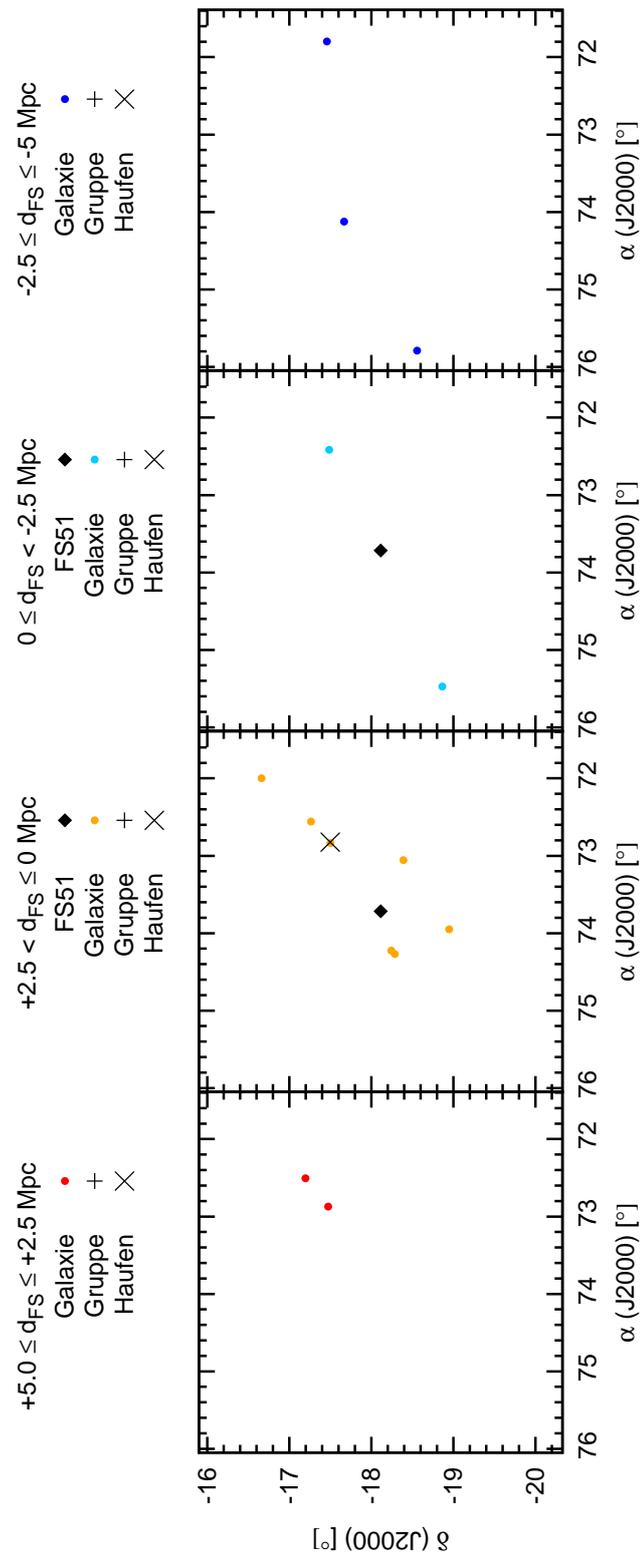


Abbildung 7.130: Räumliche Verteilung der Objekte um FS51 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

7.37 FS52

Die zentrale Elliptische Galaxie ESO 306-G 017 des Abell Haufens (siehe Tabelle 7.11) wurde von Sun et al. [2004] als Fossiles System identifiziert. Die interne Bezeichnung hierfür lautet FS52.

Die Elliptische Galaxie weist eine Rotverschiebung von $z \sim 0.04$ auf. In ihrer Umgebung befinden sich noch 26 weitere Galaxien (siehe Tabelle C.28 und Abbildung 7.131). Allerdings sind keine anderen Galaxiensysteme in der Umgebung bekannt. Die benachbarte Galaxiengruppe ESO 306- G 004 weist eine ähnliche Rotverschiebung auf. Ihr projizierter Abstand beträgt ca. 6 Mpc.

Betrachtet man die Anordnung der Galaxien, so folgen sie größtenteils einem nord-südlich verlaufenden Filament. Sun et al. [2004] haben ebenfalls eine Elongation des Röntgenhalos entlang der nord-süd Richtung festgestellt, siehe Unterabschnitt 3.2.3. Die Galaxie selbst liegt mit ihrer großen Halbachse ebenso ausgerichtet.

Da diese Galaxie nicht in der SDSS enthalten ist, liegt auch kein Spektrum vor. Diese Galaxie zeigt Radioemission, was auf vergangene AGN-Aktivität schließen lässt, siehe Unterabschnitt 3.2.1.

Zusammenfassend zeigt sich auch hier ganz deutlich der Zusammenhang zwischen der Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie und ihrer umgebenden Mitglieder.

Tabelle 7.11: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS52. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	ABELL S0540	85.02577	-40.84152	0.3	0.0358	-0.02

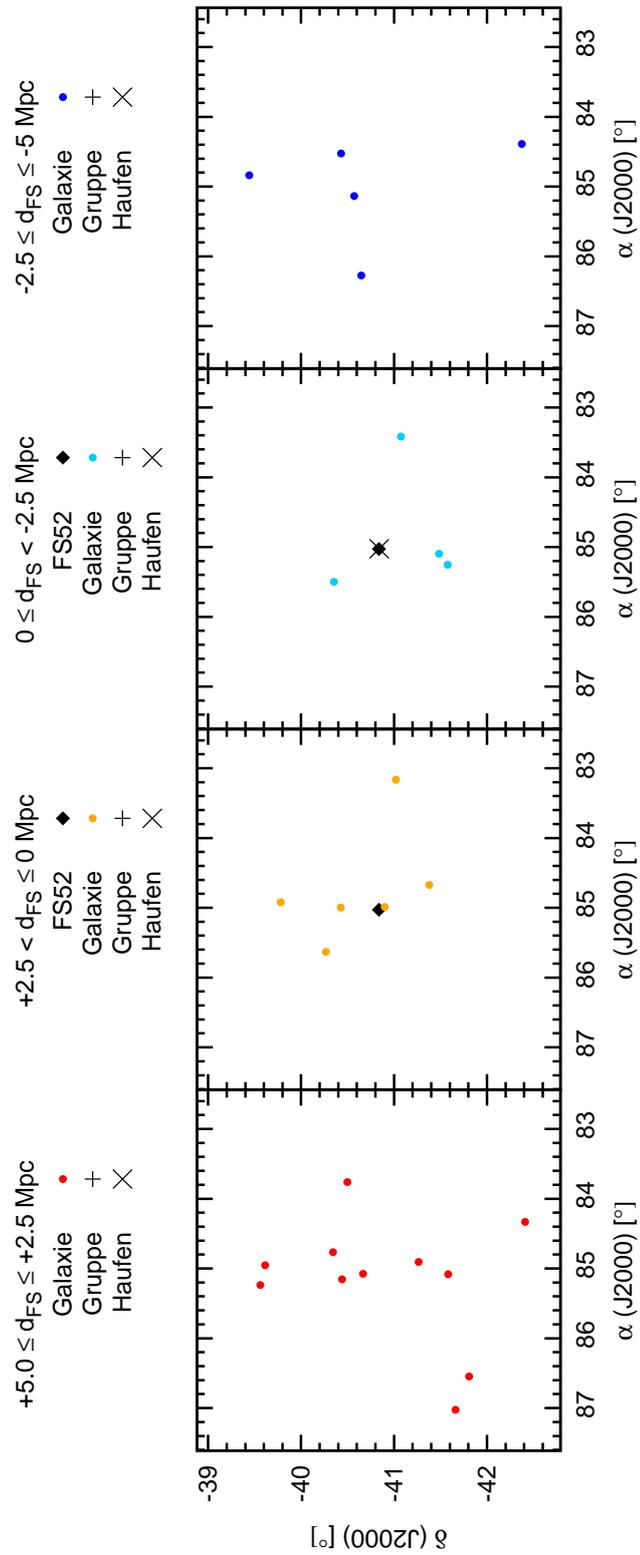


Abbildung 7.131: Räumliche Verteilung der Objekte um FS52 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

7.38 FS53

Das Fossile System RX J1119.7+2126 wurde von Jones et al. [2003] als solches gemäß der heutigen Standarddefinition (siehe Abschnitt 2.2) identifiziert. Hierfür wurde die interne Bezeichnung FS53 vergeben. Der Name gemäß NED ist in Tabelle 7.12 enthalten.

Dieses FS befindet sich bei $z \sim 0.06$ und beinhaltet insgesamt nur neun Galaxien in seiner Umgebung (siehe Tabelle C.29 und Abbildung 7.132). Der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie beträgt $PA = 53^\circ$. Gemäß der Ausrichtung der E-Galaxie ordnen sich auch sechs der umgebenden Mitglieder an. Zwei Galaxien stellen eine Ausnahme dar. In der Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc befinden sich keine weiteren Galaxiensysteme. Der Galaxienhaufen NSC J112400+171604 besitzt eine ähnliche photometrisch bestimmte Rotverschiebung und liegt in einem projizierten Abstand von über 18 Mpc.

Die Flächenhelligkeitsanalyse zeigt keine Besonderheiten (siehe Abbildung 7.133). Im Zentralbereich der Galaxie bleibt die Elliptizität konstant, ebenso der Positionswinkel. Erst ab einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.1''$ ändern sich diese beiden Werte. Dies könnte auf eine eigene Sternkomponente hindeuten. Die B4-Werte sind über einen langen Bereich vom Zentrum ausgehend konstant bei 0, danach schwanken sie. Der B4-Median beträgt -0.0002 . Diese Galaxie ist als reine Ellipsenform einzustufen.

Die zentrale Elliptische Galaxie von FS53 liegt zwar im untersuchten Bereich der SDSS, allerdings liegt hierfür kein Spektrum vor.

Zusammenfassend lässt sich bei diesem Fossilen System feststellen, dass es in einer Umgebung mit extrem geringer Galaxiendichte liegt, siehe auch Unterabschnitt 3.3.1. Dennoch ist ein Zusammenhang in den Ausrichtungen der Galaxien und der Elliptischen Galaxie selbst zu erkennen. Die zentrale E-Galaxie zeigt keine Hinweise auf vergangene Wechselwirkungsvorgänge mit anderen Galaxien oder Kernaktivitäten.

Tabelle 7.12: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS53. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	RIXOS F123_005	169.93208	21.44528	0.1	0.0610	1.87

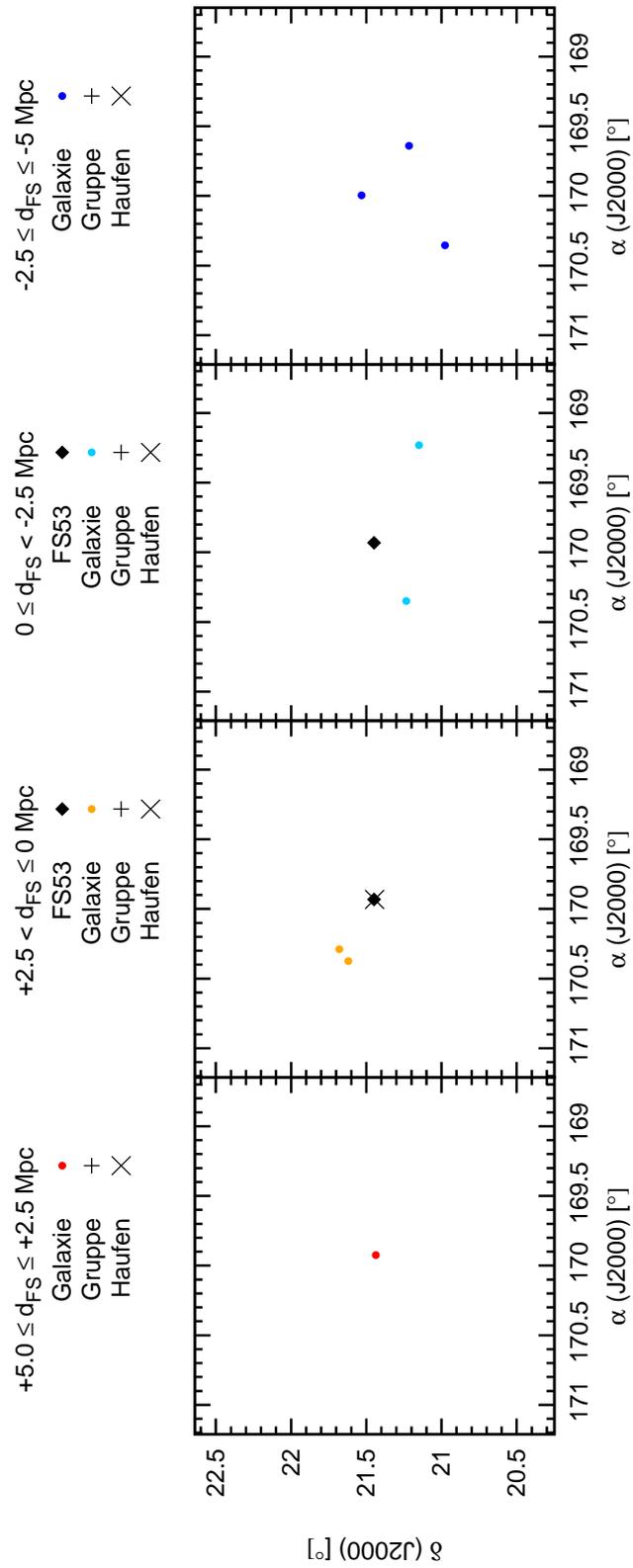


Abbildung 7.132: Räumliche Verteilung der Objekte um FS53 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

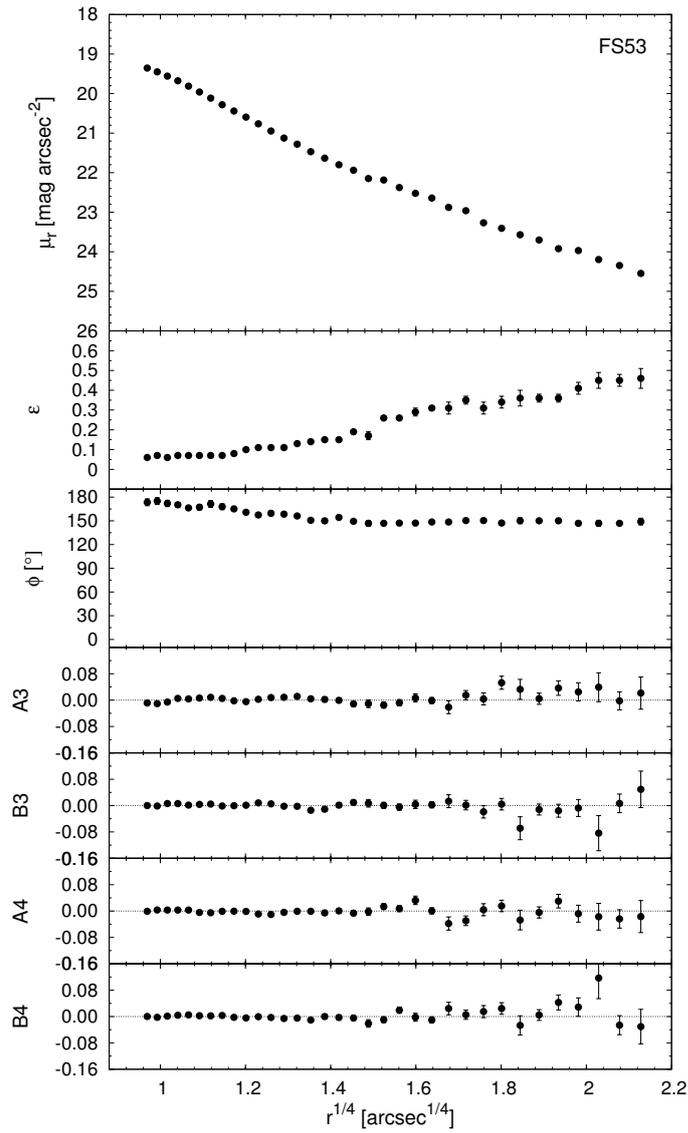


Abbildung 7.133: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS53.

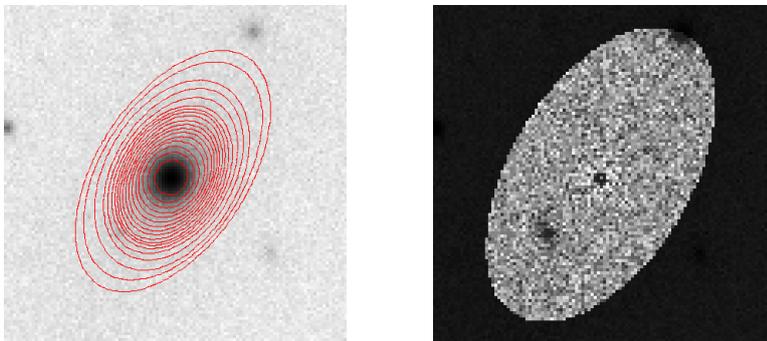


Abbildung 7.134: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS53 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.39 FS54

Das Galaxiensystem RX J1159.8+5531 wurde von Vikhlinin et al. [1999] als OLEG definiert (siehe Abschnitt 2.3). Die Bezeichnung dieses Galaxienhaufens gemäß NED ist in Tabelle 7.13 enthalten, die interne Bezeichnung lautet FS54. Díaz-Giménez et al. [2008] haben dieses Galaxiensystem als Fossiles System disqualifiziert, da das Zwei-Magnituden-Kriterium im R-Band nicht erfüllt ist. Die zweithellste Mitglieds-galaxie ist nur 1.6 mag schwächer.

Dieses System befindet sich bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.08$. In seiner Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc sind insgesamt 48 Galaxien enthalten (siehe Tabelle C.30 und Abbildung 7.135), die keine besondere Anordnung aufweisen. Die zentrale Elliptische Galaxie ist nahezu kreisförmig, erst in ihren Außenbereichen zeigt sie eine Elliptizität von 0.05. Daher ist auch der Positionswinkel wenig aussagekräftig. Er beträgt rechnerisch $PA = 75^\circ$ und zeigt erwartungsgemäß keine besondere Ausrichtung zu den umgebenden Galaxien. Der nächstgelegene Galaxienhaufen ABELL 1400 mit ähnlicher Rotverschiebung hat einem projizierten Abstand von 7 Mpc zum FS.

Die Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen Elliptischen Galaxie lässt eine photometrisch entkoppelte Kernkomponente vermuten (siehe Abbildung 7.136), da bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von 1.05" die Elliptizität fällt und der Positionswinkel ansteigt. Die B4-Werte sind in diesem Bereich signifikant anders als beim Rest der Galaxie, sie weisen deutlich negative Datenpunkte auf. Beim Hauptteil der Galaxie schwanken die B4-Werte um 0. Der B4-Median ergibt -0.0026 und definiert diese Galaxie als boxy Form.

Für diese Elliptische Galaxie ist in der SDSS ein Spektrum vorhanden, siehe Abbildung 7.138. Es zeigt Emissionslinien, die auf einen AGN schließen lassen.

Dieses Galaxiensystem gilt zwar nicht als Fossiles System, jedoch zeigt auch diese zentrale Elliptische Galaxie Anzeichen einer vergangenen Akkretion einer gasarmen Galaxie, da im Zentralbereich eine eigene Sternkomponente mit boxy Isophoten existiert. Die nukleare Kernaktivität lässt sich im Spektrum gut erkennen. Die Analyse der umgebenden Galaxien zeigt eine homogene Verteilung und eine hierzu passende kreisförmige zentrale Elliptische Galaxie.

Tabelle 7.13: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS54. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	MS 1157.3+5548	179.96412	55.53364	0.1	0.0810	0.62

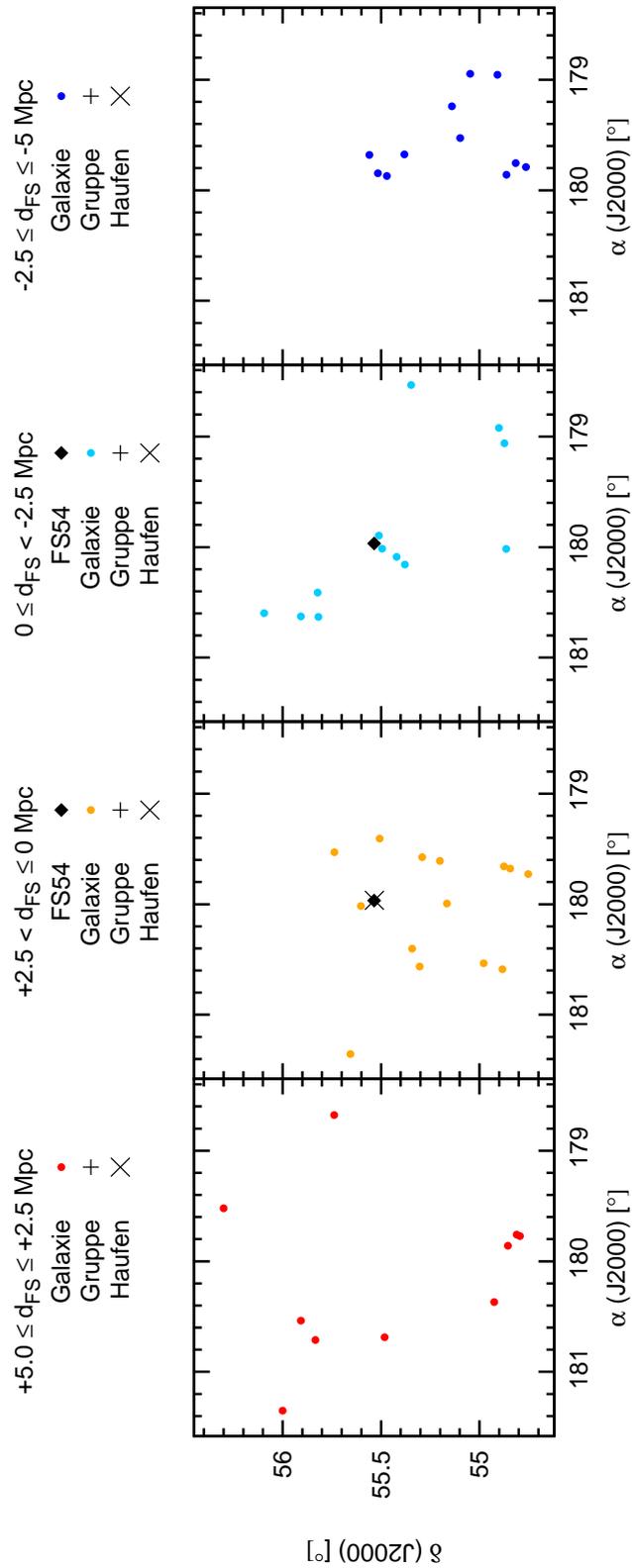


Abbildung 7.135: Räumliche Verteilung der Objekte um FS54 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

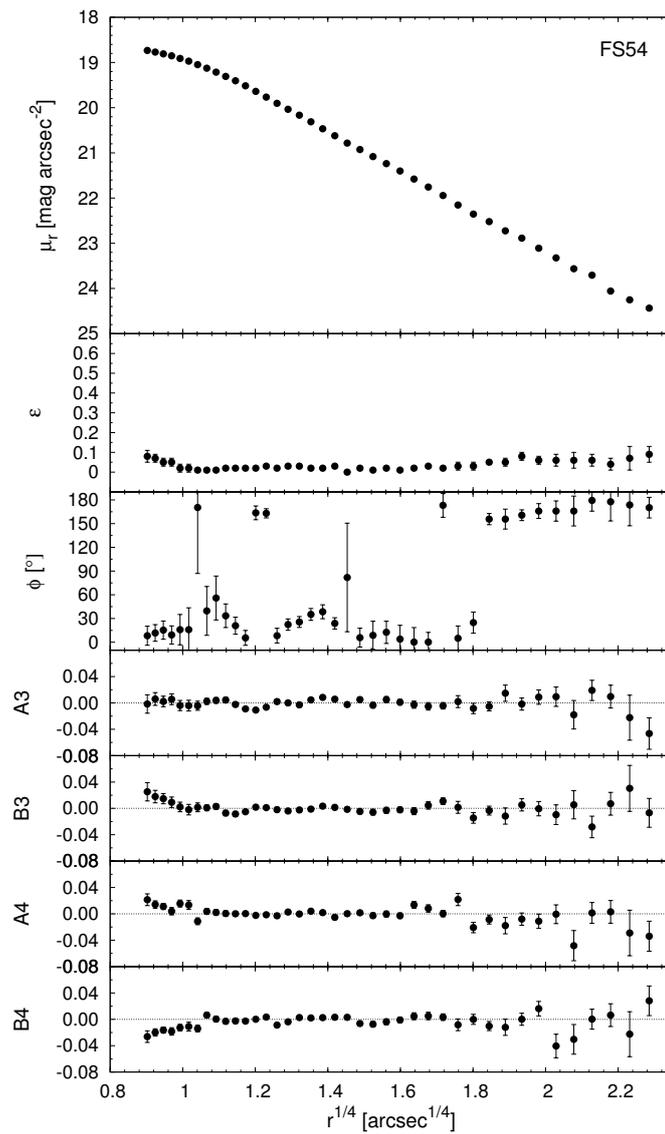


Abbildung 7.136: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS54.

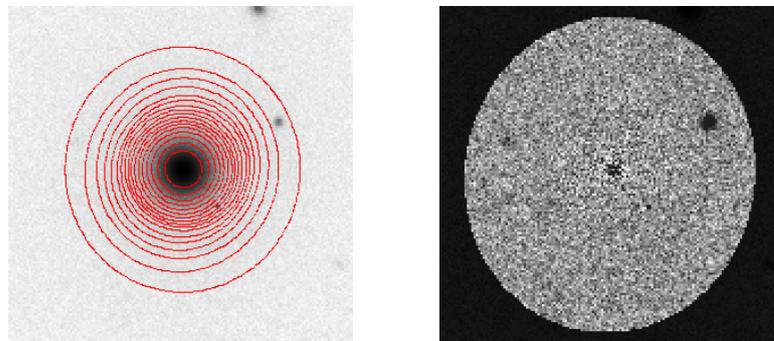


Abbildung 7.137: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS54 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

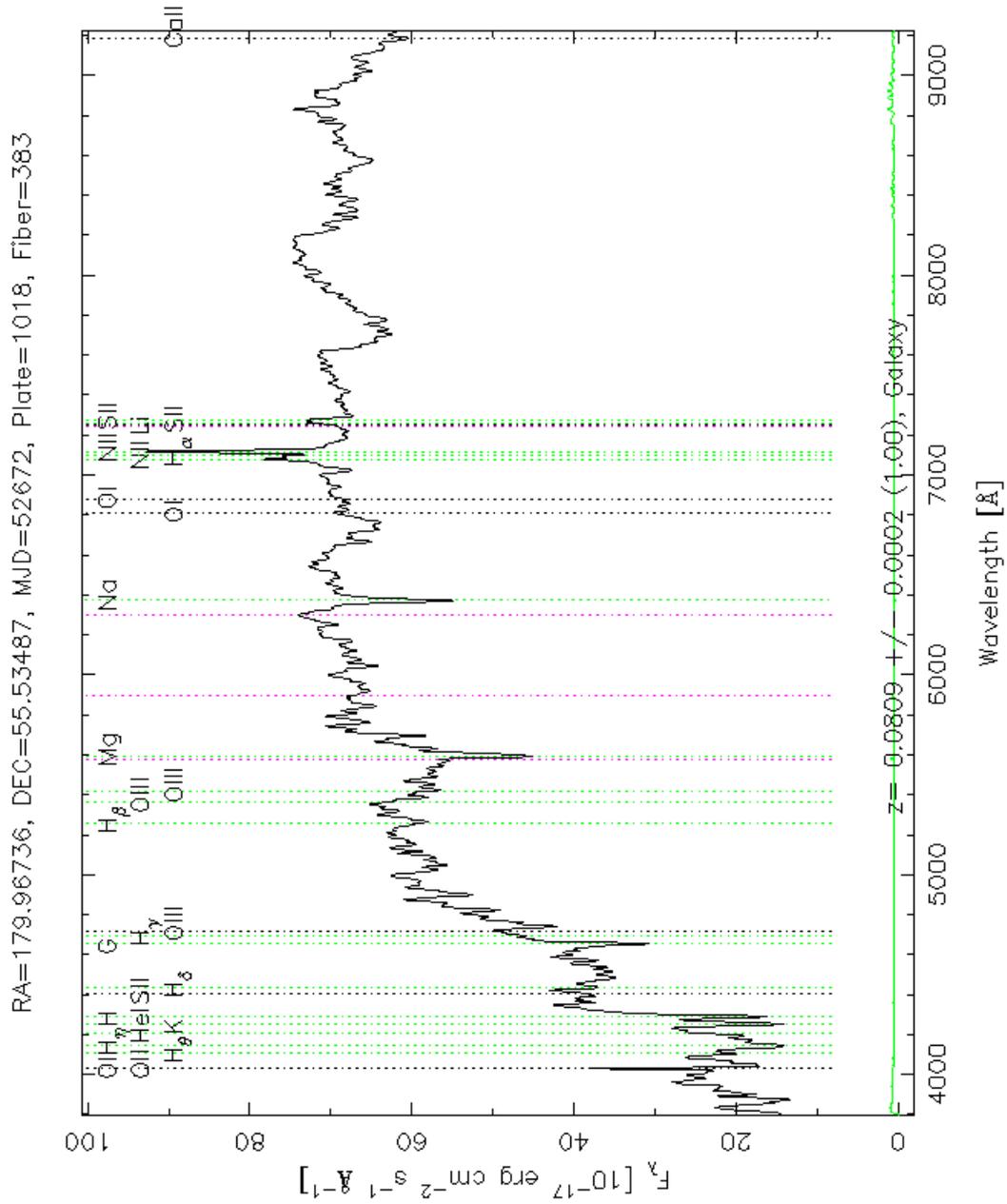


Abbildung 7.138: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS54.

7.40 FS55

Das Galaxiensystem CL 1205+44 wurde ursprünglich von Ulmer et al. [2005] als das entfernteste Fossile Galaxiensystem definiert, da es eine Rotverschiebung von $z \sim 0.59$ besitzt. Spätere Untersuchungen stellten jedoch eine Magnitudendifferenz von $\Delta m_{12} = 1.6$ mag fest und disqualifizierten dieses System somit als FS.

Da die zentrale Elliptische Galaxie aufgrund der hohen Entfernung sogar auf HST-Aufnahmen eine zu geringe räumliche Auflösung für eine Flächenhelligkeitsanalyse besitzt, musste hier auf eine Untersuchung verzichtet werden.

Die Analyse der Umgebung wäre aufgrund der erhöhten Rotverschiebung mit hohen z -Fehlerbalken behaftet gewesen und hätte falsche Ergebnisse geliefert. So befinden sich bekannte Mitglieder dieses Systems bereits in radialen Entfernungen von über 10 Mpc! Diese wären nach dem hier gewählten Radius von 5 Mpc nicht mehr als Mitglieder ausgewiesen worden.

Gemäß NED weist diese Galaxiengruppe eine zentrale Elliptische Galaxie auf, die morphologisch als D-Galaxie klassifiziert ist. Weiters befindet sich in einem Abstand von 0.3' eine Radioquelle.

7.41 FS56

Das von Jones et al. [2003] entdeckte Fossile System RX J1256.0+2556 ist mit der internen Nr. 56 versehen. In der zweiten Zeile von Tabelle 7.14 befindet sich der NED-Name für diesen Galaxienhaufen.

Dieses FS befindet sich bei einer erhöhten Rotverschiebung von $z \sim 0.23$. Es weist in seiner Umgebung nur insgesamt zehn Galaxien mit bekannter Rotverschiebung auf (siehe Tabelle C.31 und Abbildung 7.139). Betrachtet man die Verteilung der Galaxien, so sind diese gleichmäßig auf einen zentralen Bereich konzentriert. Entweder ist dieses Galaxiensystem wirklich isoliert im Raum oder es wurden nur für diese Galaxien Spektren bestimmt und zeigen somit ein verfälschtes Bild. Letzteres ist wahrscheinlicher, da ein zweiter Galaxienhaufen in der Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc existiert (siehe Tabelle 7.14 und zweites Diagramm von Abbildung 7.139). Obwohl die Galaxien homogen verteilt sind, weist die zentrale Elliptische Galaxie einen Positionswinkel von $PA = 69^\circ$ auf, der exakt in Richtung des benachbarten Galaxienhaufens ausgerichtet ist.

Die Flächenhelligkeitsanalyse ist geprägt vom Einfluss anderer naher Galaxien (siehe Abbildung 7.140 und Abbildung 7.141), da Schwankungen in der Flächenhelligkeit und Elliptizität vorkommen. Die B4-Werte sind bis auf den zentralen Bereich, der deutlich positive Werte aufweist, von negativen dominiert. Allerdings lässt sich hier keine zentrale Sternkomponente erkennen, die photometrisch entkoppelt sein könnte. Der B4-Median beträgt -0.0052 , damit handelt es sich um eine boxy Ellipse.

In der SDSS ist kein Spektrum von dieser Galaxie enthalten. In NED ist eine Radioquelle vermerkt, die sich in einem Abstand von $1.4'$ von der zentralen Elliptischen Galaxie befindet.

Die Analyse der Umgebung zeigt zusammenfassend eine Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie zu dem benachbarten Galaxienhaufen. Daten über die Verteilung der Galaxien sind unvollständig, wahrscheinlich aufgrund der erhöhten Rotverschiebung, daher kann hier keine Struktur erkannt werden. Die Elliptische Galaxie selbst zeigt keine Hinweise auf vergangene Wechselwirkungsvorgänge mit anderen Galaxien.

Tabelle 7.14: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS56. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	RX J1254.8+2550	193.72333	25.84861	16.5	0.2330	2.06
H	NSCS J125606+255746	194.02042	25.94778	0.6	0.2320	-1.75

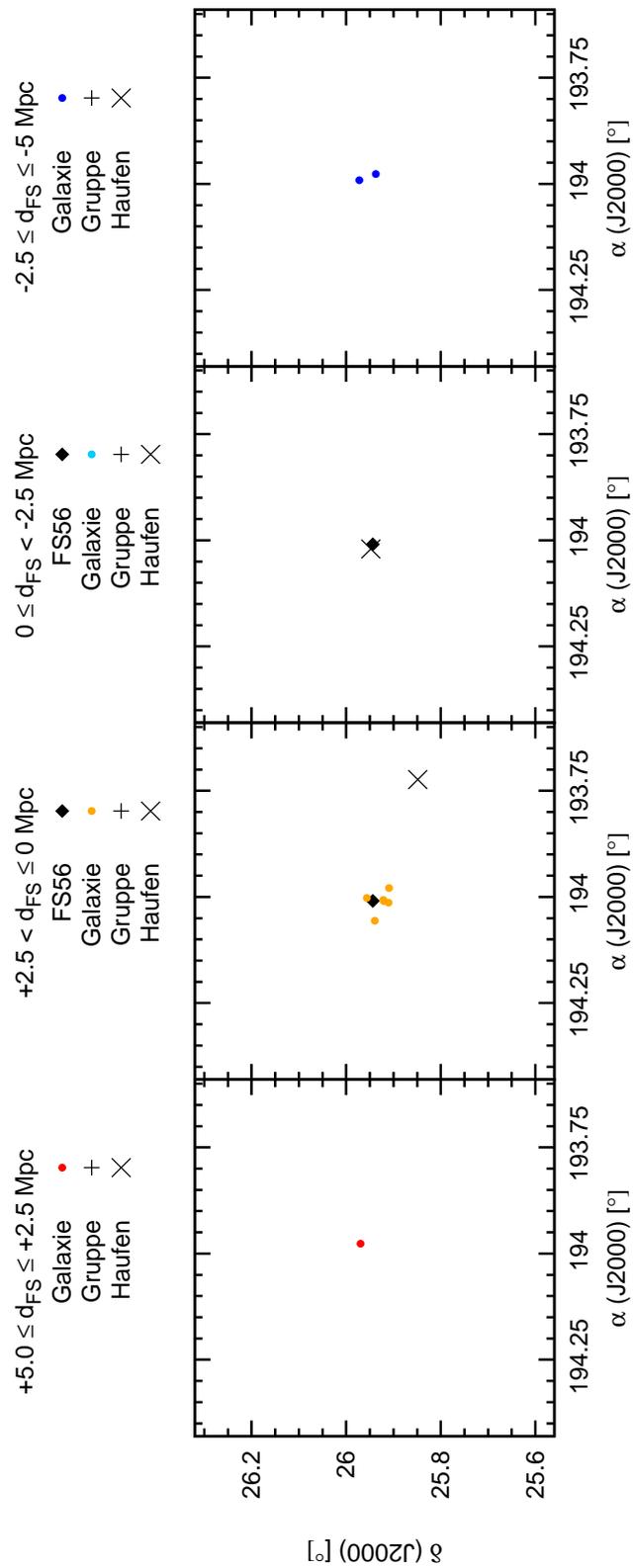


Abbildung 7.139: Räumliche Verteilung der Objekte um FS56 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

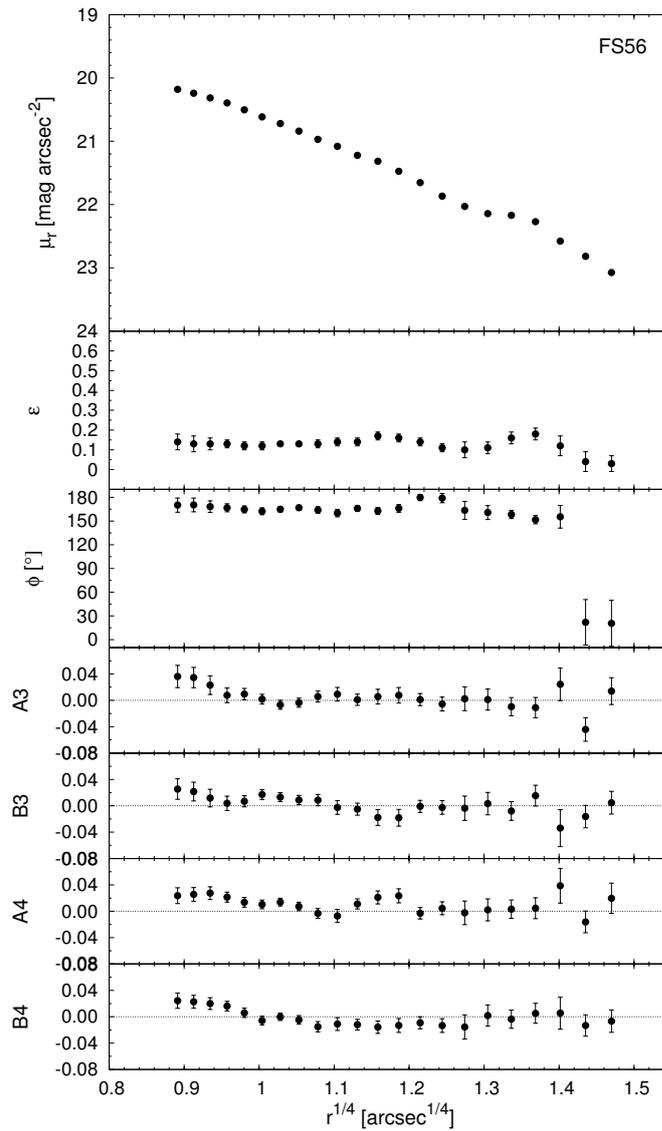


Abbildung 7.140: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS56.

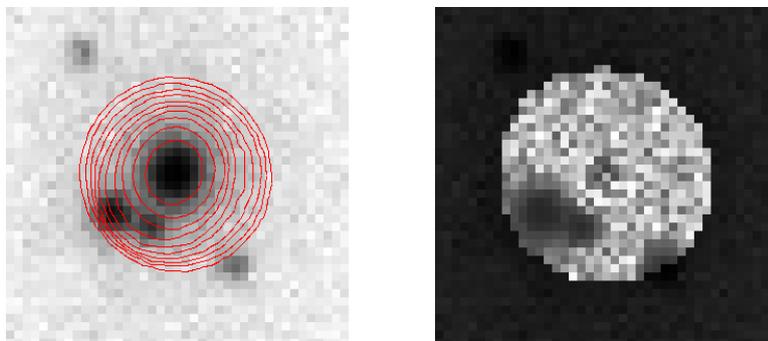


Abbildung 7.141: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS56 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.42 FS57

Dieses Fossile System RX J1331.5+1108 wurde ebenfalls von Jones et al. [2003] entdeckt. Die interne Bezeichnung lautet FS57.

Es befindet sich bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.08$ und besitzt in seiner Umgebung insgesamt 18 Galaxien mit spektroskopisch bestimmter Rotverschiebung (siehe Tabelle C.32 und Abbildung 7.142). Die Verteilung der Galaxien deuten eine ost-west Ausrichtung an, allerdings zeigt der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie mit $PA = 1^\circ$ genau das Gegenteil. In der Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc sind keine anderen Galaxiensysteme bekannt. Der nächstgelegene Galaxienhaufen mit photometrisch bestimmter Rotverschiebung in vergleichbarer Höhe ist NSC J134956+121425 mit einem projizierten Abstand von knapp 26 Mpc. Der Galaxiencluster ABELL 1728, der eine spektroskopisch bestimmte Rotverschiebung von $z \sim 0.09$ aufweist, befindet sich in einem projizierten Abstand von über 10 Mpc zum FS.

Die Flächenhelligkeitsanalyse ist frei von störenden Einflüssen, wie zB nahen Begleitern oder Hintergrundobjekten, siehe Abbildung 7.144. Daher stammen die Merkmale in der Flächenhelligkeit eindeutig von der Galaxie selbst (siehe Abbildung 7.143). Sie zeigt zwei verschiedene Komponenten. Die erste reicht bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.4''$, die zweite beginnt ab diesem Radius. Bis zu diesem Radius steigen sowohl die Elliptizität, als auch der Positionswinkel kontinuierlich an. Danach unterliegt die Elliptizität starken Schwankungen, der Positionswinkel bleibt in diesem Bereich konstant. Auch die B4-Werte zeigen getrennte Trends. Im inneren Bereich schwanken sie leicht um den Wert 0, danach bewegen sie sich volatil in beide Extreme. Der B4-Median ergibt 0.0020, daher ist diese Galaxie global betrachtet diskus.

Ein Spektrum von dieser Galaxie existiert nicht in der SDSS. In NED sind jedoch zahlreiche Informationen vorhanden. Unter Klassifikation finden sich gleich zwei Einträge, nämlich Seyfert 2 und LINER. Weiters weist diese E-Galaxie Radioemission auf, siehe auch Unterabschnitt 3.2.1.

Die Analyse der Umgebung zeigt bei diesem Fossilen System einen leichten Trend zu einem ost-west Filament in der Verteilung der Galaxien, allerdings ist die zentrale Elliptische Galaxie im rechten Winkel dazu ausgerichtet. Die E-Galaxie besitzt eine relativ große zentrale photometrisch entkoppelte Sternkomponente. Dies und die vorherrschende nukleare Aktivität sind Merkmale vergangener Wechselwirkungsvorgänge mit anderen Galaxien. Hinweise auf Akkretion eines gasreichen Begleiters sind durch diskus Isophoten gegeben.

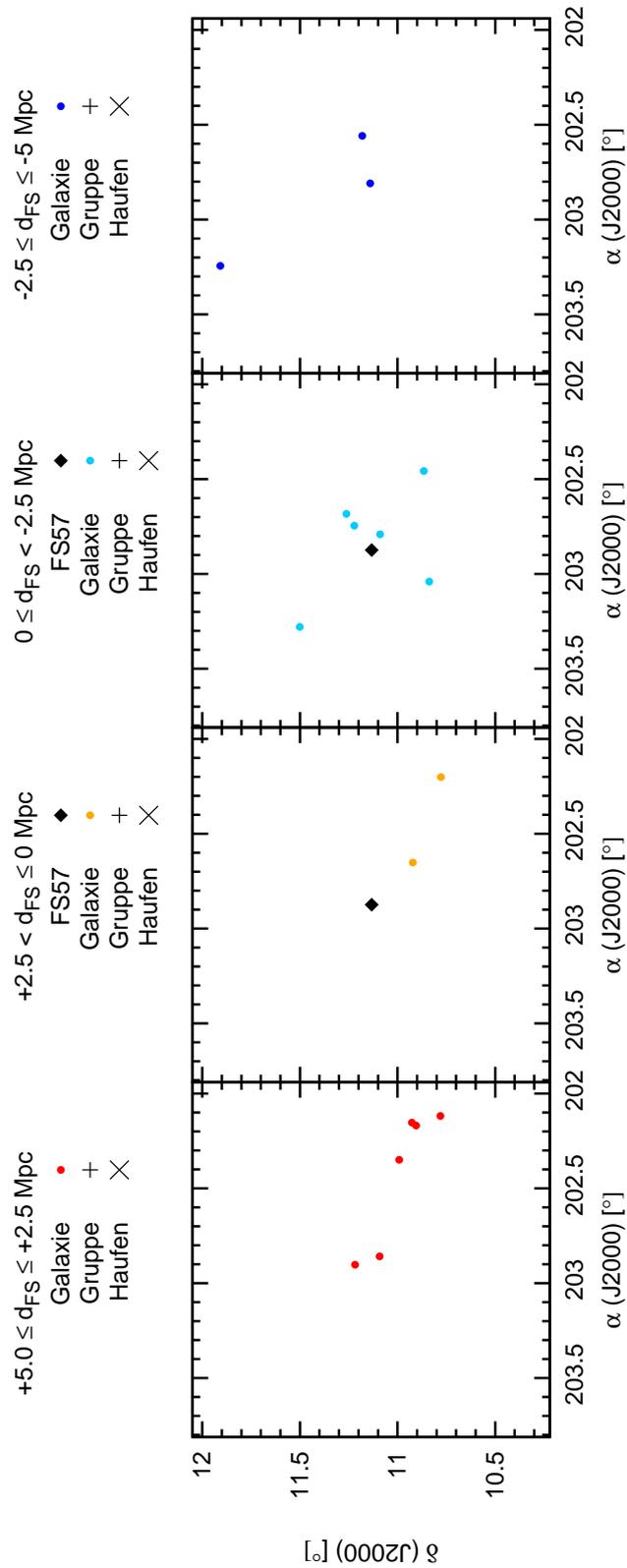


Abbildung 7.142: Räumliche Verteilung der Objekte um FS57 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

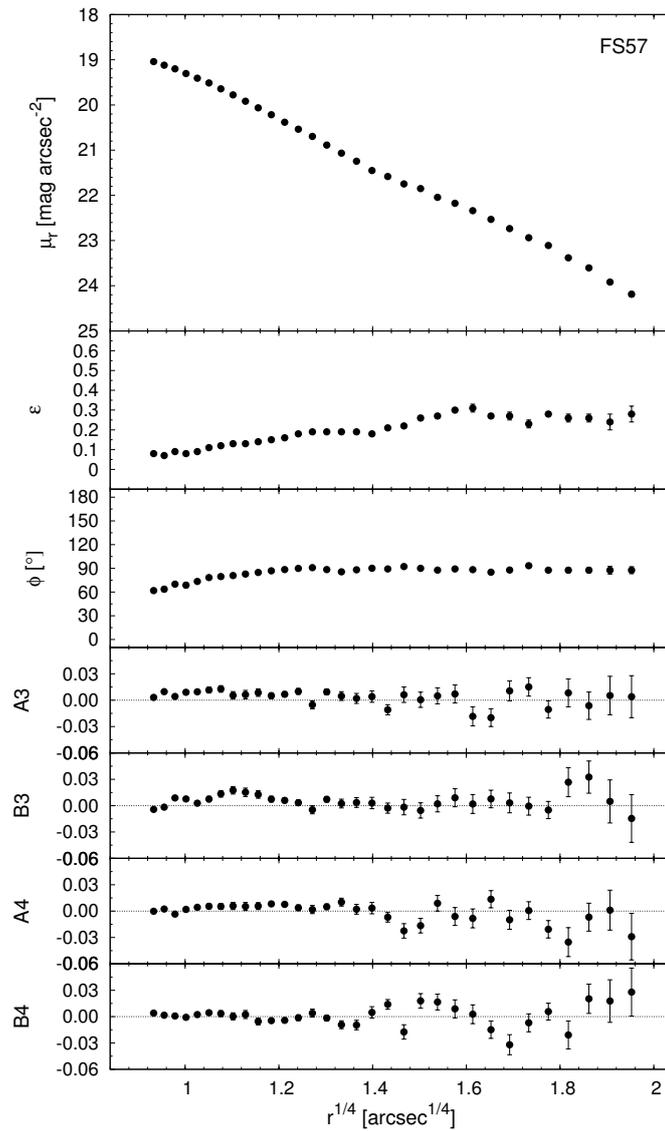


Abbildung 7.143: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS57.

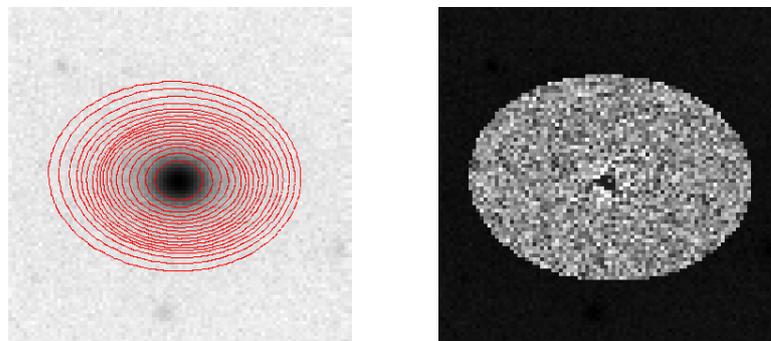


Abbildung 7.144: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS57 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.43 FS58

Die Galaxiengruppe RX J1340.6+4018 ist die erste Gruppe, die als „fossil“ bezeichnet wurde [Ponman et al., 1994], siehe auch Abbildungen 2.1 und 2.2. Vikhlinin et al. [1999] definierte sie als OLEG. Die interne Bezeichnung für dieses Fossile System lautet FS58. Es befindet sich bei $z \sim 0.17$ und zählt in seiner Umgebung insgesamt nur sechs Galaxien (siehe Tabelle C.33 und Abbildung 7.145). Es sind auch keine anderen Galaxiensysteme bekannt. Die in Tabelle 7.15 aufgelistete Galaxiengruppe ist das Fossile System selbst. Der benachbarte Galaxienhaufen ABELL 1774 zeigt eine vergleichbare Rotverschiebung wie das FS und einen projizierten Abstand von nur ca. 3 Mpc. Es wäre möglich, dass sich dieser Galaxienhaufen innerhalb der Fehlerbalken doch in der 5 Mpc-Radius Umgebung um das FS befindet. Die Verteilung der wenigen Galaxien zeigt keine Auffälligkeiten, ebensowenig die Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie mit einem Positionswinkel von $PA = 19^\circ$.

Das Residuenbild der Elliptischen Galaxie zeigt Stellen mit leichten Lichtüberschüssen (siehe Abbildung 7.147, rechts). Diese könnten Einfluss auf die Flächenhelligkeitsanalyse genommen haben (siehe Abbildung 7.146). Betrachtet man die Flächenhelligkeit und die Elliptizität, so scheint diese Galaxie auch aus zwei unterschiedlichen Komponenten zu bestehen, die ihre Trennung bei einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.405''$ zeigen. In den Werten des Positionswinkels ist allerdings nichts zu erkennen. Hier zeigt sich eher eine zentrale photometrisch entkoppelte Sternkomponente, die bis zu einem $r^{1/4}$ -Radius von $1.05''$ reicht, da in diesem Bereich der Positionswinkel abnimmt und die Elliptizität gleichbleibt. Die B4-Werte schwanken sowohl in den positiven, als auch in den negativen Bereich. Der B4-Median beträgt -0.0040 und definiert diese Galaxie daher als boxy.

Im Rauschen des Spektrums der Elliptischen Galaxie könnte eine leichte Emissionslinie bei [N II] bei einer Wellenlänge von ca. 7670 \AA versteckt sein (siehe Abbildung 7.148). Die Radioquelle an der Position der Elliptischen Galaxie würde dies untermauern, siehe Unterabschnitt 3.2.1.

Zusammenfassend betrachtet, zeigt die Analyse der Umgebung aufgrund der wenigen Daten keine Besonderheiten. Es ist bekannt, dass die Elliptische Galaxie und ihr Röntgenhalo dieselbe Elliptizität und Ausrichtung aufweisen, siehe Unterabschnitt 3.2.3. Die E-Galaxie besteht aus zwei oder drei verschiedenen Sternkomponenten, wobei nur die zentralste photometrisch entkoppelt ist. Die boxy Form lässt auf vergangene Akkretionsvorgänge gasarmer Galaxien schließen. Es gibt nur schwache Hinweise auf nukleare Aktivität der Elliptischen Galaxie.

Tabelle 7.15: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS58. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
G	RX J1340.5+4017	205.13917	40.29667	0.2	0.1710	-3.36

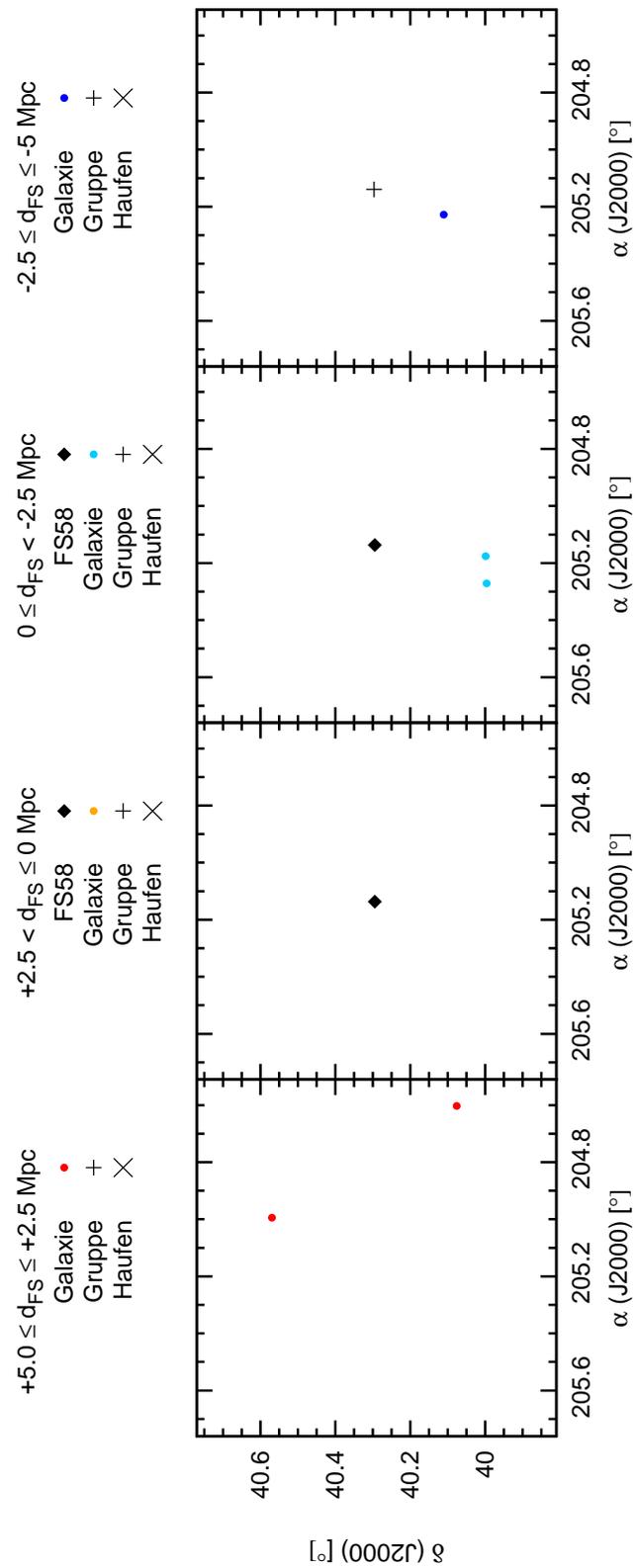


Abbildung 7.145: Räumliche Verteilung der Objekte um FS58 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

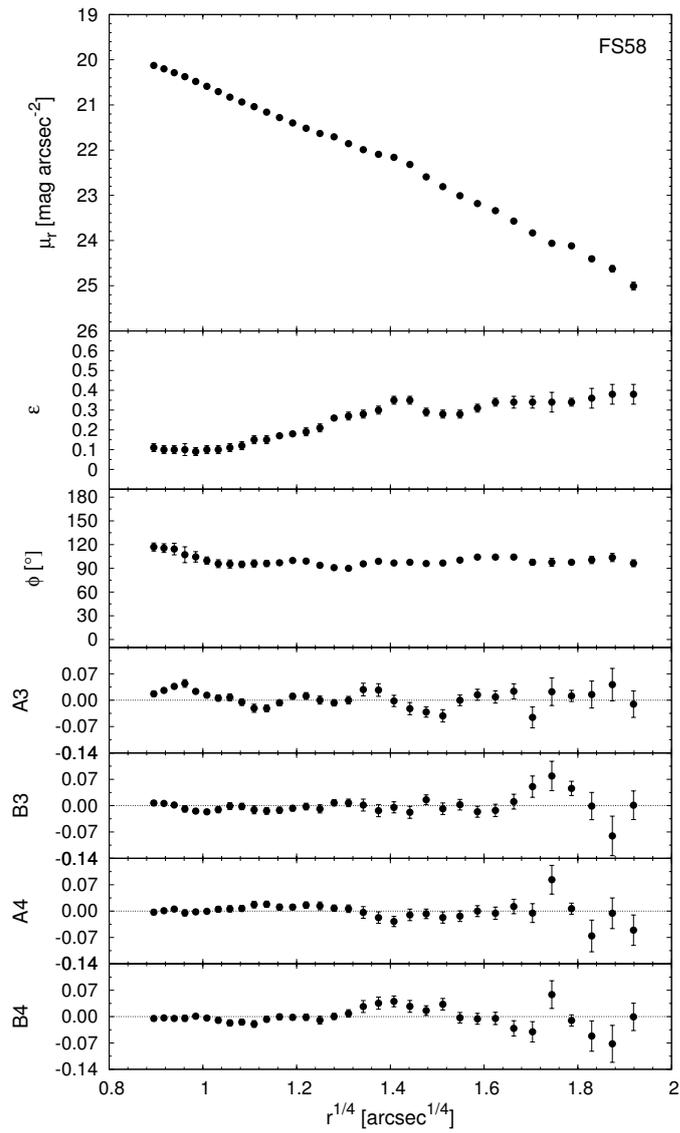


Abbildung 7.146: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS58.

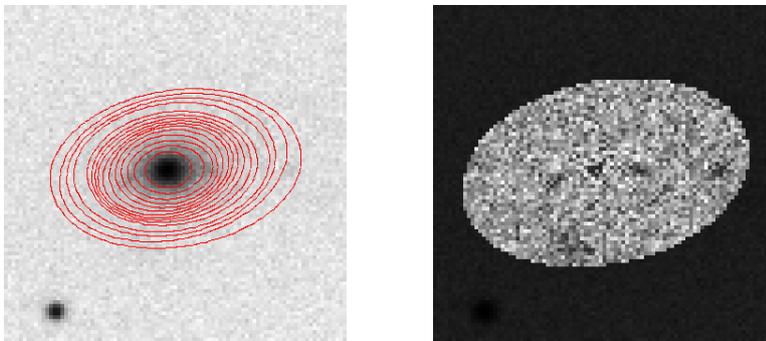


Abbildung 7.147: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS58 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

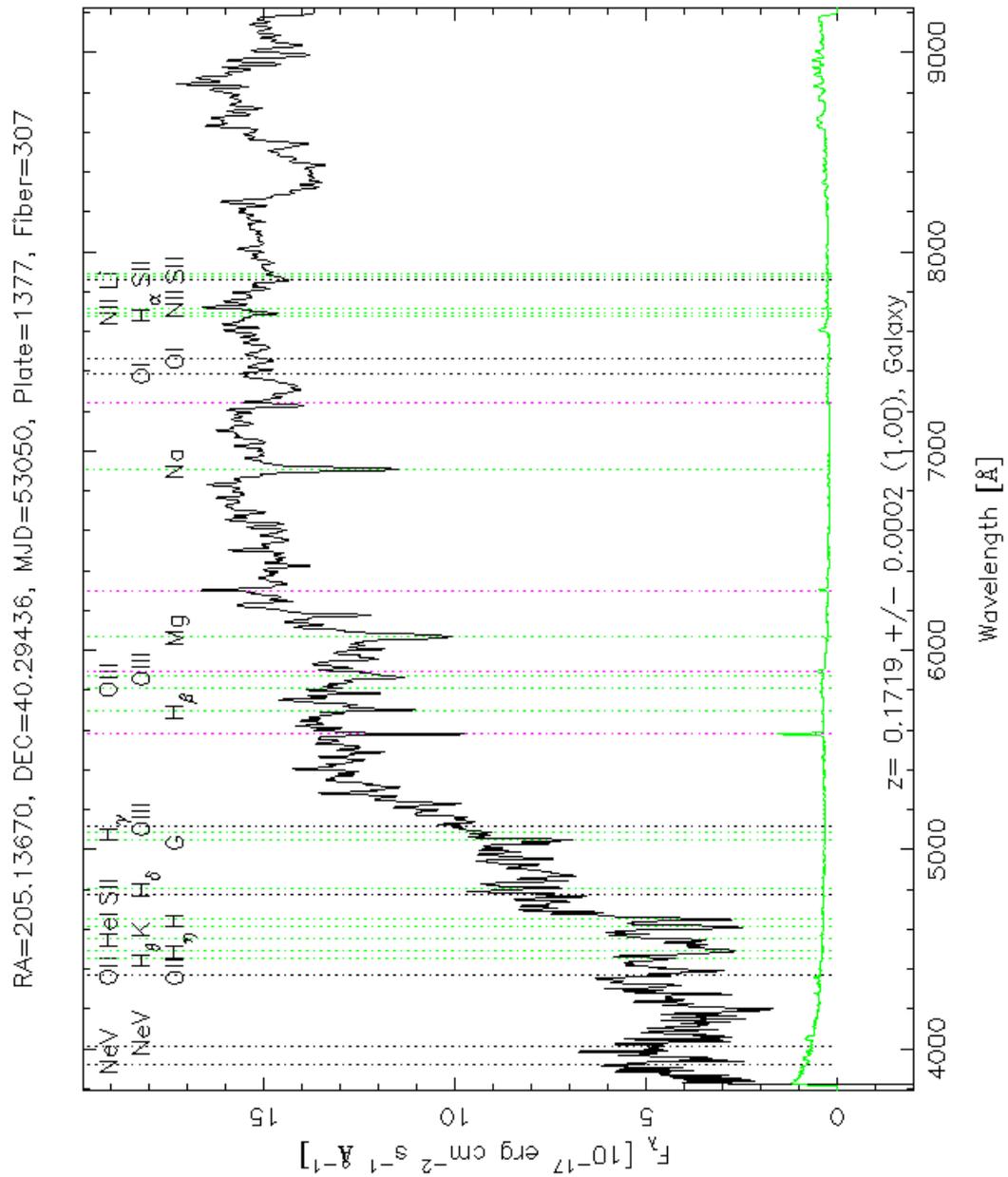


Abbildung 7.148: SDSS Spektrum der zentralen Elliptischen Galaxie des FS58.

7.44 FS59

Das Fossile System RX J1416.4+2315 ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Es wurde von Jones et al. [2003] gemäß ihrer Definition entdeckt. Es wird hier mit der internen Nr. 59 angegeben.

FS59 weist eine Rotverschiebung von $z \sim 0.14$ auf. In seiner Umgebung sind insgesamt nur drei Galaxien mit spektroskopisch gemessener Rotverschiebung katalogisiert (siehe Tabelle C.34 und Abbildung 7.149). Der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie mit $PA = 98^\circ$ zeigt in die Richtung der nächsten Begleitgalaxie. Es existieren keine anderen Galaxiensysteme in der Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc. Der in Tabelle 7.16 angegebene Galaxienhaufen ist das FS selbst. Der nächstgelegene Galaxienhaufen ABELL 1880 mit ähnlicher Rotverschiebung zeigt einen projizierten Abstand von knapp 10 Mpc.

Die Flächenhelligkeitsanalyse zeigt keine Besonderheiten (siehe Abbildung 7.150). Kleine Schwankungen in den Werten sind wahrscheinlich durch die Kontamination von anderen Lichtquellen verursacht, siehe Residuenbild in Abbildung 7.151, rechts. Der Positionswinkel steigt im zentralen Bereich deutlich an, jedoch könnten diese Werte aufgrund des unvollständigen Maskierungsvorgangs der kernnahen Lichtquelle verursacht worden sein. Die B4-Werte schwanken um den Wert 0, sie sind allerdings eher positiv. Der B4-Median beträgt daher 0.0057 und klassifiziert diese Galaxie als *disky*.

Es existiert kein SDSS-Spektrum für diese Galaxie. Gemäß NED gilt die zentrale Elliptische Galaxie als BL Lacertae-Kandidat. Die Existenz einer Radioquelle an der Position der Elliptischen Galaxie ist bekannt, siehe Unterabschnitt 3.2.1.

Eine Analyse der Umgebung ist hier aufgrund der wenigen Daten nicht möglich. Aus der Literatur ist bekannt, dass die Ausrichtung der Röntgenemission und der E-Galaxie selbst übereinstimmen, siehe Unterabschnitt 3.2.3. Die zentrale Elliptische Galaxie weist eine hohe Elliptizität von 0.5 im Außenbereich auf und ist eindeutig von einer *disky* Form geprägt, die auf vergangene gasreiche Akkretionen schließen lassen. Anzeichen für photometrisch entkoppelte Sternkomponenten sind in der Flächenhelligkeitsanalyse nicht mehr zu finden. Die nukleare Aktivität dieser Galaxie ist aus der Literatur bestätigt.

Tabelle 7.16: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS59. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	WARP J1416.4+2315	214.10833	23.25639	0.3	0.1380	0.00

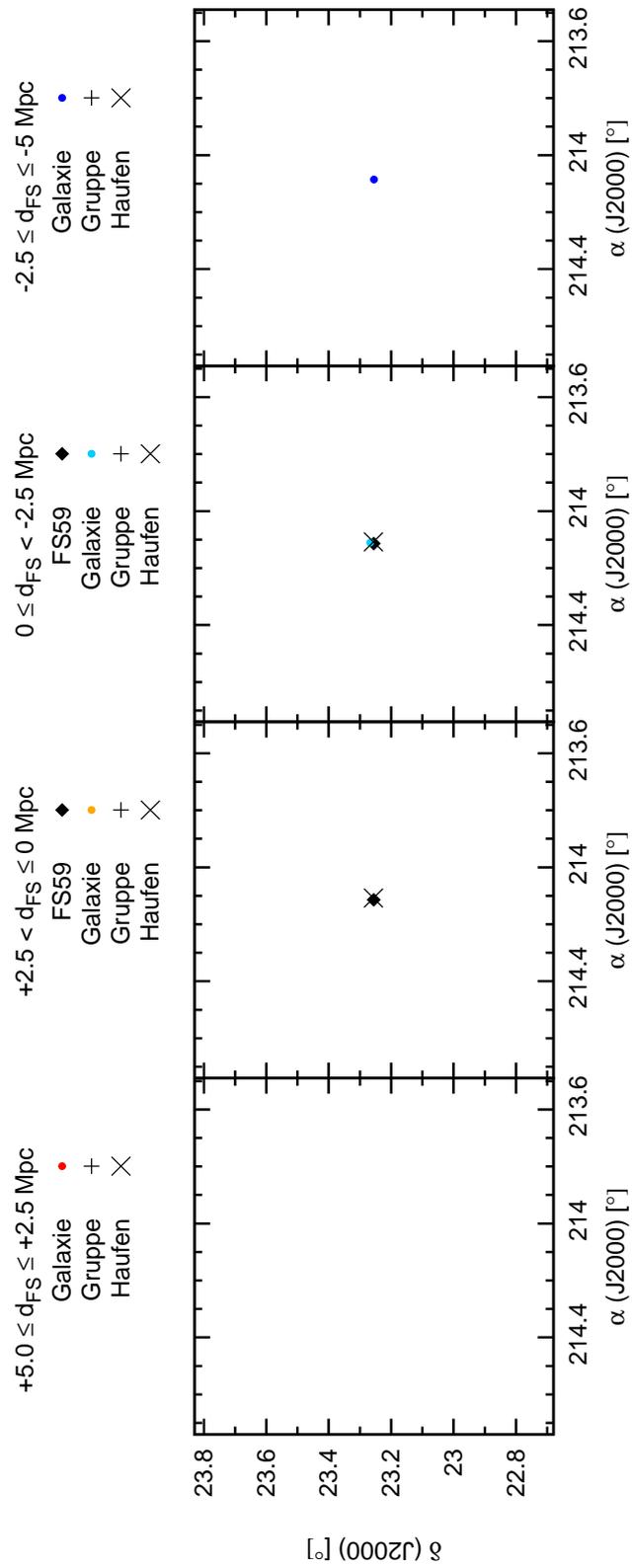


Abbildung 7.149: Räumliche Verteilung der Objekte um FS59 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

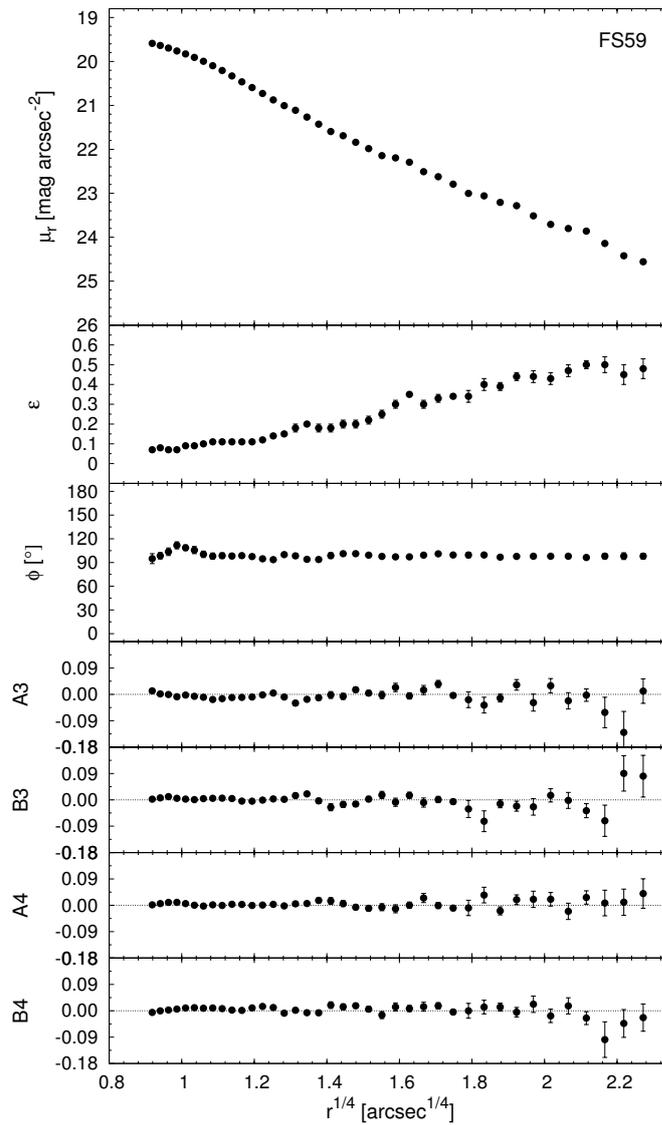


Abbildung 7.150: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS59.

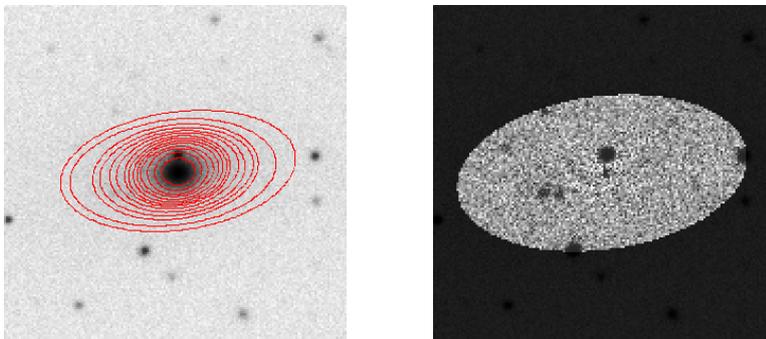


Abbildung 7.151: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS59 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.45 FS60

Das Galaxiensystem RX J1552.2+2013 mit der internen Nr. 60 ist ebenfalls von Jones et al. [2003] entdeckt worden. Allerdings gilt es heute nicht mehr als Fossiles System, da die Differenz zwischen der hellsten und der zweithellsten Galaxie im *i*-Band gemäß Zibetti et al. [2009] nur 1.2 mag beträgt.

Dieses System befindet sich bei $z \sim 0.14$. In der Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc sind insgesamt acht Galaxien bekannt (siehe Tabelle C.35 und Abbildung 7.152), die sich alle auf einen kleinen Bereich um die zentrale Elliptische Galaxie konzentrieren. Die Verteilung ist eher homogen. Dazu passend zeigt die Elliptische Galaxie eine geringe Elliptizität von ca. 0.15 mit einem Positionswinkel von $PA = 19^\circ$, der keine bevorzugte Richtung einnimmt. In der Umgebung sind keine weiteren Galaxiensysteme bekannt, in Tabelle 7.17 ist das System selbst aufgelistet. Der Galaxienhaufen NSC J155738+220632 weist nur eine photometrisch bestimmte Rotverschiebung auf. Als benachbarter Cluster mit ähnlicher Rotverschiebung befindet er sich bereits in einem projizierten Abstand von ca. 20 Mpc.

Die Flächenhelligkeitsanalyse zeigt keine Besonderheiten (siehe Abbildung 7.153). Sowohl die Elliptizität als auch der Positionswinkel zeigen keine signifikanten Veränderungen. Der B4-Wert ist meist positiv, somit ergibt sich auch der B4-Median mit 0.0069. Diese Galaxie ist eindeutig *disky*, was eher ungewöhnlich für eine Galaxie mit geringer Elliptizität ist. Aus der Literatur ist der morphologische Typ als *cD*-Galaxie bekannt, siehe Unterabschnitt 3.2.2.

Für diese Elliptische Galaxie ist kein Spektrum in der SDSS vorhanden.

Zusammenfassend ergeben sich bei diesem Galaxiensystem keine Besonderheiten in der Umgebungsanalyse. Die zentrale Elliptische Galaxie zeigt bis auf ihre deutliche *disky* Form auch keine Anzeichen vergangener Wechselwirkungsvorgänge mit anderen Galaxien.

Tabelle 7.17: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS60. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	WARP J1552.2+2013	238.05125	20.22917	0.4	0.1360	0.00

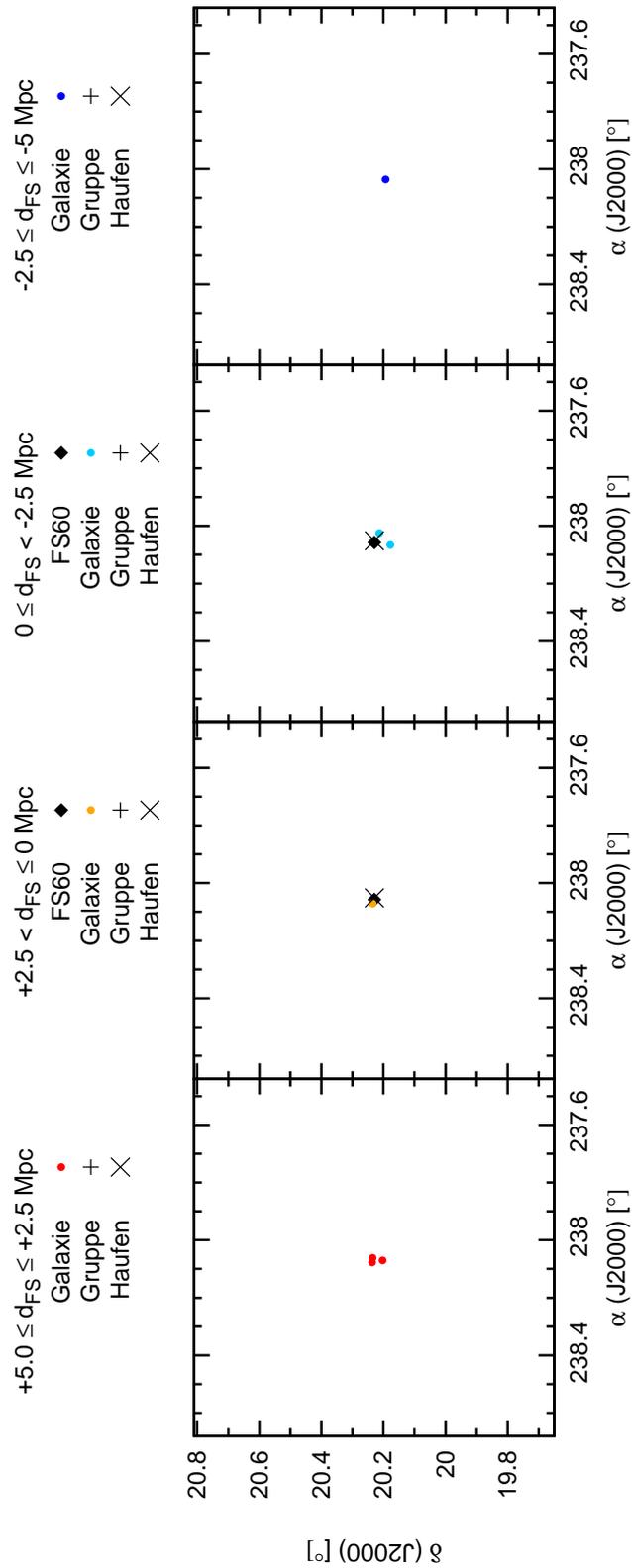


Abbildung 7.152: Räumliche Verteilung der Objekte um FS60 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

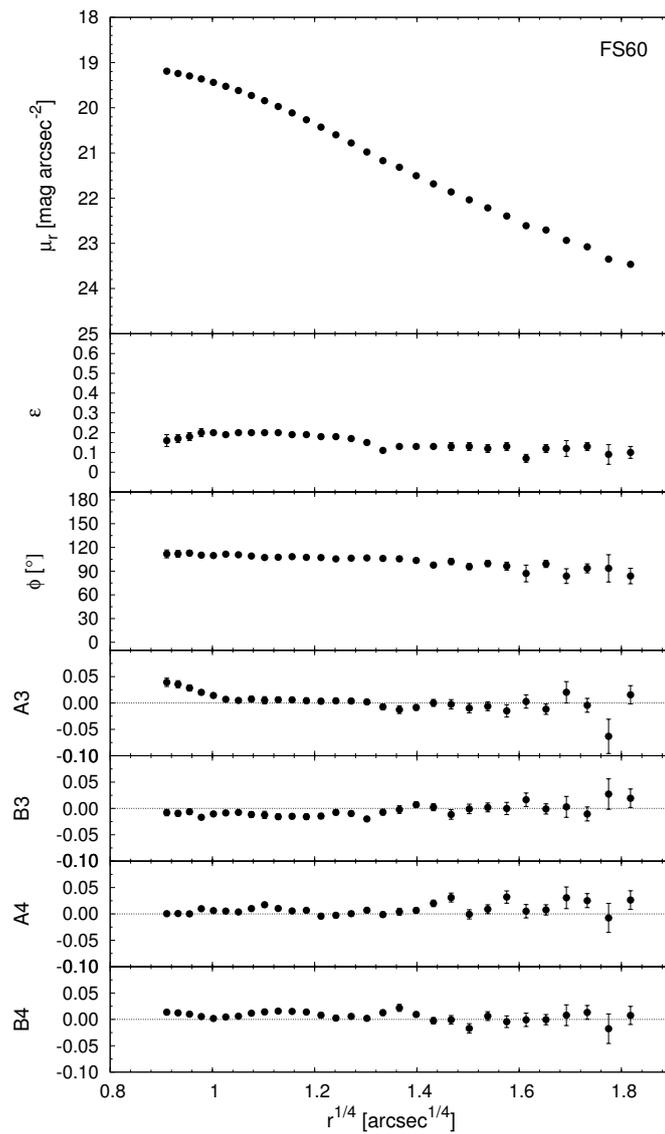


Abbildung 7.153: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS60.

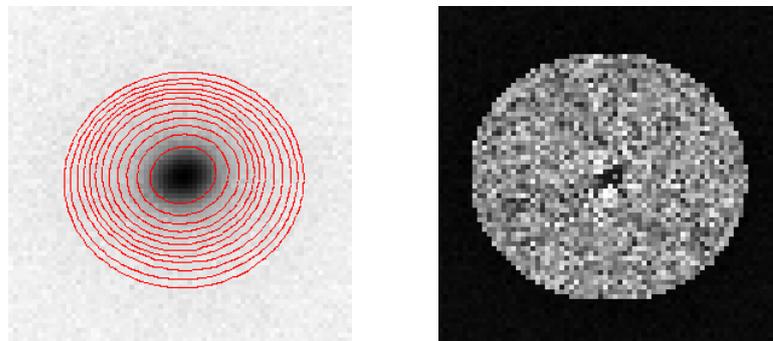


Abbildung 7.154: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS60 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.46 FS61

Die von Yoshioka et al. [2004] definierte IOLEG mit der Bezeichnung NGC 6034 ist mit der internen Nr. 61 versehen. Auch dieses Galaxiensystem wurde als Fossiles System disqualifiziert, da Díaz-Giménez et al. [2008] eine Magnitudendifferenz von 1.07 mag im R-Band gemessen haben.

Dieses System ist relativ nahe. Es weist eine geringe Rotverschiebung von $z \sim 0.03$ auf und beinhaltet daher in seiner Umgebung 130 Galaxien mit bekannter Rotverschiebung (siehe Tabelle C.36 und Abbildung 7.155). Betrachtet man die Verteilung aller Galaxien, so zeigen diese einen deutlichen nord-süd Trend, ebenso wie drei der bekannten Galaxiensysteme in diesem Bereich (siehe Tabelle 7.18). Ein Galaxienhaufen stellt eine Ausnahme dar, an seiner Position befinden sich auch keine Galaxien. Der Positionswinkel der zentralen Elliptischen Galaxie mit $PA = 71^\circ$ folgt nicht der nord-süd Ausrichtung, sondern eher dem lokalen Filament, das eine Ausrichtungsachse von ca. 40° besitzt. Betrachtet man die allerengsten Begleiter, so zeigt die Ausrichtung der E-Galaxie volle Übereinstimmung zu den eher ost-west angeordneten Galaxien.

Die Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen Elliptischen Galaxie zeigt im Flächenhelligkeitsprofil zwei unterschiedliche Steigungen im Helligkeitsabfall (siehe Abbildung 7.156 und Abbildung 6.1). Entweder handelt es sich um zwei verschiedene Komponenten oder diese Galaxie besitzt einen deutlichen Lichtüberschuss in ihrem Außenbereich, der auf eine cD-Morphologie hindeuten würde, allerdings ist in der Literatur diesbezüglich nichts erwähnt. Die B4-Werte sind meist negativ, der B4-Median beträgt -0.0029 . Diese Galaxie ist als boxy Form einzuordnen.

Das Spektrum der Elliptischen Galaxie zeigt sehr schwache Emissionslinien (siehe Abbildung 7.158), die auf einen AGN schließen lassen. Diese Galaxie ist lt. NED auch Radioquelle.

Zusammenfassend zeigt dieses Galaxiensystem einen Zusammenhang zwischen der Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie und ihrer nächsten Mitglieder. Die Entstehung der Elliptischen Galaxie mit ihrer boxy Form könnte durch einen Mergingvorgang zweier vergleichbar großer Galaxien hervorgerufen worden sein, da diese Galaxie gemäß Flächenhelligkeitsprofil aus einer Bulge- und einer Scheibenkomponente zu bestehen scheint. Hinweise auf nukleare Aktivität sind vorhanden.

Tabelle 7.18: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS61. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	ABELL 2147	240.57157	15.89536	80.2	0.0350	4.72
H	CAN 160	239.57500	18.06667	91.2	0.0349	4.46
G	WBL 604	240.94016	17.23027	3.7	0.0345	2.57
G	ARP 324	240.55146	15.92250	78.9	0.0343	1.77

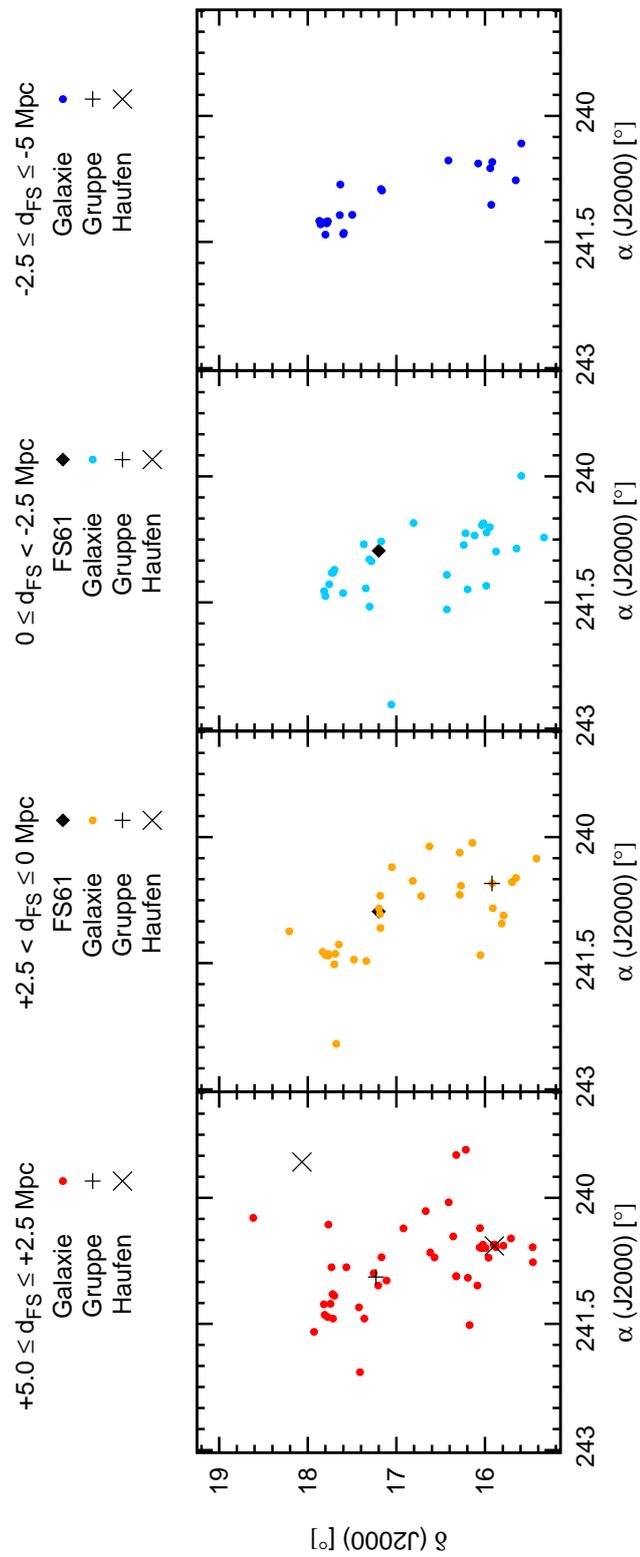


Abbildung 7.155: Räumliche Verteilung der Objekte um FS61 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

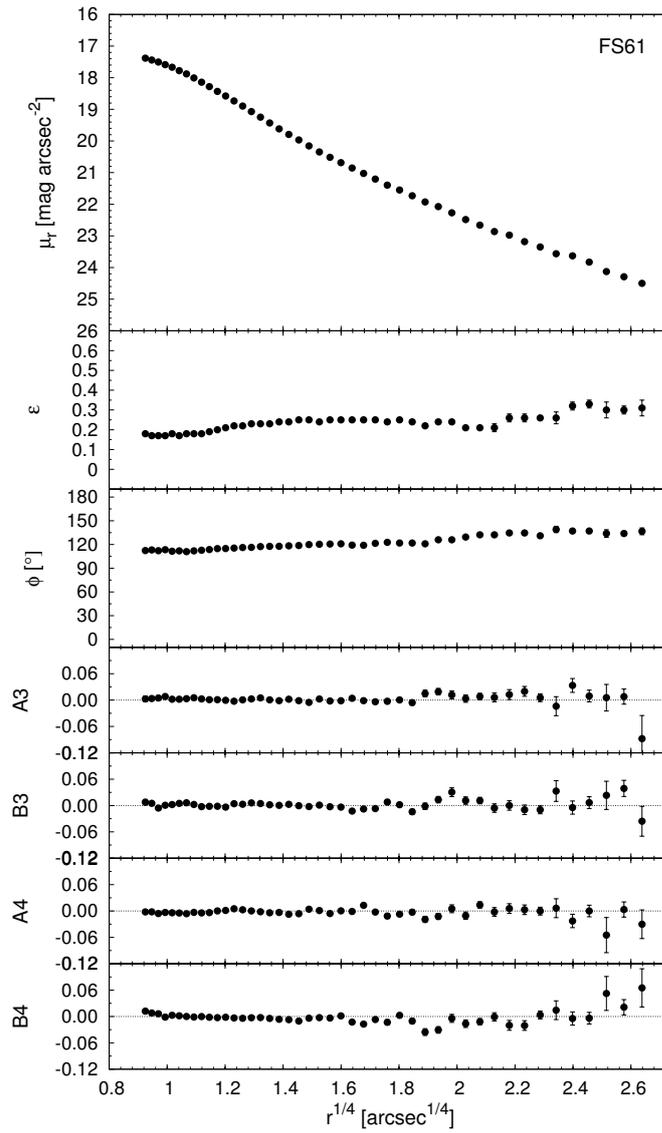


Abbildung 7.156: Flächenhelligkeitsanalyse der zentralen E-Galaxie des FS61.

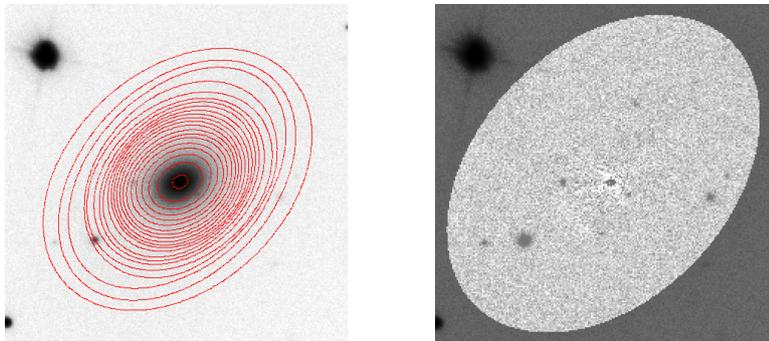


Abbildung 7.157: SDSS r-Band Aufnahme der Elliptischen Galaxie des FS61 (links) überlagert mit Konturen des Galaxienmodells (rot), Residuenbild (rechts).

7.47 FS62

Das Fossile System mit der internen Nr. 62 wurde von Khosroshahi et al. [2004] entdeckt. Mit NGC 6482 handelt es sich um das nächste bekannte FS bei einer Rotverschiebung von nur $z \sim 0.01$.

In seiner Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc sind insgesamt nur elf Galaxien mit spektroskopisch bestimmter Rotverschiebung bekannt (siehe Tabelle C.37 und Abbildung 7.159). Es existieren auch keine weiteren Galaxiengruppen oder Haufen in diesem Bereich. Die benachbarte Galaxiengruppe VV 623 weist eine vergleichbare Rotverschiebung auf. Ihr projizierter Abstand beträgt nur ca. 4.2 Mpc. Daher wäre es möglich, dass diese Galaxiengruppe innerhalb der Fehlerbalken doch zu der näheren Umgebung um FS62 zählt. Ähnlich verhält es sich mit dem nächstgelegenen Galaxienhaufen UGCl 436, der eine leicht geringere Rotverschiebung besitzt. Sein projizierter Abstand beläuft sich ebenfalls auf ca. 4.3 Mpc.

Über die Lage der Elliptischen Galaxie in Bezug zu ihren umgebenden Mitgliedern kann leider keine Aussage getroffen werden, da dieses FS außerhalb der SDSS liegt und daher keine Flächenhelligkeitsanalyse mit Bestimmung des Positionswinkels vorgenommen werden konnte. Allerdings wurden von Khosroshahi et al. [2006b] die Bestimmung des B4-Parameters für diese Galaxie vorgenommen. NGC 6482 zeigt sich deutlich diskly.

Gemäß NED ist die zentale Elliptische Galaxie als LINER klassifiziert. Aus der Literatur ist bekannt, dass diese Galaxie auch Radioemission aufweist, siehe Unterabschnitt 3.2.1.

Bei diesem Fossilen System handelt es sich um ein lokal isoliertes Galaxiensystem mit nur wenigen Mitgliedern. Erst ab einem Abstand von ca. 5 Mpc sind andere Systeme bekannt. Die zentrale Elliptische Galaxie ist von nuklearer Aktivität geprägt und weist eine diskly Form auf, die auf einen Akkretionsvorgang einer gasreichen Galaxie hinweisen könnte.

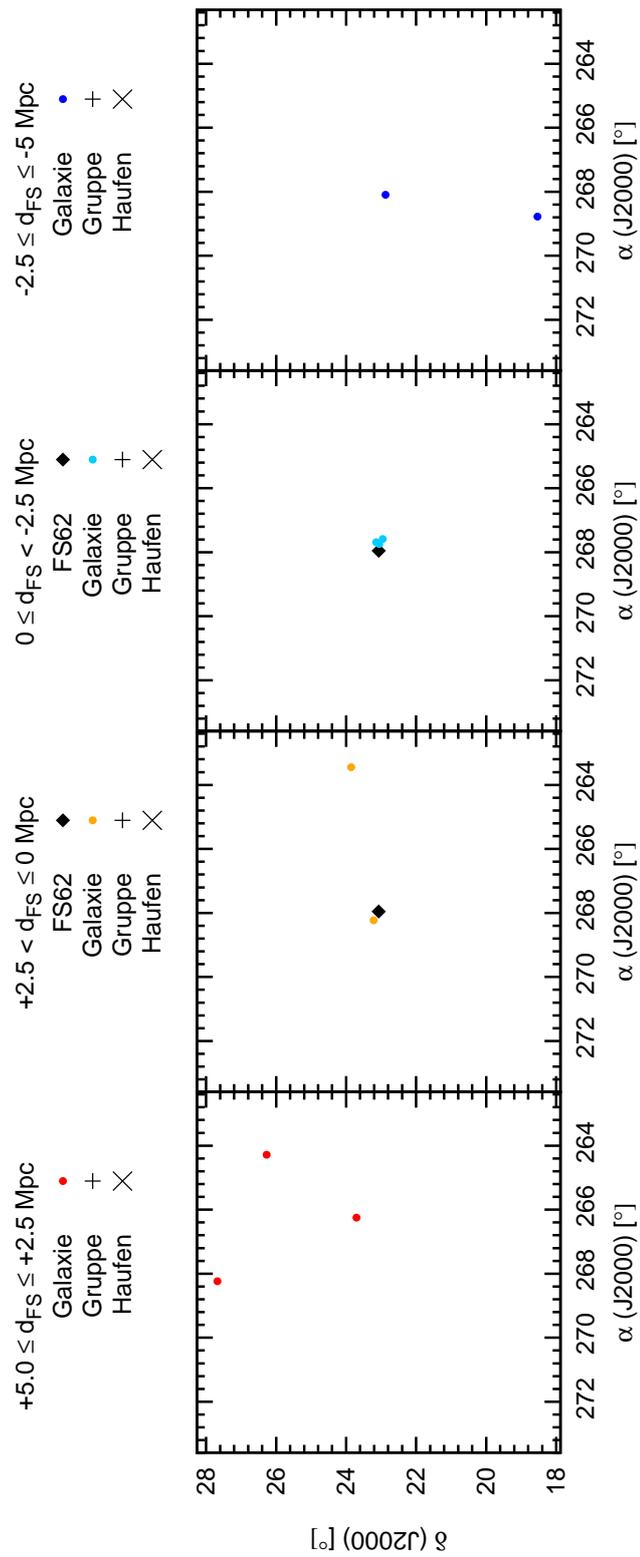


Abbildung 7.159: Räumliche Verteilung der Objekte um FS62 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

7.48 FS63

Bei der von Vikhlinin et al. [1999] entdeckten OLEG namens RX J2114.3–6800 handelt es sich um das Fossile System mit der internen Nr. 63.

Dieses Galaxiensystem befindet sich bei einer Rotverschiebung von $z \sim 0.13$. In seiner Umgebung ist nur eine weitere Galaxie bekannt (siehe Tabelle C.38 und Abbildung 7.160). Bei dem in Tabelle 7.19 aufgelisteten Galaxienhaufen handelt es sich um das FS selbst. Der nächstgelegene Cluster APMCC 724 mit ähnlicher Rotverschiebung weist einen projizierten Abstand von über 41 Mpc auf.

Das einzige Mitglied befindet sich genau nördlich von der zentralen elliptischen Galaxie in einem Abstand von nur ca. 80 kpc. Da dieses Fossile System auch nicht in der SDSS enthalten ist, kann hier auch keine Analyse über die Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie durchgeführt werden. In der Literatur sind ebenfalls keine Informationen enthalten.

Für die Elliptische Galaxie existiert kein Spektrum. Gemäß NED sind auch keine weiteren Angaben zur Morphologie vorhanden.

Dieses Fossile Galaxiensystem ist als absolut isolierte Elliptische Galaxie einzustufen. Über die zentrale Elliptische Galaxie selbst sind keine besonderen Merkmale bekannt.

Tabelle 7.19: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS63. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	RX J2114.3–6800	318.58500	–68.01556	0.2	0.1300	0.00

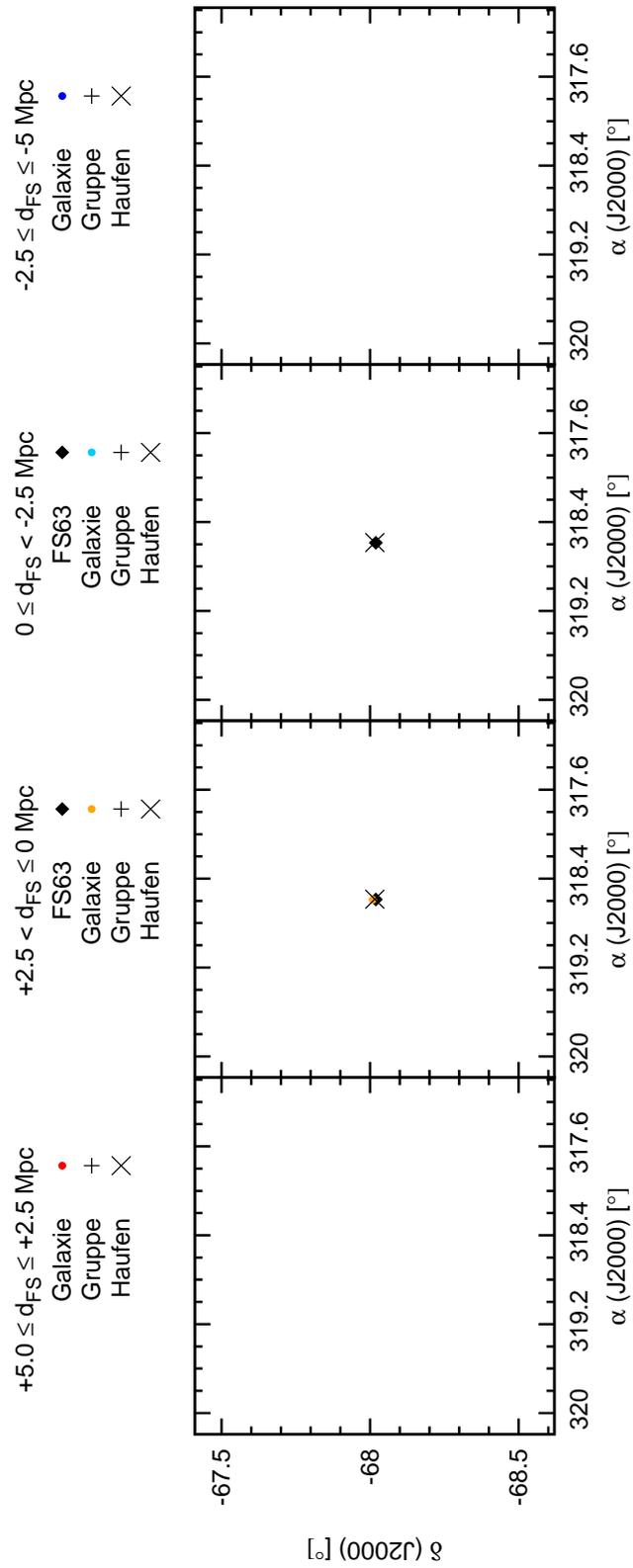


Abbildung 7.160: Räumliche Verteilung der Objekte um FS63 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10×10 Mpc.

7.49 FS64

Bei dem letzten untersuchten Fossilen System mit der internen Nr. 64 handelt es sich wieder um eine OLEG von Vikhlinin et al. [1999] mit der Bezeichnung RX J2247.4+0337.

Dieses FS weist eine Rotverschiebung von $z \sim 0.2$ auf. In seiner Umgebung sind keine anderen Galaxien mit bekannter Rotverschiebung vorhanden. Dies könnte an der erhöhten Entfernung liegen. Betrachtet man alle Galaxiensysteme im Umkreis, so existieren neben dem Fossilen System selbst keine weiteren (siehe Tabelle 7.20 und Abbildung 7.161). Der benachbarte Galaxienhaufen MaxBCG J342.15119+01.09249 besitzt nur eine photometrisch bestimmte Rotverschiebung, die vergleichbar mit der des Fossilen Systems ist, allerdings beträgt der projizierte Abstand ca. 30 Mpc.

Da diese zentrale Elliptische Galaxie ebenfalls außerhalb der SDSS liegt, konnte keine Flächenhelligkeitsanalyse durchgeführt werden.

Über etwaige nukleare Aktivität ist zu dieser E-Galaxie keine Information vorhanden.

Zusammenfassend betrachtet kann über eine isolierte Umgebung keine Aussage getroffen werden, da aufgrund der erhöhten Entfernung wahrscheinlich zu wenig spektroskopische Entfernungsbestimmungen existieren und die Umgebung daher keine Begleiter aufweist.

Tabelle 7.20: Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS64. (1) Typ: Gruppe G bzw. Haufen H, (2) Name des Systems lt. NED, (3) und (4) Koordinaten des System-Zentrums in Grad, (5) Winkelabstand D zum FS in Bogenminuten, (6) Rotverschiebung z , (7) radiale Entfernung d relativ zum FS in Mpc.

Typ	System-Name	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
H	RX J2247.4+0337	341.87125	3.62028	0.4	0.2000	0.00

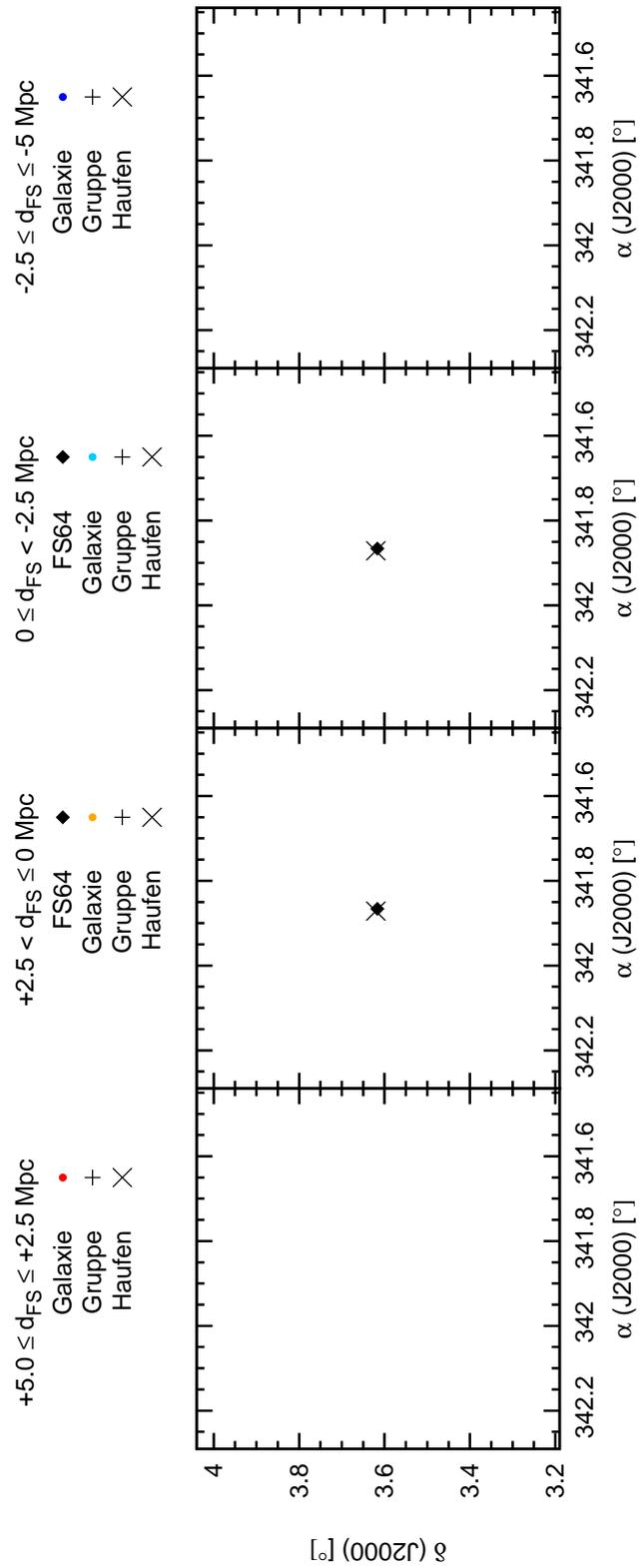


Abbildung 7.161: Räumliche Verteilung der Objekte um FS64 innerhalb eines Radius von 5 Mpc. Der schematisch dargestellte Himmelsausschnitt entspricht 10 x 10 Mpc.

Kapitel 8

Diskussion

8.1 Ergebnisse der photometrischen Analyse

Ein Schwerpunkt dieser Arbeit bestand darin, die globale Form der zentralen Elliptischen Galaxien Fossiler Systeme aufgrund des a_4 -Parameters zu untersuchen, siehe Unterabschnitt 1.3.3. Abbildung 8.1 zeigt eine Gesamtauswertung der B4-Mediane aller E-Galaxien. Bei negativen Werten handelt es sich um boxy Formen, bei positiven um diskus Ellipsen. Ein großer Teil der zentralen Elliptischen Galaxien ist rein ellipsenförmig (insg. 13 Galaxien), ihr B4-Median beträgt 0 ± 0.0025 . 15 E-Galaxien besitzen diskus Isophoten, während 11 Elliptische Galaxien von einem kastenartigen Erscheinungsbild geprägt sind. Die Verteilung zeigt somit keine signifikant bevorzugten abweichenden Formen von einer reinen Ellipse. Es lässt sich nur eine leichte Tendenz zu scheibenartigen Ellipsen erkennen.

Dieses Ergebnis ist konsistent mit den Untersuchungen von La Barbera et al. [2009] (siehe Unterabschnitt 3.2.4), die ebenfalls eine Gauß-Verteilung beim formgebenden a_4 -Parameter gefunden haben. Gleichzeitig widerspricht dies auch der ursprünglichen Annahme von Khosroshahi et al. [2006b], dass alle zentralen Elliptischen Galaxien von Fossilen Systemen nur diskus Formen aufweisen.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass es keine bevorzugten morphologischen Typen von Galaxien gibt, die bei einem Merging-Vorgang eine leuchtkräftige Elliptische Galaxie bilden. Der schwache Trend zu diskus Isophoten lässt eher auf Akkretionsvorgänge gasreicher Zwerggalaxien schließen.

8.2 Spektrale Untersuchung

Alle zentralen Elliptischen Galaxien, für die ein SDSS-Spektrum verfügbar war, wurden auf das Vorhandensein von Emissionslinien untersucht. Tabelle 8.1 enthält die morphologische Klassifikation aus NED kombiniert mit eigenen Klassifikationen aufgrund der Emissionslinien. Die NED-Klassifikationen konnten bis auf eine Galaxie bestätigt werden. Die zentrale E-Galaxie von FS23 zeigte keine Emissionslinien, obwohl sie lt. NED als AGN vermerkt wurde. Interessant zu erwähnen ist, dass es keine

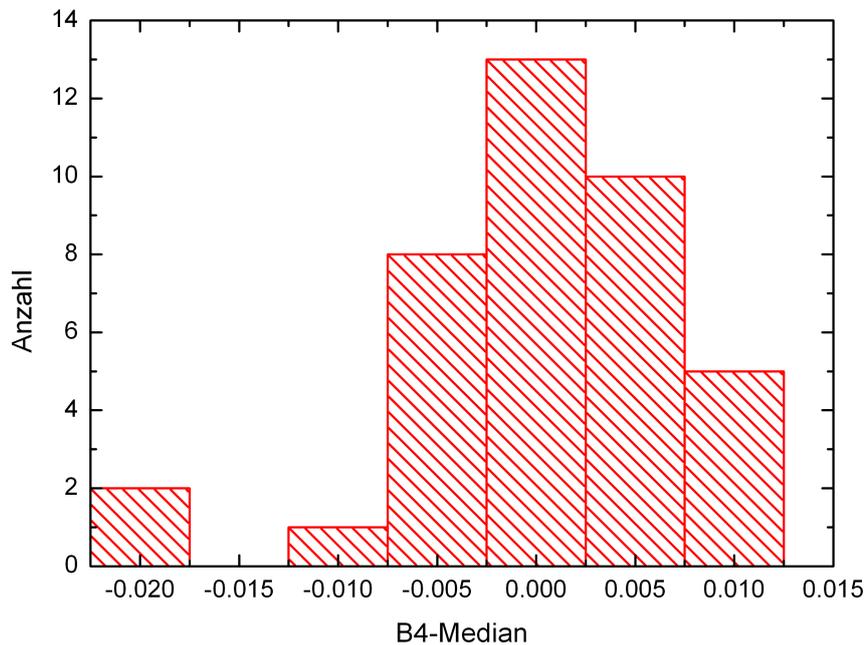


Abbildung 8.1: Histogramm der B4-Mediane aller zentralen Elliptischen Galaxien der untersuchten Fossilen Systeme. In dieser Grafik sind die E-Galaxien der disqualifizierten Fossilen Systeme FS54, FS55, FS60 und FS61 nicht enthalten.

Hinweise auf H II-Regionen gibt. Das bedeutet, dass die letzten gasreichen Wechselwirkungsvorgänge, die eine Sternentstehung induziert haben könnten, bereits einige Hundert Mio. Jahre zurückliegen. Die Emissionslinien lassen sich ausschließlich auf nukleare Aktivität zurückführen. Dasselbe stellten auch La Barbera et al. [2009] fest.

Der Anteil an nuklear aktiven E-Galaxien beträgt 43 % unter Betrachtung einer vollständig untersuchten Anzahl von insg. 35 zentralen Elliptischen Galaxien mit vorhandenen SDSS-Spektren. Dies ist ein typischer Wert für leuchtkräftige Elliptische Galaxien.

Untersucht man diese Galaxien auf Zusammenhänge zwischen ihrer nuklearen Aktivität und dem B4-Parameter so ergibt sich folgende Aufteilung. Von 15 Galaxien mit negativen B4-Median (boxy Isophoten) zeigen acht nukleare Aktivität, das ergibt einen Anteil von 53 %. Dieser ist mit 35 % bei den diskus Formen geringer. Hier existieren 20 Galaxien mit positiven B4-Werten, von denen nur sieben auf einen aktiven Galaxienkern hinweisen, siehe auch Tabelle 8.1. Dieses Ergebnis zeigt einen Trend, der mit normalen Elliptischen Galaxien konsistent ist.

Tabelle 8.1: Nukleare Aktivität der zentralen Elliptischen Galaxie der Fossilen Systeme nach Untersuchung der Spektren. (1) Interne Nummer des FS, (2) morphologische Klassifikation, (3) Spektrum aus der SDSS existiert, (4) B4-Mediane.

FS-Nr.	Klassifikation	SDSS-Spektrum	B4-Median
FS01	LINER	x	-0.0036
FS02		x	-0.0041
FS03	Sy1.9	x	-0.0018
FS04	AGN	x	-0.0037
FS05		x	-0.0006
FS06	AGN?	x	-0.0023
FS07		x	-0.0197
FS08		x	0.0120
FS09		x	-0.0022
FS10	AGN?	x	0.0035
FS11		x	0.0012
FS12	LINER	x	0.0120
FS13	AGN	x	-0.0038
FS14		x	-0.0095
FS15	Sy2	x	0.0095
FS16		x	0.0073
FS17		x	0.0001
FS18		x	0.0063
FS19	AGN?	x	-0.0218
FS20		x	0.0001
FS21	AGN	x	0.0006
FS22		x	0.0064
FS23	kein AGN	x	0.0029
FS24		x	0.0045
FS25		x	0.0059
FS26		x	-0.0057
FS27		x	0.0004
FS28		x	0.0055
FS29	AGN?	x	0.0103
FS30	Sy1.9	x	0.0023
FS31	AGN	x	-0.0066
FS32		x	-0.0007
FS33		x	0.0026
FS34	Sy2	x	0.0099
FS50			
FS51			
FS52			
FS53			-0.0002
FS56			-0.0052
FS57	Sy2 LINER		0.0020
FS58	AGN?	x	-0.0040
FS59	Kandidat BLLAC		0.0057
FS62	LINER		
FS63			
FS64			

8.3 Umgebungsanalyse

Der dritte Schwerpunkt dieser Arbeit bestand darin, die Verteilung der umgebenden Galaxien und Galaxiensysteme um die zentrale Elliptische Galaxie eines Fossilen Systems zu untersuchen. Um statistisch signifikante Aussagen zu treffen, ist eine Mindestanzahl an Galaxien nötig. Hier wurde als Grenze acht Galaxien gewählt, d.h. FS17 mit insgesamt sieben Begleitgalaxien ist das galaxienärmste System mit erkennbarer Struktur. Konkret weisen somit nur 19 von insgesamt 45 Fossilen Systemen genügend Mitglieder für eine Analyse der Umgebung auf.

Die Ursache für geringe Galaxienanzahlen ist hauptsächlich durch unvollständige Daten aufgrund fehlender spektroskopischer Untersuchungen begründet. Man würde hierzu ein Beobachtungsprogramm benötigen, das alle Galaxien einheitlich bis zu einer absoluten Grenzhelligkeit spektroskopisch erfasst. Abbildung 8.2 zeigt die abnehmende Anzahl an Galaxien aufgrund steigender Rotverschiebung, da mit steigender Entfernung der Objekte die Erstellung von Spektren mit deutlich höheren Belichtungszeiten einhergeht. Vergleicht man die Galaxienanzahl zwischen den SDSS-FS (orange Punkte in Abbildung 8.2) und den früher identifizierten FS (grüne Quadrate) bei niedrigen Rotverschiebungen, so zeigen die SDSS-FS eher höhere Galaxien-Anzahlen. Dies ist einerseits durch die vollständige spektroskopische Durchmusterung der SDSS bis zu einer Grenzhelligkeit von 17.77 mag in Petrosian r begründet und andererseits hat man viele der früher identifizierten FS ausschließlich in low-density Umgebungen gesucht. Ein anderer Grund für geringe Galaxienanzahlen könnten physisch bedingte geringere Galaxiendichten sein.

Bei den Galaxiensystemen zeigt sich ebenso ein abnehmender Trend in der Anzahl mit steigender Rotverschiebung, siehe Abbildung 8.3, da sich ihre Identifikation mit höherer Entfernung erschwert. Nur fünf der SDSS-FS (mit orangen Punkten in Abbildung 8.3 dargestellt), und drei der altbekannten FS (grüne Quadrate) zeigen mindestens ein weiteres Galaxiensystem in ihrer Umgebung bis zu einem Radius von 5 Mpc. Bei insgesamt 45 Fossilen Systemen zeigen also nur 18 % benachbarte Galaxiensysteme. Dieser Anteil stellt die untere Grenze dar, da bei vier FS in geringem projizierten Abstand bis zu 5 Mpc andere Systeme existieren, die innerhalb der Fehlerbalken vergleichbare Entfernungen aufweisen könnten. Berücksichtigt man diese auch, so besitzen 12 von 45 FS benachbarte Systeme, also ein Anteil von 27 %.

Von den insgesamt 19 Fossilen Systemen, die mindestens acht Galaxien zählen, zeigen 13 eine filamentartige Anordnung, das sind 68 %, nur sechs verfügen über eine strukturlose Verteilung ihrer Galaxien. Betrachtet man nun die Ausrichtung der großen Halbachse der zentralen Elliptischen Galaxie in Bezug auf die Anordnung ihrer umgebenden Galaxien, so ist die große Halbachse in zehn Fällen exakt entlang der Filament-Ausrichtung angeordnet. In einem Fall beträgt die Abweichung ca. 30° und in einem anderen sogar 90° . Bei diesem Ausnahmefall handelt es sich um FS57, bei dem die Galaxien eher eine ost-west Ausrichtung zeigen, aber nicht besonders eindeutig (siehe Abbildung 7.142). Bei FS51 als 13. System mit erkennbarer Anordnung existieren keine Angaben zum Positionswinkel der Elliptischen Galaxie. Konkret zeigen somit 92 % aller filamentartig angeordneten FS einen direkten Zusammenhang zwischen der Ausrichtung der zentralen Elliptischen Galaxie und ihrer umgebenden

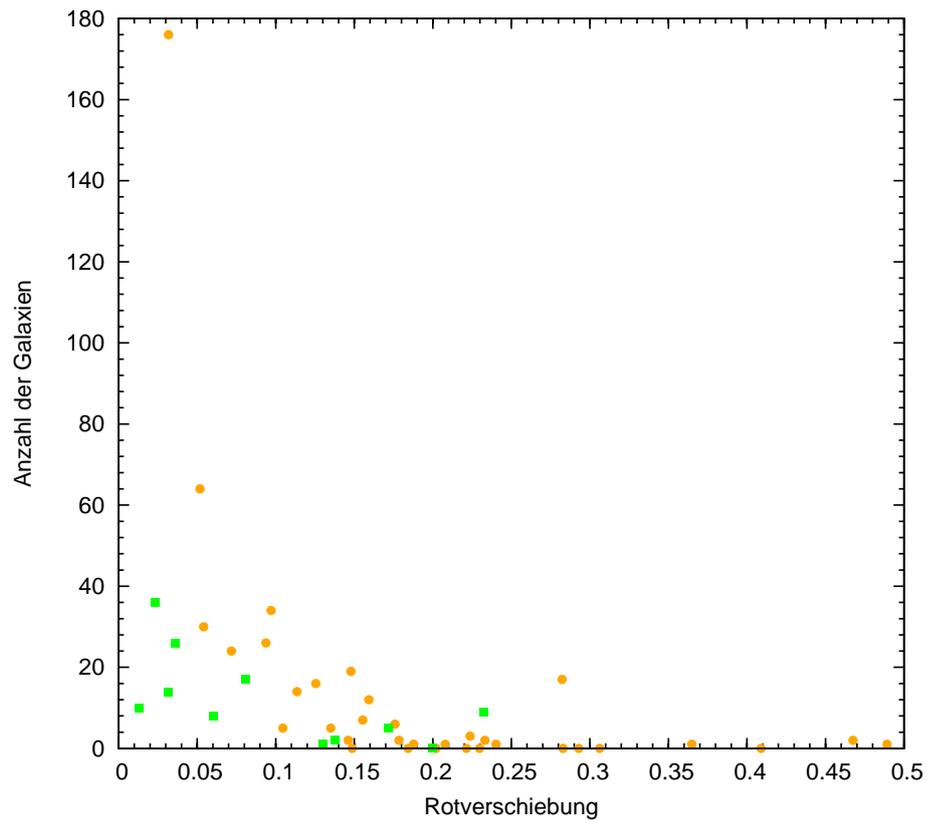


Abbildung 8.2: Abhängigkeit der Galaxien-Anzahl innerhalb eines Radius von 5 Mpc ausgehend von der zentralen Elliptischen Galaxie eines Fossiles Systems von der steigenden Rotverschiebung. Die FS Nr. 1 bis 34 von Santos et al. [2007] sind mit orangen Punkten dargestellt, die detailliert untersuchten FS ab Nr. 50 mit grünen Quadraten. In dieser Grafik sind die disqualifizierten Fossilen Systeme FS54, FS55, FS60 und FS61 nicht enthalten.

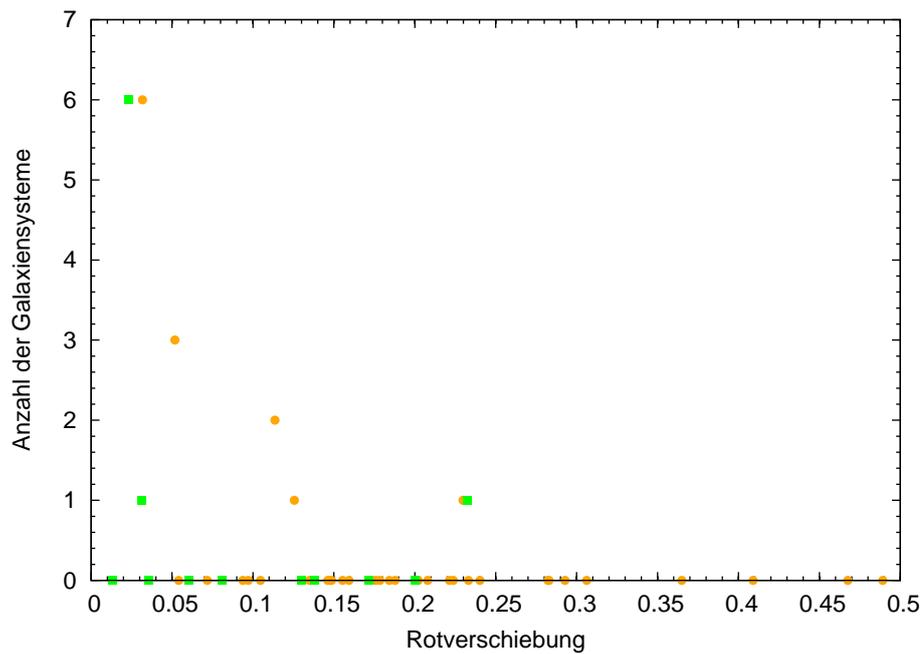


Abbildung 8.3: Anzahl der benachbarten Galaxiensysteme innerhalb eines Radius von 5 Mpc ausgehend vom Zentrum eines Fossiles Systems aufgetragen gegen steigende Rotverschiebung. Die FS Nr. 1 bis 34 von Santos et al. [2007] sind mit orangen Punkten dargestellt, die detailliert untersuchten FS ab Nr. 50 mit grünen Quadraten. In dieser Grafik sind die disqualifizierten Fossilen Systeme FS54, FS55, FS60 und FS61 nicht enthalten.

Mitglieder. Dieser hier deutlich auftretende „anti-Holmberg“-Effekt wurde bereits theoretisch von Sales et al. [2007] vorausgesagt, siehe Abschnitt 4.1.

Interessant zu erwähnen ist auch ein Zusammenhang bei den strukturlos verteilten Galaxien eines FS. Bei drei von sechs Fossilen Systemen existieren andere Galaxiensysteme im untersuchten 5-Mpc-Radius Bereich und bei allen dreien zeigt die große Halbachse in Richtung der Zentren der nächstgelegenen Systeme. Hier ist die Anzahl statistisch gesehen zu klein um eine definitive Aussage machen zu können, ein Trend ist allerdings vermutbar.

Zusammenfassend betrachtet ist das Entstehungsszenario eines Fossilen Systems durch filamentartigen Galaxieneinfall (siehe Abschnitt 4.1) durchaus mit den hier analysierten Beobachtungsdaten im Einklang. Der dadurch effektivere und schneller ablaufende Akkretionsvorgang einfallender Galaxien dürfte für das Entstehen eines Fossilen Galaxiensystems mit einer massereichen zentralen Elliptischen Galaxie verantwortlich sein. Je nach Umgebung zeigt sich ein Fossiles System als lokales oder globales dynamisches Endstadium eines Galaxiensystems. Entsprechend dem Entstehungsszenario von Mendes de Oliveira [2006] (siehe Unterabschnitt 3.4.3) zeigt sich zB FS28 als lokale isolierte Elliptische Galaxie (siehe Abschnitt 7.28), die wahrscheinlich später in ein größeres Galaxiensystem aus der Umgebung akkretiert wird. Im Gegensatz dazu gibt es die global isolierten Elliptischen Galaxien, die als Fossile Systeme identifiziert wurden, siehe zB FS32 unter Abschnitt 7.32.

Literaturverzeichnis

- C. Adami, D. Russeil, and F. Durret. The isolated fossil group RX J1119.7+2126. *A&A*, 467:459–463, May 2007.
- J. E. Barnes. Evolution of compact groups and the formation of elliptical galaxies. *Nature*, 338:123–126, March 1989.
- R. Bender, S. Doebereiner, and C. Moellenhoff. Isophote shapes of elliptical galaxies. I - The data. *A&AS*, 74:385–426, September 1988.
- E. S. Cypriano, C. L. Mendes de Oliveira, and L. J. Sodr . Velocity Dispersion, Mass, and the Luminosity Function of the Fossil Cluster RX J1416.4+2315. *AJ*, 132:514–520, August 2006.
- A. Dariush, H. G. Khosroshahi, T. J. Ponman, F. Pearce, S. Raychaudhury, and W. Hartley. The mass assembly of fossil groups of galaxies in the Millennium simulation. *MNRAS*, 382:433–442, November 2007.
- G. de Vaucouleurs. Recherches sur les Nebuleuses Extragalactiques. *Annales d’Astrophysique*, 11:247–287, January 1948.
- E. Díaz-Giménez, H. Muriel, and C. Mendes de Oliveira. Fossil groups in the Millennium Simulation. Evolution of the brightest galaxies. *A&A*, 490:965–973, November 2008.
- E. D’Onghia, J. Sommer-Larsen, A. D. Romeo, A. Burkert, K. Pedersen, L. Portinari, and J. Rasmussen. The Formation of Fossil Galaxy Groups in the Hierarchical Universe. *ApJ*, 630:L109–L112, September 2005.
- P. Hickson. Systematic properties of compact groups of galaxies. *ApJ*, 255:382–391, April 1982.
- G. Hinshaw, J. L. Weiland, R. S. Hill, N. Odegard, D. Larson, C. L. Bennett, J. Dunkley, B. Gold, M. R. Greason, N. Jarosik, E. Komatsu, M. R.olta, L. Page, D. N. Spergel, E. Wollack, M. Halpern, A. Kogut, M. Limon, S. S. Meyer, G. S. Tucker, and E. L. Wright. Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Data Processing, Sky Maps, and Basic Results. *ApJS*, 180:225–245, February 2009.
- R. I. Jedrzejewski. CCD surface photometry of elliptical galaxies. I - Observations, reduction and results. *MNRAS*, 226:747–768, June 1987.

- L. R. Jones, T. J. Ponman, and D. A. Forbes. Multiwavelength observations of an evolved galaxy group: an end-point of galaxy merging? *MNRAS*, 312:139–150, February 2000.
- L. R. Jones, T. J. Ponman, A. Horton, A. Babul, H. Ebeling, and D. J. Burke. The nature and space density of fossil groups of galaxies. *MNRAS*, 343:627–638, August 2003.
- S. Khochfar and A. Burkert. On the origin of isophotal shapes in elliptical galaxies. *MNRAS*, 359:1379–1385, June 2005.
- H. G. Khosroshahi, L. R. Jones, and T. J. Ponman. An old galaxy group: Chandra X-ray observations of the nearby fossil group NGC 6482. *MNRAS*, 349:1240–1250, April 2004.
- H. G. Khosroshahi, B. J. Maughan, T. J. Ponman, and L. R. Jones. A fossil galaxy cluster: an X-ray and optical study of RX J1416.4+2315. *MNRAS*, 369:1211–1220, July 2006a.
- H. G. Khosroshahi, T. J. Ponman, and L. R. Jones. The central elliptical galaxy in fossil groups and formation of brightest cluster galaxies. *MNRAS*, 372:L68–L72, October 2006b.
- H. G. Khosroshahi, T. J. Ponman, and L. R. Jones. Scaling relations in fossil galaxy groups. *MNRAS*, 377:595–606, May 2007.
- J. Kormendy and R. Bender. A Proposed Revision of the Hubble Sequence for Elliptical Galaxies. *ApJ*, 464:L119–L122, June 1996.
- J. Kormendy and S. Djorgovski. Surface photometry and the structure of elliptical galaxies. *ARA&A*, 27:235–277, 1989.
- F. La Barbera, R. R. de Carvalho, I. G. de la Rosa, G. Sorrentino, R. R. Gal, and J. L. Kohl-Moreira. The Nature of Fossil Galaxy Groups: Are They Really Fossils? *AJ*, 137:3942–3960, April 2009.
- C. Mendes de Oliveira. The Evolution of Galaxies in Compact and Fossil Groups. volume 26 of *RMxAC*, pages 105–108, June 2006.
- C. L. Mendes de Oliveira and E. R. Carrasco. The Compact Group-Fossil Group Connection: Observations of a Massive Compact Group at $z=0.22$. *ApJ*, 670: L93–L96, December 2007.
- C. L. Mendes de Oliveira, E. S. Cypriano, and L. J. Sodr . The Luminosity Function of the Fossil Group RX J1552.2+2013. *AJ*, 131:158–167, January 2006.
- M. Milosavljevi , C. J. Miller, S. R. Furlanetto, and A. Cooray. Cluster Merger Variance and the Luminosity Gap Statistic. *ApJ*, 637:L9–L12, January 2006.
- J. S. Mulchaey and A. I. Zabludoff. The Isolated Elliptical NGC 1132: Evidence for a Merged Group of Galaxies? *ApJ*, 514:133–137, March 1999.

- T. J. Ponman, D. J. Allan, L. R. Jones, M. Merrifield, I. M. McHardy, H. J. Lehto, and G. A. Luppino. A Possible Fossil Galaxy Group. *Nature*, 369:462–464, June 1994.
- A. K. Romer, R. C. Nichol, B. P. Holden, M. P. Ulmer, R. A. Pildis, A. J. Merrelli, C. Adami, D. J. Burke, C. A. Collins, A. J. Metevier, R. G. Kron, and K. Commons. The Bright SHARC Survey: The Cluster Catalog. *ApJS*, 126:209–269, February 2000.
- L. V. Sales, J. F. Navarro, D. G. Lambas, S. D. M. White, and D. J. Croton. Satellite galaxies and fossil groups in the Millennium Simulation. *MNRAS*, 382:1901–1916, December 2007.
- W. A. Santos, C. Mendes de Oliveira, and L. J. Sodré. Fossil Groups in the Sloan Digital Sky Survey. *AJ*, 134:1551–1559, October 2007.
- P. Schechter. An analytic expression for the luminosity function for galaxies. *ApJ*, 203:297–306, January 1976.
- P. Schneider. *Einführung in die extragalaktische Astronomie und Kosmologie*. Berlin: Springer, ISBN 3-540-25832-9, ISBN 978-3-540-25832-2, 2006, XV+452 pp., 2006.
- J. Sommer-Larsen. Properties of intra-group stars and galaxies in galaxy groups: “normal” versus “fossil” groups. *MNRAS*, 369:958–968, June 2006.
- V. Springel, S. D. M. White, A. Jenkins, C. S. Frenk, N. Yoshida, L. Gao, J. Navarro, R. Thacker, D. Croton, J. Helly, J. A. Peacock, S. Cole, P. Thomas, H. Couchman, A. Evrard, J. Colberg, and F. Pearce. Simulations of the formation, evolution and clustering of galaxies and quasars. *Nature*, 435:629–636, June 2005.
- M. Sun, W. Forman, A. Vikhlinin, A. Hornstrup, C. Jones, and S. S. Murray. ESO 3060170: A Massive Fossil Galaxy Group with a Heated Gas Core? *ApJ*, 612: 805–816, September 2004.
- M. P. Ulmer, C. Adami, G. Covone, F. Durret, G. B. Lima Neto, K. Sabirli, B. Holden, R. G. Kron, and A. K. Romer. Cl 1205+44: A Fossil Group at $z = 0.59$. *ApJ*, 624:124–134, May 2005.
- A. Unsöld and B. Baschek. *Der neue Kosmos*. Einführung in die Astronomie und Astrophysik, XIV, 571 S. 278 Abb., 20 in Farbe. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1999.
- A. Vikhlinin, B. R. McNamara, A. Hornstrup, H. Quintana, W. Forman, C. Jones, and M. Way. X-Ray Overluminous Elliptical Galaxies: A New Class of Mass Concentrations in the Universe? *ApJ*, 520:L1–L4, July 1999.
- A. M. von Benda-Beckmann, E. D’Onghia, S. Gottlöber, M. Hoeft, A. Khalatyan, A. Klypin, and V. Müller. The fossil phase in the life of a galaxy group. *MNRAS*, 386:2345–2352, June 2008.

T. Yoshioka, A. Furuzawa, S. Takahashi, Y. Tawara, S. Sato, K. Yamashita, and Y. Kumai. The dark matter halo structure of “fossil” groups candidates. *AdSpR*, 34:2525–2529, 2004.

S. Zibetti, D. Pierini, and G. W. Pratt. Are fossil groups a challenge of the cold dark matter paradigm? *MNRAS*, 392:525–536, January 2009.

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Danksagung

Zuallererst möchte ich mich bei meinem Betreuer, Dr. Werner Zeilinger, für die Betreuung dieser Diplomarbeit herzlich bedanken. Ich schätze ganz besonders seine Fähigkeit, einen Menschen als Ganzes zu betrachten, auch wenn dieser nicht nur naturwissenschaftlich denkt! Dementsprechen interessant und passend für mich war sein Vorschlag für mein Diplomarbeitsthema. Es war möglich, sich die konkreten Inhalte der Diplomarbeit innerhalb des Themas selbst zu wählen und man konnte ohne zeitliche Einschränkung völlig selbständig arbeiten. Für Fragen hatte er immer ein offenes Ohr.

Auch die Arbeitsgruppe von Dr. Zeilinger lernte ich als tolles und hilfsbereites Team sehr schätzen. Ganz besonders möchte ich mich bei Ruth und Paul bedanken, für ihre interessanten fachlichen Diskussionen, Ideen und Hilfestellungen!

Der Arbeitsgruppe von Dr. Christian Theis danke ich für die Integration bei sozialen Veranstaltungen, wie zB Wandertagsausflug oder Bowling-Abend. Diese gemeinsamen Aktivitäten machen nicht nur Spaß, sondern fördern auch den fachlichen Austausch zwischen den Studenten.

Ganz besonderer Dank gilt meinen Korrekturlesern Hanns Peter, Hans W. und meiner Tante Maria, die als Astronomie-Laie viele Fehler gefunden hat, die wir Fachleute aus „Betriebsblindheit“ nie entdeckt hätten!

Dieses Studium wurde hauptsächlich durch die staatliche Studienförderung im Rahmen des sog. Selbsterhalterstipendiums finanziert. Meinen studienbegleitenden Arbeitgebern (Raiffeisen Capital Management, Astronomische Einrichtungen der Wr. Volkshochschulen und Software Daten Service GmbH) danke ich für die Flexibilität in der Arbeitszeiteinteilung, die für ein sinnvolles Vorwärtkommen im Studium sehr wichtig war.

Mein persönlicher Dank gilt meinen Eltern, die mich bei der Pflege und Erziehung meines Sohnes sehr unterstützt haben und mir somit ein erfolgreiches „Studieren mit Kind“ ermöglichten. Markus danke ich für den streckenweise gemeinsam gegangenen Weg im Studium als auch privat. Ganz besonderer Dank gilt meinem Lebensgefährten für seine Unterstützung in allen Bereichen!

Anhang A

SQL-Abfragen in der SDSS

Die SDSS bietet auf ihrer Homepage unter

<http://cas.sdss.org/dr6/en/tools/search/sql.asp>

eine Seite, auf der direkt SQL-Abfragen (*Selects*) auf die SDSS-Datenbank getätigt werden können. Als Output-Format stehen u.a. HTML und CSV zur Verfügung. Die Datenbank-Tabellen und definierte Funktionen sind unter

<http://cas.sdss.org/dr6/en/help/browser/browser.asp>

zu finden.

Für die automatisierte Datenverarbeitung wurden die Elliptischen Galaxien der untersuchten Fossilen Systeme (siehe Tabelle 3.3) zuerst optisch im *Navigate Tool* der SDSS unter

<http://cas.sdss.org/dr6/en/tools/chart/navi.asp>

identifiziert und anschließend im *SkyServer Object Explorer* unter

<http://cas.sdss.org/dr6/en/tools/explore/obj.asp>

die zu jedem SDSS-Objekt gehörende Identifikationsnummer `ObjId` (siehe Tabelle A.1) vermerkt, da diese für SQL-Abfragen benötigt wird.

A.1 SQL für Rotverschiebung

```
SELECT bestObjId, ra, dec, z, zErr, zStatus
FROM SpecObj
WHERE BestObjId = 58772722944966680 --nr. 1
or ...
or BestObjId = 587739719773126823    --nr. 61
order by BestObjId
```

A.2 SQL für Helligkeitskalibration

```

select top 43 p.objid, p.ra, p.dec, p.u, p.g, p.r ,p.i, p.z,
p.err_r, p.err_i, p.err_z, p.sky_r, p.skyErr_r,
p.run, p.rerun, p.camcol, p.field,
f.run, f.rerun, f.camcol, f.field,
f.fieldID, f.sky_r, f.skyErr_r, f.aa_r, f.kk_r, airmass_r
from PhotoObjAll p, field f
where p.run = f.run
and p.rerun = f.rerun
and p.camcol = f.camcol
and p.field = f.field
and (p.objid = 587727229449666680 --nr. 1
or ...
or p.objid = 587739719773126823) --nr. 61
order by p.objid

```

Die wichtigsten Ergebnisse dieses Selects sind in Tabelle A.1 enthalten. Die Werte für FS50 bis FS52 und FS62 bis FS64 sind nicht angegeben, da diese Fossilen Systeme außerhalb des von der SDSS untersuchten Bereichs liegen.

A.3 SQL für Seeing

```

select p.objid,
p.run, p.rerun, p.camcol, p.field,
f.run, f.rerun, f.camcol, f.field,
f.fieldID, r.fieldid, r.seeing_r
from PhotoObjAll p, field f, RunQA r
where p.run = f.run
and p.rerun = f.rerun
and p.camcol = f.camcol
and p.field = f.field
and f.fieldid = r.fieldid --für RunQA
and (p.objid = 587727229449666680 --nr. 1
or ...
or p.objid = 587739719773126823) --nr. 61
order by p.objid

```

Das Seeing für jede Galaxien-Aufnahme aus obigem Select ist in der 2. Spalte der Tabelle A.3 angegeben. Die Daten in den Flächenhelligkeitsdiagrammen im Kapitel 7 werden erst ab dem Seeing-Radius angegeben.

Tabelle A.1: SDSS-Datenbank-Werte für die Helligkeitskalibration der zentralen Elliptischen Galaxie: (1) Interne Nummer des FS, (2) SDSS-Identifikationsnummer der E-Galaxie; folgende Werte für r-Filter: (3) Himmelshintergrund, (4) Nullpunkt, (5) Extinktionskoeffizient, (6) Luftmasse.

FS-Nr.	objid	sky_r	aa_r	kk_r	airmass_r
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
FS01	587727229449666680	5.64E-09	-24.057301	0.139971	1.60710238
FS02	588015510355443851	3.82E-09	-23.959101	0.167985	1.18972902
FS03	587737808493936696	5.97E-09	-24.005699	0.073010	1.18712616
FS04	587731681187135810	5.44E-09	-24.048901	0.078101	1.05973290
FS05	588013382189384046	3.69E-09	-24.028799	0.086599	1.15719296
FS06	587731886813282384	3.70E-09	-24.031601	0.089370	1.15125274
FS07	587738946128511387	3.49E-09	-24.057100	0.090814	1.05231947
FS08	587732048410050735	3.88E-09	-24.030800	0.074379	1.22342582
FS09	587728950125985894	5.22E-09	-24.037600	0.099892	1.31107471
FS10	587731499724964085	5.06E-09	-24.045099	0.079463	1.17804418
FS11	588017720102813819	4.42E-09	-24.025101	0.108758	1.18185197
FS12	587734894359674947	8.36E-09	-24.043900	0.105595	1.25356159
FS13	588010880367722656	4.80E-09	-24.038799	0.117355	1.21767728
FS14	587734892751683738	8.17E-09	-24.062700	0.105595	1.26711755
FS15	587735695904997390	4.12E-09	-24.031401	0.118947	1.13458564
FS16	588017112367693931	3.46E-09	-24.004700	0.086779	1.04678191
FS17	588017720110481495	4.26E-09	-24.025101	0.108758	1.24458854
FS18	588017626695336021	2.95E-09	-24.016800	0.112432	1.02415827
FS19	587729772070502682	4.22E-09	-24.058500	0.111540	1.24367474
FS20	588017626701103211	2.99E-09	-24.016800	0.112432	1.02079275
FS21	588848901004525829	3.66E-09	-24.149099	0.108504	1.17922217
FS22	587733398637510816	5.04E-09	-23.987801	0.121781	1.22220043
FS23	587733398640787656	4.85E-09	-23.987801	0.121781	1.23034190
FS24	587729159520190857	4.39E-09	-24.044300	0.099373	1.14481672
FS25	587736585509404926	2.62E-09	-24.011700	0.106175	1.01972891
FS26	587736915149389862	3.48E-09	-24.029900	0.126220	1.11551094
FS27	587736919433936974	2.91E-09	-24.025200	0.126220	1.09644599
FS28	587729753280086171	2.62E-09	-24.017799	0.118820	1.04481087
FS29	587729407543148808	4.06E-09	-24.034100	0.092854	1.16160799
FS30	587725504484999394	3.57E-09	-24.091700	0.102040	1.09871735
FS31	587729752213815608	2.90E-09	-24.021900	0.118820	1.08052363
FS32	587725575890403517	4.30E-09	-24.080700	0.111982	1.14839487
FS33	587731185660067921	4.83E-09	-24.050900	0.090906	1.38356977
FS34	587730774425469132	4.61E-09	-23.988199	0.094746	1.05508347
FS53	587742061066846284	3.55E-09	-24.021799	0.084194	1.02611096
FS54	587731870171004947	4.38E-09	-24.038799	0.063294	1.49816603
FS55	588017604146365075	3.07E-09	-24.020800	0.104646	1.19499851
FS56	587741727655985253	4.09E-09	-23.967501	0.070354	1.00855801
FS57	588017569779679367	4.07E-09	-23.997200	0.096402	1.24582413
FS58	587736584961196166	2.72E-09	-24.041401	0.106175	1.03756312
FS59	587739846455591115	2.90E-09	-23.935400	0.067386	1.02262419
FS60	587739651033989459	3.12E-09	-23.949800	0.109810	1.06579345
FS61	587739719773126823	3.80E-09	-23.949499	0.101492	1.20977039

Tabelle A.3: Seeing bei den Aufnahmen der zentralen Elliptischen Galaxie: (1) Interne Nummer des FS, (2) Seeing im r-Band der SDSS, (3) halbes Seeing.

FS-Nr.	seeing_r ["]	Seeing-Radius ["]
FS01	1.44	0.72
FS02	1.24	0.62
FS03	1.35	0.68
FS04	1.79	0.89
FS05	1.08	0.54
FS06	1.44	0.72
FS07	1.59	0.80
FS08	1.64	0.82
FS09	1.45	0.72
FS10	1.38	0.69
FS11	1.34	0.67
FS12	1.16	0.58
FS13	1.52	0.76
FS14	1.51	0.75
FS15	1.59	0.80
FS16	1.36	0.68
FS17	1.35	0.68
FS18	1.05	0.53
FS19	1.56	0.78
FS20	1.14	0.57
FS21	1.42	0.71
FS22	1.37	0.69
FS23	1.63	0.81
FS24	1.59	0.80
FS25	1.07	0.54
FS26	1.00	0.50
FS27	1.12	0.56
FS28	1.61	0.81
FS29	1.62	0.81
FS30	1.47	0.74
FS31	1.12	0.56
FS32	1.79	0.90
FS33	1.10	0.55
FS34	1.11	0.56
FS53	1.67	0.84
FS54	1.31	0.66
FS55	1.52	0.76
FS56	1.20	0.60
FS57	1.44	0.72
FS58	1.22	0.61
FS59	1.36	0.68
FS60	1.35	0.68
FS61	1.47	0.73

Anhang B

Tabellen zu Kapitel Datenauswertung

B.1 B4-Parameter

Die Mediane der B4-Werte aller zentralen Elliptischen Galaxien der Fossilen Systeme (siehe Unterabschnitt 6.1.3) sind in Tabelle B.1 angegeben. Zum Vergleich wurden auch die arithmetischen Mittelwerte berechnet, wobei diese für eine Gesamtbeurteilung über die Form einer Elliptischen Galaxie (boxy oder disky) nicht so gut geeignet sind, da einzelne, unplausibel stark abweichende B4-Werte das Ergebnis stärker beeinträchtigen.

B.2 Positionswinkel

Die zur Berechnung des tatsächlichen Positionswinkels PA (s. Unterabschnitt 6.1.4) herangezogenen Daten und Ergebnisse sind in Tabelle B.3 enthalten.

Tabelle B.1: Gemittelte B4-Werte pro zentraler Elliptischer Galaxie: (1) Interne Nummer des FS, (2) Median der B4-Werte, (3) arithmetisches Mittel der B4-Werte.

FS-Nr.	B4-Median	B4-Mittelwert
FS01	-0.0036	-0.0062
FS02	-0.0041	-0.0045
FS03	-0.0018	-0.0012
FS04	-0.0037	0.0064
FS05	-0.0006	-0.0034
FS06	-0.0023	-0.0034
FS07	-0.0197	-0.0346
FS08	0.0120	0.0150
FS09	-0.0022	-0.0024
FS10	0.0035	-0.0064
FS11	0.0012	-0.0022
FS12	0.0120	0.0085
FS13	-0.0038	-0.0047
FS14	-0.0095	-0.0153
FS15	0.0095	0.0087
FS16	0.0073	0.0124
FS17	0.0001	-0.0029
FS18	0.0063	0.0075
FS19	-0.0218	-0.0246
FS20	0.0001	0.0024
FS21	0.0006	0.0066
FS22	0.0064	0.0073
FS23	0.0029	0.0045
FS24	0.0045	0.0066
FS25	0.0059	0.0077
FS26	-0.0057	-0.0077
FS27	0.0004	-0.0018
FS28	0.0055	0.0055
FS29	0.0103	0.0101
FS30	0.0023	0.0038
FS31	-0.0066	-0.0017
FS32	-0.0007	-0.0078
FS33	0.0026	0.0035
FS34	0.0099	0.0114
FS53	-0.0002	0.0039
FS54	-0.0026	-0.0049
FS56	-0.0052	-0.0017
FS57	0.0020	0.0009
FS58	-0.0040	-0.0023
FS59	0.0057	0.0002
FS60	0.0069	0.0059
FS61	-0.0029	-0.0018

Tabelle B.3: Alle Positionswinkel sind positiv gegen den Uhrzeigersinn in Grad definiert. (1) Interne Nummer des FS, (2) IRAF-Positionswinkel ϕ : Generell wurde der Winkel der äußersten Isophote herangezogen, ausgenommen bei ^a Winkel der vorletzten Isophote und ^b Winkel der drittletzten Isophote, aufgrund unplausibel starker Wertänderungen. (3) Verdrehungswinkel θ der SDSS-Kamera in Bezug auf Norden, (4) tatsächlicher Positionswinkel PA im äquatorialen (J2000) Koordinatensystem.

FS-Nr.	ϕ [°]	θ [°]	PA [°]
FS01	56	86.275	142
FS02	101	90.000	11
FS03	123	29.368	153
FS04	32	43.160	75
FS05	121	49.212	170
FS06	153	46.795	19
FS07	58	60.367	118
FS08	3	57.630	61
FS09	63	90.000	153
FS10	27 ^a	71.254	99
FS11	30	78.487	108
FS12	23	87.428	110
FS13	19	89.122	108
FS14	143	88.460	51
FS15	129	82.373	32
FS16	97	83.787	1
FS17	48	94.270	143
FS18	18	96.431	114
FS19	42 ^a	89.214	131
FS20	131	108.583	59
FS21	49	90.000	139
FS22	24	119.968	144
FS23	89	126.572	36
FS24	44	93.704	138
FS25	151	120.810	91
FS26	109	101.740	31
FS27	129	127.090	77
FS28	95	142.165	57
FS29	149	146.663	116
FS30	108	161.287	90
FS31	56	148.770	25
FS32	147 ^a	166.460	133
FS33	140	90.000	50
FS34	11	88.472	99
FS53	149	84.048	53
FS54	170	85.213	75
FS56	155 ^b	93.558	69
FS57	88	93.711	1
FS58	96	103.092	19
FS59	98	101.549	20
FS60	84	115.320	19
FS61	137	114.376	71

B.3 Parameter für Umgebungs-Suche

Ergebnisse aus dem Kosmologischen Kalkulator (siehe Abschnitt 6.2) sind in Tabelle B.5 in Spalte 3 und 4 enthalten.

Tabelle B.5: Parameter zur Suche nach Begleitgalaxien. (1) Interne Nummer des FS, (2) Rotverschiebung, Berechnungs-Ergebnisse des Kosmologischen Kalkulators: (3) radiale Entfernung d , (4) Skala für den Winkelabstand D ; (5) in Bogenminuten umgerechneter Winkelabstand für 5 Mpc.

FS-Nr.	z	d [Mpc]	D [kpc/'']	$D_{5\text{Mpc}}$ [']
FS01	0.364962	1428.6	5.074	16.4
FS02	0.229744	930.9	3.670	22.7
FS03	0.051799	219.2	1.010	82.5
FS04	0.207888	847.2	3.400	24.5
FS05	0.282265	1128.9	4.268	19.5
FS06	0.054104	228.6	1.052	79.2
FS07	0.489186	1852.2	6.031	13.8
FS08	0.408998	1583.0	5.446	15.3
FS09	0.125563	522.0	2.248	37.1
FS10	0.467535	1781.0	5.884	14.2
FS11	0.202070	824.7	3.326	25.1
FS12	0.240239	971.2	3.796	22.0
FS13	0.187803	769.2	3.139	26.5
FS14	0.221403	899.3	3.570	23.3
FS15	0.104617	437.1	1.919	43.4
FS16	0.282933	1131.4	4.276	19.5
FS17	0.155396	641.5	2.692	31.0
FS18	0.233160	943.8	3.711	22.5
FS19	0.175900	722.6	2.979	28.0
FS20	0.093761	392.9	1.742	47.8
FS21	0.306200	1217.3	4.518	18.4
FS22	0.146164	604.9	2.559	32.6
FS23	0.147824	611.5	2.583	32.3
FS24	0.292844	1167.6	4.379	19.0
FS25	0.097077	406.7	1.797	46.4
FS26	0.071770	303.9	1.374	60.7
FS27	0.184287	755.5	3.093	26.9
FS28	0.031719	134.7	0.633	131.6
FS29	0.135038	560.1	2.392	34.8
FS30	0.113598	475.1	2.068	40.3
FS31	0.159325	656.9	2.747	30.3
FS32	0.148591	613.7	2.591	32.2
FS33	0.223788	908.4	3.599	23.2
FS34	0.178430	732.5	3.014	27.6
FS50	0.023133	98.6	0.467	178.4

Fortsetzung auf der nächsten Seite

FS-Nr. (Forts.)	z	d [Mpc]	D [kpc/'']	$D_{5\text{Mpc}}$ [']
FS51	0.031405	133.5	0.628	132.7
FS52	0.035805	152.1	0.712	117.0
FS53	0.060550	255.7	1.169	71.3
FS54	0.080849	339.9	1.525	54.6
FS55	0.591500	2180.0	6.641	12.5
FS56	0.232460	941.6	3.704	22.5
FS57	0.081	340.5	1.527	54.6
FS58	0.171853	706.8	2.924	28.5
FS59	0.138	572.2	2.438	34.2
FS60	0.136	564.2	2.408	34.6
FS61	0.033880	144.7	0.679	122.7
FS62	0.013129	56.1	0.268	310.9
FS63	0.13	540.1	2.317	36.0
FS64	0.2	816.7	3.300	25.3

Die gegebenen Rotverschiebungen z wurden mit den erhaltenen radialen Entfernungen d aus dem Kosmologischen Kalkulator in Verbindung gesetzt (Spalte 2 und 3 der Tabelle B.5), mit Ausnahme von FS55 bei $z = 0.59$. Der Fit mit einem Polynom 2. Grades (siehe Abbildung B.1) ergibt folgende Beziehung:

$$d [\text{Mpc}] = -1023.78104110606 \cdot z^2 + 4289.00314592395 \cdot z - 0.169660546157182 \quad (\text{B.1})$$

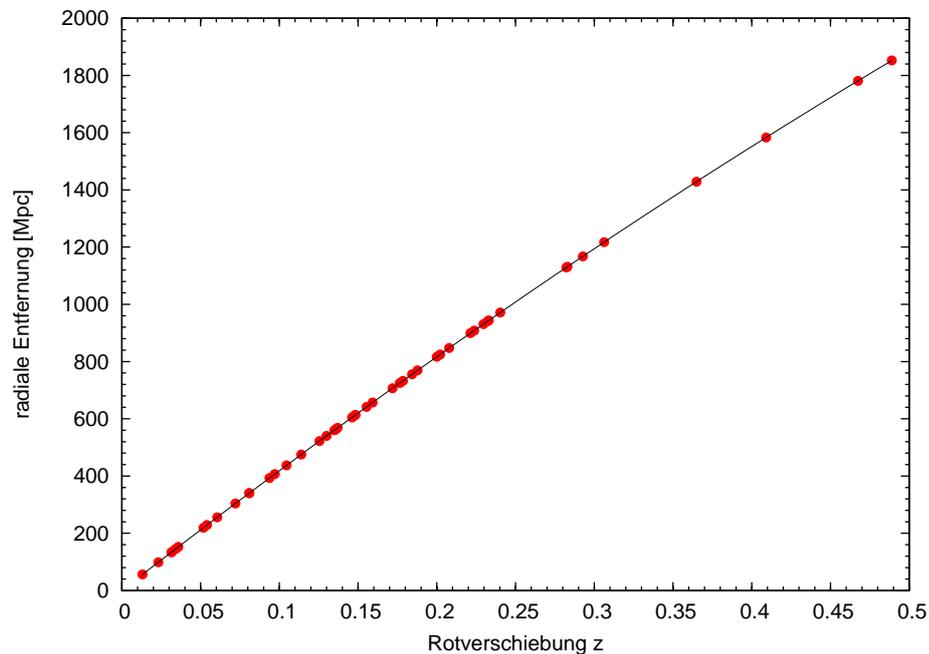


Abbildung B.1: Zusammenhang zwischen der Rotverschiebung z und der radialen Entfernung d in Mpc. Die durchgezogene Linie stellt den Fit mit einem Polynom 2. Grades dar. Diese Grafik enthält die Entfernungen aller Fossiler Systeme mit Ausnahme des entfernsten FS55 bei $z = 0.59$.

Anhang C

Auflistung aller Galaxien pro FS

Die aus der Umgebungsbetrachtung um jedes Fossile System bestimmten Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc (siehe Abschnitt 6.2) sind in den folgenden Tabellen aufgelistet.

Die Reihenfolge der Auflistung aller Galaxien erfolgt - vergleichbar zu den Diagrammen über die räumliche Verteilung der Objekte um die FS (siehe Kapitel 7) - mit abnehmender radialer Entfernung, beginnend mit den entferntesten Galaxien. Eine laufende Nummerierung der Galaxien zu jedem FS ist in Spalte 1 enthalten. In Spalte 2 ist die Galaxienbezeichnung gemäß NED angeführt. Spalte 3 und 4 zeigen die Koordinaten in Grad, konsistent mit den Diagrammen der räumlichen Verteilung. Der Winkelabstand D aller Galaxien von der zentralen Elliptischen Galaxie des jeweiligen Fossilen Systems ist in Einheiten von Bogenminuten in Spalte 5 enthalten. Spalte 6 zeigt die Rotverschiebung z und Spalte 7 die radiale Entfernung d relativ zur E-Galaxie umgerechnet in Mpc.

C.1 Galaxien zu FS01

Tabelle C.1: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS01

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	SDSS J015037.57-094943.6	27.65655	-9.82878	16.3	0.3655	2.05
2	SDSS J015021.27-100530.5	27.58865	-10.09182	0.0	0.3650	0.00

C.2 Galaxien zu FS03

Tabelle C.2: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS03

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J07572356+4611251	119.34825	46.19022	50.6	0.0530	4.91
2	2MASX J07504609+4601476	117.69217	46.02978	21.1	0.0529	4.64

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
3	2MASX J07532103+4614398	118.33763	46.24458	18.8	0.0529	4.63
4	SDSS J075513.99+454446.1	118.80831	45.74616	28.8	0.0528	4.26
5	SDSS J075728.88+462843.2	119.37035	46.47867	58.6	0.0528	4.13
6	SDSS J075659.37+455452.8	119.24738	45.91468	44.4	0.0528	4.09
7	2MASX J07572180+4548011	119.34100	45.80019	49.1	0.0528	3.98
8	2MASX J07534867+4526010	118.45277	45.43364	32.9	0.0527	3.91
9	2MASX J07560800+4554408	119.03326	45.91136	35.5	0.0527	3.75
10	2MASX J07545148+4542185	118.71467	45.70506	26.6	0.0527	3.67
11	2MASX J07571053+4541043	119.29400	45.68453	49.1	0.0527	3.66
12	2MASX J07564711+4557254	119.19655	45.95707	42.2	0.0527	3.58
13	2MASX J07582458+4620316	119.60242	46.34215	63.5	0.0526	3.40
14	SDSS J075931.61+453451.3	119.88174	45.58092	74.4	0.0526	3.17
15	2MASX J07564309+4555294	119.17974	45.92484	41.6	0.0525	3.10
16	SDSS J075527.76+462632.6	118.86567	46.44239	40.9	0.0525	3.02
17	2MASX J07525342+4557208	118.22246	45.95583	1.6	0.0525	3.02
18	2MASX J07580746+4530245	119.53118	45.50672	62.4	0.0525	2.83
19	2MASXi J0755243+455049	118.85125	45.84684	28.5	0.0524	2.70
20	SDSS J075644.15+454255.3	119.18398	45.71538	44.1	0.0524	2.40
21	2MASX J07535144+4541129	118.46438	45.68706	19.6	0.0524	2.34
22	MCG +08-15-028	119.43252	46.49366	61.3	0.0523	2.17
23	2MASX J07483279+4602292	117.13681	46.04135	44.0	0.0523	2.13
24	SDSS J075212.93+454515.4	118.05388	45.75428	12.9	0.0522	1.78
25	2MASX J07573911+4544022	119.41293	45.73384	53.0	0.0522	1.74
26	MCG +08-14-048	117.07817	46.17444	48.0	0.0522	1.71
27	2MASX J07570876+4550573	119.28660	45.84907	46.4	0.0522	1.67
28	SDSS J075651.43+455434.3	119.21432	45.90954	43.1	0.0522	1.54
29	SDSS J075634.28+454317.7	119.14283	45.72158	42.3	0.0521	1.23
30	SDSS J075952.75+462314.6	119.96980	46.38739	78.7	0.0521	1.20
31	2MASX J07525821+4601068	118.24250	46.01861	4.8	0.0520	0.99
32	SDSS J075822.66+454432.6	119.59445	45.74241	60.2	0.0520	0.97
33	SDSS J075704.05+453608.7	119.26690	45.60244	49.9	0.0519	0.27
34	2MASX J07542295+4538246	118.59540	45.64011	25.3	0.0519	0.25
35	B3 0749+460A	118.18429	45.94926	0.0	0.0518	0.00
36	SDSS J075231.75+455505.1	118.13229	45.91808	2.9	0.0518	-0.04
37	2MASX J07515144+4604099	117.96450	46.06944	11.7	0.0518	-0.09
38	2MASX J07593884+4536034	119.91191	45.60103	75.3	0.0517	-0.21
39	2MASX J07513389+4556479	117.89117	45.94661	12.2	0.0517	-0.41
40	2MASX J07482982+4550512	117.12421	45.84769	44.7	0.0517	-0.46
41	SDSS J075641.25+464842.5	119.17188	46.81181	66.0	0.0517	-0.60
42	SDSS J075720.37+454439.0	119.33491	45.74417	49.6	0.0516	-0.72
43	SDSS J074736.01+455222.0	116.90004	45.87278	53.8	0.0516	-0.72
44	SDSS J075346.15+454542.2	118.44229	45.76172	15.6	0.0516	-0.77
45	MCG +08-15-020	118.94483	46.91560	66.0	0.0516	-0.94
46	SDSS J075131.02+470131.4	117.87925	47.02539	65.8	0.0515	-1.11
47	SDSS J075716.39+454825.1	119.31829	45.80699	48.1	0.0515	-1.36
48	SDSS J075542.98+465830.5	118.92908	46.97514	68.8	0.0515	-1.43
49	2MASX J07540132+4552149	118.50554	45.87081	14.2	0.0512	-2.49
50	2MASX J07552791+4604146	118.86632	46.07061	29.3	0.0512	-2.65
51	2MASX J07543049+4543316	118.62700	45.72539	22.9	0.0511	-2.79
52	SDSS J075350.01+454815.8	118.45838	45.80439	14.4	0.0511	-3.00
53	SDSS J075128.58+461100.7	117.86908	46.18353	19.2	0.0510	-3.28

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
54	UGC 04101	119.14661	45.55162	46.8	0.0509	-3.61
55	2MASX J07550733+4543356	118.78079	45.72654	28.3	0.0509	-3.69
56	2MASX J07562018+4518079	119.08411	45.30226	54.2	0.0509	-3.94
57	SDSS J075517.14+451320.0	118.82144	45.22224	51.2	0.0508	-4.03
58	2MASX J07562577+4515019	119.10738	45.25041	57.1	0.0508	-4.05
59	SDSS J075531.15+451803.4	118.87980	45.30095	48.6	0.0508	-4.06
60	2MASX J07545841+4504556	118.74332	45.08214	57.1	0.0508	-4.15
61	2MASX J07552552+4526216	118.85632	45.43934	41.6	0.0508	-4.22
62	SDSS J075626.08+452002.9	119.10870	45.33414	53.5	0.0508	-4.36
63	2MASX J07453375+4552024	116.39054	45.86719	75.0	0.0507	-4.62
64	SDSS J075203.14+455841.5	118.01308	45.97819	7.3	0.0507	-4.66
65	SDSS J075520.36+452701.8	118.83484	45.45051	40.5	0.0506	-4.98

C.3 Galaxien zu FS04

Tabelle C.3: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS04

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	2MASX J08055703+3353080	121.48775	33.88561	20.9	0.2082	1.13
2	2MASX J08073078+3400419	121.87812	34.01156	0.0	0.2079	0.00

C.4 Galaxien zu FS05

Tabelle C.4: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS05

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	ABELL 0697:[GBB2006] 37	130.73742	36.36481	0.2	0.2836	4.83
2	ABELL 0697:[GBB2006] 44	130.74100	36.40806	2.5	0.2835	4.54
3	ABELL 0697:[GBB2006] 72	130.76450	36.30350	4.0	0.2835	4.42
4	ABELL 0697:[MM2000a] 03	130.74033	36.36706	0.0	0.2833	3.93
5	ABELL 0697:[GBB2006] 66	130.75871	36.30742	3.7	0.2830	2.87
6	ABELL 0697:[GBB2006] 83	130.77692	36.36578	1.8	0.2830	2.72
7	ABELL 0697:[GBB2006] 03	130.65700	36.36361	4.0	0.2829	2.23
8	ABELL 0697:[GBB2006] 02	130.65129	36.36194	4.3	0.2827	1.79
9	SDSS J084257.62+362200.9	130.74008	36.36692	0.0	0.2826	1.11
10	ABELL 0697:[MM2000a] 11	130.74108	36.36347	0.2	0.2824	0.67
11	2MASX J08425763+3622000	130.73983	36.36647	0.0	0.2823	0.00
12	ABELL 0697:[GBB2006] 60	130.75558	36.30692	3.7	0.2823	-0.05
13	ABELL 0697:[GBB2006] 05	130.67500	36.37047	3.1	0.2822	-0.35
14	ABELL 0697:[GBB2006] 57	130.75179	36.29586	4.3	0.2819	-1.39
15	SDSS J084219.72+361640.9	130.58217	36.27803	9.3	0.2818	-1.85
16	ABELL 0697:[MM2000a] 21	130.76500	36.36553	1.2	0.2812	-3.94
17	ABELL 0697:[GBB2006] 52	130.74858	36.37583	0.7	0.2812	-4.10
18	ABELL 0697:[MM2000a] 04	130.74246	36.37208	0.4	0.2809	-4.95

C.5 Galaxien zu FS06

Tabelle C.5: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS06

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	SDSS J084438.37+440254.2	131.15987	44.04839	64.4	0.0553	4.93
2	2MASX J08441818+4300304	131.07592	43.00844	7.3	0.0552	4.69
3	2MASX J08441595+4310435	131.06658	43.17875	14.2	0.0552	4.39
4	2MASX J08410209+4337578	130.25859	43.63246	58.0	0.0551	4.31
5	2MASX J08474014+4259578	131.91733	42.99942	29.9	0.0551	4.30
6	SDSS J084602.19+432832.3	131.50913	43.47567	32.2	0.0551	4.29
7	2MASX J08451113+4250331	131.29642	42.84261	8.5	0.0550	3.65
8	SDSS J084346.93+435246.9	130.94554	43.87969	55.6	0.0548	2.76
9	SDSS J083900.30+432320.5	129.75125	43.38906	69.5	0.0547	2.35
10	2MASX J08385606+4325526	129.73342	43.43119	71.1	0.0546	2.07
11	SDSS J084511.85+420401.3	131.29937	42.06706	54.6	0.0545	1.62
12	SDSS J084446.78+432919.7	131.19492	43.48881	30.8	0.0544	1.32
13	2MASX J08453952+4325440	131.41463	43.42897	28.2	0.0544	1.17
14	SDSS J084846.35+440024.8	132.19313	44.00689	74.5	0.0544	1.11
15	SDSS J084411.96+424103.3	131.04987	42.68425	19.4	0.0543	1.01
16	2MASX J08444979+4327019	131.20736	43.45036	28.5	0.0543	0.80
17	2MASX J08435831+4255256	130.99325	42.92386	11.1	0.0543	0.78
18	2MASX J08444406+4301079	131.18383	43.01878	3.4	0.0543	0.72
19	2MASX J08453981+4210380	131.41571	42.17719	48.6	0.0542	0.33
20	CGCG 208-042	131.23595	42.97651	0.0	0.0541	0.00
21	SDSS J084457.15+420230.8	131.23812	42.04189	56.1	0.0541	-0.16
22	SDSS J084451.52+432758.6	131.21471	43.46631	29.4	0.0540	-0.52
23	SDSS J084436.77+430706.7	131.15321	43.11853	9.3	0.0539	-0.76
24	2MASX J08494108+4342092	132.42104	43.70243	67.6	0.0539	-0.76
25	2MASX J08460667+4339334	131.52796	43.65906	42.9	0.0539	-1.05
26	2MASX J08443730+4339120	131.15542	43.65317	40.7	0.0538	-1.32
27	2MASX J08442767+4252449	131.11546	42.87906	7.9	0.0537	-1.81
28	2MASX J08443106+4159139	131.12938	41.98731	59.5	0.0537	-1.81
29	SDSS J084515.01+425612.5	131.31254	42.93683	4.1	0.0534	-3.13
30	2MASX J08435086+4204185	130.96175	42.07172	55.6	0.0533	-3.20
31	SDSS J084734.23+435038.7	131.89263	43.84408	59.4	0.0531	-4.30

C.6 Galaxien zu FS07

Tabelle C.6: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS07

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	SDSS J090345.92+274812.0	135.94133	27.80333	12.9	0.4906	4.79
2	SDSS J090303.19+273929.4	135.76329	27.65817	0.0	0.4892	0.00

C.7 Galaxien zu FS09

Tabelle C.7: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS09

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	2dFGRS N362Z043	160.80271	0.33303	34.4	0.1260	1.76
2	2dFGRS N430Z164	160.77008	0.80281	6.2	0.1258	0.96
3	SDSS J104331.54+003354.6	160.88146	0.56517	21.6	0.1256	0.35
4	2MASX J10434327+0033526	160.93033	0.56472	22.8	0.1256	0.29
5	2dFGRS N430Z151	160.83821	0.60058	18.9	0.1256	0.15
6	2MASX J10430260+0054183	160.76071	0.90508	0.0	0.1256	0.00
7	2MASX J10432392+0101036	160.84987	1.01772	8.6	0.1255	-0.24
8	SDSS J104313.06+003923.8	160.80446	0.65664	15.1	0.1252	-1.65
9	2dFGRS N362Z070	160.65558	0.88381	6.4	0.1251	-1.87
10	2dFGRS N363Z216	160.77013	0.75803	8.8	0.1250	-2.27
11	2dFGRS N429Z080	160.57063	1.18342	20.2	0.1249	-2.67
12	2MASX J10431633+0047546	160.81808	0.79847	7.3	0.1248	-2.90
13	2dFGRS N363Z211	160.80758	0.57692	19.9	0.1248	-3.08
14	2dFGRS N362Z009	160.95767	0.50381	26.8	0.1248	-3.08
15	2dFGRS N431Z232	160.76583	0.75542	9.0	0.1247	-3.48
16	2dFGRS N430Z156	160.81483	0.83931	5.1	0.1244	-4.69
17	[MKB] J104313.76+004013.0	160.80733	0.67028	14.4	0.1244	-4.78

C.8 Galaxien zu FS10

Tabelle C.8: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS10

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	SDSS J105542.54+551245.8	163.92725	55.21272	11.1	0.4678	0.87
2	SDSS J105452.04+552112.5	163.71683	55.35347	0.0	0.4675	0.00
3	SDSS J105558.46+551627.7	163.99358	55.27436	10.6	0.4666	-3.18

C.9 Galaxien zu FS12

Tabelle C.9: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS12

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	2MASX J11215527+1049232	170.48033	10.82311	0.0	0.2402	0.00
2	SDSS J112117.55+105527.1	170.32313	10.92419	11.1	0.2398	-1.69

C.10 Galaxien zu FS13

Tabelle C.10: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS13

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J11413848+0550131	175.41037	5.83700	8.7	0.1889	4.16
2	2MASX J11412822+0558291	175.36787	5.97486	0.0	0.1878	0.00

C.11 Galaxien zu FS15

Tabelle C.11: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS15

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	SDSS J114511.89+570552.0	176.29954	57.09778	26.1	0.1050	1.47
2	2MASX J11460980+5706129	176.54071	57.10361	19.5	0.1049	1.22
3	2MASX J11441259+5701431	176.05217	57.02869	32.4	0.1049	1.19
4	SDSS J114803.81+565425.6	177.01587	56.90711	0.0	0.1046	0.00
5	SDSS J114953.10+571541.4	177.47125	57.26150	25.9	0.1045	-0.31
6	2MASX J11460778+5720449	176.53229	57.34572	30.7	0.1039	-2.76

C.12 Galaxien zu FS17

Tabelle C.12: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS17

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	SDSS J124954.50+413046.9	192.47708	41.51303	24.8	0.1560	2.27
2	2MASX J12465528+4149370	191.73054	41.82708	20.0	0.1560	2.20
3	SDSS J124850.82+410610.7	192.21175	41.10297	28.5	0.1557	1.37
4	SDSS J124856.96+413550.3	192.23733	41.59731	14.6	0.1557	1.29
5	SDSS J124842.15+412029.4	192.17562	41.34150	15.8	0.1557	1.18
6	2MASX J12485255+4105562	192.21892	41.09881	28.9	0.1556	0.70
7	SDSS J124742.07+413137.7	191.92529	41.52714	0.0	0.1554	0.00
8	2MASX J12482389+4106132	192.09933	41.10383	26.6	0.1542	-4.58

C.13 Galaxien zu FS18

Tabelle C.13: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS18

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J12583012+4432572	194.62546	44.54917	20.3	0.2333	0.66
2	2MASX J13000917+4442596	195.03904	44.71703	0.0	0.2332	0.00
3	2MASX J12582993+4433372	194.62467	44.56056	20.0	0.2321	-4.03

C.14 Galaxien zu FS19

Tabelle C.14: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS19

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	SDSS J133559.59−032412.9	203.99829	−3.40358	7.3	0.1771	4.52
2	LCRS B133155.8−031702	203.62987	−3.53967	22.2	0.1770	4.32
3	2dFGRS N139Z309	204.12838	−3.84911	20.9	0.1769	3.97
4	2dFGRS N139Z250	204.38458	−3.36983	24.8	0.1765	2.25
5	LCSB S1936O	203.99996	−3.52478	0.0	0.1759	0.00
6	2dFGRS N139Z280	204.23792	−3.83692	23.5	0.1756	−1.24
7	LCRS B133311.2−030741	203.94329	−3.38325	9.1	0.1752	−2.56

C.15 Galaxien zu FS20

Tabelle C.15: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS20

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	SDSS J141201.34+411715.5	213.00558	41.28764	35.6	0.0949	4.77
2	SDSS J140745.34+415018.0	211.93892	41.83833	26.4	0.0948	4.10
3	2MASX J14101605+4138458	212.56688	41.64594	7.0	0.0945	3.02
4	2MASX J14090164+4153533	212.25658	41.89819	14.5	0.0945	2.86
5	SDSS J140903.70+415300.6	212.26542	41.88353	13.6	0.0944	2.55
6	SDSS J141400.38+414834.6	213.50158	41.80961	44.1	0.0943	2.28
7	2MASX J14093643+4136283	212.40183	41.60781	10.3	0.0941	1.33
8	SDSS J141026.10+414446.6	212.60875	41.74631	4.1	0.0941	1.27
9	2MASX J14131633+4152584	213.31817	41.88300	36.6	0.0940	1.15
10	2MASX J14104164+4147018	212.67362	41.78381	7.2	0.0939	0.57
11	SDSS J140929.60+415313.7	212.37333	41.88717	10.2	0.0939	0.54
12	2MASX J14120217+4130067	213.00883	41.50175	26.8	0.0939	0.50
13	SDSS J140939.06+414419.5	212.41275	41.73878	4.8	0.0939	0.41
14	2MASX J14081496+4143148	212.06233	41.72072	20.5	0.0938	0.17
15	2MASX J14100418+4145208	212.51746	41.75581	0.0	0.0938	0.00
16	2MASX J14061647+4146238	211.56846	41.77319	42.5	0.0937	−0.44
17	2MASX J14110581+4109202	212.77446	41.15567	37.8	0.0936	−0.76
18	SDSS J141208.08+415915.5	213.03367	41.98764	26.9	0.0936	−0.82
19	2MASX J14110447+4111042	212.76854	41.18458	36.1	0.0934	−1.52
20	2MASX J14063028+4156380	211.62609	41.94364	41.4	0.0933	−1.74
21	2MASX J14063491+4157445	211.64546	41.96214	40.9	0.0933	−1.93
22	2MASX J14121055+4131547	213.04408	41.53189	27.2	0.0933	−2.08
23	2MASX J14101211+4229532	212.55046	42.49828	44.6	0.0932	−2.29
24	SDSS J140922.33+415226.8	212.34304	41.87414	10.5	0.0930	−3.00
25	SDSS J140600.62+415808.4	211.50258	41.96900	47.1	0.0929	−3.35
26	SDSS J140742.33+415931.9	211.92638	41.99219	30.0	0.0928	−3.77
27	2MASX J14100669+4150148	212.52792	41.83731	4.9	0.0927	−4.51

C.16 Galaxien zu FS22

Tabelle C.16: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS22

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	SDSS J145206.50+484331.8	223.02708	48.72550	26.8	0.1468	2.50
2	LCSB S2108P	223.49588	48.40475	0.0	0.1462	0.00
3	SDSS J145515.79+475526.8	223.81579	47.92411	31.6	0.1457	-2.01

C.17 Galaxien zu FS23

Tabelle C.17: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS23

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J15294777+4411214	232.44908	44.18917	3.3	0.1490	4.55
2	SDSS J152923.59+440459.7	232.34829	44.08328	5.1	0.1488	4.02
3	2MASX J15282601+4351125	232.10817	43.85342	22.2	0.1488	3.71
4	2MASX J15312090+4427304	232.83721	44.45850	25.8	0.1486	3.01
5	SDSS J153120.40+441455.1	232.83500	44.24864	18.2	0.1483	1.97
6	2MASX J15282666+4352084	232.11129	43.86897	21.4	0.1483	1.90
7	SDSS J153147.34+440829.1	232.94725	44.14142	21.7	0.1483	1.84
8	SDSS J152842.98+434646.6	232.17908	43.77961	24.2	0.1481	1.20
9	2MASX J15271288+4356260	231.80363	43.94058	29.9	0.1481	0.98
10	SDSS J152844.24+441832.6	232.18433	44.30906	15.3	0.1479	0.45
11	SDSS J152821.61+434811.5	232.09004	43.80322	25.0	0.1479	0.43
12	2MASX J15294628+4408044	232.44283	44.13450	0.0	0.1478	0.00
13	2MASX J15294960+4345093	232.45650	43.75264	22.9	0.1475	-1.42
14	2MASX J15301738+4348501	232.57229	43.81397	20.0	0.1474	-1.56
15	2MASX J15282471+4353235	232.10317	43.88978	20.7	0.1473	-2.07
16	SDSS J152946.74+440752.3	232.44475	44.13119	0.2	0.1473	-2.25
17	2MASX J15301442+4348571	232.56025	43.81586	19.8	0.1472	-2.58
18	SDSS J153030.58+435323.4	232.62742	43.88983	16.7	0.1469	-3.83
19	2MASX J15282397+4351434	232.10000	43.86217	22.0	0.1468	-3.98
20	SDSS J153016.56+440824.5	232.56900	44.14014	5.4	0.1467	-4.58

C.18 Galaxien zu FS25

Tabelle C.18: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS25

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	SDSS J154207.50+305138.2	235.53125	30.86061	30.6	0.0982	4.67
2	SDSS J153818.11+305204.6	234.57546	30.86794	21.9	0.0981	4.34
3	2MASX J15391724+3059112	234.82192	30.98653	17.7	0.0980	3.85
4	2MASX J15380361+3056590	234.51513	30.94961	26.9	0.0980	3.79
5	2MASX J15384973+3100099	234.70742	31.00289	21.5	0.0980	3.77
6	SDSS J154030.38+304235.3	235.12658	30.70981	8.5	0.0980	3.60
7	2MASX J15393791+3050162	234.90796	30.83783	7.7	0.0976	2.22

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
8	SDSS J153749.79+303351.4	234.45746	30.56428	27.6	0.0976	2.03
9	SDSS J153714.58+303047.1	234.31075	30.51308	35.8	0.0975	1.80
10	SDSS J153710.68+303024.7	234.29450	30.50686	36.7	0.0975	1.73
11	SDSS J154159.53+305509.4	235.49804	30.91928	30.2	0.0975	1.62
12	2MASX J15382280+3034550	234.59512	30.58208	20.6	0.0973	1.08
13	2MASX J15383592+3051338	234.64979	30.85953	18.2	0.0973	0.80
14	2MASX J15424283+3026021	235.67867	30.43408	40.8	0.0972	0.65
15	2MASX J15372044+3053177	234.33496	30.88839	33.9	0.0972	0.61
16	2MASX J15370180+3048557	234.25762	30.81539	36.8	0.0971	0.11
17	2MASX J15373018+3048322	234.37575	30.80892	30.7	0.0971	0.11
18	2MASX J15382629+3033100	234.60958	30.55281	20.7	0.0971	0.01
19	2MASX J15395079+3043037	234.96158	30.71778	0.0	0.0971	0.00
20	2MASX J15395770+3041087	234.99062	30.68569	2.4	0.0970	-0.43
21	2MASX J15383382+3033178	234.64079	30.55497	19.2	0.0969	-0.68
22	SDSS J154107.62+303820.7	235.28175	30.63908	17.2	0.0969	-0.81
23	2MASX J15385463+3057389	234.72767	30.96092	18.9	0.0968	-1.18
24	2MASX J15374393+3036162	234.43296	30.60456	28.1	0.0966	-1.82
25	2MASX J15393781+3041242	234.90771	30.69014	3.2	0.0966	-1.83
26	2MASX J15405627+3033116	235.23429	30.55342	17.2	0.0966	-2.14
27	2MASX J15390302+3040509	234.76258	30.68086	10.5	0.0965	-2.26
28	2MASX J15371212+3053247	234.30075	30.89028	35.6	0.0965	-2.32
29	2MASX J15404524+3023470	235.18838	30.39647	22.6	0.0964	-2.80
30	SDSS J154001.37+303444.3	235.00571	30.57897	8.6	0.0964	-2.84
31	2MASX J15381497+3048460	234.56250	30.81278	21.4	0.0963	-3.06
32	2MASX J15414041+3030208	235.41842	30.50572	26.8	0.0963	-3.29
33	SDSS J154053.12+304219.8	235.22133	30.70550	13.4	0.0962	-3.42
34	2MASX J15384881+3052209	234.70329	30.87258	16.2	0.0962	-3.60
35	2MASX J15425889+3050171	235.74521	30.83797	41.0	0.0960	-4.58

C.19 Galaxien zu FS26

Tabelle C.19: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS26

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	2MASX J15502891+0926242	237.62046	9.43997	42.4	0.0729	4.85
2	2MASX J15512594+0851342	237.85804	8.85953	37.1	0.0726	3.28
3	2MASX J15513721+0857252	237.90504	8.95703	40.4	0.0725	3.16
4	2MASX J15484116+0846349	237.17167	8.77639	5.5	0.0724	2.56
5	SDSS J154845.18+085138.1	237.18825	8.86058	2.8	0.0723	2.28
6	2MASX J15510022+0934179	237.75088	9.57156	53.3	0.0723	2.22
7	SDSS J154928.63+085409.1	237.36929	8.90253	8.8	0.0720	1.07
8	SDSS J154832.18+084249.4	237.13408	8.71372	9.8	0.0720	0.99
9	2MASX J15493367+0901008	237.39013	9.01692	13.9	0.0719	0.46
10	2MASX J15492286+0854088	237.34517	8.90228	7.5	0.0718	0.13
11	2MASX J15511408+0933149	237.80863	9.55406	54.5	0.0718	0.06
12	CGCG 078-079	237.23272	8.84558	0.0	0.0718	0.00
13	SDSS J154811.19+083943.6	237.04663	8.66211	15.6	0.0718	-0.02
14	SDSS J155107.85+090152.4	237.78271	9.03122	34.4	0.0716	-0.52
15	SDSS J154904.86+091010.3	237.27025	9.16953	19.6	0.0716	-0.80

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
16	SDSS J155042.37+092911.3	237.67654	9.48647	46.6	0.0715	-0.94
17	SDSS J154854.82+084944.1	237.22842	8.82892	1.0	0.0715	-1.25
18	2MASX J15494271+0757107	237.42808	7.95303	54.8	0.0714	-1.37
19	2MASX J15483711+0806329	237.15471	8.10919	44.4	0.0714	-1.44
20	2MASX J15490124+0824452	237.25533	8.41247	26.0	0.0714	-1.55
21	2MASX J15475094+0812196	236.96221	8.20547	41.6	0.0713	-1.77
22	2MASX J15481531+0852050	237.06396	8.86811	10.1	0.0713	-1.91
23	2MASX J15485040+0848289	237.21013	8.80811	2.6	0.0712	-2.35
24	2MASX J15473181+0837307	236.88258	8.62514	24.6	0.0711	-2.97
25	2MASX J15512668+0831332	237.86125	8.52603	41.9	0.0710	-3.21

C.20 Galaxien zu FS28

Tabelle C.20: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS28

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J16290726+4035276	247.28029	40.59100	99.9	0.0329	4.93
2	CGCG 224-037	247.10958	41.16444	100.5	0.0329	4.93
3	SDSS J162752.84+411051.8	246.97021	41.18106	106.8	0.0329	4.87
4	2MASX J16275930+4058059	246.99704	40.96822	106.6	0.0329	4.81
5	SDSS J162719.59+404954.2	246.83163	40.83172	115.4	0.0329	4.81
6	CGCG 224-093	250.53408	40.27691	77.2	0.0329	4.78
7	2MASX J16275494+4036219	246.97875	40.60606	112.5	0.0328	4.72
8	SDSS J164134.14+401905.8	250.39229	40.31829	71.0	0.0328	4.51
9	SDSS J162824.14+422900.2	247.10058	42.48342	126.5	0.0328	4.48
10	SDSS J164222.15+401639.6	250.59232	40.27768	79.1	0.0328	4.43
11	SDSS J163055.79+410907.4	247.73246	41.15206	72.4	0.0328	4.43
12	SDSS J163948.97+423233.4	249.95405	42.54262	85.8	0.0327	4.33
13	2MASXi J1646576+415623	251.74007	41.93962	117.0	0.0327	4.32
14	SDSS J164127.31+401235.7	250.36380	40.20993	75.1	0.0327	4.14
15	2MASX J16281610+4006569	247.06700	40.11592	121.7	0.0327	4.05
16	SDSS J162712.32+405825.1	246.80133	40.97367	115.3	0.0327	4.05
17	2MASX J16402275+3956351	250.09496	39.94297	82.4	0.0327	3.99
18	2MASX J16281513+4033269	247.06308	40.55758	109.8	0.0326	3.80
19	SDSS J162741.40+403316.1	246.92250	40.55447	115.9	0.0326	3.73
20	UGC 10432	247.66338	41.21067	75.5	0.0326	3.56
21	2MASX J16424030+4010086	250.66802	40.16911	86.1	0.0325	3.42
22	2MASXi J1627463+403922	246.94317	40.65650	113.1	0.0325	3.42
23	SDSS J163350.55+403934.9	248.46062	40.65969	50.8	0.0325	3.32
24	SDSS J162702.92+413942.3	246.76217	41.66178	119.2	0.0325	3.31
25	2MASX J16280987+4041439	247.04125	40.69556	108.1	0.0325	3.28
26	2MASX J16310298+3937254	247.76225	39.62372	118.3	0.0325	3.14
27	SDSS J163238.16+412730.8	248.15900	41.45856	55.4	0.0324	3.06
28	SDSS J163746.61+404718.0	249.44421	40.78833	24.5	0.0324	2.95
29	SDSS J164621.12+413901.7	251.58802	41.65048	105.1	0.0324	2.94
30	HS 1637+4206	249.71090	42.01063	52.1	0.0324	2.93
31	2MASX J16281824+4047029	247.07600	40.78406	105.2	0.0324	2.90
32	2MFGC 13255	248.04742	42.71381	108.0	0.0324	2.88
33	2MASX J16404207+3948262	250.17500	39.80704	91.3	0.0324	2.79

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
34	2MASX J16421465+3950265	250.56096	39.84072	98.3	0.0324	2.75
35	SDSS J163133.74+394748.6	247.89058	39.79686	106.4	0.0324	2.70
36	UGC 10512 NOTES01	250.45256	39.99010	88.1	0.0323	2.59
37	UGC 10512	250.44608	39.98433	88.2	0.0323	2.59
38	SHOC 549	251.68795	41.53583	108.0	0.0323	2.54
39	2MASX J16285887+3948115	247.24529	39.80306	126.5	0.0323	2.37
40	2MFGC 13241	247.76337	39.56219	121.2	0.0323	2.32
41	CGCG 224-043	247.17348	41.13692	97.7	0.0323	2.31
42	2MASX J16301888+4254538	247.57868	42.91487	129.8	0.0322	2.12
43	2MFGC 13411	251.34727	42.31435	112.6	0.0322	2.11
44	MCG +07-34-111	247.97887	42.70647	109.3	0.0322	2.06
45	SDSS J162833.01+414400.8	247.13754	41.73356	104.1	0.0322	1.94
46	2MASXi J1627486+411158	246.95246	41.19975	107.6	0.0322	1.92
47	2MASX J16290685+3948466	247.27863	39.81294	125.0	0.0322	1.84
48	2MASX J16425732+4007487	250.73882	40.13026	90.1	0.0321	1.74
49	SDSS J162845.99+395111.3	247.19162	39.85317	126.4	0.0321	1.65
50	2MASX J16310015+4014514	247.75058	40.24767	91.6	0.0321	1.63
51	SDSS J162922.80+424646.3	247.34500	42.77953	130.3	0.0321	1.63
52	2MASX J16285118+3945199	247.21338	39.75547	129.5	0.0321	1.60
53	CGCG 224-092	250.44917	39.98722	88.2	0.0321	1.55
54	SDSS J164114.72+403252.2	250.31135	40.54786	58.7	0.0321	1.50
55	2MASX J16292807+4032508	247.36721	40.54731	97.2	0.0321	1.49
56	2MASX J16422266+4018126	250.59430	40.30352	78.1	0.0321	1.48
57	SDSS J163002.17+394122.6	247.50908	39.68961	122.7	0.0321	1.46
58	UGC 10479	249.39342	40.86844	19.4	0.0321	1.44
59	SDSS J162837.79+422913.7	247.15746	42.48717	124.7	0.0321	1.43
60	SDSS J164042.34+395946.0	250.17642	39.99611	81.2	0.0320	1.39
61	SDSS J162956.35+413324.3	247.48479	41.55675	86.2	0.0320	1.34
62	III Zw 085	247.77842	40.93306	72.1	0.0320	1.28
63	SDSS J162602.28+405951.4	246.50950	40.99761	128.3	0.0320	1.16
64	SDSS J163044.47+413403.1	247.68533	41.56753	77.7	0.0320	1.16
65	MCG +07-34-096	247.65500	41.59261	79.4	0.0320	1.07
66	SDSS J164330.78+403251.5	250.87828	40.54766	79.9	0.0320	1.02
67	SDSS J163832.25+415407.2	249.63438	41.90200	44.8	0.0319	0.97
68	CGCG 224-037 NED02	247.11483	41.16100	100.3	0.0319	0.93
69	UGC 10415	247.25171	41.28428	94.2	0.0319	0.92
70	2MASX J16352520+4055424	248.85499	40.92824	26.8	0.0319	0.89
71	2MASX J16303124+4106351	247.63012	41.10981	77.2	0.0319	0.88
72	CGCG 224-089	250.28585	40.42152	63.1	0.0319	0.82
73	2MASX J16311972+4256194	247.83208	42.93883	124.5	0.0319	0.79
74	SDSS J164125.68+402956.0	250.35716	40.49867	62.2	0.0319	0.78
75	IC 4612	248.45675	39.26319	122.4	0.0319	0.74
76	MCG +07-34-114	248.91464	42.46125	78.6	0.0319	0.61
77	SDSS J162715.98+413442.1	246.81662	41.57839	115.8	0.0319	0.60
78	SDSS J162859.44+413918.6	247.24767	41.65517	98.0	0.0319	0.59
79	2MASX J16355804+4226059	248.99202	42.43508	76.3	0.0318	0.55
80	SDSS J162843.74+402929.3	247.18229	40.49150	106.3	0.0318	0.53
81	KUG 1625+410	246.79721	40.90664	116.1	0.0318	0.52
82	2MASX J16344223+4222069	248.67576	42.36851	76.7	0.0318	0.44
83	CGCG 224-063	247.74483	40.93056	73.6	0.0318	0.38
84	2MASX J16314409+4025360	247.93379	40.42672	78.4	0.0318	0.28

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
85	SDSS J162657.98+404754.3	246.74162	40.79842	119.8	0.0318	0.28
86	UGC 10420	247.46267	39.76650	120.8	0.0318	0.24
87	NGC 6160	246.92138	40.92700	110.3	0.0318	0.19
88	2MASX J16290365+4036156	247.26525	40.60406	100.2	0.0317	0.07
89	2MASXi J1637205+411120	249.33546	41.18884	0.0	0.0317	0.00
90	2MASX J16424860+4125566	250.70271	41.43233	63.3	0.0317	-0.20
91	2MASX J16294947+4013151	247.45617	40.22078	103.3	0.0317	-0.20
92	2MASX J16414877+4149075	250.45330	41.81864	62.9	0.0317	-0.22
93	2MASX J16300632+4018532	247.52654	40.31472	97.5	0.0317	-0.23
94	SDSS J162921.00+403344.3	247.33754	40.56233	98.1	0.0317	-0.29
95	2MASX J16274761+4058008	246.94846	40.96703	108.8	0.0316	-0.30
96	KUG 1632+393A	248.44213	39.27202	122.1	0.0316	-0.35
97	SDSS J163329.38+392058.8	248.37246	39.34967	118.8	0.0316	-0.38
98	2MASX J16335914+4053048	248.49633	40.88456	42.1	0.0316	-0.62
99	2MASX J16301405+4032330	247.55867	40.54275	89.5	0.0315	-0.74
100	2MASX J16304754+3938291	247.69837	39.64147	119.2	0.0315	-0.74
101	IC 4610	248.41317	39.25764	123.3	0.0315	-0.75
102	SDSS J163458.89+422315.6	248.74540	42.38767	76.6	0.0315	-0.91
103	SDSS J163831.34+431330.8	249.63062	43.22523	122.9	0.0315	-0.94
104	SDSS J162636.74+405120.7	246.65312	40.85578	123.0	0.0315	-0.95
105	SDSS J163413.36+420508.2	248.55567	42.08563	64.2	0.0315	-1.02
106	SDSS J162832.95+405605.6	247.13729	40.93489	100.6	0.0315	-1.06
107	SDSS J163201.85+401557.0	248.00771	40.26583	81.9	0.0315	-1.10
108	SDSS J163727.15+393250.5	249.36312	39.54739	98.5	0.0315	-1.10
109	2MASX J16392396+4144437	249.84983	41.74550	40.6	0.0315	-1.12
110	2MASX J16304756+3958423	247.69837	39.97833	104.1	0.0315	-1.13
111	SDSS J163135.66+395914.2	247.89858	39.98728	97.4	0.0315	-1.13
112	MCG +07-34-084	247.43600	41.77804	92.4	0.0314	-1.23
113	SDSS J163400.27+405607.1	248.50113	40.93531	40.7	0.0314	-1.23
114	SDSS J162944.76+414642.7	247.43650	41.77853	92.4	0.0314	-1.31
115	SDSS J162937.79+403345.1	247.40746	40.56256	95.2	0.0314	-1.37
116	FGC 2039	247.24546	42.41969	119.1	0.0314	-1.38
117	SDSS J164240.14+415621.1	250.66727	41.93920	74.8	0.0314	-1.44
118	SDSS J163748.00+393012.6	249.45000	39.50350	101.3	0.0314	-1.45
119	2MASX J16272959+4057558	246.87338	40.96553	112.2	0.0314	-1.55
120	2MASX J16360345+4044322	249.01446	40.74206	30.5	0.0313	-1.58
121	2MASX J16281973+3957329	247.08233	39.95914	126.4	0.0313	-1.61
122	SDSS J163334.91+415817.5	248.39546	41.97153	63.1	0.0313	-1.77
123	2MASX J16291843+4233320	247.32675	42.55883	121.7	0.0313	-1.84
124	SDSS J163649.96+422001.1	249.20820	42.33366	68.9	0.0313	-1.85
125	SDSS J163227.61+404622.7	248.11504	40.77297	60.7	0.0313	-1.91
126	SDSS J164154.75+400827.2	250.47815	40.14091	81.6	0.0312	-2.18
127	2MASX J16312859+3956340	247.86904	39.94281	100.3	0.0312	-2.21
128	SDSS J163640.19+414944.7	249.16747	41.82909	39.1	0.0312	-2.22
129	UGC 10423	247.47662	41.60454	87.3	0.0312	-2.23
130	2MASX J16285724+3942299	247.23854	39.70828	130.6	0.0312	-2.30
131	SDSS J163124.05+412244.6	247.85021	41.37908	67.9	0.0312	-2.34
132	SDSS J164453.92+411305.8	251.22467	41.21828	85.3	0.0312	-2.36
133	SDSS J164729.74+403356.4	251.87395	40.56568	121.1	0.0312	-2.37
134	SDSS J163937.22+393050.4	249.90508	39.51403	103.8	0.0311	-2.45
135	2MASX J16304383+4047471	247.68263	40.79650	78.5	0.0311	-2.49

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
136	III Zw 086	247.80057	40.48659	81.4	0.0311	-2.58
137	SDSS J163042.24+401401.5	247.67600	40.23378	94.8	0.0311	-2.62
138	SDSS J163554.35+400151.5	248.97650	40.03097	71.4	0.0310	-3.00
139	SDSS J162940.66+403243.4	247.41942	40.54539	95.1	0.0310	-3.05
140	2MASX J16364102+4149497	249.17092	41.83042	39.2	0.0310	-3.09
141	SDSS J163638.63+391735.7	249.16096	39.29325	114.0	0.0310	-3.10
142	SHOC 542	249.18667	43.12492	116.3	0.0310	-3.13
143	2MASX J16275030+4056149	246.95962	40.93747	108.5	0.0310	-3.13
144	UGC 10485	249.47333	39.24972	116.5	0.0310	-3.13
145	2MASX J16264036+4201361	246.66817	42.02678	129.8	0.0310	-3.18
146	2MASX J16375321+3914593	249.47175	39.24978	116.5	0.0309	-3.30
147	SDSS J163011.82+395039.4	247.54925	39.84428	114.7	0.0309	-3.37
148	SDSS J162635.71+405336.4	246.64883	40.89344	122.9	0.0309	-3.38
149	SDSS J163957.60+393204.3	249.99000	39.53456	103.7	0.0309	-3.39
150	MCG +07-34-150	252.14662	41.60049	128.9	0.0309	-3.40
151	KUG 1628+407	247.57404	40.59861	87.4	0.0309	-3.52
152	SDSS J163003.10+412937.4	247.51292	41.49375	84.1	0.0309	-3.67
153	SDSS J162950.35+401342.2	247.45983	40.22842	102.9	0.0308	-3.71
154	2MASX J16271654+4054527	246.81913	40.91458	115.0	0.0308	-3.87
155	2MASX J16311927+3944383	247.83029	39.74414	110.6	0.0308	-3.99
156	SDSS J164324.91+392059.8	250.85383	39.34997	130.4	0.0308	-4.03
157	SDSS J163022.57+405038.7	247.59408	40.84411	81.5	0.0308	-4.06
158	SDSS J163137.05+394637.1	247.90437	39.77697	107.0	0.0308	-4.07
159	CGCG 224-053	247.59162	40.92419	80.5	0.0307	-4.23
160	SDSS J163911.20+391940.3	249.79667	39.32786	113.6	0.0307	-4.23
161	SDSS J162836.83+410350.9	247.15346	41.06417	98.9	0.0307	-4.25
162	2MASX J16382062+4037230	249.58583	40.62297	35.8	0.0307	-4.31
163	KUG 1633+402	248.71833	40.19463	65.9	0.0307	-4.41
164	MRK 0887	250.11675	39.32014	117.7	0.0307	-4.43
165	SDSS J163428.89+400031.9	248.62042	40.00886	77.9	0.0307	-4.50
166	MCG +07-34-134	250.31292	39.28997	122.4	0.0306	-4.55
167	KUG 1634+401	249.04571	40.07144	68.3	0.0306	-4.61
168	SDSS J163050.29+412409.1	247.70954	41.40256	74.4	0.0306	-4.64
169	2MFGC 13299	249.01658	39.04883	129.2	0.0306	-4.64
170	SDSS J164325.93+391951.9	250.85808	39.33111	131.5	0.0306	-4.67
171	SDSS J163107.92+430015.2	247.78302	43.00424	129.0	0.0306	-4.68
172	2MASX J16294513+3948381	247.43804	39.81053	119.7	0.0306	-4.69
173	2MASX J16270075+4048379	246.75329	40.81053	119.1	0.0306	-4.82
174	UGC 10417	247.41992	40.68694	91.9	0.0306	-4.92
175	SDSS J163004.21+403114.0	247.51758	40.52056	91.7	0.0305	-4.97
176	MCG +07-34-132	250.29089	39.75675	96.4	0.0305	-4.98
177	2MASX J16395087+4015561	249.96196	40.26553	62.3	0.0305	-5.00

C.21 Galaxien zu FS29

Tabelle C.21: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS29

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	SDSS J164746.09+385104.2	251.94208	38.85117	8.6	0.1358	3.19

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
2	SDSS J164750.19+382845.3	251.95913	38.47927	23.3	0.1354	1.59
3	2MASX J16490732+3909327	252.28050	39.15899	31.2	0.1354	1.44
4	2MASX J16470207+3850043	251.75864	38.83452	0.0	0.1350	0.00
5	2MASX J16451708+3834218	251.32112	38.57269	25.8	0.1344	-2.54
6	SDSS J164526.69+383856.0	251.36121	38.64889	21.7	0.1340	-4.03

C.22 Galaxien zu FS30

Tabelle C.22: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS30

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	SDSS J171413.31+562018.7	258.55546	56.33853	38.3	0.1148	4.86
2	2MASX J17214905+5619532	260.45421	56.33133	36.1	0.1146	3.93
3	SDSS J171753.38+563627.7	259.47250	56.60769	4.3	0.1144	3.37
4	2MASX J17141440+5632406	258.56021	56.54467	33.5	0.1142	2.48
5	2MASX J17182635+5628553	259.60983	56.48217	11.2	0.1140	1.71
6	SDSS J171813.16+563955.4	259.55487	56.66536	0.2	0.1138	1.01
7	2MASX J17162729+5637331	259.11392	56.62581	14.6	0.1138	0.96
8	2MASX J17180383+5648563	259.51550	56.81517	9.0	0.1138	0.94
9	SDSS J172012.03+560527.1	260.05012	56.09086	38.3	0.1138	0.83
10	2MASX J17181198+5639563	259.54975	56.66558	0.0	0.1136	0.00
11	SDSS J171726.19+563748.0	259.35921	56.63000	6.6	0.1134	-0.62
12	SDSS J171656.36+563857.9	259.23492	56.64944	10.4	0.1134	-0.88
13	2MASX J17184242+5648315	259.67687	56.80872	9.6	0.1134	-0.90
14	SDSS J171814.92+563419.9	259.56221	56.57217	5.6	0.1132	-1.49
15	SDSS J171418.41+563226.6	258.57671	56.54072	33.0	0.1131	-2.13

C.23 Galaxien zu FS31

Tabelle C.23: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS31

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J17201790+2644237	260.07475	26.74003	7.1	0.1604	4.35
2	2MASX J17195816+2636176	259.99233	26.60489	2.9	0.1603	3.96
3	SDSS J172031.82+264052.7	260.13258	26.68131	5.9	0.1602	3.47
4	2MASX J17203171+2641538	260.13233	26.69836	6.5	0.1597	1.57
5	SDSS J172050.58+265226.2	260.21075	26.87397	17.4	0.1595	0.57
6	2MASX J17194921+2642476	259.95508	26.71308	7.0	0.1594	0.48
7	SDSS J172011.52+264431.3	260.04804	26.74206	7.0	0.1594	0.11
8	2MASX J17202575+2631458	260.10737	26.52931	6.8	0.1594	0.11
9	2MASX J17201001+2637317	260.04183	26.62556	0.0	0.1593	0.00
10	SDSS J171909.39+263621.5	259.78913	26.60597	13.6	0.1592	-0.59
11	SDSS J172010.07+265107.4	260.04196	26.85206	13.6	0.1592	-0.62
12	2MASX J17191780+2634022	259.82408	26.56725	12.2	0.1585	-3.44
13	2MASX J17203944+2642134	260.16442	26.70381	8.1	0.1583	-3.90

C.24 Galaxien zu FS33

Tabelle C.24: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS33

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	SDSS J225632.56–002524.4	344.13567	–0.42344	6.8	0.2247	3.47
2	SDSS J225630.05–003210.9	344.12521	–0.53636	0.0	0.2238	0.00
3	SDSS J225730.62–002033.3	344.37758	–0.34258	19.1	0.2233	–1.72
4	SDSS J225640.20–002450.9	344.16750	–0.41414	7.8	0.2232	–2.10

C.25 Galaxien zu FS34

Tabelle C.25: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS34

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J23582259+1511156	359.59438	15.18742	5.8	0.1793	3.26
2	2MASX J23581513+1505436	359.56296	15.09544	0.0	0.1784	0.00
3	SDSS J235707.75+150740.8	359.28229	15.12800	16.4	0.1775	–3.59

C.26 Galaxien zu FS50

Tabelle C.26: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS50

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J02494002–0038120	42.41667	–0.63692	61.3	0.0243	4.81
2	SDSS J024940.36–004731.4	42.41821	–0.79211	55.9	0.0242	4.63
3	SDSS J024935.75–005320.0	42.39896	–0.88892	54.2	0.0241	4.14
4	SDSS J025247.41–011201.8	43.19758	–1.20056	4.6	0.0238	2.84
5	2MASX J02524818–0113095	43.20088	–1.21939	3.4	0.0237	2.58
6	UGC 02311	42.36646	–0.87303	56.4	0.0237	2.49
7	2MASX J02493295–0047041	42.38746	–0.78447	57.7	0.0237	2.35
8	SDSS J024714.02–005100.0	41.80842	–0.85000	88.2	0.0236	2.01
9	KUG 0249-014	43.10125	–1.28719	6.9	0.0236	2.01
10	SDSS J025159.74–011028.9	42.99896	–1.17470	14.3	0.0236	1.83
11	2MASX J02532614–0131102	43.35881	–1.51950	17.0	0.0235	1.60
12	MRK 0601	44.13579	–2.77078	105.4	0.0235	1.53
13	UGC 02319	42.47337	–1.00364	47.4	0.0235	1.41
14	2MFGC 02245	42.14325	–0.99308	66.5	0.0235	1.40
15	2MASXi J0251150–005823	42.81258	–0.97328	30.2	0.0235	1.36
16	SDSS J024937.72–005032.8	42.40721	–0.84250	55.0	0.0234	1.33
17	UGC 02385	43.76329	–1.18942	33.2	0.0234	1.14
18	SDSS J024547.59–001427.1	41.44829	–0.24086	122.9	0.0233	0.81
19	MCG +00-08-027	42.54212	–0.86714	47.2	0.0232	0.22
20	2MASX J02434848–0159118	40.95204	–1.98668	142.3	0.0231	0.02
21	NGC 1132	43.21587	–1.27467	0.0	0.0231	0.00
22	UGC 02343	42.89633	–0.73378	37.7	0.0231	–0.08
23	SDSS J024604.67–000047.1	41.51954	–0.01311	126.8	0.0231	–0.10

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
24	2MASXi J0248547–005759	42.22800	–0.96678	62.1	0.0231	–0.25
25	CGCG 389-037	42.98387	–0.83628	29.8	0.0230	–0.74
26	UGC 02418	44.11300	0.87572	139.8	0.0229	–0.82
27	CGCG 389-009	41.60203	–1.74242	100.8	0.0229	–1.15
28	2MASX J02540679–0116066	43.52837	–1.26848	18.7	0.0228	–1.51
29	2MFGC 02323	43.33267	–1.13336	11.0	0.0227	–1.75
30	SDSS J025422.32–002520.8	43.59300	–0.42244	55.9	0.0227	–1.80
31	2MASX J02440149+0010347	41.00625	0.17628	158.6	0.0227	–1.90
32	2MASX J02515463–0058482	42.97758	–0.98011	22.7	0.0225	–2.54
33	SDSS J025237.48–011008.6	43.15625	–1.16908	7.3	0.0225	–2.73
34	2MASX J02511327–0050422	42.80537	–0.84500	35.7	0.0224	–3.11
35	2MASX J02424138–0209378	40.67242	–2.16042	161.5	0.0222	–4.06
36	SDSS J024416.39+002029.6	41.06829	0.34158	161.3	0.0221	–4.33
37	CGCG 389-017	41.86858	–0.26819	100.9	0.0220	–4.97

C.27 Galaxien zu FS51

Tabelle C.27: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS51

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J04512934–1728321	72.87221	–17.47561	61.7	0.0325	4.64
2	2MASX J04500147–1711527	72.50621	–17.19797	88.5	0.0321	2.95
3	ESO 552- G 015	73.05550	–18.39286	41.2	0.0319	2.04
4	GIN 217	74.22350	–18.24544	29.9	0.0318	1.62
5	ESO 552- G 023	73.94992	–18.94828	51.7	0.0317	1.35
6	GIN 227	71.99983	–16.66410	131.4	0.0317	1.35
7	ESO 552- G 014	72.83579	–17.50339	62.3	0.0317	1.23
8	MCG -03-13-016	72.55692	–17.26633	83.7	0.0317	1.18
9	GIN 216	74.26864	–18.28590	33.0	0.0316	0.65
10	ESO 552- G 020	73.71775	–18.11556	0.0	0.0314	0.00
11	2MASXi J0501540–185156	75.47504	–18.86575	109.7	0.0309	–1.97
12	ESO 552- G 009	72.41704	–17.48836	83.3	0.0309	–2.00
13	2MASX J04471165–1727323	71.79854	–17.45897	116.5	0.0308	–2.59
14	ESO 552- G 027	74.12385	–17.66821	35.5	0.0305	–3.83
15	2MASX J05031021–1833273	75.79250	–18.55758	121.1	0.0304	–4.22

C.28 Galaxien zu FS52

Tabelle C.28: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS52

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J05390358–4020339	84.76483	–40.34283	32.0	0.0370	4.93
2	ESO 306- G 020	85.15454	–40.44150	24.4	0.0369	4.46
3	2MASX J05394843–3936509	84.95183	–39.61419	73.4	0.0369	4.42
4	2MASX J05401840–4039575	85.07671	–40.66589	10.5	0.0367	3.92
5	2MASX J05393793–4115529	84.90812	–41.26461	26.3	0.0367	3.82
6	ESO 306- G 012	84.33104	–42.40947	99.4	0.0366	3.54

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
7	2MASX J05402012-4134555	85.08392	-41.58211	44.8	0.0366	3.52
8	6dF J0535027-402954	83.76142	-40.49819	61.1	0.0366	3.19
9	2MASX J05480598-4139328	87.02492	-41.65917	102.7	0.0365	3.01
10	ESO 306- G 026	86.54700	-41.80617	89.8	0.0365	2.85
11	2MASX J05405680-3933450	85.23663	-39.56256	77.0	0.0365	2.73
12	2MASX J05323990-4101143	83.16633	-41.02075	85.1	0.0363	2.27
13	2MASX J05423126-4016060	85.63017	-40.26844	43.8	0.0362	1.49
14	2MASX J05395729-4053559	84.98875	-40.89883	4.1	0.0361	1.25
15	2MASX J05384177-4122401	84.67413	-41.37775	36.2	0.0361	1.15
16	2MASX J05395905-4025438	84.99608	-40.42883	24.5	0.0359	0.53
17	ESO 306- G 014	84.92171	-39.78061	63.5	0.0358	0.03
18	ESO 306- G 017	85.02779	-40.83650	0.0	0.0358	0.00
19	2MASX J05334037-4104306	83.41833	-41.07522	74.3	0.0356	-0.68
20	ESO 306- G 019	85.09646	-41.48450	39.0	0.0356	-0.70
21	ESO 306- G 021	85.25404	-41.57728	45.6	0.0355	-1.38
22	2MASX J05415940-4021154	85.49750	-40.35431	36.0	0.0353	-1.99
23	2MASX J05403271-4034215	85.13629	-40.57261	16.6	0.0351	-2.96
24	2MASX J05380661-4025486	84.52767	-40.43025	33.4	0.0351	-2.97
25	2MASX J05373307-4222299	84.38787	-42.37494	96.7	0.0350	-3.39
26	2MASX J05392027-3926129	84.83850	-39.44217	84.1	0.0347	-4.55
27	2MASX J05450542-4038550	86.27271	-40.64864	57.7	0.0347	-4.59

C.29 Galaxien zu FS53

Tabelle C.29: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS53

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	[TLS98] J111942.06+212610.7	169.92525	21.43631	0.8	0.0613	3.29
2	MAPS-NGP O_375_0802067	170.37421	21.61862	26.7	0.0608	0.87
3	[TLS98] J112109.19+214043.0	170.28829	21.67861	24.3	0.0606	0.04
4	MAPS-NGP O_375_0851808	169.93159	21.44757	0.0	0.0606	0.00
5	2MASX J11212403+2114023	170.35017	21.23389	26.7	0.0602	-1.62
6	2MASX J11165536+2108597	169.23097	21.14976	43.1	0.0600	-2.17
7	MAPS-NGP O_375_1016872	170.35450	20.97722	36.8	0.0599	-2.87
8	MAPS-NGP O_375_0852406	169.99601	21.53160	6.2	0.0598	-3.29
9	MAPS-NGP O_375_0903523	169.64023	21.21675	21.4	0.0596	-3.83

C.30 Galaxien zu FS54

Tabelle C.30: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS54

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	SDSS J115805.07+561758.0	179.52113	56.29944	48.3	0.0820	4.61
2	SDSS J120128.64+545531.5	180.36933	54.92542	39.1	0.0818	4.05
3	SDSS J120251.08+555001.6	180.71283	55.83381	30.9	0.0818	4.04
4	2MASX J11590548+5447375	179.77271	54.79392	45.0	0.0818	4.02
5	2MASX J11590217+5448384	179.75896	54.81056	44.0	0.0818	3.88

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
6	SDSS J120244.81+552853.5	180.68671	55.48153	24.6	0.0817	3.66
7	2MASX J12052450+5600003	181.35192	56.00011	54.4	0.0817	3.52
8	SDSS J115926.56+545120.0	179.86067	54.85558	40.9	0.0816	3.29
9	SDSS J115442.59+554415.9	178.67746	55.73775	45.4	0.0816	2.91
10	SDSS J120208.88+555425.0	180.53700	55.90694	29.5	0.0815	2.51
11	2MASX J11583800+5452306	179.65842	54.87522	41.0	0.0814	2.22
12	SDSS J115958.71+550956.2	179.99463	55.16561	22.2	0.0814	2.14
13	2MASX J11582575+5512046	179.60725	55.20139	23.5	0.0814	2.13
14	SDSS J120004.19+553607.8	180.01746	55.60217	4.4	0.0812	1.59
15	SDSS J120525.21+553919.4	181.35504	55.65539	47.6	0.0812	1.56
16	2MASX J11580724+5544127	179.53029	55.73706	19.1	0.0812	1.49
17	2MASX J12013632+5520292	180.40129	55.34150	18.8	0.0812	1.46
18	2MASX J11581788+5517285	179.57442	55.29156	19.8	0.0812	1.30
19	SDSS J115854.54+544508.4	179.72725	54.75233	47.7	0.0812	1.25
20	SDSS J120215.36+551814.0	180.56400	55.30389	24.6	0.0811	0.93
21	2MASX J12022130+5453015	180.58863	54.88361	44.5	0.0810	0.69
22	SDSS J115737.61+553026.1	179.40671	55.50725	19.1	0.0810	0.54
23	SDSS J115842.77+545039.3	179.67821	54.84428	42.6	0.0810	0.45
24	2MASX J12020823+5458411	180.53417	54.97800	38.6	0.0809	0.25
25	2MASX J11595215+5532053	179.96738	55.53486	0.0	0.0808	0.00
26	SDSS J120003.55+552941.5	180.01479	55.49486	2.9	0.0808	-0.31
27	2MASX J11540822+5520491	178.53450	55.34697	50.1	0.0808	-0.40
28	2MASX J11561475+5452203	179.06142	54.87244	50.4	0.0806	-0.94
29	2MASX J11593495+5530395	179.89546	55.51097	2.8	0.0805	-1.25
30	2MASX J11554105+5454024	178.92104	54.90044	52.3	0.0805	-1.52
31	2MASX J12013894+5549182	180.41246	55.82175	22.9	0.0805	-1.58
32	2MASX J12003795+5522439	180.15821	55.37889	11.4	0.0804	-1.97
33	2MASX J12023049+5554265	180.62721	55.90742	31.6	0.0804	-2.00
34	SDSS J120231.61+554904.0	180.63171	55.81781	28.2	0.0804	-2.06
35	SDSS J120223.39+560540.5	180.59746	56.09458	39.7	0.0803	-2.11
36	SDSS J120003.80+545151.5	180.01583	54.86431	40.3	0.0803	-2.18
37	SDSS J120021.09+552511.9	180.08787	55.42000	8.0	0.0803	-2.29
38	SDSS J115923.29+553058.9	179.84704	55.51636	4.2	0.0802	-2.64
39	SDSS J115841.94+552250.4	179.67479	55.38067	13.6	0.0802	-2.76
40	SDSS J115909.82+544547.0	179.79092	54.76306	46.7	0.0802	-2.83
41	2MASX J11554706+5502471	178.94629	55.04653	45.6	0.0802	-2.87
42	SDSS J115926.07+545146.6	179.85862	54.86294	40.5	0.0801	-2.91
43	2MASX J11580646+5505507	179.52713	55.09736	30.3	0.0800	-3.38
44	2MASX J11554959+5454312	178.95658	54.90861	51.1	0.0800	-3.58
45	SDSS J115901.13+544857.8	179.75471	54.81608	43.7	0.0799	-3.81
46	SDSS J115843.11+553330.7	179.67962	55.55853	9.9	0.0799	-4.00
47	2MASX J11565795+5508219	179.24117	55.13933	34.3	0.0798	-4.43
48	SDSS J115928.89+552811.0	179.87037	55.46975	5.1	0.0798	-4.43

C.31 Galaxien zu FS56

Tabelle C.31: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS56

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	[JML2007] J125554.46+255810.3	193.97692	25.96953	2.3	0.2334	3.62
2	[JML2007] J125602.33+255514.1	194.00971	25.92058	1.4	0.2331	2.25
3	[JML2007] J125601.73+255518.2	194.00721	25.92172	1.3	0.2330	2.13
4	[JML2007] J125554.96+255434.4	193.97900	25.90956	2.6	0.2328	1.22
5	[MLF2006] J125600.75+255720.4	194.00238	25.95631	0.9	0.2327	1.07
6	[MLF2006] J125613.40+255622.9	194.05583	25.93969	2.5	0.2325	0.15
7	2MASX J12560225+2556375	194.00929	25.94361	0.0	0.2325	0.00
8	[JML2007] J125603.29+255437.1	194.01371	25.91031	2.0	0.2325	0.00
9	[JML2007] J125557.90+255819.6	193.99125	25.97211	2.0	0.2316	-3.28
10	[MLF2006] J125554.50+255612.1	193.97646	25.93736	1.8	0.2315	-3.70

C.32 Galaxien zu FS57

Tabelle C.32: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS57

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	SDSS J132836.58+105535.8	202.15242	10.92661	44.2	0.0822	4.88
2	SDSS J133136.42+111302.1	202.90175	11.21725	5.3	0.0821	4.67
3	SDSS J132828.36+104649.9	202.11817	10.78053	49.3	0.0818	3.38
4	SDSS J133126.04+110532.0	202.85850	11.09222	2.6	0.0818	3.32
5	SDSS J132840.46+105416.4	202.16858	10.90456	43.7	0.0818	3.25
6	SDSS J132923.69+105930.5	202.34871	10.99181	32.0	0.0816	2.55
7	2MASX J13284806+1046391	202.20038	10.77744	45.0	0.0811	0.48
8	SDSS J133036.30+105517.1	202.65125	10.92142	18.2	0.0811	0.42
9	2MASX J13312961+1107566	202.87350	11.13250	0.0	0.0810	0.00
10	SDSS J133209.68+105015.4	203.04033	10.83761	20.2	0.0809	-0.61
11	2MASX J13310991+1105196	202.79112	11.08875	5.5	0.0808	-0.66
12	2MASX J13304402+1115413	202.68342	11.26147	13.6	0.0808	-0.71
13	SDSS J132949.79+105156.1	202.45746	10.86558	29.3	0.0808	-0.85
14	CGCG 073-005	202.74508	11.22181	9.3	0.0805	-2.15
15	SDSS J133306.92+113005.7	203.27883	11.50158	32.5	0.0804	-2.30
16	2MASX J13301409+1110517	202.55858	11.18117	18.8	0.0803	-3.05
17	SDSS J133258.51+115428.3	203.24379	11.90786	51.4	0.0801	-3.60
18	2MASX J13311426+1108226	202.80937	11.13989	3.8	0.0799	-4.73

C.33 Galaxien zu FS58

Tabelle C.33: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS58

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
1	2MASX J13395852+4034096	204.99396	40.56931	17.7	0.1726	2.82
2	2MASX J13382479+4004334	204.60313	40.07597	27.7	0.1725	2.63

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
3	2MASX J13403276+4017394	205.13671	40.29436	0.0	0.1719	0.00
4	2MASX J13410515+3959456	205.27129	39.99594	18.9	0.1715	-1.26
5	2MASX J13404211+3959564	205.17538	39.99886	17.8	0.1714	-1.77
6	SDSS J134054.66+400637.4	205.22775	40.11039	11.8	0.1707	-4.66

C.34 Galaxien zu FS59

Tabelle C.34: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS59

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J14162734+2315222	214.11400	23.25619	0.0	0.1380	0.00
2	[CMS2006] G16.5+1601	214.11042	23.26694	0.7	0.1375	-2.02
3	[CMS2006] G20.6+1517	214.08583	23.25472	1.6	0.1373	-2.97

C.35 Galaxien zu FS60

Tabelle C.35: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS60

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	[MCS2006] G14.9+1404	238.06208	20.23444	0.4	0.1372	4.95
2	[MCS2006] G16.8+1208	238.07000	20.20222	1.7	0.1372	4.74
3	[MCS2006] G18.6+1410	238.07750	20.23611	1.2	0.1368	3.06
4	[MCS2006] G17.0+1406	238.07083	20.23500	0.8	0.1363	1.09
5	2MASX J15521380+2013436	238.05758	20.22886	0.0	0.1360	0.00
6	[MCS2006] G15.9+1039	238.06625	20.17750	3.1	0.1359	-0.32
7	[MCS2006] G05.9+1246	238.02458	20.21278	2.1	0.1358	-0.91
8	[MCS2006] G08.7+1136	238.03625	20.19333	2.4	0.1350	-4.01

C.36 Galaxien zu FS61

Tabelle C.36: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS61

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J16050208+1744388	241.25895	17.74433	39.2	0.0350	4.90
2	2MASX J15575796+1619289	239.49146	16.32472	95.6	0.0350	4.78
3	2MASX J16022195+1603409	240.59137	16.06128	70.3	0.0350	4.76
4	EXO 1600.1+1610	240.59882	16.03603	71.7	0.0350	4.72
5	SDSS J160213.45+155411.4	240.55604	15.90317	80.0	0.0350	4.72
6	2MASX J16022110+1552412	240.58796	15.87811	81.0	0.0350	4.63
7	2MASX J16023564+1637059	240.64850	16.61822	37.4	0.0350	4.62
8	CGCG 108-087 NED01	240.93208	16.32639	52.4	0.0350	4.56
9	NGC 6041	241.14700	17.71925	34.7	0.0350	4.52
10	CGCG 108-052	240.23720	18.61469	92.6	0.0349	4.50
11	MCG +03-41-024	240.15721	16.67026	52.4	0.0349	4.49
12	CGCG 108-079	240.70988	16.56994	39.0	0.0349	4.40

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [°]	z	d [Mpc]
13	MRK 0695	240.71246	15.96106	74.9	0.0349	4.33
14	2MFGC 12855	240.36325	16.92017	34.2	0.0349	4.32
15	2MASX J16012654+1603306	240.36054	16.05856	74.7	0.0349	4.32
16	[D97] ce-086	241.39257	17.81012	46.8	0.0349	4.24
17	NGC 6039	241.16479	17.70086	34.2	0.0349	4.19
18	2MASX J16041030+1712183	241.04304	17.20506	9.1	0.0348	4.07
19	2MASX J16014993+1621356	240.45796	16.35994	56.0	0.0348	4.01
20	IC 1186	241.43475	17.36234	33.1	0.0348	3.91
21	[DKP87] 160249.30+175709.2	241.26733	17.81747	43.1	0.0348	3.89
22	IC 1173	241.30245	17.42289	27.5	0.0348	3.86
23	GIN 527	241.04358	16.08753	67.3	0.0348	3.81
24	2MASX J16021416+1553022	240.55912	15.88392	81.1	0.0348	3.81
25	2MASX J16030370+1527355	240.76542	15.45989	104.6	0.0348	3.81
26	NGC 6041B	241.14583	17.71722	34.5	0.0348	3.78
27	SDSS J160356.30+170639.4	240.98458	17.11094	7.8	0.0348	3.78
28	LEDA 3085062	240.89669	17.25600	3.5	0.0348	3.76
29	2MASX J16022110+1527522	240.58800	15.46453	105.4	0.0348	3.76
30	KUG 1559+158	240.48263	15.70801	92.4	0.0348	3.74
31	IC 1185	241.43601	17.71674	44.3	0.0348	3.73
32	2MASX J16001273+1624409	240.05312	16.41136	67.1	0.0348	3.70
33	CGCG 108-087	240.93242	16.32728	52.4	0.0348	3.67
34	GIN 523	241.51458	16.17564	71.3	0.0347	3.62
35	2MASX J16062249+1755452	241.59375	17.92928	59.8	0.0347	3.52
36	2MASX J16054010+1746338	241.41708	17.77603	46.2	0.0347	3.43
37	2MASX J16024920+1710028	240.70504	17.16744	10.4	0.0347	3.40
38	NFP J160318.0+173350	240.82485	17.56400	22.2	0.0347	3.27
39	2MASX J16031826+1743565	240.82612	17.73231	32.2	0.0347	3.27
40	CGCG 108-019	239.42879	16.21750	102.3	0.0347	3.25
41	2MASX J16022333+1559469	240.59721	15.99644	74.0	0.0346	3.21
42	CGCG 108-057	240.31883	17.76772	47.0	0.0346	3.11
43	2MASX J16034833+1611447	240.95138	16.19572	60.3	0.0346	3.02
44	2MASX J16081759+1724364	242.07321	17.41006	69.3	0.0346	2.90
45	SDSS J160216.85+154736.7	240.57021	15.79353	86.2	0.0345	2.82
46	SDSS J160213.92+160127.3	240.55800	16.02425	72.9	0.0345	2.59
47	SDSS J160211.97+155511.5	240.54987	15.91986	79.1	0.0345	2.46
48	IC 1165 NED02	240.53595	15.69328	92.5	0.0344	2.39
49	SDSS J160205.42+164851.5	240.52258	16.81431	31.0	0.0344	2.36
50	2MASX J16015624+1539071	240.48446	15.65189	95.6	0.0344	2.34
51	IC 1159	240.25604	15.41992	112.7	0.0344	2.34
52	KUG 1558+167	240.11112	16.62667	56.1	0.0344	2.01
53	2MASX J16021852+1616162	240.57721	16.27119	58.4	0.0344	2.00
54	2MASX J16024803+1643228	240.70017	16.72300	30.4	0.0343	1.76
55	SDSS J160126.04+170306.3	240.35850	17.05175	31.4	0.0343	1.56
56	IRAS F16035+1728	241.47450	17.34057	34.9	0.0342	1.54
57	2MASX J16042855+1812332	241.11904	18.20919	62.1	0.0342	1.48
58	2MASXi J1602473+171055	240.69733	17.18239	10.7	0.0342	1.43
59	2MFGC 12921	241.36363	17.83097	46.8	0.0342	1.37
60	IC 1165 NED01	240.53346	15.69656	92.4	0.0342	1.32
61	SDSS J160536.78+160307.7	241.40325	16.05214	75.0	0.0342	1.24
62	IC 1182	241.40333	17.80214	46.9	0.0342	1.17
63	PGC 057077	241.39188	17.77025	45.0	0.0341	1.07

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
64	SDSS J160323.38+155442.4	240.84742	15.91178	77.2	0.0341	1.02
65	2MASX J16033924+1711057	240.91362	17.18486	1.9	0.0341	0.84
66	2MASX J16041958+1710493	241.08144	17.18034	11.4	0.0341	0.84
67	[BH98] 15585+1626	240.18388	16.28559	68.0	0.0341	0.83
68	2MASX J16060304+1742062	241.51260	17.70172	47.0	0.0341	0.75
69	2MASX J16024417+1617079	240.68408	16.28564	56.0	0.0340	0.63
70	NGC 6054	241.40896	17.76789	45.5	0.0340	0.55
71	2MASX J16054998+1728471	241.45845	17.47981	37.0	0.0340	0.46
72	2MASX J16034362+1547227	240.93187	15.78975	84.6	0.0340	0.38
73	2MASX J16053338+1741178	241.38915	17.68838	41.2	0.0340	0.31
74	SDSS J160406.84+154848.7	241.02850	15.81353	83.5	0.0339	0.20
75	2MASX J16050711+1738578	241.27958	17.64939	35.3	0.0339	0.07
76	2MASX J16094972+1740432	242.45712	17.67868	94.6	0.0339	0.07
77	LEDA 3085064	240.84876	17.19655	2.0	0.0339	0.03
78	CGCG 108-039 NED01	240.06733	16.14342	78.8	0.0339	0.03
79	NGC 6034	240.88368	17.19870	0.0	0.0339	0.00
80	2MASX J16031413+1722025	240.80883	17.36736	11.0	0.0339	-0.03
81	2MASX J16024053+1558599	240.66892	15.98322	74.0	0.0339	-0.05
82	KUG 1608+171	242.71333	17.05750	105.2	0.0339	-0.07
83	AGC 260940	240.85833	15.64667	93.1	0.0338	-0.20
84	CGCG 108-142	241.58142	16.43144	61.0	0.0338	-0.21
85	LEDA 3085066	240.81753	16.23929	57.7	0.0338	-0.30
86	2MASX J16021395+1601112	240.55825	16.01978	73.2	0.0338	-0.34
87	2MASXi J1603345+155229	240.89396	15.87497	79.4	0.0338	-0.36
88	SDSS J160435.00+174345.4	241.14583	17.72928	35.2	0.0338	-0.48
89	IC 1182E	241.42543	17.79973	47.6	0.0337	-0.66
90	2MASX J16042666+1741551	241.11092	17.69872	32.7	0.0337	-0.75
91	IC 1178	241.38795	17.60140	37.6	0.0337	-0.81
92	CGCG 108-117	241.34463	16.19822	65.6	0.0337	-0.84
93	KUG 1600+154B	240.72800	15.33572	112.1	0.0337	-0.87
94	LEDA 084703	240.77375	17.17222	6.5	0.0337	-0.90
95	CGCG 108-037	239.99437	15.59142	109.2	0.0336	-1.00
96	2MASX J16024235+1613139	240.67658	16.22036	59.9	0.0336	-1.10
97	SDSS J160434.67+174248.5	241.14446	17.71347	34.3	0.0336	-1.13
98	SDSS J160519.33+172038.5	241.33054	17.34403	27.0	0.0336	-1.16
99	2MASX J16022500+1556449	240.60413	15.94589	76.9	0.0336	-1.21
100	SDSS J160527.63+174858.4	241.36513	17.81622	46.2	0.0336	-1.25
101	SDSS J160512.24+155916.8	241.30100	15.98800	76.5	0.0336	-1.34
102	2MASX J16021274+1648272	240.55312	16.80756	30.2	0.0335	-1.59
103	2MASX J16021957+1602092	240.58146	16.03600	71.9	0.0335	-1.65
104	CGCG 108-093	241.01144	17.28235	8.9	0.0335	-1.72
105	PGC 057136	241.54996	17.30172	38.7	0.0335	-1.76
106	2MASX J16035667+1718182	240.98608	17.30508	8.7	0.0334	-2.08
107	CGCG 108-078	240.70263	16.11936	65.6	0.0333	-2.32
108	CGCG 108-102	241.17129	16.42983	49.0	0.0333	-2.36
109	NGC 6045	241.28287	17.75772	40.6	0.0333	-2.41
110	SDSS J160504.14+174903.4	241.26725	17.81761	43.1	0.0333	-2.58
111	IC 1182:[S72] c	241.41375	17.80167	47.2	0.0333	-2.59
112	III Zw 075 NOTES01	240.54917	15.91825	79.2	0.0333	-2.62
113	2MASX J16044268+1729541	241.17800	17.49847	24.6	0.0332	-2.76
114	SDSS J160304.03+153913.8	240.76679	15.65383	92.9	0.0332	-2.84

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Nr.	(Forts.) Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
115	SDSS J160207.48+162456.1	240.53117	16.41558	51.2	0.0332	-2.87
116	SDSS J160333.18+170947.1	240.88825	17.16308	2.2	0.0332	-2.95
117	2MASX J16031630+1737555	240.81787	17.63208	26.3	0.0331	-3.14
118	LEDA 3085063	240.86993	17.17333	1.7	0.0331	-3.24
119	[RC96] 160252.5+175510	241.27775	17.78345	41.7	0.0331	-3.24
120	NGC 6044	241.24867	17.87036	45.4	0.0331	-3.27
121	SDSS J160229.44+155626.1	240.62267	15.94058	77.0	0.0331	-3.30
122	SDSS J160414.17+155552.3	241.05904	15.93119	76.7	0.0331	-3.36
123	IC 1181	241.39112	17.59356	37.5	0.0331	-3.44
124	2MASX J16044282+1738191	241.17850	17.63864	31.3	0.0331	-3.47
125	NGC 6043A	241.25580	17.77575	40.6	0.0330	-3.55
126	LEDA 1543586	241.29125	17.85560	45.8	0.0330	-3.55
127	AGC 251511	240.32750	15.59194	101.6	0.0330	-3.68
128	2MASX J16053730+1735558	241.40533	17.59883	38.3	0.0330	-3.69
129	NGC 6043	241.25500	17.77389	40.5	0.0329	-4.32
130	LEDA 1500161	240.56746	16.07801	69.7	0.0329	-4.33

C.37 Galaxien zu FS62

Tabelle C.37: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS62

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	UGC 11025	268.23921	27.67292	276.5	0.0141	4.14
2	UCM 1742+2343	266.25083	23.70611	101.2	0.0140	3.71
3	UCM 1735+2617	264.28333	26.26694	277.1	0.0140	3.71
4	UGC 10903	263.44333	23.85278	252.6	0.0135	1.62
5	UGC 11024	268.22704	23.21106	17.3	0.0134	1.10
6	NGC 6482	267.95337	23.07194	0.0	0.0131	0.00
7	UZC-CG 257	267.74583	23.05389	11.5	0.0129	-1.12
8	CGCG 141-014	267.58842	22.95128	21.4	0.0127	-1.69
9	MRK 0895	267.69071	23.13861	15.0	0.0126	-2.26
10	UGC 11018	268.09325	22.87208	14.3	0.0124	-3.14
11	UGC 11039	268.77787	18.53908	275.9	0.0121	-4.37

C.38 Galaxien zu FS63

Tabelle C.38: Galaxien innerhalb eines Radius von 5 Mpc um FS63

Nr.	Name der Galaxie	α (J2000) [°]	δ (J2000) [°]	D [']	z	d [Mpc]
1	2MASX J21142086-6801090	318.58708	-68.01922	0.0	0.1300	0.00
2	DS 210958-681304	318.58922	-68.00870	0.6	0.1300	0.00

Anhang D

Liste der Abkürzungen

AGN	Active Galactic Nuclei
ADU	Analog to Digital Unit
ASCA	Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics
BCG	Brightest Cluster Galaxy
CCD	Charge Coupled Device
CFHT	Canada-France-Hawaii Telescope
CDM	Cold Dark Matter
DM	Dark Matter
dE	Dwarf Elliptical Galaxy
E	Elliptische Galaxie
FG	Fossil Group
FITS	Flexible Image Transport System
FS	Fossil System
HCG	Hickson Compact Group
HST	Hubble Space Telescope
IOLEG	Isolated X-ray OverLuminous Elliptical Galaxy
IRAF	Image Reduction and Analysis Facility
IRG	InfraRotGalaxie
LINER	Low Ionization Nuclear Emission-line Regions
LRG	Luminous Red Galaxy
NED	NASA/IPAC Extragalactic Database
OLEG	X-ray OverLuminous Elliptical Galaxy
PSF	Point Spread Function
RASS	ROSAT All-Sky Survey
ROSAT	ROentgen SATellite
S	Scheibengalaxie
SB	Balken-Scheibengalaxie
SDSS	Sloan Digital Sky Survey
SQL	Structured Query Language

Lebenslauf

Eveline Glaßner

Persönliche Daten

Geburtsdaten: 23. September 1975 in Wien, Österreichische Staatsbürgerschaft
Adresse: Hellwagstraße 14/3/19, 1200 Wien
Kinder: 1 Sohn, geboren am 21. Februar 2003

Ausbildung

06/95 Matura an der Handelsakademie in Wien II mit gutem Erfolg
10/95 – 12/95 Studium der Physik an der Universität Wien
10/01 – 02/02 Studium der Physik an der Universität Wien
10/01 – dato Studium der Astronomie an der Universität Wien
09/04 Erste Diplomprüfung mit Auszeichnung
seit 03/06 Diplomarbeit: „Fossile Galaxiensysteme“

Berufserfahrung

01/96 – 03/99 Raiffeisenlandesbank NÖ-Wien, Kundenbetreuerin
04/99 – 08/01 Raiffeisen Capital Management, Institutionelles Kundenreporting
12/08 – dato Software Daten Service GmbH, Software Analyst

Studienbegleitende Tätigkeiten

09/01 – 12/02 Raiffeisen Capital Management, Investmentreports Kontrolle
WS04 Mitarbeit am Blazhko-Projekt durch photometrische Beobachtung und Datenreduktion des Sterns OV And
07/05 – 02/08 Astronomische Einrichtungen der Wiener Volkshochschulen, Vorträge und Führungen am Teleskop, Shop-Betreuung, Kassa
2006 + 2007 Konzeption und Abhaltung des Wiener Töchertages und Berufsinfotages an der Kuffner Sternwarte, Wien
SS06 + SS07 Tutorin für das „Beobachtungsorientierte Praktikum“ T1: Einführung in MIDAS und IRAF

Tagungen

08/06 Mitarbeit im Local Organizing Committee der Tagung „Why galaxies care about AGB stars“, Wien
04/07 Teilnahme an der wissenschaftlichen Jahrestagung der ÖGA² am Institut für Astronomie der Universität Wien

Wien, 26. Juni 2009