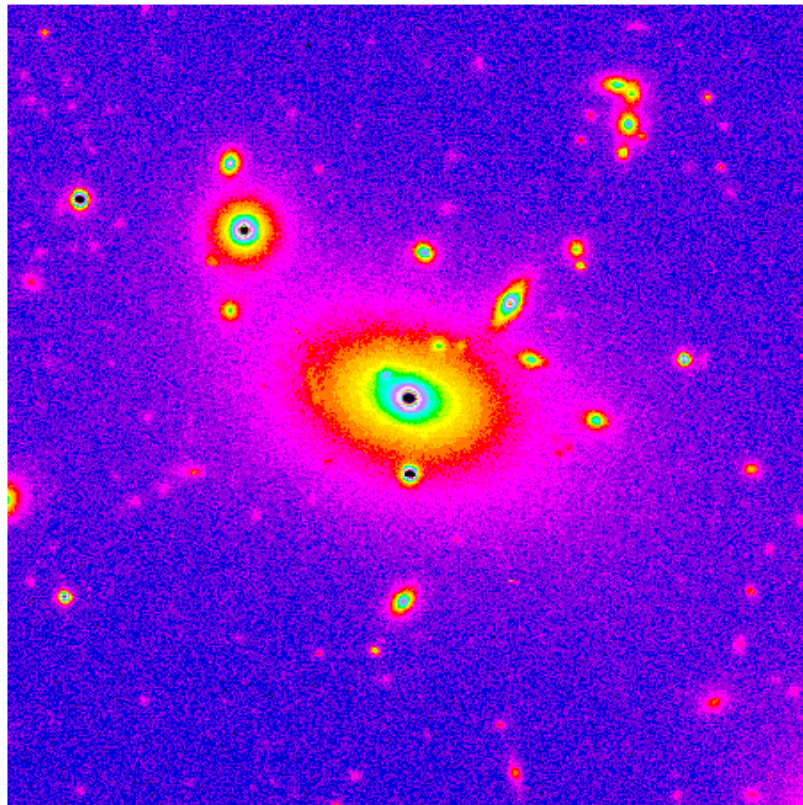


# Photometrie entfernter Galaxienhaufen

Morphologische Klassifizierung und Flächenphotometrie von Galaxien, Bestimmung von Leuchtkräften, Radien und Entfernungen am Beispiel A2593a



Astrophysikalisches Praktikum LMU München  
Sommersemester 2004  
Praktikanten: Jan-Timm Kuhr, Julia Linder  
Betreuer: Claus Jaroschek  
Versuchstag: 26.05. / 02.06.2004  
Abgabe: 09.06.2004

## Einleitung

Unbekannte, nebelartige Strukturen im Sternbild Andromeda und Orion, welche von Alters her den Astronomen Kopfzerbrechen bereitet hatten, konnten mit der Entwicklung des 2,5m-Teleskops 1923 erstmals in Einzelsterne aufgelöst werden. Damit wurde die These Immanuel Kants, dass es sich dabei um Spiralen aus Ansammlungen von Sternen ausserhalb der Milchstrasse handle, von Edwin Hubble bestätigt. Die Milchstrasse war plötzlich eine Galaxie unter vielen anderen. Mit der weiteren Verbesserung der Teleskope konnten die vielen neu entdeckten Galaxien in Klassen unterteilt werden.

Die Klassifikation von Galaxien nach Hubble ist auch noch bis heute die gängigste. Danach werden die Galaxien in E- (elliptische), S- (Spiral), S0- (Scheiben) und Ir- (irreguläre) Typen eingeteilt.

Elliptische Galaxien sind eine Ansammlung aus alten Sternen (alle massiven, blauen und grossen Sterne sind schon ausgestorben, somit scheint die Galaxie rot) und heissem Gas mit niedrigem Drehimpuls. Sie sind in ihrem Zentrum verhältnismässig hell und nach aussen hin nimmt ihre Flächenhelligkeit allmählich ab.

Die angehängte Zahl weist auf die Abplattung der Galaxie hin: eine sphärische Galaxie erhält die Zahl 0, während die Zahl 7 für die maximale Elliptizität steht. Diese Unterklasse der E-Galaxien wird anhand der Formel

$$e = 10 \cdot \left(1 - \frac{b}{a}\right), \text{ mit } e = \text{Untergruppe}, a = \text{grosse Halbachse}, b = \text{kleine Halbachse} \quad (1)$$

abgeschätzt.

Spiralgalaxien, rotationsgestütztes kaltes Gas mit jungen, neu entstandenen blauen Hauptreihensternen, haben eine niedrige zentrale Flächenhelligkeit. Sie werden wiederum in zwei Typen unterschieden:

die „normalen“ Spiralgalaxien S und die Balkenspiralen Sb, bei welchen der Kern balkenartig verbreitert ist. Die Buchstaben a, b und c repräsentieren die Ausbildung der Spiralarme relativ zum Zentrum der Galaxie.

Besonders sind Galaxien des Typs S0, da bei ihnen der Kern von einer scheibenförmigen Struktur ohne Spiralarme umgeben ist, und des Typs Ir (irregulär), bei denen keine Struktur zu erkennen ist.

Alle Galaxientypen sind im „Stimmgabel-Diagramm“ nach Hubble aufgeführt:

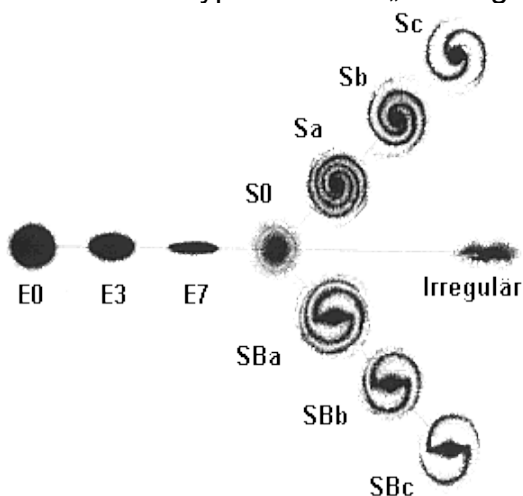


Abbildung IStimmgabel-Diagramm nach Hubble

Die Spiralarme entstehen durch Geschwindigkeitsdispersion, wobei die Arme Dispersionswellen sind, die um das Galaxienzentrum herumlaufen.

Da die Isophoten der Galaxien Ellipsen sind, entstehen die Spiralarme dort, wo zwei Isophoten nah beieinander liegen.

## Theorie

Analog wie bei Sternen sind auch für Galaxien Leuchtkraft und Magnituden definiert.

Bei Sternen ist die Leuchtkraft eine Anzahl an Photonen pro Sekunde, also ein Fluss an Lichtteilchen, festgelegt. Während der absolute Fluss auf eine Abstand von 10 pc normiert, ist der scheinbare (apparent) Fluss von der Entfernung abhängig:

$$F = f \cdot \left(\frac{D}{10}\right)^2 \text{ mit } F = \text{absoluter Fluss}, f = \text{scheinbarer Fluss und } D = \text{Entfernung [pc]} \quad (2)$$

Bei Galaxien als ausgedehnten Objekten gilt die Flächenleuchtkraft, welche eine Leuchtkraft pro Fläche ist, also pro  $\text{arcsec}^2$ . Somit ist die Flächenleuchtkraft vom Abstand unabhängig, da der Fluss ebenfalls vom Quadrat der Entfernung abhängt.

Die absolute Leuchtkraft  $L_T$  der Galaxien kann zudem in absoluten Leuchtkraft der Sonne  $L_\odot$  angegeben werden. Mit  $M_\odot$  als absolute Helligkeit der Sonne und  $M_T$  als absolute Helligkeit der Galaxie ergibt sich der Zusammenhang:

$$L_T = 10^{-0.4 \cdot (-M_\odot + M_T)} L_\odot \quad (3)$$

Für Astronomen sind besonders die Magnituden  $M$  (Helligkeiten) von Bedeutung.

$$M = -2.5 \log F \text{ mit } M = \text{absolute Helligkeit}$$

Umrechnung zwischen apparent und absoluter Magnitude erfolgt mit folgender Formel:

$$M = m - 25 - 5 \log D [\text{Mpc}]$$

Ebenso wie für die Leuchtkräfte gibt es auch hier extra für Galaxien Flächenmagnituden  $SB$  (surface brightness), d.h. eine Magnitude pro  $\text{arcsec}^2$ .

Die Helligkeit eines Objektes nimmt mit  $r^2$  ab, jedoch nicht die Flächenhelligkeit, die wiederum unabhängig von der Entfernung ist.

Die Flächenhelligkeit  $Sb_{gal}$  muss allerdings noch kalibriert werden, indem die gemessenen Counts  $N_{sky}$  pro  $\text{arcsec}^2$  und  $N_{gal}$  pro  $\text{arcsec}^2$  miteinander aufgerechnet werden:

$$SB_{gal} = -2.5 \cdot \log \frac{N_{gal}}{N_{sky}} + SB_{sky}$$

Die Frames, also auch der Skywert  $N_{sky}$ , welcher im Zuge des Versuches gemessen wurde, sind allerdings noch nicht von counts pro pixel in counts pro  $\text{arcsec}^2$  umgerechnet. Mit der Instrumentengröße des Teleskops und CCDs  $0.396 \text{ arcsec/pix}$  können diese Werte skaliert werden.

Die erstellten Plots wurden schon auf  $\text{arcsec}$  umgerechnet, jedoch noch nicht kalibriert.

Durch die beiden Programme *dodel* (misst den Himmelshintergrund  $N_{sky}$ , die Position des Zentrums der Galaxie und löscht alle die Galaxie überlagernden Objekte) und *docog* (berechnet den azimuthalen Durchschnitt der Zählraten  $N_{pix} - N_{sky}$  beginnend im Zentrum der Galaxie) wurden Helligkeitsprofile der Galaxien erstellt.

Diese Helligkeitsprofile folgen für eine elliptische Galaxie dem de-Vaucouleurs-Gesetz:

$$I_E = I_e \cdot e^{-7.67 \cdot \left[\left(\frac{R}{R_e}\right)^{1/4} - 1\right]^2}$$

wobei  $R$  die Entfernung vom Zentrum der Galaxie,  $R_e$  der Leuchtkrafthalbradius der Galaxie,  $I_e$  die Flächenleuchtkraft an der Isophote  $R_e$  und  $I_E$  die Flächenleuchtkraft einer elliptischen Galaxie ist.

$R_e$  ist der Radius, innerhalb dessen sich die halbe Leuchtkraft aufhält, dazu ist  $I_e$  die Isophote der halben Leuchtkraft.

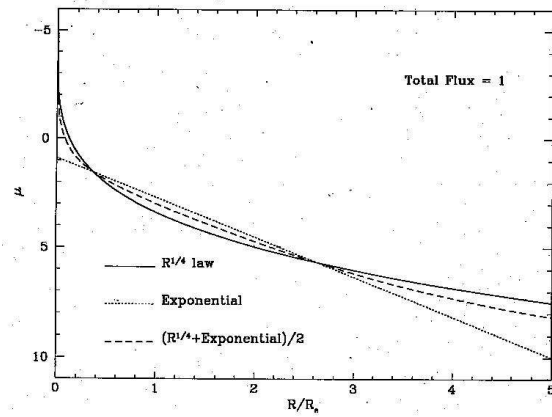
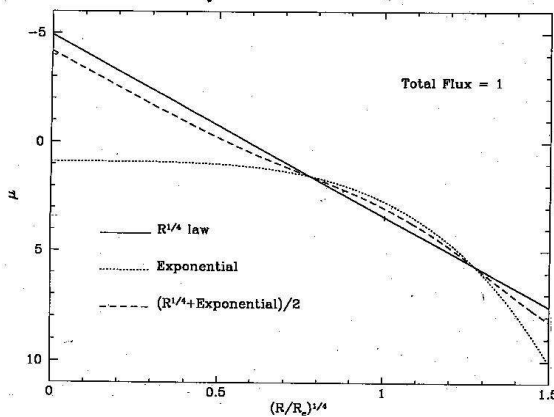
Bei einer Auftragung der Flächenhelligkeit gegen die vierte Wurzel der Entfernung vom Zentrum zeigt sich der Plot als eine Gerade.

Das Profil einer Scheibengalaxie hingegen ist durch einen exponentiellen Zusammenhang gegeben:

$$I_D = I_0 e^{-\frac{R}{h}}$$

mit  $I_D$  als Flächenleuchtkraft einer Disk-Galaxie,  $I_0$  als zentrale Flächenleuchtkraft und  $h$  als Skalengrösse, da in der Mathematik keine Dimension im Exponenten erlaubt ist. Diese Formel bildet eine Gerade, falls die Flächenhelligkeit gegen die Entfernung aufgetragen wird.

Galaxien, die sich aus einer Scheibe und einem bulge zusammensetzen, haben Anteile von beiden Gesetzen, dem exponentiellen und dem de-Vaucouleurs-Gesetz. Einflüsse der Erdatmosphäre stören das Ende des de-Vaucouleurs-Gesetzes und zusätzlich können Fehler beim Bestimmen des Skywertes die äußeren Bereiche der Profile beeinflussen.



In der ersten Abbildung ist  $R^{1/4}$  gegen  $-2.5 \lg N_{\text{gal}}$  aufgetragen. Eine elliptische Galaxie hat hier ein geradliniges Profil, während eine Scheibengalaxie eine konkave Funktion ist. Die Intensität der Scheibe nimmt mit den Abstand viel schneller ab, als die einer elliptischen. Die zweite Abbildung ist ein  $R - -2.5 \lg N_{\text{gal}}$ -Diagramm. In dieser Darstellung ist eine Scheibengalaxie geradlinig und eine elliptische konvex.

Die Zuwachskurve ist der integrierte Fluss innerhalb einer Blende mit Radius  $R$  als Funktion von  $R$ :  $\mathcal{F}(<R) = \int_0^R 2\pi I(R') R' dR'$  mit  $I$  als gemittelter, kreisförmiger Flächenhelligkeit der Galaxie.

Für sehr grosse  $R$  strebt diese Formel asymptotisch gegen die Leuchtkraft  $I_T$  der Galaxie entgegen.

Die Magnitude ist somit:

$$m_T = -2.5 \log I_T = -2.5 \log \mathcal{F}(\infty)$$

Für elliptische Galaxien gilt  $\mathcal{F}_E(\infty) = 7.22 \pi R_e^2 I_e$  und für Scheibengalaxien

$$\mathcal{F}_D(\infty) = 2\pi h^2 I_0$$

Damit ist der Leuchtkraftthalbradius folgendermassen definiert:  $\mathcal{F}(R_e) = 0.5 \mathcal{F}(\infty)$ , d.h. der Leuchtkraftthalbradius ist derjenige Radius, innerhalb dessen die Hälfte des Gesamtflusses der Galaxie liegt.

Mit dieser Grösse kann nun die gemittelte, effektive Flächenleuchtkraft innerhalb  $R_e$

bestimmt werden:  $\langle I_e \rangle = \frac{\mathcal{F}(\infty)/2}{\pi R_e^2}$ . Für elliptische Galaxien gilt  $\langle I_e \rangle = 3.61 I_e$ .

## Auswertung

Die verschiedenen Galaxien aus dem Haufen A2589 wurden im r- und b-band-Filter aufgenommen. Rot-Band-Filter haben eine Zentralwellenlänge von 6000Å und eine Bandbreite von 1500Å (also ein weiter Filter), wohingegen Blau-Band-Filter eine Breite von 1000Å um 4500Å herum haben.

Mit dem Programm dodel wurden zuerst die Hintergrundstahlung und das Zentrum der Galaxien vermessen.

Im Folgenden sind die Messergebnisse aufgelistet:

<b>Galaxie</b>	<b>Sky (r-band)</b>	<b>Center (r-band)</b>	<b>Sky (b-band)</b>	<b>Center (b-band)</b>
A	567.7	256.86 / 261.89		
B	565.7	283.59 / 259.54		
C*	567.8	129.48 / 128.95	48.79	130.20 / 128.28
D	571.9	131.36 / 132.95		
E	564.7	255.84 / 260.27		
2*	17.46	256.01 / 258.55	48.62	129.39 / 129.46
4*	289.8	127.30 / 130.75	47.13	127.06 / 129.39
DD	277.8	128.56 / 127.93		
EE	276.8	129.52 / 131.89		

Da der Himmelshintergrund jedoch nicht immer gleichmässig ist, mussten dann die betreffende Galaxie überlagernde Objekte aus dem Frame gelöscht werden. Dannach wird mit dem Programm docog der Skalierungsfaktor des Beobachtungssystems miteingerechnet und ein file mit dem Flächenhelligkeitsprofile und der Zuwachskurve der Galaxie erstellt. Das Programm SUPERMONGO plottet nun die instrumentellen Flächenhelligkeitsprofile gegen den Abstand, einmal als  $R^{1/4}$ , einmal als exponentielle Funktion. Anhand dieser Plots ist es nun möglich, die Galaxien zu klassifizieren, nachdem mit der Helligkeit des Himmels (im R-Band mit 20.63 mag/arcsec<sup>2</sup>, im B-Band mit 22.17mag/arcsec<sup>2</sup>) kalibriert wurde.

kalibrierte Flächenhelligkeit  $Sb_{gal}$  für C\* im R-Band:

$$SB_{gal} = -2.5 \cdot \lg \frac{N_{gal}}{N_{sky}} + SB_{sky} = -2.5 \lg N_{gal} - 2.5 \lg N_{sky} + SB_{sky} =$$

$$= \mu - 2.5 \lg N_{sky} + SB_{sky} = -14,93 - 2.5 \lg (567.8/0.396^2) + 20.63 = 14,597$$

$\mu$  wird einfach an der Ordinate des Plots abgelesen. Da der Skywert in pixel gemessen wurde muss noch mit  $0.396^2 \text{ arcsec}^2 / \text{pix}^2$  kalibriert werden.

Im Falle einer um 10% abweichenden  $N_{sky}$  muss das Ergebniss um erhebliche 42.3% korrigiert werden.

Die nachfolgenden Berechnungen werden nur für die Galaxie C\* ausführlich aufgeführt. Für die restlichen gemessenen Galaxien wurden nur die Ergebnisse im nachfolgenden Kapitel „Ergebnisse“ tabellarisch zusammengestellt.

### Bestimmung der Elliptizität

nach Gleichung (1): Aus (114/116) und (143/142) erhält man  $2a=38.95$  und aus (118/143) und (140/113)  $2b=27.202$ , damit ist  $e = 10 \cdot (1 - \frac{b}{a}) = 10 \cdot (1 - \frac{27.202}{38.95}) = 0,4487$ . Daraus folgt, dass C\* eine E1-Galaxie ist.

### Abschätzungen von $R_e$ oder $h$

Zur Bestimmung dieser Grössen gibt es drei Möglichkeiten:

#### 1. Geradensteigung

Die  $R^{1/4}$ - und exponentiellen Graphen werden jeweils auf Kongruenz mit einer Geraden überprüft.

Im Falle einer elliptischen Galaxie wie C\* wird daraus  $R_e$  folgendermassen bestimmt:

$$I_E = I_e \cdot e^{-7.67[(\frac{R}{R_e})^{1/4} - 1]}$$

$$I_E = I_e \cdot 10^{-(\lg e) \cdot 7.67[(\frac{R}{R_e})^{1/4} - 1]} = I_e \cdot 10^{-3.33[(\frac{R}{R_e})^{1/4} - 1]}$$

$$\lg I_E = \lg I_e + (-3.33[(\frac{R}{R_e})^{1/4} - 1])$$

Für den Abgleich mit der Geradensteigung ist nur die Klammer von Bedeutung.

Desweiteren muss mit  $-2.5$  multipliziert werden, da die Skala der y-Achse  $\mu = -2.5 \lg N_{gal}$  ist.

$$-2.5 \cdot \lg \frac{I_E}{I_e} = (-2.5)(-3.33)(\frac{R}{R_e})^{1/4} - (-2.5)1$$

$$(-2.5)(-3.33)(\frac{R}{R_e})^{1/4} = \frac{8.328}{R_e^{1/4}} \cdot R^{1/4}$$

$$s_E = \frac{8.328}{R_e^{1/4}} \rightarrow R_e = (\frac{8.328}{s})^4 \text{ mit } s_E \text{ gleich der Geradensteigung}$$

Für C\* ist  $s=5.79$  und damit ergibt sich ein Wert von  $R_e=4,28$

#### 2. $R_{max}$

Mit dem Befehl `pllgcog` wird mit SUPERMONGO eine logarithmische Radiuskalierung durch das Zeichnen einer Zuwachskurve erstellt.

In diesem Graph werden die Werte für  $R_{max}$  abgelesen und folgendermassen weiterverrechnet:

$$\lg R_{max} = 1.63 \quad m(<R_{max}) = -14.93$$

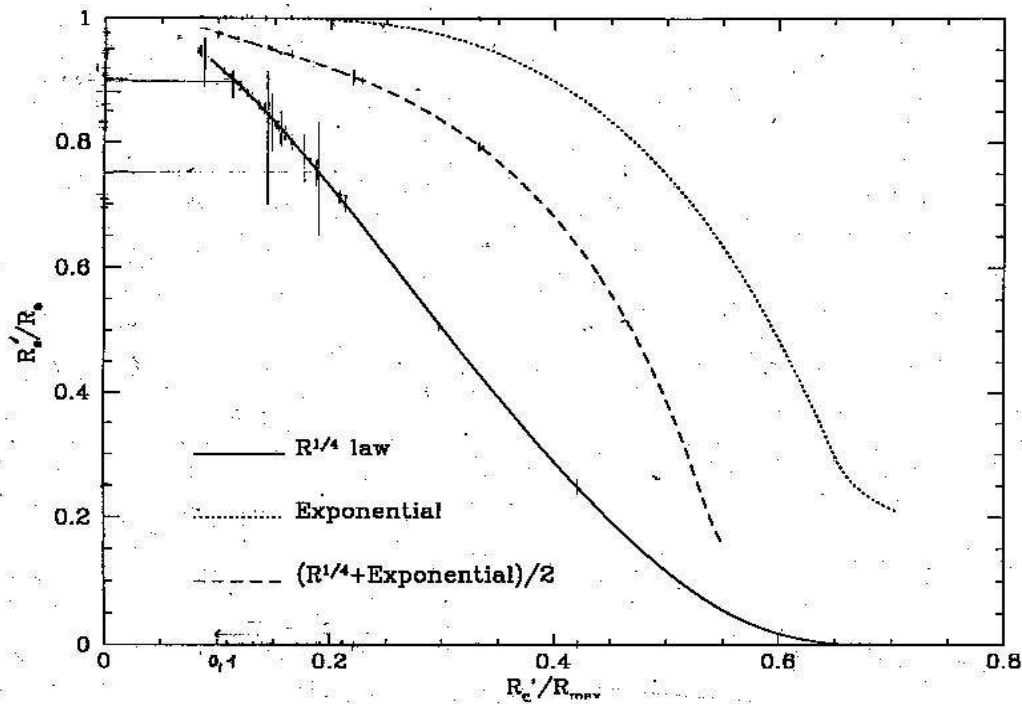
$$m(<R_e') = m(<R_{max}) + 2.5 \lg 2$$

$$m(<R_e') = -14.93 + 0.7526 = -14.1774$$

Nach nochmaligem Abgleichen mit dem Graphen erhält man:  $\lg R_e' = 0.67$

Daraus folgt:  $R_{max} = 42.658$  und  $R_e' = 4.6774$ . Somit ergibt sich das Verhältnis

$$R_e'/R_{max} = 0.11$$



Nun für diesen Wert in der obigen Abbildung  $R_e'/R_{\max} - R_e'/R_e$  verglichen und damit das Verhältnis  $R_e'/R_e$  abgelesen, welches für  $C^* 0.9$  ist, womit sich ein  $R_e = 5.197$  ( $\lg R_e = 0.715$ ) ergibt.

Dieses wird je nach Galaxienform für elliptische, scheibenförmige oder S0-Galaxien durchgeführt.

### 3. Kurvenverlauf

Für die dritte Methode wird der Graph von  $m(<R/R_e)$  als eine Funktion von  $\lg R/R_e$  über das gemessene Profil  $\lg R(\text{arcsec}) - m(<R(\text{arcsec}))$  gelegt und solange parallel zu den Achsen verschoben, bis sich eine Übereinstimmung zwischen den beiden Kurven ergibt. Da die beiden Kurven logarithmisch sind, ergeben Vorfaktoren vor den jeweiligen  $R_s$  nur eine Verschiebung der gleichen Kurve.  $R_e$  lässt sich somit leicht an der Position  $\lg R/R_e$  ablesen, genauso wie  $m_T + 2.5 \lg 2$  an der Stelle  $m(<1)$  liegt.

Für  $C^*$  lassen sich hier folgende Werte ablesen:  $\lg R_e = 0.7 \rightarrow R_e = 5.011$

Dieses ist die genaueste Methode, da ein direkter Vergleich der Zuwachskurven recht zuverlässige Ergebnisse liefern.

Mit diesen und gegebenen Werten (Tabelle) können nun folgende Größen berechnet werden:

	R-Band	B-Band
<b>Totale solare Helligkeit</b>	4,31	5,48
<b>Himmelshintergrund [mag/arcsec<sup>2</sup>]</b>	20,63	22,17

scheinbare Helligkeit der Galaxie gerechnet:

$$m_T = m(R_e) - 2.5 \lg 2 + 2.5 \lg N_{sky} + SB_{sky} = -14.77 - 2.5 \lg 2 + 2.5 \lg 567.7 + 20.63 = 14$$

absolute Helligkeit der Galaxie  $M_T$ :

$$M_T = m_T - 25 - 5 \lg D = 14 - 25 - 5 \lg 240 = -22.9$$

absolute Leuchtkraft der Galaxie  $L_T$  in Einheit der absoluten Leuchtkraft der Sonne  $L_\odot$

$$L_T = 10^{-0.4(-M_\odot + M_T)} L_\odot = 10^{-0.4(-4.31 - 22.9)} L_\odot = 7.63 \cdot 10^{10} L_\odot$$

mit  $M_\odot = 4.31$  (*R-Band*),  $M_\odot = 5.48$  (*B-Band*)

Leuchtkraft  $I_e$  am Leuchtkrafthalbradius  $R_e$

$$\langle I_e \rangle = \frac{\mathcal{F}(\infty)/2}{\pi R_e^2} = 1.59 \cdot 10^{-8}$$

mit  $\mathcal{F}(\infty) = 10^{(m_i/2.5)}$

Die Gleichung für die Flächenhelligkeit  $SB_e$  wird aus den Gleichungen 9, 12 und 14 herausgelöst:

$$SB_e = m_T + 2.5 \lg (2 \pi \cdot R_e^2) = 19.5$$

Abstand der Galaxie in kpc:

$$R_e [kpc] = R_e (arcsec) \cdot \frac{\pi}{180 \cdot 3600} \cdot 10^3 D (Mpc) = 5.011 \cdot \frac{\pi}{180 \cdot 3600} \cdot 10^3 \cdot 240 = 5.83 kpc$$



## Ergebnisse

Im folgenden sind für alle zu untersuchenden Galaxien die Ergebnisse tabellarisch aufgeführt.

gemessene Werte:

Galaxie	$N_{\text{sky}}$	$st_4$	$st_{\text{exp}}$	$\mu$	$m(\text{Re})$	$\text{Re3}$	$\text{Re2}$	$\text{Re1}$
A	567,7	3,775		-16,78	-15,8	20,890	27,320	23,686
B	565,7	4,615		-15,2	-14,2	8,912	4,890	10,604
C	567,7	5,790		-14,93	-14,77	5,011	5,197	4,280
D	571,9	5,714		-15,3	-14,22	6,170	6,615	4,512
E	564,7	4,440		-16,05	-15,17	10,470	10,010	12,377
2	17,46	5,714	0,186	-12,1	-11,27	5,750	5,550	4,512
4	289,8	6,511	0,296	-13,4	-12,55	4,897	6,451	2,677
DD	277,8	5,839	0,215	-14,2	-13,3	4,570	4,340	4,138
EE	276,8	5,000	0,440	-14,25	-13,5	6,918	7,770	7,696
C	48,79	5,774		-12,1	-11,1	5,370	5,731	4,328
2	48,62	6,860	0,370	-10,85	-9,75	2,820	2,643	2,172
4	47,13	5,063	0,291	-11,4	-10,25	5,370	2,880	7,320

berechnete Werte:

Galaxie	$SB_{\text{gal}}$	$Re$	$h$	$m_r$	$F(\infty)$	$J_e$	$SB_e$	$Re \text{ [kpc]}$	$M_r$	$L_r$
A	12,747	23,68		12,97	6,46E-06	2,36E-09	21,57	27,55	-23,93	1,97E+11
B	14,323	10,6		14,57	1,49E-06	2,98E-09	21,32	12,34	-22,33	4,53E+10
C	14,597	4,28		14	2,50E-06	1,59E-08	19,5	4,98	-22,9	7,63E+10
D	14,235	4,51		14,56	1,50E-06	6,26E-09	20,51	5,25	-22,34	4,57E+10
E	13,471	12,38		13,6	3,64E-06	5,28E-09	20,69	14,4	-23,3	1,11E+11
2	13,647	4,51	5,84	13,72	3,24E-06	1,56E-08	19,52	5,25	-23,18	9,88E+10
4	15,397	2,68	3,67	15,49	6,34E-07	4,21E-09	20,94	3,11	-21,41	1,94E+10
DD	14,551	4,14	5,05	14,7	1,32E-06	1,01E-08	19,99	4,81	-22,2	4,03E+10
EE	14,497	7,69	2,47	14,49	1,59E-06	5,30E-09	20,69	8,95	-22,41	4,86E+10
C	16,302	4,33		16,55	2,40E-07	1,32E-09	22,2	5,03	-20,35	1,84E+10
2	17,549	2,17	2,93	17,9	6,94E-08	1,39E-09	22,14	2,53	-19,01	5,32E+09
4	16,965	7,32	3,73	17,36	1,14E-07	6,27E-10	23,01	8,52	-19,54	8,70E+09

Farben der Galaxien:

$$C : B_T - R_T = -20.35 - (-22.9) = 2.55$$

$$2 : B_T - R_T = -19.01 - (-23.18) = 4.17$$

$$4 : B_T - R_T = -19.54 - (-21.41) = 1.87$$

Die Gleichungen  $I_D = I_0 e^{-\frac{R}{h}}$  und  $\mathcal{F}(<R) = \int_0^R 2\pi I(R') R' dR'$  wird folgender Ausdruck für den Fluss einer Scheibe gebildet:

$$\mathcal{F}(<R) = \int_0^R 2\pi I_0 e^{-\frac{R'}{h}} R' dR' = 2\pi I_0 \int_0^R e^{-\frac{R'}{h}} R' dR' = 2\pi I_0 h^2 \left(-\left(\frac{R}{h} + 1\right) e^{-\left(\frac{R}{h} + 1\right)}\right)$$

Die Hälfte des Gesamtflusses kann dann daraus berechnet werden:  $\frac{\mathcal{F}(\infty)}{2} = \pi I_0 h^2$

der Radius an dieser Stelle ist:  $\left(\frac{R_e}{h} + 1\right) e^{-\frac{R_e}{h}} = \frac{1}{2}$ . Numerisch berechnet liefert diese

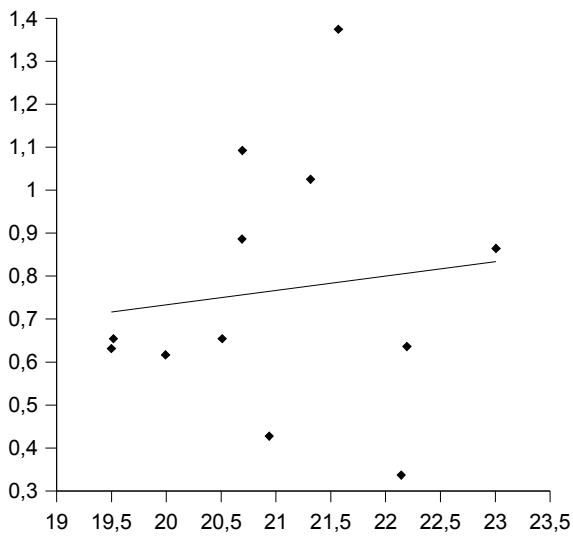
Gleichung zwei Lösungen:  $\frac{R_e}{h} = 1.678$  und  $\frac{R_e}{h} = -0.768$ , allerdings kann hierbei der negative Wert vernachlässigt werden, da  $h$  und  $R_e$  immer positiv sein müssen.

Somit erhält man:  $R_e = 1.678 h$  und damit  $\langle I_e \rangle = \frac{\mathcal{F}(\infty)}{2\pi R_e^2} = 0.355 I_0$ . Daraus folgt

$$\text{wiederum } I_e = \frac{\langle I_e \rangle}{3.61} = 0.0981 I_0.$$

Durch das Plotten von  $\lg R_e$  gegen  $SB_e$  und  $m_T$  erhält man

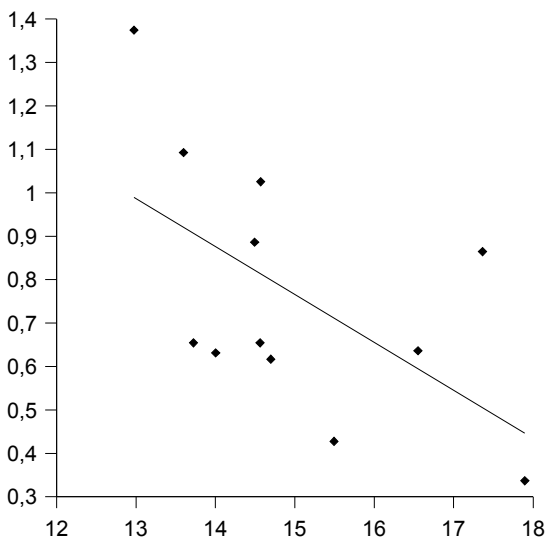
### SBe - $\lg R_e$



SBe	$\lg R_e$	$\lg R_e$ Dach	Residuum
21,57	1,37	0,46	-0,91
21,32	1,03	0,46	-0,57
19,5	0,63	0,46	-0,17
20,51	0,65	0,46	-0,19
20,69	1,09	0,46	-0,63
19,52	0,65	0,46	-0,19
20,94	0,43	0,46	0,03
19,99	0,62	0,46	-0,16
20,69	0,89	0,46	-0,43
22,2	0,64	0,46	-0,18
22,14	0,34	0,46	0,12
23,01	0,86	0,46	-0,4
b	20,65		
a	0,46		

$$\lg R_e = a \langle SB_e \rangle + b$$

### $m_T$ - $\lg R_e$



$m_T$	$\lg R_e$	$\lg R_e$ Dach	Residuum
12,97	1,37	-1,74	-3,11
14,57	1,03	-0,68	-1,71
14	0,63	0,51	-0,12
14,56	0,65	0,44	-0,21
13,6	1,09	-0,88	-1,98
13,72	0,65	0,44	-0,21
15,49	0,43	1,13	0,7
14,7	0,62	0,56	-0,06
14,49	0,89	-0,26	-1,15
16,55	0,64	0,5	-0,14
17,9	0,34	1,4	1,07
17,36	0,86	-0,19	-1,06
d	2,42		
c	-3,02		

$$\lg R_e = c m_T + d$$

Durch die Relation zweier Galaxien kann man mit  $\text{mit } b_1 = b_0 - \lg \frac{D_1}{D_0}$  und der Kenntnis der Regressionsgeradensteigung ein Entfernung einer Vergleichsgalaxie 0 die Entfernung bestimmt werden.

## Anhang

Abschätzung der Galaxientypen:

- A: S0 Diese Galaxie weist weder in der  $R^{1/4}$ - noch in der exponentiellen Darstellung eine klare Gerade auf, daher kann gefolgert werden, dass es sich um ein bulge+disk -System handelt. Auch die Form der Zuwachskurve gleicht der eines gemischten Systems am ehesten. Da aber das  $R^{1/4}$ -Profil noch am meisten dem einer Geraden gleicht, ist zu erwarten, dass ein deutlich elliptische Teil der Galaxie von einer schwächeren Scheibe umgeben ist, d.h. es handelt sich um eine S0-Galaxie. Leider konnte bei dieser Galaxie  $R_{\max}$  nicht zuverlässig genug abgelesen werden, da die x-Achse unter Umständen zu kurz für den Graphen war.
- B: E Die Zuwachskurve stimmt sehr gut mit der einer elliptischen Galaxie überein. Die Abweichung des  $R^{1/4}$ -Plots von der Geraden im Bereich hoher R stammte vom seeing, d.h. Licht vom Inneren der Galaxie streut beim Durchgang durch die Erdatmosphäre in die äußeren Bereiche der Galaxie und verwischt somit das Ende des Profils.
- C: E Diese Galaxie ist definitiv elliptisch, da die Zuwachskurve sehr gut mit der elliptischen übereinstimmt. Auch  $R_3$  und  $R_2$  (für eine elliptische Galaxie berechnet) gleichen sich sehr stark. Bei einer Variation des Himmelshintergrundes um 10% muss das Ergebniss allerdings um erhebliche 46% korrigiert werden. Allerdings steht die leicht ins blaue verschobene Farbe im Widerspruch zu einer elliptischen Galaxie.
- D: E Wiederum stimmen die R-Werte gut überein und wiederum handelt es sich um eine E-Galaxie.
- E: E Der  $R^{1/4}$ -Plot stimmt sehr gut mit einer Gerade überein, daraus lässt sich schliessen, dass E eine elliptische Galaxie ist.
- DD: E Auch bei dieser Galaxie handelt es sich um eine elliptische Galaxie. Auch die R-Werte stimmen ausserordentlich gut überein.
- EE: S0 Hierbei handelt es sich um eine Spiralgalaxie, da die zentrale Helligkeit in diesem Fall niedriger ist. Auch die Formen der Kurven bekräftigen diesen Galaxientyp.
- 2: S0 Durch Vergleichen des Zuwachskurven und die Formen der  $R^{1/4}$ -Graphen in den roten und blauen Aufnahmen lässt sich auf eine S0 schliessen. Die Farbe der Galaxie ist ins Blaue verschoben, was ebenfalls auf eine spiralartige Galaxie hinweist.
- 4: S0 Bei dieser Galaxie überwiegen ebenfalls die Argumente für eine Spiralgalaxie. Die Plots und die Zuwachskurve lassen jedenfalls darauf schliessen, auch die Farbe ist, typisch für Spiralgalaxien, ins Blaue verschoben.