

Die großräumige Umgebung von QSO/Seyfertgalaxien bei nahen und kosmologischen Rotverschiebungen

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Matthias Zetzl
aus Heilbad Heiligenstadt

Göttingen 2011

D 7

Referent: Prof. Dr. Wolfram Kollatschny

Korreferent: Prof. Dr. Wolfgang Glatzel

Tag der mündlichen Prüfung: 22. September 2011

Abstract

Diese Arbeit verfolgt das Ziel, die Eigenschaften von Galaxien in der Umgebung eines Quasars in Abhängigkeit von den Eigenschaften dieses zentralen Quasars zu untersuchen. Zudem sollen die Galaxien in der Umgebung eines Quasars klassifiziert und Korrelationen zwischen den spektralen Eigenschaften der Galaxien analysiert werden. Dazu habe ich ein Sample von 76 552 Quasaren, in einem Rotverschiebungsbereich von $0.03 \leq z \leq 6$ aus der siebten Data Release des Sloan Digital Sky Survey ausgewählt. Via SDSS-Datenbankabfrage habe ich alle Umgebungsobjekte dieser zentralen Quasare in einem projizierten Winkelabstand von ± 1 Mpc um das Zentralobjekt ausgewählt und anschließend die integrierten Linienflüsse aller dieser Objekte bestimmt. Zudem habe ich ein Vergleichssample nicht-aktiver Zentralgalaxien und ihrer Nachbarobjekte von insgesamt ca. 0.8 Millionen Objekten untersucht. Bei den Quasaren und ihren Nachbarobjekten habe ich in den Spektren die integrierten Linienflüsse der schmalen H α - und H β -Linie ‚per Hand‘ ausgemessen. Dies ist bei 7055 Galaxien bis zu einer Rotverschiebung von $z \sim 0.4$ möglich, da ab dann die H α -Linie aus dem beobachteten Spektralbereich herausfällt. Von diesen 7055 Galaxien habe ich 4405 als Emissionsgalaxien klassifiziert. Diese unterteilen sich in 1082 HII-Regionen, 288 LINERs und 3035 Seyfertgalaxien.

Ich konnte zeigen, dass sich bei den 4405 Emissionsgalaxien das Balmerdekrement (H α /H β) mit steigender Rotverschiebung verringert. Auch der integrierte Linienfluss der Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325$ -Bereichs nimmt mit steigender Rotverschiebung ab. Die relative Stärke der verbotenen Linien nimmt mit steigender Kontinuumsleuchtkraft L_{F5100} bei HII-Regionen ab, aber bei den LINERs und Seyfertgalaxien zu.

Ich habe folgende Eigenschaften der Quasarumgebung ermittelt:

In der direkten Umgebung (bis 0.1 Mpc Entfernung) von aktiven Zentralgalaxien befinden sich über 50% mehr Objekte als in der Umgebung von nicht-aktiven Zentralgalaxien. Leuchtstarke Quasare besitzen, bis zu einer Entfernung von 0.1 Mpc, 50% mehr Objekte in ihrer Nachbarschaft als leuchtschwächere Quasare. Mit steigender Entfernung vom aktiven Zentralobjekt nehmen die H α - und H β -Linienleuchtkräfte der als Seyfertgalaxien, LINERs und HII-Regionen klassifizierten Nachbargalaxien ab. Der prozentuale Anteil der Seyfertgalaxien an den Nachbarobjekten nimmt mit steigender Rotverschiebung (bis $z = 0.265$) zu und der Anteil der HII-Regionen an den Nachbarobjekten nimmt ab. Je höher die H α - und [O III] $\lambda 5007$ -Linienleuchtkraft des Zentralobjekts ist, um so weniger Nachbarobjekte besitzt das Zentralobjekt. Besonders bei zentralen Seyfert-1-Galaxien bewirken hohe [O III] $\lambda 5007$ -Linienleuchtkräfte eine starke Abnahme der Anzahl der Nachbarobjekte.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
1.1	Aktive Galaxien und ihre Spektren	1
1.1.1	Klassifikation Aktiver Galaxien	2
1.1.2	Unified Model	4
1.2	Der Sloan Digital Sky Survey	6
1.3	Korrelationsanalyse	9
1.4	Motivation	10
2	Der Datensatz	13
2.1	Die QSO-Liste	13
2.2	Definition der Umgebung der Zentralgalaxie	17
2.3	Die Berechnung der Entfernung	18
2.3.1	Das Hubblegesetz	18
2.3.2	Die Metrik	19
2.3.3	Der Skalenfaktor R	20
2.3.4	Der Zusammenhang zwischen dz und dt	21
2.3.5	Die Friedmann-Lemaître-Gleichung	21
2.3.6	Die Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation	23
2.4	Die QSO-Umgebung	24
2.4.1	Die Umgebungsabfrage	24
	Die <i>look-back-time</i> bei der Umgebungserfassung	28
	Die Vollständigkeit der Umgebungserfassung	29
	Dubletten im Datensatz	30
2.4.2	Die Bestimmung der integrierten Linienintensitäten	31
	Das BPT-Diagramm	33
	Die Vermessung der Spektren	37

3	Spektrale Eigenschaften des Galaxiensamples	41
3.1	Linienverhältnis von $[\text{O III}] \lambda 5007$ zu schmaler Balmerlinie	41
3.2	Das Balmerdekrement	44
3.3	Die Untersuchung des Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325$ -Bereichs	48
3.3.1	Das $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325$ -Verhältnis	48
3.3.2	Das $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ -vs. $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325/\text{H}\beta$ -Verhältnis	52
3.4	Die Leuchtkraft, Linienbreiten und Linienverhältnisse	54
3.4.1	Die Kontinuums- und Linienleuchtkraft	54
3.4.2	Die Kontinuumsleuchtkraft und Linienverhältnisse	55
3.4.3	Die Leuchtkraft und Linienbreiten	57
4	Ergebnisse der Umgebungsuntersuchung	61
4.1	Die Verteilung der Umgebungsobjekte	61
4.1.1	Vergleichssample 1	64
4.1.2	Vergleichssample 2	68
4.2	Die Leuchtkraftverteilung der Umgebungsobjekte	73
4.3	Die BPT-Diagramme des SDSS-Samples	81
4.3.1	Die Zentral- und Nachbarschaftsobjekte	81
4.3.2	Die Untersuchung diskreter Rotverschiebungsintervalle	84
4.3.3	Erweiterte BPT-Diagramme	90
4.4	Die Leuchtkraft des Zentralobjekts und Anzahl der Nachbarn	92
5	Zusammenfassung	95
	Tabellenverzeichnis	101
	Abbildungsverzeichnis	105
	Literaturverzeichnis	110

Anhang	111
A.1 Weitere Entfernungsberechnungen	111
A.1.1 Die Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation bei $k \neq 0$	111
A.1.2 Die Leuchtkraftentfernung	111
A.2 Ablaufdiagramm	113
A.3 Liste der SDSS-Spektrallinien	114
A.4 Programmcode	115
Publikationen	139
Danksagung	141
Lebenslauf	143

Kapitel 1

Einleitung und Motivation

Da aktive Galaxien im Zentrum meiner Untersuchungen stehen, werde ich im folgenden einen kurzen Überblick über die verschiedenen Typen dieser Galaxien geben.

1.1 Aktive Galaxien und ihre Spektren

Viele Galaxien zeigen nichtthermische Aktivität in ihrer Kernregion. In diesen Fällen ist das beobachtete Spektrum nicht nur eine Überlagerung der in der Galaxie enthaltenen Sternspektren im Zentralbereich, sondern zusätzlich wird ein starkes, nichtthermisches Kontinuum emittiert. Diese Kontinuumsemission erstreckt sich vom Radio- bis in den γ -Wellenlängenbereich und stammt aus dem hellen, kompakten, semistellaren Kernbereich, dem *Aktiven Galaktischen Kern* (*Active Galactic Nucleus*, *AGN*).

Die absolute Leuchtkraft L erreicht sehr hohe Werte von ca. 10^{12} Sonnenleuchtkräften (L_{\odot}) oder $\approx 10^{45.6} \text{erg s}^{-1}$. Zudem zeigen diese Galaxien breite, zum Teil polarisierte Emissionslinien und morphologische Strukturen (Jets).

Sehr breite Emissionslinien in den optischen Spektren sind z.B. Wasserstofflinien der Balmerreihe ($H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$) deren Halbwertsbreite Werte von bis zu $10\,000 \text{ km s}^{-1}$ erreichen kann und die so nicht in Sternenspektren vorkommen. Dabei ist die Halbwertsbreite die Breite der Linien bei der Hälfte ihres Maximalwerts, engl.: Full Width at Half Maximum, FWHM. Auch Linien des einmal oder zweimal ionisierten Heliums (He I und He II) zeigen große Linienbreiten.

Zudem treten auch schmale starke Emissionslinien bei z.B. $\lambda\lambda 4959, 5007 \text{ \AA}$ auf, die sogenannten „verbotenen Linien“. Huggins & Miller (1864) fanden diese Linien, als sie den Katzenaugennebel (NGC 6543) spektroskopierten. Da sie diesen Emissionslinien zunächst keinem Linienübergang eines bekannten Elements zuordnen konnten, postulierten sie das hypothetische Element „Nebulium“ als Quelle dieser Linien. Erst Bowen (1927) konnte nachweisen, dass es sich dabei um Linien metastabiler Zustände von angeregten Atomen mit geringen Übergangswahrscheinlichkeiten handelt. Unter Laborbedingungen werden diese angeregten Atome aus diesen Zuständen durch Stöße abgereggt, noch bevor sie ihre Energie abstrahlen können. Erst bei sehr

geringen Dichten (Elektronendichten von $10^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, Schneider, 2005) ist die Verweildauer der Atome in diesem metastabilen Zustand größer als der Abstand zwischen zwei Stößen, sodass sie die Energie abstrahlen können. Daher treten diese Übergänge nur in sehr hohem Vakuum wie im interstellaren Raum auf. Man kennzeichnet die verbotenen Linien mit eckigen Klammern um den Namen des Elements. Typische Vertreter der „verbotenen Linien“ sind zum Beispiel die des Sauerstoffs [O III] $\lambda 4959$, [O III] $\lambda 5007$ und [O I] $\lambda 6300$ sowie die Stickstofflinien [N II] $\lambda 6548$ und [N II] $\lambda 6584$. Zudem zeigen häufig sowohl das Kontinuum, als auch die breiten Emissionslinien der AGNs Variabilität.

Radiointerferometrische Methoden geben eine obere Begrenzung für den Zentralbereich von $0''.001$, was bei den nächsten Objekten 0.1 Lichtjahre bzw. 10^{17} cm entspricht. Ausgehend von $L = 10^{12} L_{\odot}$ und unter Verwendung der Masse-Leuchtkraft-Beziehung (Eddington, 1926) ergibt sich daraus eine untere Massengrenze von $3 \cdot 10^7 M_{\odot}$ für das zentrale Objekt.

Um diese Massenkonzentration in dem relativ kleinen Raumbereich zu erklären, gab es verschiedene Ansätze: Als Erklärungen zog man dichte Sternhaufen, (Terlevich et al., 1992) oder massive Sterne (Spinar, Pacini & Salvati, 1978) oder Akkretion von Materie auf ein *Super Massive Black Hole* (SMBH) in Erwägung (Salpeter, 1964; Lynden-Bell, 1969). Weitere Untersuchungen (z.B. Variabilitäts- und Stabilitätsuntersuchungen) schließen die beiden ersteren Möglichkeiten aus, sodass die Existenz eines SMBH am wahrscheinlichsten ist (Rees, 1984; Kormendy & Richstone, 1995; Richstone et al., 1998).

1.1.1 Klassifikation Aktiver Galaxien

Es gibt nun verschiedene, sich untereinander auch überschneidende Definitionen der verschiedenen AGN-Typen. Diese stelle ich im Folgenden vor:

Die 13. Edition des *catalogue of quasars and active nuclei*¹ (Veron-Cetty & Veron, 2010) unterscheidet zwischen Quasaren und Seyfertgalaxien anhand ihrer absoluten Helligkeiten:

$$\begin{aligned} M_B &< -22^M 25 \rightarrow \text{Quasare} \\ M_B &> -22^M 25 \rightarrow \text{Seyfert Galaxien} \end{aligned}$$

Hierbei ist zu beachten, dass der Grenzwert von $-22^M 25$ vor der 13. Edition bei -23^M lag. Diese Änderung begründen die Autoren dadurch, dass sie jetzt einen Wert von $71 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ statt $50 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ für die Hubblekonstante H_0 (siehe auch Abschnitt 2.3.1) als Grundlage ihrer Berechnungen annehmen (Véron-Cetty & Véron, 2010).

Für eine aktive Galaxie ist der helle, nichtthermisch emittierende Kernbereich charakteristisch. Daher spielt das Verhältnis der nichtthermischen zur integrierten stellaren Emission Q eine wichtige Rolle bei der Klassifikation. Peterson (1988) unterteilt daher aktive Galaxien in folgende drei Gruppen:

¹Verfügbar unter http://www.obs-hp.fr/catalogues/veron2_13/veron2_13.shtml

$$\begin{aligned}
 Q &\gg 1 \rightarrow \text{Quasare} \\
 Q &\approx 1 \rightarrow \text{Seyfert Galaxien} \\
 Q &\ll 1 \rightarrow \text{LINER}
 \end{aligned}$$

Somit sind Seyfertgalaxien Objekte, bei denen die Leuchtkraft der Galaxie ähnlich stark ist wie die nichtstellare Emission. Seyfert (1943) beschrieb die Spektren der nach ihm benannten Galaxien und diskutierte die sehr breiten Balmer-Emissionslinien. Abhängig von der Breite der Emissionslinien lassen sich die Seyfertgalaxien den Typen 1 und 2 zuordnen (Khachikian & Weedman, 1971). Wenn die verbotenen und die erlaubten Linien nahezu gleiche Halbwertsbreiten (FWHM) von ca. $500 - 1000 \text{ km s}^{-1}$ zeigen, ordnet man sie dem Typ 2 zu. Beim Typ 1 hingegen sind die erlaubten Linien viel breiter als die verbotenen Linien. Ihre FWHM kann Werte von bis zu $10\,000 \text{ km s}^{-1}$ erreichen und somit eine um den Faktor zwanzig größere Halbwertsbreite haben. Zudem gibt es Seyfertgalaxien, bei denen die breiten Emissionslinien zusätzlich auch eine schmale Komponente zeigen. Deshalb führte Osterbrock (1977) die Zwischentypen 1.2, 1.5 und 1.8 ein, die sich über das Verhältnis der schmalen gegenüber der breiten Komponente definieren. Osterbrock (1981) beschreibt den Typ 1.8 näher und führt den Typ 1.9 ein. Bei diesem Seyferttyp besitzt nur die $\text{H}\alpha$ -Linie eine breite Komponente, die $\text{H}\beta$ -Linie nicht (siehe Abbildung 1.1).

In dieser Arbeit werde ich zwischen Seyfert 1- und Seyfert 2-Galaxien unterscheiden, indem bei ersteren die Halbwertsbreite (FWHM) der $\text{H}\beta$ - und $\text{H}\alpha$ -Linie größer als 1000 km s^{-1} , und die FWHM von $\text{H}\beta$ größer als die FWHM der $[\text{O III}] \lambda 5007$ -Linie (beide in km s^{-1}) sein muss. Trifft das nicht zu, klassifiziere ich sie als Seyfert 2-Galaxie. Weitere Untersuchungen der Linienprofile und deren Modellierung findet

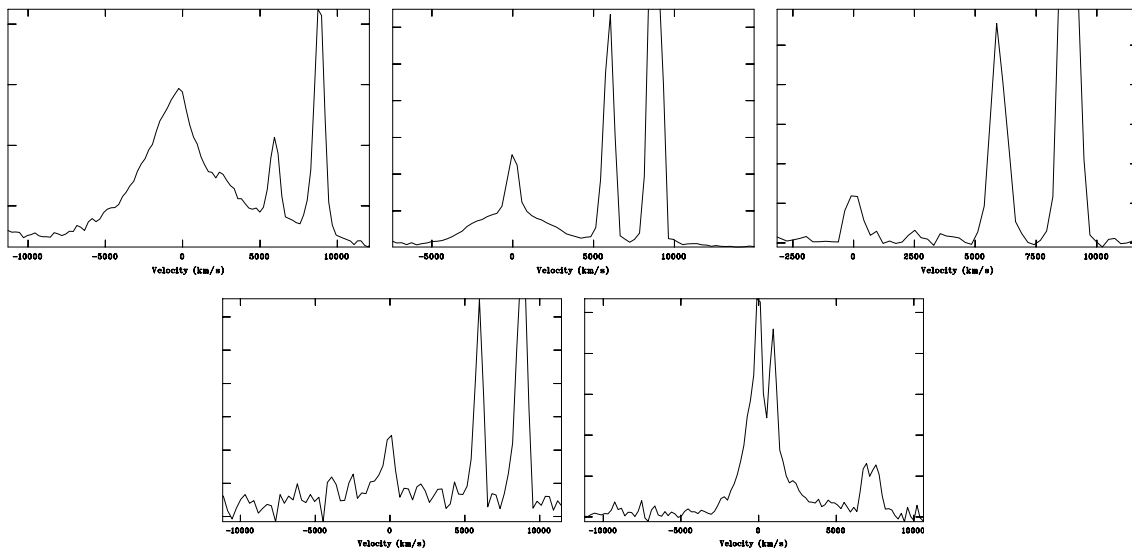


Abbildung 1.1: Oben: Spektren der $\text{H}\beta$ Linie für die verschiedenen Seyfert-Typen. Sy 1, Sy 1.5 und Sy 2 (von links nach rechts). Unten: $\text{H}\beta$ - (links) und $\text{H}\alpha$ - (rechts) Spektrum einer Seyfert 1.9 Galaxie.

man z.B. in Kollatschny & Zetzl (2011).

Quasare sind die optischen Gegenstücke zu Radioquellen. Matthews & Sandage (1963) beschrieben das optische Gegenstück zur Radioquelle 3C48 als punktförmiges „starlike object“ und Greenstein (1963) ermittelten eine Rotverschiebung von $z > 0.3$. Der Name *Quasar* leitet sich von diesen Eigenschaften ab, er ist eine *quasi-stellar radio source*.

Später wurden auch punktförmige, quasi-stellare Objekte hoher Rotverschiebung gefunden, die keine oder nur kaum Radioemission zeigen. Diese radioleisen und die radiolauten Objekte fasst man unter der Bezeichnung *QSO (quasi-stellar object)* zusammen, wobei in der Literatur zwischen Quasar und QSO manchmal nicht unterschieden wird.

Es gibt QSOs, die innerhalb von Tagen starke Variationen ihrer optischen Leuchtkraft zeigen und deren Licht eine relativ hohe Polarisation besitzt (siehe z.B. Schneider, 2005). Man bezeichnet sie als *optically violent variables (OVVs)*.

Die BL-Lac-Objekte haben auch eine stark variierende Strahlung; im Gegensatz zu den OVVs besitzen sie aber keine starken Emissionslinien. Radiogalaxien mit aktiven Kernen unterscheidet man, ähnlich wie die Seyfertgalaxien, in zwei Typen: der *Broad Line Radio Galaxy (BLRG)* und der *Narrow Line Radio Galaxy (NLRG)*. Die BLRG besitzen breite Emissionslinien und die NLRG schmale Emissionslinien.

LINERs (*low ionization nuclear emission-line regions*) sind Galaxien, die nur ein schwaches nichtthermisches Kontinuum und relativ starke, niedrig ionisierte Emissionslinien zeigen und als eine schwache Form der Seyfertgalaxien angesehen werden. Eingeführt wurde diese Klasse von Heckman (1980).

Zusätzlich zu den aktiven Galaxien, deren Emission nichtthermischen Ursprungs ist, werden in dieser Arbeit auch Galaxien mit thermischer Anregung betrachtet. Diese werden als HII-Regionen bezeichnet, deren Emissionslinien durch Anregung in Sternentstehungsgebieten entstehen.

1.1.2 Unified Model

Um all die verschiedenen Eigenschaften Aktiver Galaxien durch ein einheitliches Modell zu erklären, wurde das *Unified Model* entwickelt, das die Morphologie der Aktiven Galaktischen Kerne (*Active Galactic Nucleus, AGNs*) beschreibt (Abbildung 1.2).

Im Zentrum dieses Modells befindet sich ein supermassives schwarzes Loch (*SMBH*), umgeben von einer Akkretionscheibe, die die Quelle der nichtthermischen Strahlung ist. Sphärisch angeordnete Wolken mit einer hohen Geschwindigkeitsdispersion umgeben die Scheibe. Sie sind der Ursprung der breiten Emissionslinien und bilden somit die *Broad Line Region (BLR)*. Am äußeren Rand der Akkretionscheibe schließt sich der Staubtorus an, der für die Existenz der verschiedenen, beobachteten Seyferttypen verantwortlich ist. Radio-Jets treten senkrecht zur Akkretionscheibe aus der Kernregion aus. Weiter außerhalb befinden sich die Wolken der *Narrow Line Region (NLR)*, aus der die schmalen erlaubten und verbotenen Emissionslinien stammen. Am Beispiel der Seyfert 1 Galaxie Mrk 110 (Kollatschny, 2003) werde ich im folgenden die Dimensionen dieser Regionen erläutern:

Hier besitzt das SMBH eine Masse von $5 \cdot 10^7 M_{\odot}$ und einen Radius von $\sim 1.5 \cdot 10^{13}$ cm

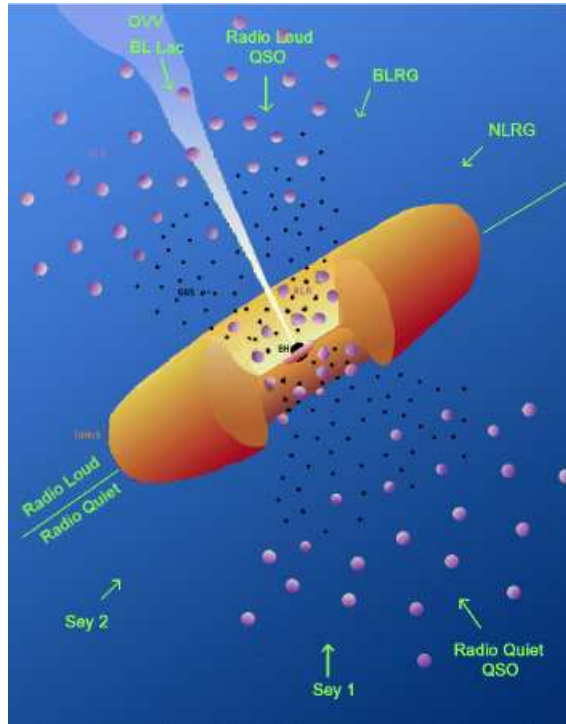


Abbildung 1.2: Unified Model: Schematisches Diagramm der Kernregion von Urry & Padovani (1995) mit Blickrichtungen für die verschiedenen AGN-Typen.

(Abbildung 1.4). Die Akkretionsscheibe befindet sich in einer Entfernung von $\sim 0.2 - 100 \cdot 10^{15} \text{cm}$ und die BLR von $\sim 0.1 - 10 \cdot 10^{16} \text{cm}$. Der innere Rand des Staubtorus beginnt bei $\sim 10^{18} \text{cm}$. Die NLR erstreckt sich von $\sim 10^{20}$ bis 10^{21}cm und die Radio-Jets können Entfernungen von $\sim 10^{17} - 10^{24} \text{cm}$ erreichen.

Die oben vorgestellten verschiedenen Typen von Linien und Linienbreiten aktiver Galaxien lassen sich nun anhand dieses Modells als eine Funktion des relativen Blickwinkels (i) auf die Achse des Objektes erklären, während die Radioleuchtkraft im wesentlichen eine intrinsische Eigenschaft aktiver Galaxien darstellt.

Schaut man direkt in den Jet ($i \approx 0^\circ$), wird das Objekt als OVV oder BL Lac-Objekt klassifiziert. Bei einem Blickwinkel von ca. $i \gtrsim 10^\circ$ liegt der Jet außerhalb des Sehstrahls, und die Objekte erscheinen als radiolaute beziehungsweise radioleise QSOs. Wächst der Winkel auf ca. $i \gtrsim 45^\circ$ an, spricht man von Seyfert 1 Galaxien oder BLRG, abhängig von ihrer Radioemission. Beobachtet man die Galaxien unter einem noch höheren Winkel $i \lesssim 70^\circ$, wird der zentrale Bereich durch Staubwolken abgedeckt, sodass die breiten Emissionslinien nicht mehr zu beobachten sind. Dies entspricht Seyfert 2 und NLRG.

Im *Unified Model* ist die BLR sphärisch symmetrisch um das SMBH angeordnet und es wird keine Aussage über ihren Aufbau und ihre innere Struktur gemacht.

Das *Akkretionsscheibenwindmodell* von Blandford & Payne (1982) und Königl & Kartje (1994) hingegen geht näher darauf ein. Es beschreibt, dass durch Zentrifugalkräfte erzeugte Winde auf der Oberfläche der Akkretionsscheibe für die spektrale Strahlungscharakteristik zuständig sind. Abbildung 1.3 zeigt den Zusammenhang

zwischen den verschiedenen radialen Bereichen der Akkretionscheibe und dem Ursprung unterschiedlicher Emission. Höher ionisierte Linien entstehen bei kleineren, und niedriger ionisierte Linien bei größeren Radien der Akkretionscheibe. Die *Broad Line Region* befindet sich beidseitig der Akkretionscheibe und kann als eine Art Atmosphäre angesehen werden.

Kollatschny (2003) wandte dieses Modell an die Seyfertgalaxie Mrk 110 an und konnte den Ursprung der breiten Emissionslinien dem Scheibenwind zuordnen.

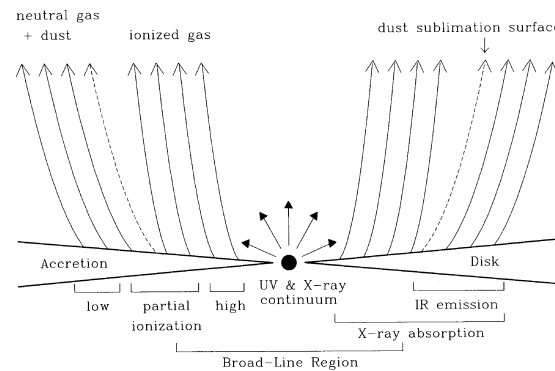


FIG. 13.—Schematic representation of how a disk-driven hydromagnetic wind, which is characterized by a highly stratified density distribution, interacts with the active galactic nucleus (AGN) continuum emission. The innermost regions are heated and ionized by the powerful radiation field, with the temperature and degree of ionization varying both with distance and with the polar angle, whereas the outer regions (beyond the dust sublimation radius) are cooler and contain dust. The radiation pressure force on the dust causes the outer streamlines to have a larger opening angle.

Abbildung 1.3: Akkretionscheibenwindmodell von Königl & Kartje (1994)

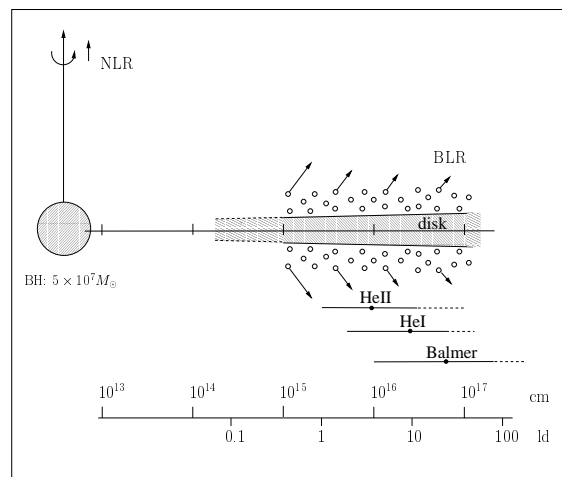


Abbildung 1.4: BLR von Mkn 110 (Kollatschny, 2003)

1.2 Der Sloan Digital Sky Survey

Der Sloan Digital Sky Survey (*SDSS*) ist eine Himmelsdurchmusterung, die aus photometrischen Beobachtungen in den fünf optischen Bändern *i*, *g*, *r*, *i*, *z* und aus einer

Spektroskopie in dem Wellenlängenbereich von 3800 bis 9200 Å besteht (York et al., 2000). Die *Alfred P. Sloan Foundation*, gegründet 1934 von Alfred Pritchard Sloan junior, finanziert Teile dieses Projekts.

Ein 2.5 Meter Teleskop am Apache Point Observatory (APO, Gunn et al. 2006) im südlichen New Mexico steht exklusiv für die Beobachtungen zur Verfügung. Es ist als Ritchey-Chrétien-Cassegrain-Teleskop mit einem Sekundärspiegel von 1.08 m und einer Brennebene von 3° Durchmesser ausgelegt. Seit dem April 2000 ist es in Betrieb. Die fünf für die photometrischen Beobachtungen benutzten, nicht überlappenden



Abbildung 1.5: Das 2.5 m SDSS Teleskop am APO in 2800 m Höhe. Auf der linken Seite ist die fahrbare Teleskopabdeckung zu sehen, die bei Bedarf über das Teleskop geschoben wird, um es vor Witterungseinflüssen zu schützen (Gunn et al., 2006).

Breitbandfilter decken einen Wellenlängenbereich von 3000 bis 11000 Å ab, mit Zentrumswellenlängen von 3500 Å für das i-Band, 4800 Å für das g-Band, 6200 Å für das r-Band, 7700 Å für das i-Band und 9100 Å für das z-Band. Die Bandbreiten der jeweiligen Filter betragen 600 Å, 1400 Å, 1400 Å, 1500 Å und 1200 Å entsprechend (Fukugita et al., 1996). Das Aufnahmeinstrument für diese Himmeldurchmusterung ist eine *wide-field* Kamera (Gunn et al., 1998), bestehend aus 30 2048×2048 Pixel SITe/Tektronix CCDs. Zusätzlich sind noch 24 400×2048 CCDs mit einer Pixelgröße von 0".396 auf der Kamera angebracht, von denen 22 Stück der Aufnahme von Eichsternen und der Astrometrie dienen und zwei der automatischen Fokussierung. Die 30 CCDs sind in einer 5 × 6 Matrix angeordnet (siehe Abbildung 1.6), wobei die 6 CCDs in den 5 Zeilen mit den 5 Farbfiltern in der Reihenfolge r, i, u, z und g ausgestattet sind. Während der Belichtung wird das Teleskop nicht nachgeführt, sondern der Nachthimmel bewegt sich aufgrund der Erdrotation über den Detektor hinweg (54.1 Sekunden pro CCD bzw. knapp 6 Minuten für alle 5 Farbbänder). Dabei werden die CCDs kontinuierlich ausgelesen. Diese Art der Beobachtung bezeichnet man als *drift-scan mode*. Für die photometrische Kalibration benutzt man einerseits Standardsterne, aufgenommen mit einem zusätzlichen

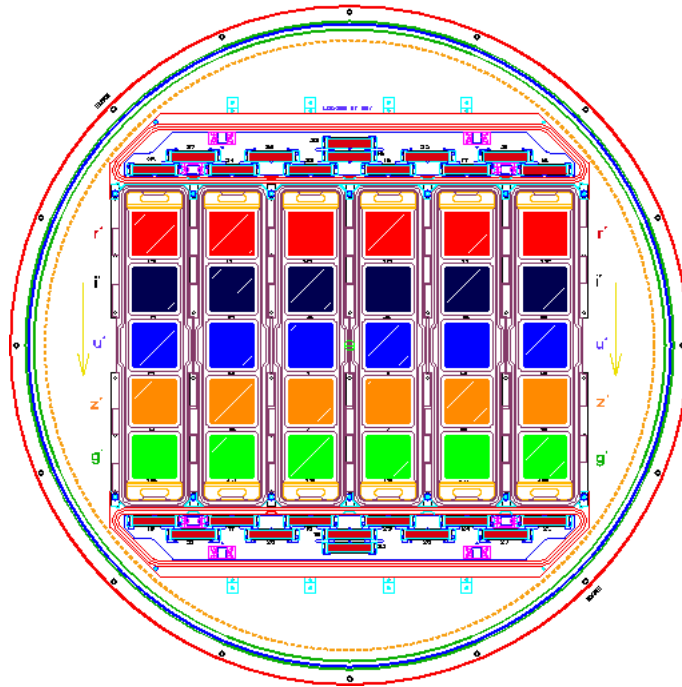


Abbildung 1.6: Die SDSS Kamera. In der Mitte sieht man die 30 2048×2048 CCDs und oben sowie unten die 24 400×2048 CCDs (<http://www.sdss.org/dr7/instruments/imager/camassy2.gif>, 10. Juni 2011).

0.5 Meter photometrischen Teleskop (PT) am APO (Tucker et al., 2006) und andererseits Überlappungen benachbarter Aufnahmebereiche des 2.5 Meter Teleskopes, um alle Beobachtungen untereinander zu kalibrieren. Letzteres bezeichnet man als „ubercalibration“ (Padmanabhan et al., 2008).

Ausgehend von den photometrischen Beobachtungen wählte man die zu spektroskopierenden Objekte aus. Von den verschiedenen Auswahlbedingungen ist für diese Arbeit folgende von Bedeutung, da sie definiert, was der SDSS als QSO klassifiziert (siehe auch Richards et al., 2002): Eine flusslimitierte Auswahl an QSO-Kandidaten, ausgewählt anhand ihrer Farben und anhand ihres Vorkommens in der 20 cm FIRST-Survey (Becker et al., 1995), einer 20 cm Radio-Durchmusterung. Gleichung (2.1) gibt die Flussgrenzen an. All diejenigen Objekte werden gleichzeitig spektroskopiert, die sich in einem Raumwinkelbereich von ca. 3° Durchmesser befinden. Das Zentrum dieses Bereichs ist so gewählt, dass die Anzahl der Objekte maximal wird (Blanton et al., 2003). Dazu wird eine Aluminiumplatte verwendet, an der für jede Beobachtung 640 Bohrungen angebracht werden, entsprechend der Position der zu beobachteten Objekte. Von diesen Bohrungen laufen 640 Glasfasern zu zwei Dual-Kanal-Spektrographen (Uomoto et al., 1999), die den Bereich von 3800 \AA bis 9200 \AA mit einer Auflösung von $\lambda/\Delta\lambda \simeq 2000$ aufnehmen. Die Dual-Kanal-Spektrographen bestehen aus einem blauen und einem roten Kanal, die für die Wellenlängenbereiche von 3800 \AA bis 6150 \AA beziehungsweise 5800 \AA bis 9200 \AA zuständig sind. Insgesamt vier 2048×2048 Pixel CCDs werden durch die Spektrographen belichtet. Die Belichtungszeit ist jeweils 15 Minuten lang. Um jedoch vorgegebene Signal-zu-

Rausch-Verhältnisse zu erreichen, werden diese Belichtungen mehrfach wiederholt. Die Klassifikation der Spektren und die Bestimmung der Rotverschiebung erfolgt durch Pipelines beschrieben in Stoughton et al. (2002) und Subbarao et al. (2002). Die vom SDSS ermittelten Daten sind in der Datenbank des *Catalog Archive Server (CAS)* erreichbar unter <http://cas.sdss.org> und die Teleskopaufnahmen sind im *Data Archive Server (DAS)* unter <http://das.sdss.org>.

Die Daten des SDSS werden in jährlichen, sogenannten Data Releases (*DR*) veröffentlicht, wobei in jeder neuen Veröffentlichung auch immer die Daten der vorherigen enthalten sind. In der für diese Arbeit verwendeten siebenten Data Release des SDSS (*SDSS DR7*) sind somit die Daten der *early data release (EDR)* und der DR1 bis DR6 enthalten, die in den Jahren von 2002 bis 2008 herausgegeben wurden (Stoughton et al., 2002; Abazajian et al., 2003, 2004, 2005; Adelman-McCarthy et al., 2006, 2007, 2008).

Diese 2008 veröffentlichte siebente Data Release des SDSS (*SDSS DR7*, Abazajian et al. 2009) erfasst 22.7 % (9380 Grad²) der Himmelsfläche bei den spektroskopischen und 23.3 % (11 663 Grad²) bei den photometrischen Daten. Abbildung 2.12a zeigt den in der DR7 veröffentlichten, spektroskopisch beobachteten Himmelsbereich. Mit SQL-Abfragen an die über das Internet erreichbaren Datenbanken habe ich die für diese Arbeit verwendeten Daten heruntergeladen. Da einige Himmelsbereiche mehrfach observiert wurden, wurden die Objekte mit der besten Beobachtungsqualität vom SDSS in speziellen Tabellen zusammengefasst. Diese mit dem Präfix *BESTDR7* versehenen Tabellen habe ich in dieser Arbeit verwendet. In den über 1.6 Millionen Spektren sind 930 000 Galaxien, 120 000 Quasare und 460 000 Sterne enthalten. Mithilfe der SDSS DR7 können unsere Untersuchungen auf ein breites, statistisches Fundament gestellt werden.

1.3 Korrelationsanalyse

Im Verlauf der weiteren Arbeit werden wiederholt Korrelationsanalysen durchgeführt. Den Begriff und die Grundlagen dieser werde ich im folgenden kurz erläutern.

Um Zusammenhänge zwischen zwei Größen quantitativ zu untersuchen, führt man an ihnen eine Korrelationsanalyse durch:

Betrachtet man einen Satz von beobachteten Messwertpaaren (x_i, y_i) , die normalverteilt sind, dann ist der Korrelationskoeffizient r_p durch

$$r_p = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)(y_i - \langle y \rangle)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \langle y \rangle)^2}} \quad (1.1)$$

definiert. Die Größe r_p wird auch als linearer- oder Pearson-Korrelationskoeffizient bezeichnet (daher der Index p).

Liegt keine Normalverteilung vor oder ist die Form der Verteilung nicht hinreichend gut bekannt, ist es zweckmäßiger, einen Korrelationskoeffizienten zu verwenden, der

nur die gegenseitigen Größenbeziehungen der beobachteten Werte berücksichtigt und daher unabhängig von bestimmten Verteilungsannahmen ist.

Der Spearman-Korrelationskoeffizient r_s (auch Spearmans ρ genannt) erfüllt diese Bedingungen, da er nur die Ränge (Rg) der Wertepaare (x_i, y_i) beachtet.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (\text{Rg}(x_i) - \text{Rg}(y_i))^2}{n^3 - n} \quad (1.2)$$

Deshalb wird er auch als „Spearman's Rangkorrelationskoeffizient“ bezeichnet.

Eine weiterer Korrelationskoeffizient, der keine explizite Verteilung voraussetzt, ist der nach Kendall (r_k , auch Kendalls τ genannt).

$$r_k = \frac{1}{n^3} \sum_{i,j=1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \text{sign}(y_i - y_j) \quad (1.3)$$

Bei seiner Berechnung wird nicht mit den absoluten Rängen der verschiedenen Werte gearbeitet, sondern man beschränkt sich auf die relative Ordnung der Ränge, auf die Differenz zwischen den Rängen.

Es ist nun zu testen, ob die zwei Stichproben x_i und y_i , $i = 1, \dots, n$ von einer korrelierten oder unkorrelierten Grundgesamtheit stammen. Dazu wird die sogenannte Nullhypothese (H_0) aufgestellt, die behauptet, dass die zwei Stichproben unkorreliert sind. Die Alternativhypothese (H_1) behauptet das Gegenteil (die zwei Stichproben sind korreliert). Durch den Test auf Nullkorrelation wird nun die Wahrscheinlichkeit P der Nullhypothese bezüglich eines Korrelationskoeffizienten bestimmt und diese bestätigt, wenn der Wert von P ein bestimmtes Signifikanzniveau übertrifft, oder verworfen, wenn es unterschritten wird. Typische Werte für das Signifikanzniveau α sind $P \leq 0.05$ (signifikant), $P \leq 0.01$ (hoch signifikant) und $P \leq 0.001$ (sicher).

Zur Berechnung der Korrelationskoeffizienten und der Wahrscheinlichkeiten habe ich das von mir geschriebene Programm `corana.m` verwendet (siehe Anhang A.4). Weiterführende Literatur zum Thema *Korrelationsanalyse* ist bei Bevington (1969), Barlow (1989) und Krengel (1991) zu finden.

1.4 Motivation

Um Galaxienaktivität zu erzeugen bzw. aufrechtzuerhalten muss Gas/Materie in den Zentralbereich der aktiven Galaxien gelangen. Wegen der Erhaltung des Drehimpulses müssen äußere Kräfte eine entscheidende Rolle spielen.

Mit Spektren, aufgenommen mit dem 1 Meter Anna-L.-Nickel-Teleskop und dem 3 Meter C.-Donald-Shane-Teleskop am Lick Observatorium in Kalifornien untersuchte Stauffer (1982) die Umgebung von Galaxien. Er fand, dass sich aktive Galaxien bevorzugt in Gruppen aufhalten und isolierte Galaxien selten Aktivität im Kernbereich zeigen. Er sah damit das Modell bekräftigt, dass durch Gezeitenkräfte Gas

dem Zentrum der Galaxie zugeführt wird und dadurch die beobachtete optische Aktivität ermöglicht wird.

Dahari (1984) suchte nach nahen Nachbargalaxien in einem Sample von Seyfertgalaxien und fand, dass seine Seyfertgalaxien mehr Begleiter besitzen als ein Vergleichssample von Feldgalaxien. Er sah darin eine Korrelation zwischen dem vom Nachbarn hervorgerufenen asymmetrischen Gravitationspotential und der Seyfertaktivität (siehe auch Dahari, 1985).

An einem Sample von 99 Seyfert-1- und 98 Seyfert-2-Galaxien, das auch mit einem Sample von Feldgalaxien verglichen wurde, kamen auch Rafanelli et al. (1995) auf den Zusammenhang von Nachbarzahl und Aktivität. Bezugnehmend auf die Studie von Dahari (1984) fanden jedoch Fuentes-Williams & Stocke (1988) nur einen marginalen Zusammenhang zwischen Aktivität und dem Vorhandensein von Nachbarn. Auch De Robertis et al. (1998) entdeckten keine erhöhte Zahl von Nachbargalaxien, als sie ein Sample von 33 CfA Seyfertgalaxien (Huchra et al., 1983) untersuchten. Sie führten die Seyfertaktivität auf Verschmelzungsprozesse mit kleinen Satellitengalaxien (sogenannte „minor merger“) zurück.

Andere Autoren (Laurikainen & Salo, 1995; Dultzin-Hacyan et al., 1999; Koulouridis et al., 2006) fanden die größere Anzahl von Nachbarn nur bei Seyfert-2- aber nicht bei Seyfert-1-Galaxien. Dabei wählten Laurikainen & Salo (1995) einen Suchradius von 750 kpc und ermittelten eine Überhäufigkeit in einem Bereich von bis zu 200 kpc entfernt vom Zentralobjekt. Der Suchradius bei Dultzin-Hacyan et al. (1999) betrug hingegen nur 100 kpc, aber sie fanden die erhöhte Zahl von Begleitern schon ab 10 kpc. Koulouridis et al. (2006) hingegen verwendeten zwei verschiedene Suchradien (einen bis $100h^{-1}$ kpc und einen bis $1h^{-1}$ Mpc, mit $h = 100H_0^{-1}$ Mpc). Krongold et al. (2001) unterschieden zusätzlich noch zwischen *Narrow Line Seyfert 1*-Galaxien (NLSy1, Osterbrock & Pogge, 1985) und bemerkten, dass sich die NLSy1s weiter entfernt von Begleitern aufhalten als Seyfert 1-Galaxien oder nicht-aktive Galaxien.

Bei der Untersuchung der Umgebung von Galaxien (AGNs und sternbildenden Galaxien) aus der 4. Data Release (DR4) des SDSS fanden Sorrentino et al. (2006) keinen Unterschied der Anzahl der Nachbarn zwischen Seyfert 1-Galaxien und Seyfert 2-Galaxien. Nur bei Abständen kleiner 100 kpc gibt es häufiger Paare von Seyfert 2- als von Seyfert 1-Galaxien. Auch zwischen aktiven und nicht-aktiven Galaxien fanden sie keinen Unterschied in der Umgebung.

Kewley et al. (2006) untersuchten die Eigenschaften von 85 224 Emissionsliniengalaxien und fanden, dass sich auch in LINERs ein AGN befindet und dass sie sich von den Seyfertgalaxien durch die Akkretionsrate unterscheiden. Zudem sehen sie eine Verbindung zwischen Sternentstehung und AGN-Aktivität und schlagen folgenden Mechanismus vor: Durch Wechselwirkungen wird Gas in die Galaxie transportiert und Sternentstehung ausgelöst. Gelangt das Gas ins Zentrum der Galaxien, wird es akkretiert und der Kern zu einem AGN. Bei nachlassender Akkretion durch Mangel an Gas wird die Galaxie zu einem LINER.

Ein großes Sample an AGNs und Galaxien aus der DR4 des SDSS untersuchten Li et al. (2006). Auf Skalen zwischen 100 und 1000 kpc sind AGNs weniger stark gehäuft als bei nicht AGNs, wogegen auf geringeren Skalen (bis 70 kpc) eine stärkere Häufung als bei inaktiven Galaxien auftritt. Sie erklärten dies damit, dass sich AGNs

vornehmlich in Halos dunkler Materie aufhalten.

Indem sie Daten der fünften und sechsten Data Release des SDSS verwendeten, untersuchten Lietzen et al. (2009) die Umgebung von Quasaren in einem Entfernungsbereich von 2 bis 20 h^{-1} Mpc (mit $h = 100H_0^{-1}$ Mpc). Sie fanden in diesem Bereich eine geringere Dichte an Galaxien als bei nicht-aktiven Galaxien in der selben Entfernung. Am stärksten trat dieser Effekt bei den hellsten Galaxien hervor. Kollatschny & Fricke (1989) untersuchten Aufnahmen des Palomar Observatory Sky Survey (POSS, Minkowski & Abell, 1963), einer photometrischen Himmeldurchmusterung des Nordhimmels, aufgenommen am Schmidt-Teleskop des Mount Palomar Observatorium und Aufnahmen des ESO-SRC Sky Survey (ESO = European Southern Observatory, SRC = United Kingdom Science Research Council), einer Durchmusterung des Südhimmels unter anderem aufgenommen mit dem 1 Meter Schmidt-Teleskop des La-Silla-Observatorium der ESO in Chile, 15 Gruppen die eine Seyfertgalaxien enthalten und 9 Gruppen ohne Seyfertgalaxien. Sie nahmen Spektren dieser Gruppenmitglieder auf, mit einer Gruppengröße von ca. 1 Mpc und insgesamt 113 Galaxien. Sie fanden in den 15 Seyfertgruppen bis zu einer Entfernung von 300 kpc Galaxien mit einer starken Sternentstehungs- und Emissionslinienaktivität. In den 9 anderen Gruppen wurde nur schwache oder keine Aktivität gefunden. In Bezug auf Morphologie, Kinematik und Galaxiendichte besitzen die Gruppen ähnliche Eigenschaften.

Mit Hilfe des *Japanese Virtual Observatory* bestimmten Shirasaki et al. (2011) das Clustering von 1809 AGNs im Rotverschiebungsbereich von $z = 0.3 - 3.0$ und Helligkeiten von $M_V = -30$ bis -20 . Sie fanden, dass blaue, sternbildende Galaxien stark um AGNs geclustert sind.

Bis heute ist nicht endgültig geklärt, wodurch Aktivität in einer Galaxie ausgelöst wird. Damit diese Aktivität über einen längeren Zeitraum (10^7 Jahre, Beckert & Duschl, 2002) aufrechterhalten werden kann, ist ein kontinuierlicher Transport von Materie in die Kernregion erforderlich.

Basierend auf der großen Datenmenge des SDSS soll im Rahmen dieser Arbeit die Umgebung von QSOs untersucht werden, um Aufschluss über die Verteilung und den Typen dieser Nachbarobjekte zu gewinnen. Dazu soll nicht nur die räumliche Verteilung von Galaxien innerhalb dieser Umgebungen untersucht werden, sondern auch ihre spektroskopischen Eigenschaften. Zudem sollen anhand der Datenmenge Korrelationsuntersuchungen an spektralen Eigenschaften wie integrierten Linienflüssen und Linienverhältnissen durchgeführt werden.

Kapitel 2

Der Datensatz

2.1 Die QSO-Liste

In der Datenbank des SDSS befinden sich Tabellen aller photometrisch (*PhotoObj*) und aller spektroskopisch untersuchten Objekte (*SpecObj*).

Diese Tabellen enthalten die Informationen über die als QSO klassifizierten Objekte und ich habe folgende SQL-Abfrage an die SDSS-Datenbank gestellt (in Klammern der entsprechende Code für die SQL-Abfrage):

Eine Liste der jeweils besten Werte aller Objekte der DR7, die sowohl photometrisch (BESTDR7..PhotoObj) als auch spektroskopisch (BESTDR7..SpecObj) untersucht wurden (p.objid=s.bestobjid), die photometrisch als QSO (type 3) oder Stern (type 6) und spektroskopisch als Galaxie (specclass 3) oder „hoch rotverschobener Quasar“ (specclass 4) klassifiziert wurden und eine Rotverschiebung z größer 0.03 haben. Diese Einschränkung an die Rotverschiebung habe ich gemacht, um nahe, ausgedehnte Objekte auszuschließen und um die Anzahl der zu untersuchenden Objekte in einem handhabbaren Rahmen zu halten. Als Ergebnis erhalte ich die Objekt-ID, die Rektaszension, die Deklination und die Rotverschiebung des Objekts bezüglich des am Spektrum ausgemessenen Wertes. Die Aufnahmeplatte, das Aufnahmedatum (als modifiziertes Julianisches Datum) und die ID des Fibers mit dem das Spektrum aufgenommen wurde sowie die scheinbaren Helligkeiten in u-, g-, r-, i- und z-Magnituden mit ihren Fehlern. Im folgenden die konkrete SQL-Abfrage:

```
SELECT s.specObjID, s.ra, s.dec, s.z, s.plate, s.mjd, s.fiberid,
        p.type, p.u, p.g, p.r, p.i, p.z,
        p.Err_u, p.Err_g, p.Err_r, p.Err_i, p.Err_z
FROM BESTDR7..SpecObj as s, BESTDR7..PhotoObj as p
WHERE p.objid=s.bestobjid AND s.z > 0.03
AND (s.specclass = 3 OR s.specclass = 4)
AND (p.type = 3 OR p.type = 6)
ORDER BY s.z, s.specObjID
```

Gestellt habe ich diese SQL-Abfrage an die SDSS DR7 mit dem Java-Programm

„sdssQA“ in der Version 2.2.28.¹ Nach einer Dauer von einigen Minuten, die der SDSS Datenbankserver benötigte, um meine Anfrage zu beantworten, wurde als Ergebnis eine Liste von 102357 Quasaren bis zu einer Rotverschiebung von $z = 6.003$ ausgegeben, die obige Kriterien erfüllen. Abbildung 2.1 zeigt die Häufigkeitsverteilung der SDSS DR7 QSOs über der Rotverschiebung z . Bei $z \approx 0.3$ und $z \approx 1.6$ sind lokale Maxima der Häufigkeitsverteilung und der Median der Verteilung ist $z = 1.33$. Um die Vollständigkeit des Datensatzes zu gewährleisten, wurden nur mit denjenigen QSOs weiter gearbeitet, deren scheinbare i-Band Magnitude bei einer Rotverschiebung kleiner 3 heller als 19.1 und bei einer Rotverschiebung größer gleich 3 heller als 20.2 ist (Richards et al., 2002):

$$z \leq 3 \rightarrow m_i < 19^m1; \quad z > 3 \rightarrow m_i < 20^m2 \quad (2.1)$$

Dadurch verringert sich die Anzahl der QSOs auf 76 552.

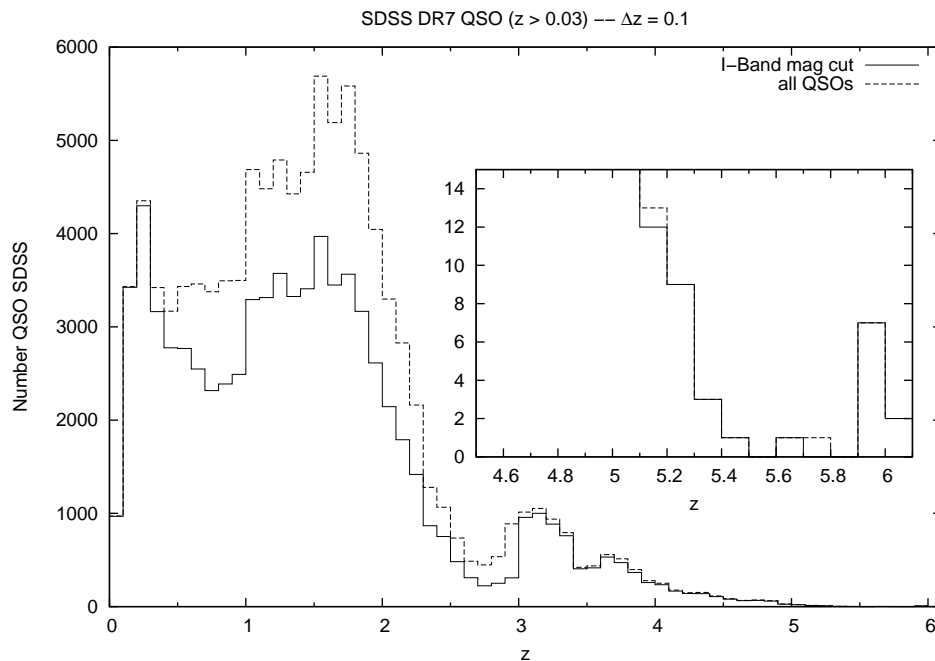


Abbildung 2.1: Häufigkeitsverteilung QSOs über der Rotverschiebung z . Die durchgezogene Linie zeigt die Verteilung unter den Bedingungen von Gleichung (2.1). Zum Vergleich die Verteilung ohne diese Einschränkung (gestrichelte Linie). Die Lücken bei den Rotverschiebungen von $z=2.7$ und $z=3.5$ entstehen durch Selektionseffekte, da bei diesen Rotverschiebungen die SDSS-Farben der QSOs ähnlich denen von Sternen sind (siehe Richards et al., 2002)

Die Verteilung der Objekte bezüglich des äquatorialen Koordinatensystems zeigt die Abbildung 2.2. Abbildung 2.3 stellt die Verteilung der Quasare in Aitoff-Projektion dar. Vergleicht man diese Darstellung mit der spektroskopischen Abdeckung der DR7 (Abbildung 2.12a), so stellt man fest, dass die Verteilung der Quasare über den spektroskopierten Teil des Himmels gleichmäßig ist.

¹Erhältlich unter <http://cas.sdss.org/dr7/de/help/download/sdssQA/>

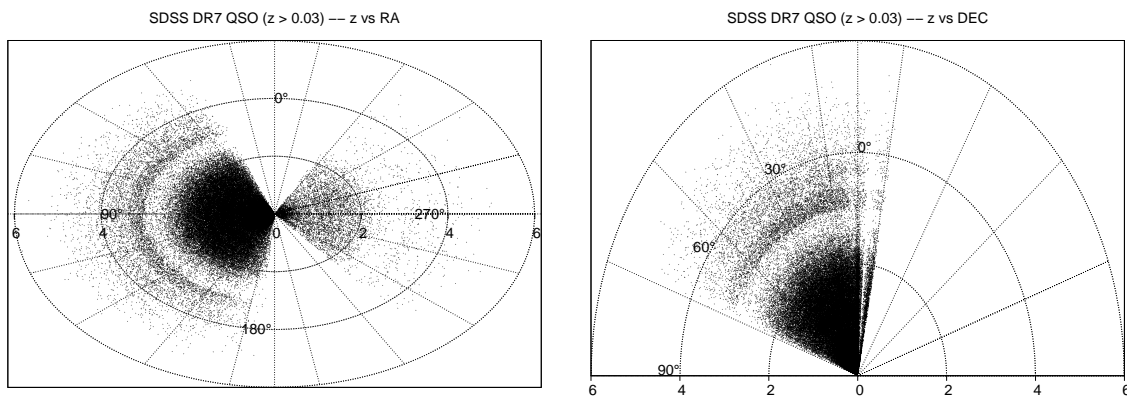


Abbildung 2.2: Räumliche Verteilung der 76 552 Objekte des QSO-Samples: Rotverschiebung gegen Rektaszension (links) und Rotverschiebung gegen Deklination (rechts)

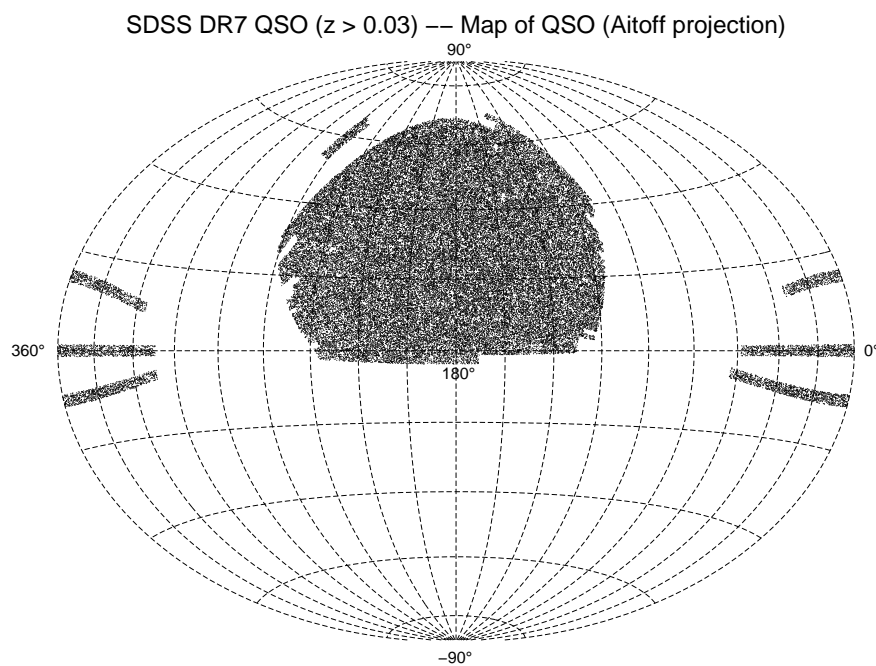


Abbildung 2.3: Die 76 552 Mitglieder des QSO-Samples dargestellt in Aitoff-Projektion.

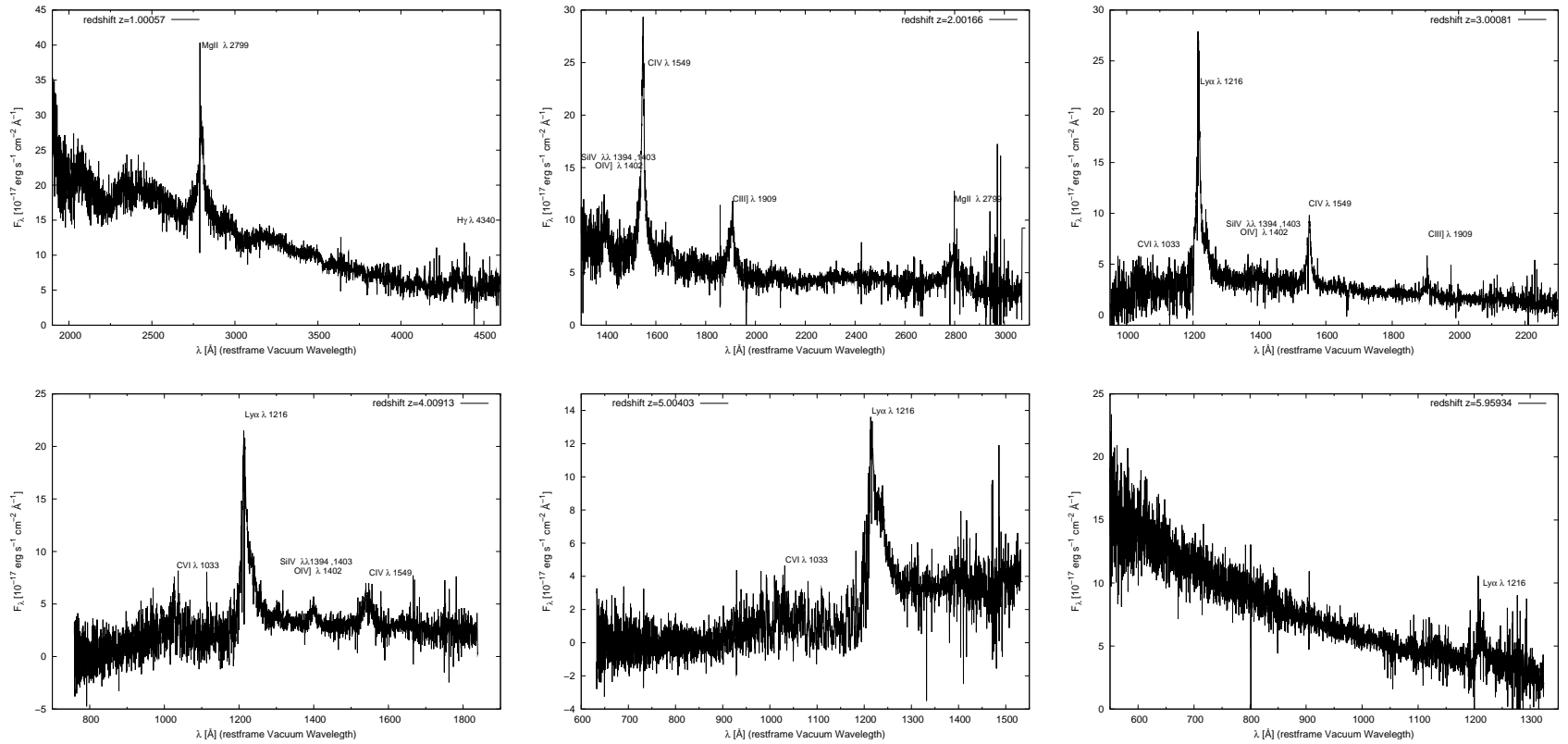


Abbildung 2.4: Beispielspektren vom SDSS bei den Rotverschiebungen von $z \approx 1, 2, 3, 4, 5$ und 6 (v.l.o.n.r.u.). Die Wellenlängen sind im Ruhesystem der jeweiligen Galaxie angegeben und entsprechen einen Bereich von 3800 bis 9200 \AA bei $z=0$. Typische Emissionslinien dieser Bereiche sind angegeben.

Nun habe ich für jedes Element der QSO-Liste die Größe und Geometrie der Nachbarschaft definiert.

2.2 Definition der Umgebung der Zentralgalaxie

Die Größe, bzw. Ausdehnung der Nachbarschaft wird von uns nun so definiert, dass eine gravitative Wechselwirkung zwischen Zentralgalaxie und Nachbargalaxie passiert sein kann:

Für den Aktivitätszeitraum einer Galaxie kann man nun eine untere und eine obere Grenze angeben. Als untere Grenze für den Zeitraum findet man einen Wert von 10^7 Jahren (z.B. Beckert & Duschl, 2002). Um eine obere Grenze abzuschätzen, geht man davon aus, dass 10% aller Galaxien Seyfert-Aktivität zeigen (Ho et al., 1997). Wenn man weiterhin davon ausgeht, dass alle Galaxien in ihrer Entwicklung durch eine Phase von Seyfert-Aktivität gehen und es Galaxien seit ca. 13 Milliarden Jahren gibt, (Mortlock et al., 2011) erhält man für den Aktivitätszeitraum eine obere Grenze von $1.3 \cdot 10^9$ Jahren. Mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 200 km s^{-1} , legen die Galaxien in dem Zeitraum von $1.3 \cdot 10^9$ Jahren eine Strecke von ca. 0.27 Mpc zurück. Deshalb habe ich, um Objekte innerhalb und außerhalb dieses Bereiches untersuchen zu können, die Nachbarschaft auf ± 1 Mpc um das Zentralobjekt festgelegt. Ob sich nun eine Galaxie in dieser Umgebung befindet, lässt jetzt berechnen, wenn dieses Objekt die gleiche Entfernung (sprich: Rotverschiebung) vom Beobachter wie das Zentralobjekt besitzt. Dann kann aus den Differenzen ihrer Koordinaten (Rektaszension und Deklination), d.h. aus ihrem Winkelabstand und ihrer Entfernung ihr Abstand berechnet werden.

Hat nun eine Galaxie eine vom Zentralobjekt verschiedene Rotverschiebung, besteht nun das Problem, aus dieser Rotverschiebungsdifferenz ihren Abstand zu berechnen, da sich die beobachtete Rotverschiebung aus zwei Komponenten zusammensetzt: Aus der kosmologischen Rotverschiebung und der durch die Bewegung innerhalb von Galaxiengruppen bewirkten Rotverschiebung. Letztere beträgt ca. $\pm 800 \text{ km s}^{-1}$, die sich mit Hilfe der Hubblekonstanten H_0 von $71 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ in eine Entfernung von ± 11.2 Mpc umrechnen lässt.

$$800 \text{ km s}^{-1} / 71 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \approx 11.2 \text{ Mpc}$$

Ich habe nun diesen Wert als Entfernungsmaß in Richtung der Rotverschiebung gewählt. Daraus ergibt sich folgende Definition der Quasarumgebung:

Senkrecht zum Sehstrahl (in Winkelrichtung) 2 Mpc und parallel zum Sehstrahl, in Richtung der sich verändernden Rotverschiebung, ± 11.2 Mpc. Abbildung 2.5 illustriert dieses Ergebnis.

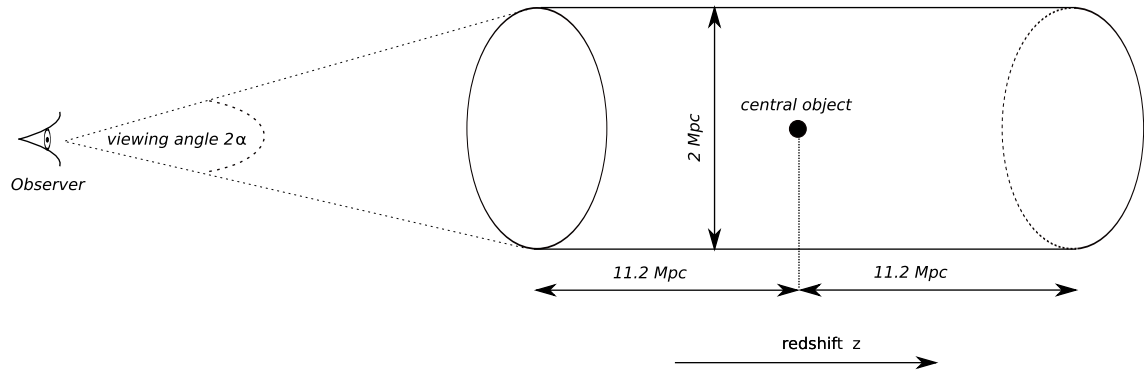


Abbildung 2.5: Graphische Illustration der QSO-Nachbarschaft

2.3 Die Berechnung der Entfernung

Im Abschnitt 2.2 wurde die Größe der von uns gewählten Umgebung beschrieben, nun wird erläutert, wie die Entfernungen aus den Beobachtungsgrößen ermittelt werden.

2.3.1 Das Hubblegesetz

Hubble (1929) fand einen Zusammenhang zwischen der Entfernung r eines Objektes und deren Fluchtgeschwindigkeit v : das Hubblegesetz.

$$v = Hr \quad (2.2)$$

Wobei H eine zeitabhängige Größe ist ($H = H(t)$) und ihr heutiger Wert $H(t_0)$ mit H_0 bezeichnet wird. Interpretiert man die beobachtete Rotverschiebung $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ eines Objektes als Dopplereffekt, so gilt für Geschwindigkeiten viel kleiner als der Lichtgeschwindigkeit ($v \ll c$):

$$z = \frac{v}{c} \quad (2.3)$$

$$\implies cz = H_0 r \quad (2.4)$$

$$\implies r = \frac{cz}{H_0} \quad (2.5)$$

Will man eine Relation auch für Geschwindigkeiten finden, die nahe (ab 10% der Lichtgeschwindigkeit, ca. $30\,000 \text{ km s}^{-1}$) der Lichtgeschwindigkeit sind, muss man zu einer relativistischen Betrachtungsweise wechseln – dies wird im folgenden gezeigt.

2.3.2 Die Metrik

Allgemein kann man Abstände in der Raumzeit mit einer Metrik beschreiben (z.B. Goenner, 1996).

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \quad (2.6)$$

Hierbei ist ds ein infinitesimales Wegstück, $g_{\mu\nu}$ der metrische Tensor und dx^μ sowie dx^ν infinitesimale Koordinatenänderungen. Nach dem kosmologischen Prinzip ist das Weltall isotrop und homogen. Nimmt man dazu eine konstante Krümmung an, besitzt die dazugehörige Metrik in Kugelkoordinaten folgende Gestalt:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R^2 [d\omega^2 + S_k^2(\omega)(d\theta^2 + \sin^2(\theta)d\phi^2)] \quad (2.7)$$

$$S_k(\omega) = \left[\frac{\sin(\sqrt{k}\omega)}{\sqrt{k}} \right] = \begin{cases} \sin(\omega) & \text{für } k = 1 \\ \omega & \text{für } k = 0 \\ \sinh(\omega) & \text{für } k = -1 \end{cases}$$

Dies ist die Robertson-Walker-Metrik, wobei c die Lichtgeschwindigkeit, t die Eigenzeit, ω die radiale räumliche Koordinate und θ, ϕ die Winkelkoordinaten sind. Die Krümmung wird durch den Parameter k ausgedrückt, der für ein flaches Universum den Wert 0, für ein geschlossenes den Wert 1 und für ein hyperbolisches den Wert -1 annimmt.

Vergleicht man nun Gleichung (2.7) mit dem Wegelement in Kugelkoordinaten im \mathbb{R}^3 , lässt sich der Ausdruck $R \cdot S_k$ als die gesuchte Entfernung identifizieren. Somit ergeben sich dann folgende Entfernungen:

Die sogenannte „Angular diameter distance“ (D^k) ist die Entfernung, die das Objekt zu dem Zeitpunkt t hatte, als es das bei uns jetzt rotverschoben ankommende Licht ausgestrahlt hat. Die „transverse comoving distance“ oder „angular size distance“ (D_0^k) ist die Entfernung, die das Objekt heute ($t = 0$) hat (Hogg, 1999).

$$D^k := R(t) \cdot S_k(\omega) \quad (2.8)$$

$$D_0^k := R_0 \cdot S_k(\omega) \quad (2.9)$$

wobei $R_0 := R(t = 0)$. Für $k = 0$ vereinfachen sich vorherige Gleichungen zu:

$$D := D^{k=0} = R(t) \cdot \omega \quad (2.10)$$

$$D_0 := D_0^{k=0} = R_0 \cdot \omega \quad (2.11)$$

D_0 ist die „line of sight comoving distance“, D die „proper distance“.

2.3.3 Der Skalenfaktor R

Betrachtet man nun die Bewegung eines Photons, so gilt $ds \stackrel{!}{=} 0$ und wegen der Isotropie des Raumes kann man fordern: $\phi \stackrel{!}{=} 0 \stackrel{!}{=} \theta$. Aus Gleichung (2.7) wird damit:

$$\implies d\omega = c \frac{dt}{R} \quad (2.12)$$

$$\implies \omega = c \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{R} \quad (2.13)$$

Für den Anfang eines Wellenpakets, dass bei t_1 abgestrahlt wird und uns bei t_0 erreicht, gilt zudem:

$$\omega = c \int_{t_1}^{t_0} \frac{dt}{R}$$

Für das Ende dieses Wellenpakets gilt:

$$\omega = c \int_{t_1 + \delta t_1}^{t_0 + \delta t_0} \frac{dt}{R}$$

und somit:

$$c \int_{t_1}^{t_1 + \delta t_1} \frac{dt}{R(t)} = c \int_{t_0}^{t_0 + \delta t_0} \frac{dt}{R(t)} \xrightarrow{\delta t_i \rightarrow 0} \frac{\delta t_1}{R(t_1)} = \frac{\delta t_0}{R(t_0)} \quad (2.14)$$

Da die Zeit t invers proportional zur Frequenz ν ist, folgt:

$$\delta t \sim \frac{1}{\nu} \implies \frac{1}{\nu_1 R(t_1)} = \frac{1}{\nu_0 R(t_0)} \quad (2.15)$$

$$\implies \frac{R_0}{R(t)} = \frac{\nu_{em}}{\nu_{obs}} =: 1 + z \quad (2.15)$$

$$\frac{\delta t_1}{\delta t_0} = \frac{1}{1 + z} \quad (2.16)$$

Gleichung (2.15) stellt den Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Skalenfaktor her und Gleichung (2.16) ist die kosmologische Zeitdilatation. Da die Massendichte ρ invers proportional zum Volumen ist, gilt:

$$\varrho(t) \sim \frac{1}{R^3(t)} \implies \varrho(t) = \frac{\varrho_0}{(1+z)^3} \quad (2.17)$$

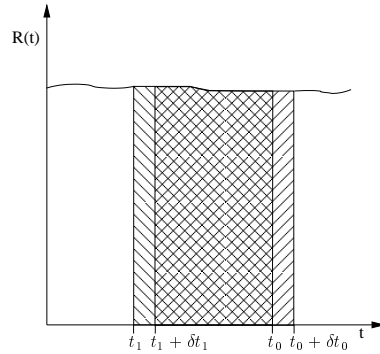


Abbildung 2.6: Graphische Illustration der Herleitung der Beziehung zwischen Rotverschiebung und Skalenfaktor.

2.3.4 Der Zusammenhang zwischen dz und dt

Durch einige Umformungen lässt sich ein Zusammenhang zwischen dz und dt herleiten, der im folgenden benötigt wird. Aus Gleichung (2.15) und mit der Definition der Hubblefunktion $H(t) := \frac{\dot{R}(t)}{R(t)}$ folgt:

$$\begin{aligned} z &= \frac{R_0}{R(t)} - 1 \\ \implies \frac{dz}{dt} &= -\frac{R_0 \cdot R(t)}{R^2(t)} = -(1+z) \cdot H(t) \\ \implies dt &= -\frac{dz}{(1+z)H(t)} \end{aligned} \quad (2.18)$$

2.3.5 Die Friedmann-Lemaître-Gleichung

Die Einsteinschen Feldgleichungen stellen den Zusammenhang zwischen der Geometrie und der Energie des Raumes her (Einstein, 1916):

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} - g_{\mu\nu} \Lambda \quad \mu, \nu \in \{0, 1, 2, 3\} \quad (2.19)$$

Die Größe $g_{\mu\nu}$ ist der in Gleichung (2.6) definierte metrische Tensor, Λ die kosmologische Konstante, G die Gravitationskonstante und c die Lichtgeschwindigkeit. Der Einsteintensor $G_{\mu\nu}$ lässt sich aus dem metrischen Tensor $g_{\mu\nu}$ berechnen:

$$\begin{aligned}
G_{\mu\nu} &= R^{\alpha}_{\mu\alpha\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} g^{\beta\gamma} R^{\alpha}_{\beta\alpha\gamma} & (2.20) \\
R^{\alpha}_{\beta\gamma\delta} &= \Gamma^{\alpha}_{\beta\delta,\gamma} - \Gamma^{\alpha}_{\beta\gamma,\delta} + \Gamma^{\alpha}_{\mu\gamma} \Gamma^{\mu}_{\beta\delta} - \Gamma^{\alpha}_{\mu\delta} \Gamma^{\mu}_{\beta\gamma} \\
\Gamma^{\alpha}_{\mu\nu} &= \frac{1}{2} g^{\alpha\beta} (g_{\beta\nu,\mu} + g_{\beta\mu,\nu} - g_{\mu\nu,\beta})
\end{aligned}$$

Hierbei ist $R^{\alpha}_{\beta\gamma\delta}$ der Riemannsche Krümmungstensor, $\Gamma^{\alpha}_{\mu\nu}$ die Christoffelsymbole und $\Gamma^{\alpha}_{\beta\delta,\gamma}$ bedeutet die partielle Ableitung des Christoffelsymbols nach x^{γ} : $\Gamma^{\alpha}_{\beta\delta,\gamma} := \frac{\partial}{\partial x^{\gamma}} \Gamma^{\alpha}_{\beta\delta}$. Der Energie-Impuls-Tensor T^{μ}_{ν} hat die Form:

$$T^{\mu}_{\nu} = \text{diag}(-\rho, p, p, p) \quad (2.21)$$

wobei ρ die Dichte und p den Druck darstellen.

Setzt man diesen in Gleichung (2.19) ein und verwendet den metrischen Tensor aus Gleichung (2.7), ergibt sie die *Friedmann-Lemaître-Gleichung* (Friedman, 1922):

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3} \varrho - \frac{kc^2}{R^2} + \frac{\Lambda}{3} \quad (2.22)$$

Setzt man bei allen zeitabhängigen Größen den heutigen Wert ein (gekennzeichnet durch den Index 0), und stellt um, lassen sich folgende Größen definieren: Ω_M die kosmologische Massendichte, Ω_K die "Raumkrümmungsdichte", die die Krümmung des Raums beschreibt und die Vakuumdichte Ω_{Λ} .

$$1 = \frac{8\pi G}{3H_0^2} \varrho_0 - \frac{kc^2}{R_0^2 H_0^2} + \frac{\Lambda}{3H_0^2}$$

$$\Omega_M := \frac{8\pi G}{3H_0^2} \varrho_0 \quad (2.23)$$

$$\Omega_{\Lambda} := \frac{\Lambda}{3H_0^2} \quad (2.24)$$

$$\Omega_K := -\frac{kc^2}{R_0^2 H_0^2} \quad (2.25)$$

$$1 = \Omega_M + \Omega_{\Lambda} + \Omega_K$$

Ausgehend von Gleichung (2.22), unter Verwendung der Beziehungen in den Gleichungen (2.17) und (2.15) und mit Hilfe der Definitionen in den Gleichungen (2.23) bis (2.25) lässt sich nun die Friedmann-Lemaître-Gleichung als Funktion der Rotverschiebung schreiben:

$$H = H_0 \sqrt{\Omega_M (1+z)^3 + \Omega_K (1+z)^2 + \Omega_{\Lambda}} \quad (2.26)$$

2.3.6 Die Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation

Mit obigen Rechnungen lässt sich nun die Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation aufstellen:

$$\begin{aligned}
 d\omega &\stackrel{\text{Gl. (2.12)}}{=} c \frac{dt}{R} && / \cdot R_0 \\
 R_0 d\omega &= c \frac{R_0}{R} dt \stackrel{\text{Gl. (2.18)}}{=} -c \frac{R_0 dz}{R(1+z)H} \stackrel{\text{Gl. (2.15)}}{=} -c \frac{dz}{H} && // \int \\
 D_0 &\stackrel{\text{Gl. (2.11)}}{=} R_0 \omega = c \int_0^z \frac{dz'}{H(z')} \\
 D_0 &\stackrel{\text{Gl. (2.26)}}{=} \frac{c}{H_0} \int_0^z dz' \frac{1}{\sqrt{\Omega_M(1+z')^3 + \Omega_K(1+z')^2 + \Omega_\Lambda}} && (2.27) \\
 D &= R\omega \stackrel{\text{Gl. (2.15)}}{=} \frac{R_0}{1+z} \omega = \frac{1}{1+z} D_0 && (2.28)
 \end{aligned}$$

Für das Integral in Gleichung (2.27) gibt es im allgemeinen keine analytische Lösung, sodass es numerisch berechnet werden muss. Dafür habe ich das Programm `cosmodis`, erhältlich unter <http://www.atlasoftheuniverse.com/cosmodis.c> verwendet. Ich habe das Programm `cosmodis` ausgiebig getestet und überprüft, dass die Entfernungsbestimmung dieses Programms den oben hergeleiteten Gleichungen entspricht. Für den Fall eines flachen Universums und einer verschwindenden kosmologischen Konstante lässt sich eine exakte Lösung angeben:

$$\begin{aligned}
 k &\stackrel{!}{=} 0 \Rightarrow \Omega_K = 0 \\
 \Lambda &\stackrel{!}{=} 0 \Rightarrow \Omega_\Lambda = 0 \Rightarrow \Omega_M = 1 \\
 D_0 &= \frac{c}{H_0} \int_0^z dz' (1+z')^{-\frac{3}{2}} \\
 D_0 &= \frac{2c}{H_0} \left[\frac{1+z - \sqrt{1+z}}{1+z} \right] && (2.29)
 \end{aligned}$$

Für die Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation bei $k \neq 0$ siehe Anhang A.1.1.

Da nun die Formel für die Entfernung hergeleitet wurde, lässt sich sie Umgebungsbestimmung folgendermaßen beschreiben:

Man berechnet die Entfernung $D(z_{center})$ vom Beobachter zum Zentralobjekt und $D(z_{neighbour})$ zum Nachbarobjekt. Zudem benötigt man den Winkel α zwischen den beiden Objektpositionen. Daraus berechnet man, mithilfe des Kosinussatzes, zunächst den direkten Abstand d zwischen den Objekten,

$$d = \sqrt{D(z_{center})^2 + D(z_{neighbour})^2 - 2 \cdot D(z_{center}) \cdot D(z_{neighbour}) \cdot \cos(\alpha)}$$

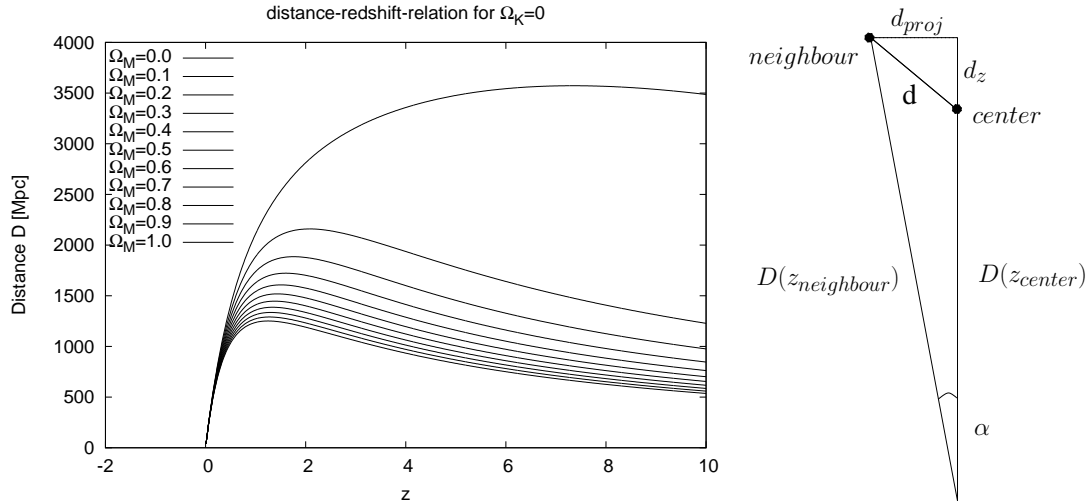


Abbildung 2.7: links: Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation für verschiedene Werte von Ω_M bei $\Omega_K = 0$.
rechts: Berechnung der Entfernung zwischen Zentral- und Nachbarobjekt

dann den Abstand senkrecht zum Sehstrahl $d_{proj} = D(z_{neighbour}) \cdot \sin(\alpha)$ und daraus den Abstand parallel zum Sehstrahl $d_z = \sqrt{d^2 - d_{proj}^2}$. Abbildung 2.7(rechts) illustriert die genannten Größen. Nach den Überlegungen aus Abschnitt 2.2 muss jetzt gefordert werden:

$$d_z \leq 11.2 \text{Mpc} \text{ und } d_{proj} \leq 1 \text{Mpc}$$

Dabei werde ich im folgenden, wenn nicht explizit etwas anderes angegeben ist, von einer Kosmologie mit $H_0 = 71 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$, $\Omega_M = 0.27$ und $\Omega_\Lambda = 0.73$ ausgehen (Spergel et al., 2003).

2.4 Die QSO-Umgebung

2.4.1 Die Umgebungsabfrage

Für jedes Zentralobjekt, dessen Nachbarschaft untersucht werden soll, habe ich eine Umgebungsabfrage gestellt. Die SDSS-Datenbank stellt dafür die Funktion $dbo.fGetNearbyObjEq(RA, DEC, \alpha)$ bereit, mit der alle Objekte in einem Raumwinkel vom Radius α' (Bogenminuten) um die äquatorialen Koordinaten RA und DEC aufgelistet werden. Den Winkel α habe ich so gewählt, dass die komplette im Abschnitt 2.2 definierte Umgebung entsprechend dem *viewing angle* 2α in Abbildung 2.5 im „Abfragekegel“ enthalten ist. Abbildung 2.8 illustriert den Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und dem Winkel α für zwei verschiedene Werte der Vakuumdichte Ω_Λ .

An die Rotverschiebung z habe ich dabei keine Bedingung gestellt. Eigene Tests ergaben, dass eine Abfrage, bei der die Rotverschiebung auf ein Intervall eingeschränkt

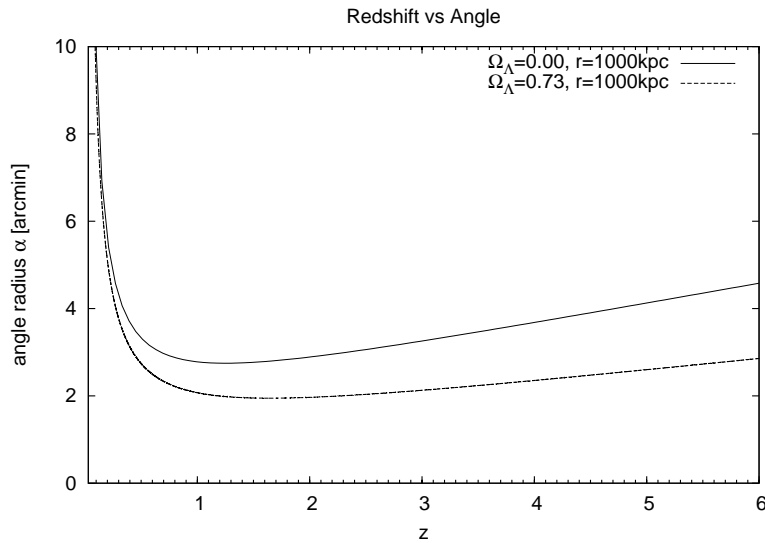


Abbildung 2.8: Winkelradius α gegen Rotverschiebung z . Eine Strecke der Größe 1000 kpc sieht man bei einer Rotverschiebung von z unter einem Winkel von α' . Die gestrichelte Linie repräsentiert den Wert $\Omega_\Lambda = 0.73$. Zum Vergleich zeigt die durchgehende Linie das Verhältnis für eine verschwindende kosmologische Konstante ($\Omega_\Lambda = 0$).

ist, um ein vielfaches länger dauert als ohne Einschränkung (Ohne Einschränkung dauerte eine Abfrage der Umgebung ca. 10 Sekunden und mit Einschränkung der Rotverschiebung ca. zwei Minuten).

Die Abfrage hat nun folgende Gestalt:

```
SELECT s.specObjID, s.ra, s.dec, s.z, s.zErr, s.plate, s.mjd, s.fiberid,
       p.type, n.distance
FROM SpecObj as s, PhotoObj as p,
     dbo.fGetNearbyObjEq(233.96835,57.902639,55.71351566810805219487) as n
WHERE n.objid=s.bestobjid AND p.objid=s.bestobjid AND p.objid=n.objid
AND (s.specClass = dbo.fSpecClass('STAR') OR s.specClass = dbo.fSpecClass('STAR_LATE')
OR s.specClass = dbo.fSpecClass('GALAXY') OR s.specClass = dbo.fSpecClass('QSO')
OR s.specClass = dbo.fSpecClass('HIZ_QSO') OR s.specClass = dbo.fSpecClass('UNKNOWN'))
```

```
specObjID, ra, dec, z, zErr, plate, mjd, fiberid, type, distance
173331939820830720,233.8142,58.151385,1.172,1.719E-3,615,52347,117,6,15.70779
173331939938271232,233.51835,58.016516,1.572,2.847E-3,615,52347,145,6,15.870184
173331939833413632,234.30766,58.107018,0.157,1.882E-4,615,52347,120,3,16.334763
...
```

Ausgegeben werden soll die Spektrums-ID des Objekts, seine Rektaszension, Deklination, Rotverschiebung und deren Fehler. Weiterhin die Nummer der Aufnahmeplatte, das modifizierte Julianische Datum und die Nummer des Aufnahme-Fibers. Letztere Informationen benötige ich noch später, um auf das Spektrum des jeweiligen Objektes zuzugreifen. Zuletzt die Klassifikation des photometrischen Typs und der Abstand in Bogenminuten, ermittelt durch die Funktion *dbo.fGetNearbyObjEq*. Die photometrischen und spektroskopischen Tabellen habe ich abgefragt, wobei ich alle Objekte folgender Klassifikation berücksichtigte: Sterne, Sternentypen M oder später, die von molekularen Banden dominiert sind, Galaxien, QSOs, hoch rotverschobene QSOs ($z > 2.3$) und unbekannte Objekte.

Diese Abfrage dauerte ca. zweieinhalb Tage auf einem System mit zwei Dualcore Intel[®] Xeon[™] 3.20 GHz CPUs und 3 GB RAM. Ich habe sie mit einem Shell-Script (`sdss_mksql.sh`, Code siehe Anhang A.4) realisiert, wobei in einer Schleife die SQL-Abfrage mit Hilfe des Python-Programms `sqlcl.py`² vorgenommen wurde.

Die so gewonnenen Daten habe ich dann mit einzelnen Funktionen des Programms `sdss_iterate_query.sh` (siehe Anhang A.4) weiterverarbeitet:

- `count_all_neighbours`: Die Anzahl der Nachbarn eines jeden Zentralobjekts aus der gesamten SQL-Abfrage wird erfasst.
- `calc_distance`: Der Abstand (d , d_{proj} , d_z) eines jeden Objekts der Abfrageantwort wird berechnet.
- `cut_distance`: Anhand der berechneten Abstände werden die nicht zur Umgebung gehörigen Objekte aussortiert.
- `make_double`: In einer Datei werden nun alle Werte zu jedem Objekt zusammengefasst. Die ID des Objekts, die ID des dazugehörigen Zentralobjekts und die anderen erfragten Werte. Jeder Eintrag wird mit einer laufenden Nummer der Form „ZahlBuchstaben“ (z.B. 000023b, 000024a) versehen, wobei der Buchstabe a für das Zentralobjekt, und andere Buchstaben für ein Nachbarobjekt stehen.
- `count_all_neighbours`: Die Anzahl der Nachbarn eines jeden Zentralobjekts bezüglich der in Abbildung 2.5 definierten Nachbarschaft wird gezählt.
- `sum_all_objects`: Die Gesamtzahl aller betrachteten Objekte wird bestimmt.

Diese Programme benötigen ca. eine Woche auf dem obig erwähnten Computersystem.

Abbildung 2.9 zeigt das Ergebnis der Nachbarschaftsabfrage. Entsprechend der Anzahl der QSOs wurden 76 552 Umgebungen untersucht. Bei 120 Abfragen wurde kein Objekt in der Nachbarschaft gefunden, noch nicht einmal das Zentralobjekt selbst. Dies weist wohl auf einen Fehler in der SDSS-Datenbank hin. Da die Zahl dieser Fehler aber nur 0.16% der Gesamtzahl ausmacht, wurde dem Problem nicht weiter nachgegangen. Somit bleiben 76 432 Nachbarschaften zu untersuchen. In 73 972 Nachbarschaften wurde nur das Zentralobjekt gefunden, d.h. es gibt hier keine Nachbarn. Somit gibt es 2460 Umgebungen, bei denen das Zentralobjekt und mindestens ein Nachbar gefunden wurde. Insgesamt gibt es 5091 Nachbarobjekte. Mit den 2460 Zentralobjekten habe ich nun ein Sample von 7551 Objekten, das ich im folgenden näher untersuche.

²erhältlich unter <http://cas.sdss.org/dr7/de/help/download/sqlcl/default.asp>

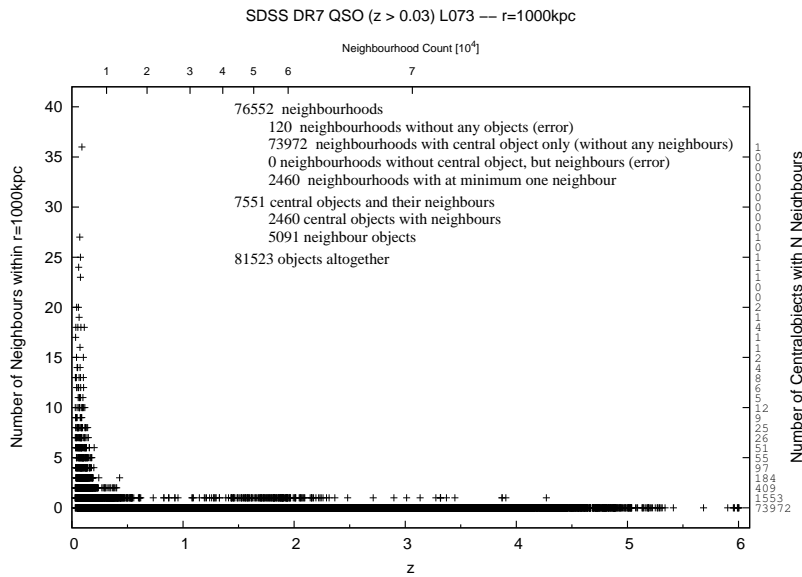


Abbildung 2.9: Verteilung der Anzahl der Nachbarn über der Rotverschiebung unseres Galaxiensamples. Auf der linken Ordinate ist dargestellt, wieviele Nachbarn ein Zentralobjekt hat. Die rechte Ordinate zeigt an, wieviele Zentralobjekte eine bestimmte Anzahl von Nachbarn besitzen. Die untere Abszisse zeigt die Rotverschiebung und die obere die aufsummierte Anzahl der Zentralobjekte an. Die Statistik in der Mitte der Abbildung wird im Text näher erläutert.

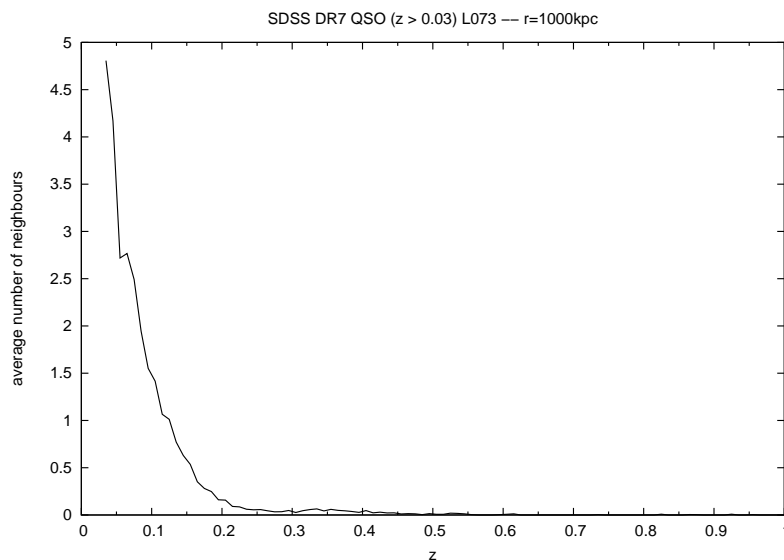


Abbildung 2.10: Mittlere Anzahl der Nachbargalaxien unseres Galaxiensamples. Die Anzahl der Nachbarn ist jeweils über ein Rotverschiebungsintervall von $\Delta z = 0.01$ gemittelt. Nach dem starken Abfall der durchschnittlichen Nachbarzahl hin zu einer Rotverschiebung von $z = 0.6$ bleibt dieser Wert bis $z = 6$ auf diesem niedrigen Niveau.

Die *look-back-time* bei der Umgebungserfassung

Bei der Bestimmung der Umgebungsgalaxien reicht es nicht alleine aus, den Abstand des jeweiligen Objektes zum Zentralobjekt zu berechnen, sondern auch den Zeitpunkt, zu dem die Objekte diese Entfernung hatten. Dazu erkläre ich zunächst den Begriff der sogenannten *look-back-time*.

Formt man Gleichung (2.18) nach der Zeit um und integriert über diese, so erhält man:

$$t = \frac{1}{H_0} \int_0^z dz' \frac{1}{(1+z') \sqrt{\Omega_M(1+z')^3 + \Omega_K(1+z')^2 + \Omega_\Lambda}} \quad (2.30)$$

Die Größe t gibt die Zeit an, die ein Lichtstrahl von einem Objekt mit der Rotverschiebung z bis zum Beobachter bei $z = 0$ benötigt. Für $\Omega_K = \Omega_\Lambda \stackrel{!}{=} 0$, wie in Abschnitt 2.3.6, wird daraus:

$$t = \frac{2}{3H_0} \left[\frac{(1+z)^{\frac{3}{2}} - 1}{(1+z)^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (2.31)$$

Abbildung 2.11b zeigt die *look-back-time* in Abhängigkeit der Rotverschiebung für verschiedene Werte von Ω_M (wobei $\Omega_K = 0$ und $\Omega_\Lambda = 1 - \Omega_M$). Die Kurve zu $\Omega_M = 1$ entspricht der Gleichung (2.31). Für die anderen Kurven wurde Gleichung (2.30) numerisch integriert.

Betrachtet man nun zum Beispiel die Umgebung vom Objekt 101678a, findet man in 1.72 Bogenminuten Entfernung das Objekt mit der Nummer 101678b (Tabelle 2.1 und Abbildung 2.11a). Berechnet man nun die Entfernung vom Betrachter bei $z = 0$ zu beiden Objekten, so ergeben sich 1421.57 Mpc für 101678a und 1422.74 Mpc für 101678b. Aus diesen Werten ergibt sich eine Entfernung von 1.371 Mpc parallel und 1.172 Mpc senkrecht zum Sehstrahl zwischen den beiden Objekten. Nach dieser Berechnung gehörte 101678b nach der in Abschnitt 2.2 gemachten Definition in unsere Galaxienumgebung. Die große Rotverschiebungsdifferenz von $\Delta z = 3.63$ spricht aber dagegen.

Da ich aus Performancegründen keine Einschränkung der Rotverschiebung bei der SQL-Abfrage gemacht hatte, (siehe Anfang Abschnitt 2.4.1) können solche Fälle auftreten. Betrachtet man nun zusätzlich die *look-back-time* beider Objekte, erkennt man, dass sich die Objekte zu verschiedenen Zeitpunkten an dieser Position aufgehalten haben. Mit Gleichung 2.30 erhält man eine Differenz von 6.24 Ga. Daher werden nicht nur die Entfernungen beachtet, sondern auch die Differenzen in der *look-back-time*. Alle Objekte mit einer *look-back-time* größer 0.01 Ga = 10 Millionen Jahre, entsprechend der im Abschnitt 2.2 betrachteten unteren Grenze des Aktivitätszeitraums, werden als nicht zur Umgebung gehörend betrachtet.

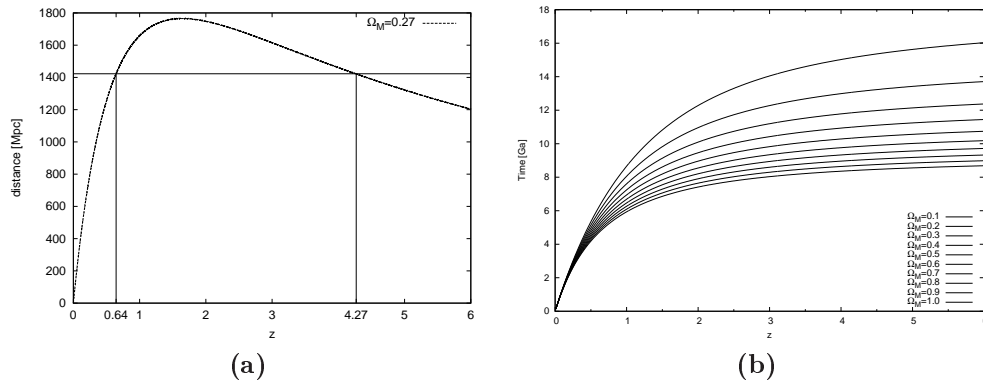


Abbildung 2.11: Zwei Objekte mit einer stark unterschiedlichen Rotverschiebung haben fast die gleiche Entfernung (a). *Look-back-time* über der Rotverschiebung für verschiedene Werte von Ω_M (b).

Objekt	SpecObjID	RA	Dec	z	D [Mpc]	LBT [Ga]
101678a	647060295885258752	149.576	22.833	4.27	1421.57	6.24
101678b	647060295876870144	149.579	22.804	0.64	1422.74	0

Tabelle 2.1: Daten der bei der *look-back-time*-Problematik betrachteten Objekte: Interne laufende Nummer, Spec-Object-ID vom SDSS, Rektaszension, Deklination, Rotverschiebung, Entfernung in Mpc, *look-back-time* in Gigajahren.

Die Vollständigkeit der Umgebungserfassung

Die spektroskopische Durchmusterung vom SDSS wurde, wie in Abschnitt 1.2 beschrieben, mit 1802 Platten die jeweils mit mehreren Lichtleitern bestückt sind und das Licht des Objekts zum Spektrographen führen, durchgeführt (Abazajian et al., 2009).

Abbildung 2.12a zeigt die Himmelsbedeckung dieser Platten in Aitoff Projektion, wobei jede Platte einen Himmelsbereich mit einem Durchmesser von 3° abdeckt. Es stellt sich jetzt die Frage, ob alle von uns zu untersuchenden Galaxienumgebungen räumlich durch diese Platten erfasst sind.

Dazu habe ich in diesen Plot um jede unserer Zentralgalaxien die im Abschnitt 2.2 definierte Galaxienumgebung eingezeichnet. Zur korrekten Darstellung dieser Umgebungen in der Aitoff Projektion habe ich das Programm `edge_points.sh` geschrieben (siehe Anhang A.4). Ein Großteil dieser Umgebungen (über 95 %) werden komplett von einer Platte abgedeckt und sind erfasst. Die restlichen, die somit aus einer Platte herausragen habe ich mit dem Programm `sdss_coverage.sh` (Anhang A.4) ermittelt und visuell untersucht. Einige Umgebungen ragten dabei in andere Platten herein und waren dadurch komplett erfasst. Andere waren, obwohl sie noch in andere Platten hereinragten, nicht vollständig erfasst. Abbildung 2.12b zeigt so einen Fall. Hier ist die dunkle Fläche unsere Galaxienumgebung, der helle Punkt im Zentrum das Zentralobjekt und die beiden Kreisbögen die Ränder zweier Platten. Das

Zentralobjekt wird von der linken Platte erfasst und auch ein Großteil der Galaxienumgebung. Der herausragende Teil der Galaxienumgebung wird nun zwar zum Teil von der rechten Platte erfasst, es bleibt aber ein Teil übrig, der nicht erfasst wurde. Deshalb wurde dieses Zentralobjekt mit seiner Umgebung aus dem Sample aussortiert.

Insgesamt wurden auf diese Weise 26 Zentralobjekte und ihre Umgebungen aus dem Sample aussortiert.

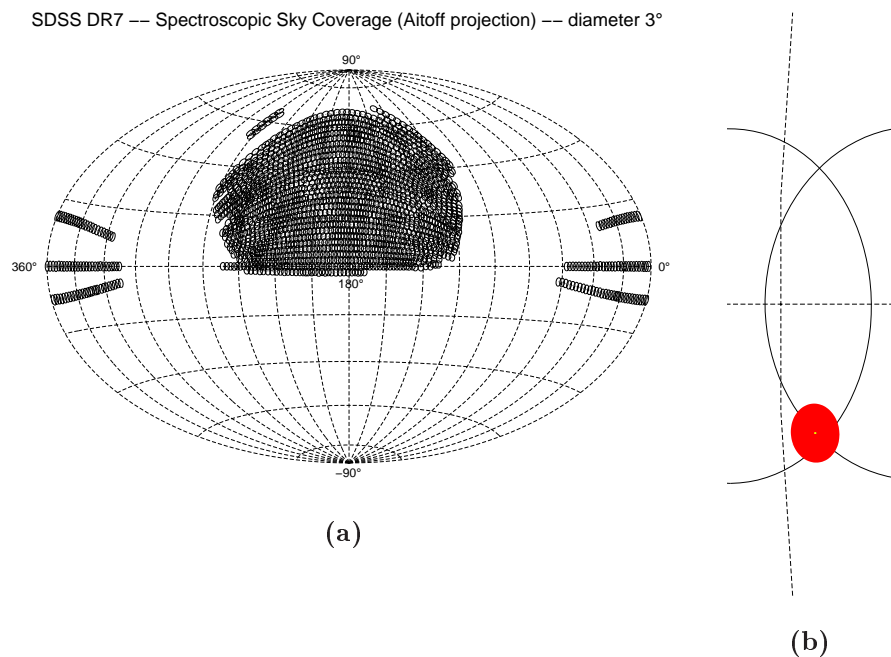


Abbildung 2.12: (a): Himmelsbedeckung der 1802 SDSS Platten in Aitoff Projektion. Die Platten-Koordinaten stammen von <http://www.sdss.org/DR7/coverage/maindr72spectro.par>. (b): Beispiel eines Zentralobjekts, dessen Umgebung aus einer Platte herausragt und nicht vollständig erfasst wurde.

Dubletten im Datensatz

Aufgrund der Vorgehensweise bei der Umgebungsabfrage, haben einige Umgebungen untereinander nichtleere Schnittmengen. 28 Objekte sind gleichzeitig in zwei verschiedenen Umgebungen Nachbarschaftsobjekte. 208 Zentralobjekte sind zugleich auch Nachbarschaftsobjekte bezüglich anderer Zentralobjekte. Dabei finden sich 207 Zentralobjekte jeweils in einer Umgebung als Nachbarschaftsobjekt wieder und ein Zentralobjekt in zwei Umgebungen. Somit befinden sich 235 Objekte doppelt und ein Objekt dreifach im Datensatz.

2.4.2 Die Bestimmung der integrierten Linienintensitäten

Zur späteren spektroskopischen Klassifikation aller Zentralobjekte und aller Objekte in der von uns definierten Galaxienumgebung werden die Relativintensitäten und Linienbreiten verschiedener Spektrallinien benötigt. Das Programm `sdss_flux.sh` (siehe Anhang A.4) erfragt hierzu diese Werte von der Tabelle *SpecLine*.

Eigene Tests ergaben, dass das Einschränken der Abfrage auf bestimmte Spektrallinien zu langen Wartezeiten und „Timeouts“ des SQL-Servers führten. Dies liegt wohl auch daran, dass dann in der SQL-Abfrage zu viele Bedingungen gestellt werden, die das Abarbeiten stark verlangsamten. Wenn man z.B. die Abfrage auf die $H\alpha$ -, $H\beta$ -, $[O\ III]\ \lambda 5007$ - und $[N\ II]\ \lambda 6584$ -Linie einschränkt, hat sie folgende Gestalt:

```

SELECT  slHb_4863.specObjId ,
          slHb_4863.sigma      as Hb_sigma ,
          slHb_4863.sigmaErr   as Hb_sigmaErr ,
          slHb_4863.height     as Hb_height ,
          slHb_4863.heightErr  as Hb_heightErr ,
          slOIII_5008.sigma    as OIII_sigma ,
          slOIII_5008.sigmaErr as OIII_sigmaErr ,
          slOIII_5008.height   as OIII_height ,
          slOIII_5008.heightErr as OIII_heightErr ,
          slHa_6565.sigma      as Ha_sigma ,
          slHa_6565.sigmaErr   as Ha_sigmaErr ,
          slHa_6565.height     as Ha_height ,
          slHa_6565.heightErr  as Ha_heightErr ,
          slNII_6585.sigma     as NII_sigma ,
          slNII_6585.sigmaErr  as NII_sigmaErr ,
          slNII_6585.height    as NII_height ,
          slNII_6585.heightErr as NII_heightErr

FROM  SpecLineAll as slHb_4863 WITH (index=0)
  left outer join SpecLine as slOIII_5008
    on slHb_4863.specObjId = slOIII_5008.specObjId
  left outer join SpecLine as slHa_6565
    on slOIII_5008.specObjId = slHa_6565.specObjId
  left outer join SpecLine as slNII_6585
    on slHa_6565.specObjId = slNII_6585.specObjId

WHERE  slHb_4863.specObjId IN (spec_id_list)
        AND slHb_4863.category != 1
        AND slHb_4863.lineID   = '4863'
        AND slOIII_5008.lineID = '5008'
        AND slHa_6565.lineID   = '6565'
        AND slNII_6585.lineID  = '6585'

```

Deshalb wurde die Abfrage nicht eingeschränkt, sodass die Werte aller 48 vom SDSS gemessenen Spektrallinien erfragt wurden (siehe Tabelle A.1). Dies beschleunigte die Abfragezeit pro Objekt um den Faktor vier. Dazu wurde die Liste der IDs aller spek-

troskopisch untersuchten Objekte in Teillisten von 20 IDs (`spec_id_list`) aufgeteilt und an jede dieser Teillisten folgende Abfrage gestellt:

```
SELECT sl.specObjId , sl.lineID , sl.sigma ,
        sl.sigmaErr , sl.height , sl.heightErr , sl.z
FROM SpecLine as sl
WHERE sl.specObjId IN ( spec_id_list )
```

Von allen vermessenen Linien wird die ID des dazugehörigen Spektrums, die ID der Linie (die der gerundeten Wellenlänge in Å entspricht und in Tabelle A.1 in der 2. Spalte steht) erfragt. Ferner das Sigma (σ) und der Linienfluss (a) der Spektrallinie mit den entsprechenden Fehlern.

Wie man sieht, ist diese Abfrage um etliches einfacher als die vorherige. Die Antwort hat die Form:

```
specObjId , lineID , sigma , sigmaErr , height , heightErr , z
...
133923802231865344,3727,0.985262,0.092773,92.868652,14.836655,0.031169
133923802231865344,3730,1.536882,0.146484,105.225227,3.204346E-3,0.031169
133923802231865344,3799,3.560122,1.376766,-4.256713,1.479492,0.031169
...
```

Hierbei ist nun das Problem, dass ich für jede einzelne der 48 vermessenen Linien eine Zeile in der SQL-Antwort bekomme und somit 48 Zeilen pro Objekt. Um dies wieder in eine Zeile pro Objekt zu ändern, habe ich das von mir geschriebene Programm `sdss_rearrange_specline_out.pl` verwendet (siehe Anhang A.4). Wie der SDSS diese Werte bestimmt, erläutere ich näher auf Seite 37.

Die integrierte Linienintensität I ergibt sich dann daraus mit $I = \sqrt{2\pi} a \sigma$, wobei die Spektrallinie g als Funktion der Wellenlänge λ durch $g(\lambda) = ae^{-\frac{\lambda^2}{2\sigma^2}}$ beschrieben wird. Für insgesamt 919 Spektrallinien konnte auch nach mehrmaliger Abfrage kein Wert erhalten werden. Dies ist entweder ein Fehler in der Datenbank, oder die Werte konnten nicht gemessen werden. Aufgrund der geringen Zahl gegenüber der Gesamtzahl von über 5×10^6 vermessener Linien wurde dieses Problem nicht weiter verfolgt. Der SDSS-Datenbankserver benötigt zum Abarbeiten meiner Anfragen einige Tage.

Anhand der Linienintensitäten ausgewählter Linien werden die Objekte nun kategorisiert. Liegen die Balmerlinien $H\alpha$ und $H\beta$ in Absorption vor, ist das Objekt eine Absorptionsliniengalaxie. Liegen sie in Emission vor und die [O III] $\lambda 5007$ - und [N II] $\lambda 6584$ -Linie auch, dann bezeichne ich sie als Emissionliniengalaxie. Dann untersuche ich das Verhältnis der [O III] $\lambda 5007/H\beta$ - und [N II] $\lambda 6584/H\alpha$ -Linien. Dazu werden die Objekte in das Baldwin-Phillips-Terlevich-Diagramm (BPT-Diagramm, Baldwin et al. 1981) eingezeichnet (siehe Abbildung 2.13) und nach HII-Regionen, LINERs und Seyfertgalaxien unterschieden.

Eine Übersicht über das Zusammenspiel aller von mir verwendeten Programme, ihre Eingaben und Ausgaben und die Reihenfolge, bzw. der Ablauf ihres Aufrufs ist in einem Flussdiagramm in Abbildung A.1 dargestellt. Die Auflistung aller von mir geschriebenen Programme findet sich in Abschnitt A.4.

Das BPT-Diagramm

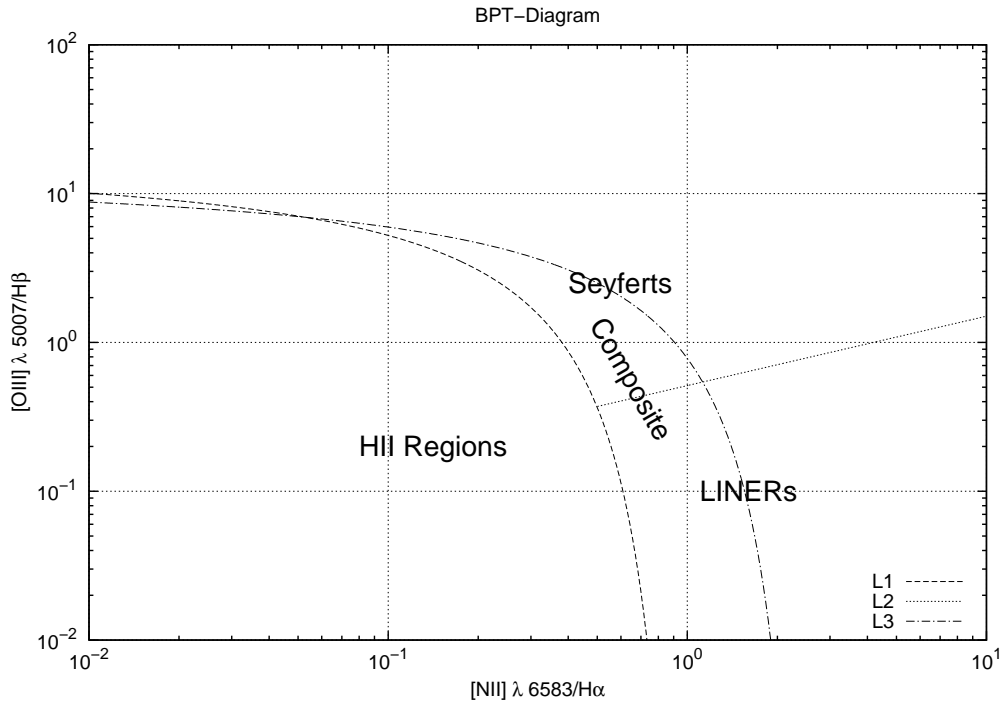


Abbildung 2.13: BPT-Diagramm. Durch die Trennlinien L1, L2 und L3 werden die Seyfertgalaxien, die LINERs, die HII-Regionen und die Composites von einander unterschieden.

Um ein BPT-Diagramm zu erstellen, benötigt man die Linienvverhältnisse der $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ - und $[\text{N II}] \lambda 6584/\text{H}\alpha$ -Linien. Die Unterscheidung der Objekte im BPT-Diagramm erfolgt dabei anhand der drei Trennlinien L1, L2 und L3. Als HII-Regionen werden alle diejenigen Objekte klassifiziert, die sich unterhalb der Trennlinie L1 befinden. Seyferts befinden sich oberhalb der Trennlinien L1 und L2. Oberhalb von L1 und unterhalb von L2 befinden sich die LINERs. Nach Constantin & Vogeley (2006) werden als Composite-Objekte diejenigen bezeichnet, die sich zwischen den Trennlinien L1 und L3 befinden. Mathematisch werden die Trennlinien durch folgende Gleichungen beschrieben:

$$\text{L1: } \log([\text{O III}]/\text{H}\beta) = 0.61/(\log([\text{N II}]/\text{H}\alpha) - 0.05) + 1.3 \quad (2.32)$$

für $\log([\text{N II}]/\text{H}\alpha) > 1.1220$

$$\text{L2: } \log([\text{O III}]/\text{H}\beta) = \log([\text{N II}]/\text{H}\alpha) \tan(25^\circ) + [\tan(25^\circ) 0.45 - 0.5] \quad (2.33)$$

für $\log([\text{N II}]/\text{H}\alpha) > 0.498$

$$\text{L3: } \log([\text{O III}]/\text{H}\beta) = 0.61/(\log([\text{N II}]/\text{H}\alpha) - 0.47) + 1.19 \quad (2.34)$$

für $\log([\text{N II}]/\text{H}\alpha) > 2.9512$

Die Gleichungen (2.32) und (2.34) sind in Kewley et al. (2006) definiert. Gleichung (2.33) wurde aus den in Kauffmann et al. (2003) genannten Eigenschaften be-

stimmt. Abbildung 2.14 zeigt am Beispiel des SDSS-Spektrums mit der `sdssSpecID=404425933827604480` (2MASX J11001603+4616149) diese Spektrallinien und Abbildung 2.16 zeigt Beispiele der Spektren der vom BPT-Diagramm unterschiedenen Objekte und von einer Absorptionsliniengalaxie.

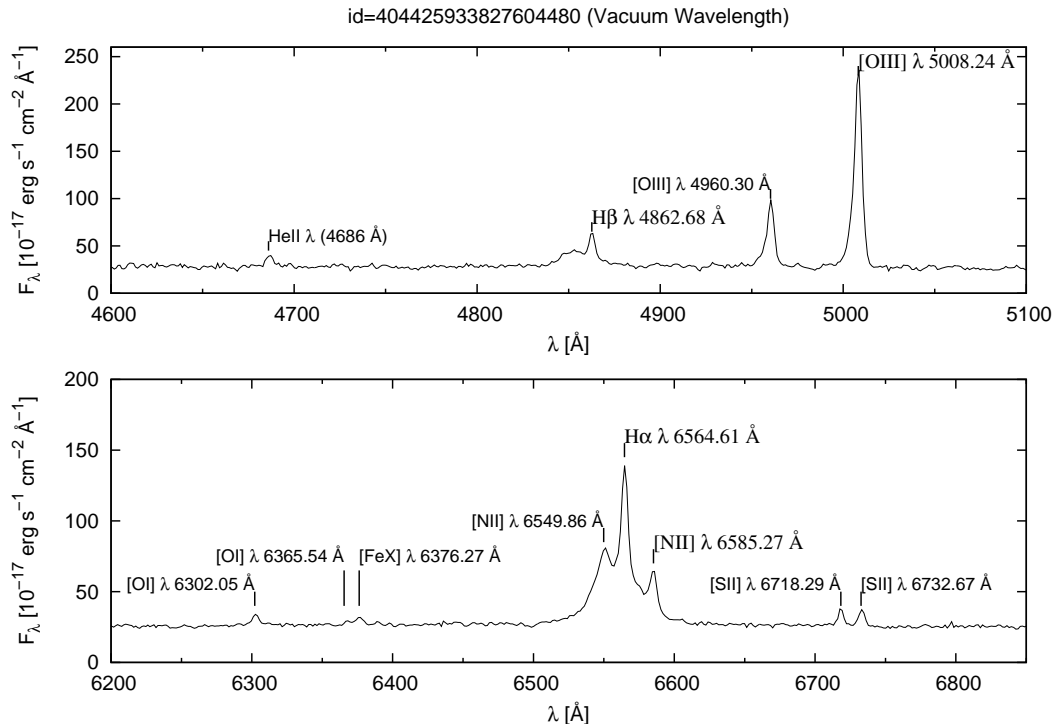


Abbildung 2.14: Beispielspektrum von 2MASX J11001603+4616149 mit der `sdssSpecID=404425933827604480`. Die vier für das BPT-Diagramm benötigten Linien sind mit größerer Schrift gekennzeichnet.

Zeichnet man nun die mit Hilfe der SDSS-Abfrage gewonnenen Werte in ein BPT-Diagramm ein (Abbildung 2.15, links) und vergleicht dies mit den Ergebnissen von Kauffmann et al. (2003), fällt folgender Unterschied auf: Im linken Diagramm ist eine Konzentration von Objekten bei x-Werten von 0.1 bis 0.01, die im rechten Diagramm nicht vorkommt.

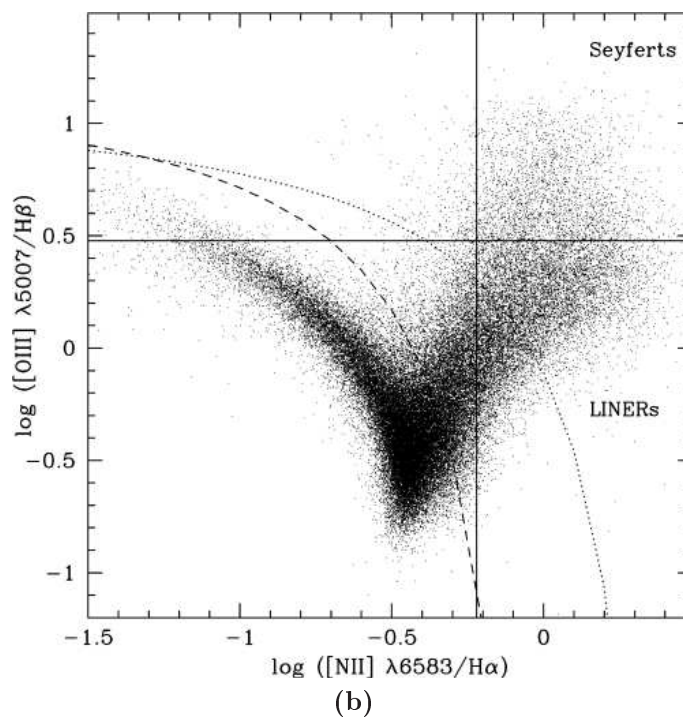
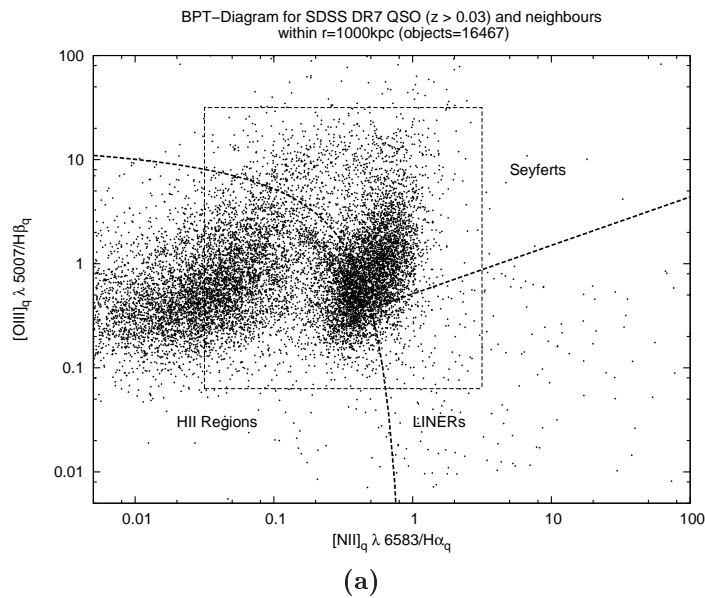


Abbildung 2.15: (a): BPT-Diagramm für alle erfragten Objekte, bei denen die benötigten Spektrallinien vermessen wurden, (b): BPT-Diagramm aus Kauffmann et al. (2003). Der gestrichelte Kasten in Abbildung (a) entspricht den Abmaßen der Abbildung (b).

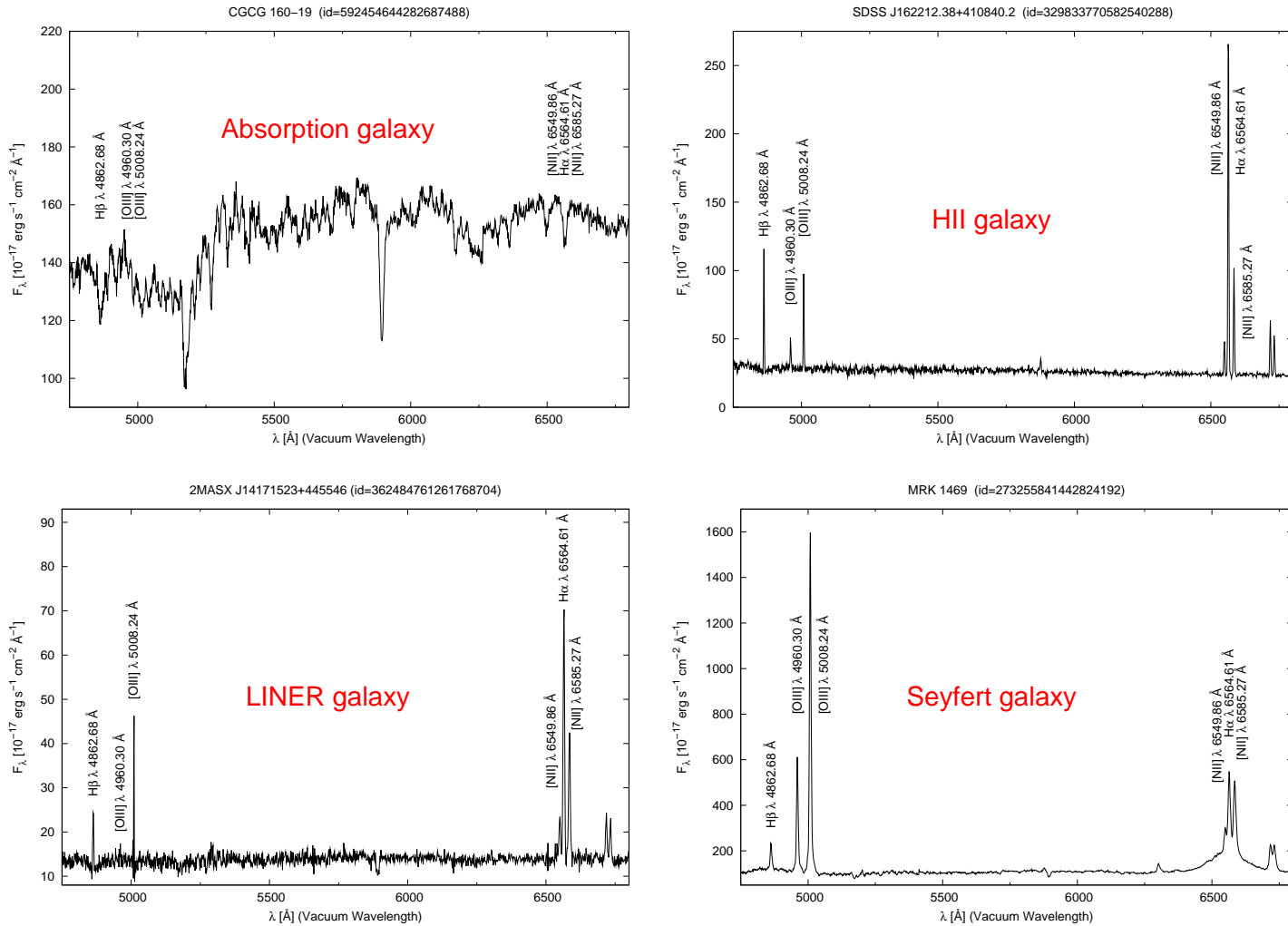


Abbildung 2.16: Beispielspektren von verschiedenen Galaxientypen: Absorptionsliniengalaxie, HII-Region, LINER, Seyfert-Galaxie (v.l.o.n.r.u.). Unter anderen sind auch die für das BPT-Diagramm verwendeten Linien markiert. Der jeweilige Name der Galaxie und die SDSS-ID des Spektrums sind jeweils über dem Spektrum angegeben.

Die Vermessung der Spektren

Die Unterschiede des BPT-Diagramms aus Kauffmann et al. (2003) und den hier erfragten Werten ergeben sich daraus, dass die veröffentlichten SDSS-Fits „single line fits“ sind³, die auch bei aus breiten und schmalen Komponenten zusammengesetzten Emissionslinien nur einen Linienfit anlegen. Das BPT-Diagramm ist aber nur für die schmalen Linienkomponenten der $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linien definiert. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die schmalen Komponenten der Balmer-Linien per Hand auszumessen. Zu diesem Zweck müssen alle notwendigen Spektren von der SDSS-Datenbank heruntergeladen werden. Dafür habe ich im Programm `sdss_iterate_query.sh` die Funktion `get_spectra` geschrieben (siehe Programmauflistung A.4 im Anhang). Nach dem Herunterladen wurden diese Spektren anhand ihrer Rotverschiebung auf ihre Ruhewellenlänge verschoben und mit dem IRAF-Task `splot` vermessen. Dabei ist beim Vermessen darauf zu achten, dass sich die Form einer schmalen Linienkomponente stark ändert, wenn sie von einer breiten Komponente geblendet wird. Abbildung 2.17 illustriert so ein Beispiel.

Ist die zu vermessene Linie klar zu erkennen und nicht durch andere Linien geblen-

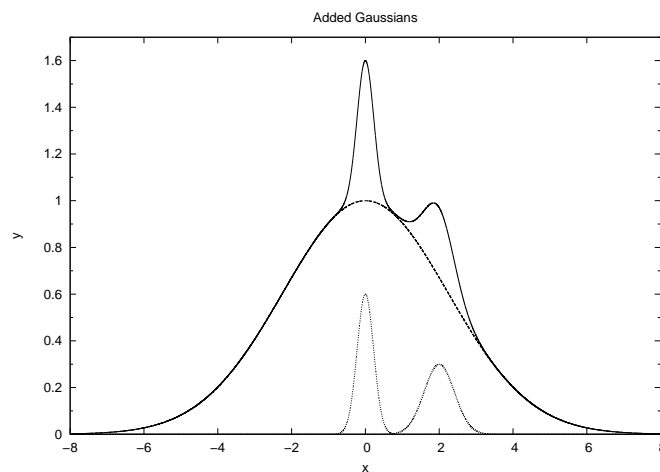


Abbildung 2.17: Beispielbild zur Illustration eines aus mehreren Gausskurven zusammengesetzten Linienprofils. Wenn man zu einer breiten Gausslinie (gestrichelte Kurve) noch zwei schmalere Gausslinien (gepunktete Linie) hinzuaddiert, entsteht ein Linienprofil aus drei Komponenten (durchgezogene Linie). Dabei ist die Änderung der Form der Linie bei $x = 2$ zu beachten. Dies muss man berücksichtigen, wenn man am zusammengesetzten Linienprofil den Fluss der schmalen Linienkomponente messen will.

det, habe ich sie durch einen einfachen Gauss-Fit vermessen (Abbildung 2.18, links oben). Für den Fall, dass die Linien aus einer schmalen und einer breiten Komponente bestehen und sich die beiden Komponenten klar voneinander abheben, habe ich die schmale Komponente auch mit einem Gauss-Fit vermessen. Zur Kontrolle

³<http://www.sdss.org/DR7/algorithms/speclinefits.html>

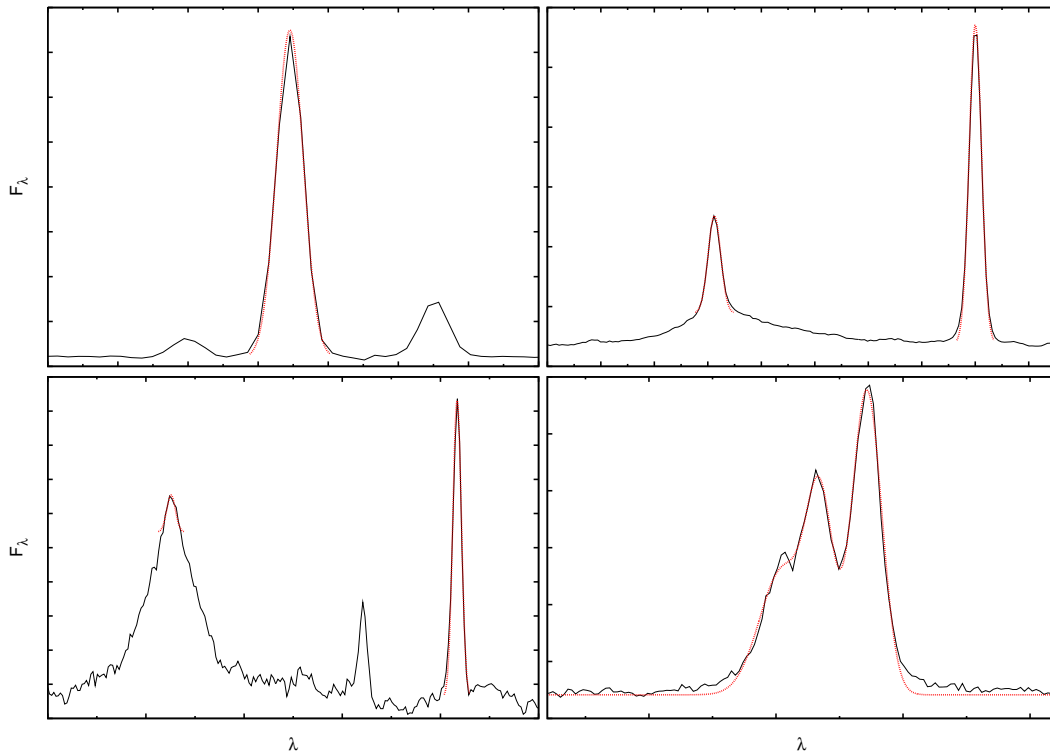


Abbildung 2.18: Vermessungsstrategien mit dem IRAF-Task `splot` bei verschiedenen Emissionslinienformen.

habe ich die Halbwertsbreite dieser Linie mit der Halbwertsbreite einer schmalen Linie verglichen (Abbildung 2.18, rechts oben). Lassen sich die beiden Komponenten nicht eindeutig trennen, habe ich denjenigen oberen Teil des Linienkomplexes als schmale Komponente angenommen, der die gleiche Halbwertsbreite wie eine andere schmale Linie ähnlicher Wellenlänge hat (Abbildung 2.18, rechts unten). Sind die Emissionslinien so ineinander geblendet, dass sie mit einem einfachen Gauss-Fit nicht vermessen werden können, habe ich einen Mehrkomponentenfit durchgeführt (Abbildung 2.18, links unten). Auch hierfür verwendete ich den IRAF-Task `splot`. Mithilfe des Programms `sdss_splot_flux.pl` (siehe Anhang A.4) habe ich die vermessenen Flusswerte aus der vom IRAF-Task `splot` angelegten Log-Datei extrahiert.

Auf diese Art und Weise habe ich die Balmerlinien der Zentralgalaxien vermessen, die einen Nachbarn besitzen und die Nachbargalaxien. Dabei habe ich für die Umgebungsbestimmung zunächst die Kosmologischen Parameter $\Omega_M = 1$ und $\Omega_\Lambda = 0$ gewählt, da diese Umgebung mit diesen Parametern die Umgebung mit $\Omega_M = 0.27$ und $\Omega_\Lambda = 0.73$ enthält. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass die Menge aller Umgebungsobjekte bezüglich $\Omega_M = 0.27$ und $\Omega_\Lambda = 0.73$ eine echte Teilmenge aller Umgebungsobjekte bezüglich $\Omega_M = 1$ und $\Omega_\Lambda = 0$ ist. Insgesamt erhalte ich damit 7948 Galaxien, bei denen die schmalen $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linien zu vermessen sind.

Von diesen konnten 112 Galaxien nicht vermessen werden. Davon war bei 49 Objekten im Bereich von $H\alpha$ und bei 2 Objekten bei $H\beta$ eine Lücke im Spektrum. In 6 Fällen war die $H\alpha$ -Linie und in 52 Fällen die $H\beta$ -Linie wegen einer Störung nicht zu

vermessen. Die Störung der $H\beta$ -Linie trat gehäuft im Rotverschiebungsbereich von $z = 0.146$ bis $z = 0.147$ in Form von starken Schwankungen der Flusswerte auf (siehe Abbildung 2.19). In zwei Fällen waren die Spektren im Bereich der $H\alpha$ -Linien stark von Störungen betroffen, die wie eine aufmodulierte Schwingung aussahen und in einem Fall fand ich die $H\alpha$ -Linie gar nicht. Zieht man diese 112 Galaxien ab, erhält man 7836 Galaxien.

Wechselt man nun auf eine Kosmologie von $\Omega_M = 0.27$ und $\Omega_\Lambda = 0.73$, beachtet die Magnitudenlimits von Gleichung (2.1) und sortiert die 26 Zentralobjekte und ihre Umgebung aus, die nicht vollständig erfasst wurden (siehe Seite 29), reduziert sich diese Anzahl auf 7055 Objekte. Das heißt im Rahmen dieser Arbeit verwende ich 7055 Galaxien, bei denen ich die schmalen $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linien vermessen habe. Davon sind 1141 Absorptionsliniengalaxien und 4405 Emissionliniengalaxien. Bei 353 Galaxien liegt $H\alpha$ und $H\beta$ in Absorption vor, die $[O\text{III}]\lambda 5007$ -Linie aber in Emission. Mit dem BPT-Diagramm (Abbildung 2.13) und den Gleichungen (2.32) bis (2.34) habe ich dann die 4405 Emissionliniengalaxien klassifiziert: Es sind 1082 HII-Regionen, 288 LINERs und 3035 Seyfertgalaxien. Von den 3035 Seyfertgalaxien liegen 419 Objekte und von den 288 LINERs liegen 169 Objekte im Composite-Bereich. Zudem teilen sich die 3035 Seyfertgalaxien in 1386 Seyfert-1- und 1649 Seyfert-2-Galaxien auf. Tabelle 2.2 fasst diese Werte zusammen.

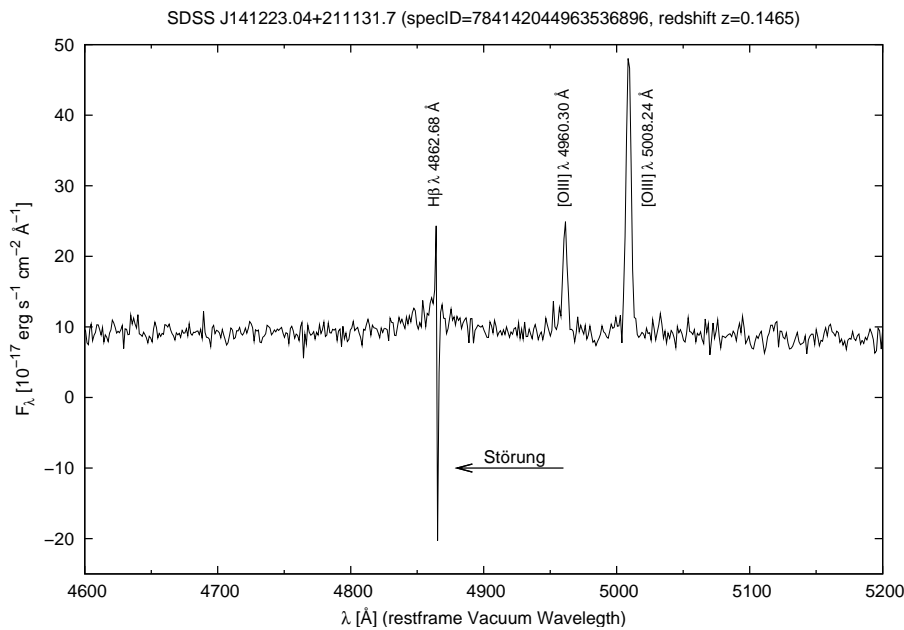


Abbildung 2.19: Beispiel eines Spektrums mit der Rotverschiebung von $z = 0.1465$ zur Illustration der im Rotverschiebungsbereich von $0.146 \lesssim z \lesssim 0.147$ vorkommenden Störung im $H\beta$ -Profil. Dadurch ließ sich die schmale $H\beta$ -Linienkomponente nicht ausmessen.

klassifizierter Galaxientyp	Anzahl
Alle vermessenen Objekte	7055
Absorptionslinienobjekte	1141
HaHbE-OIII A-Objekte ¹	353
Emissionslinienobjekte	4405
HII-Regionen	1082
LINERs	288
davon composite LINERs	169
Seyfertgalaxien (Typ 1 und 2)	3035
davon composite Seyferts	419
Seyfert-1-Galaxien	1386
Seyfert-2-Galaxien	1649

Tabelle 2.2: Anzahl der verschiedenen klassifizierten Objekte. ¹HaHbE-OIII A steht für Objekte, bei denen die H α - und H β -Linien in Absorption vorliegen, die [O III] λ 5007-Linie aber in Emission.

Kapitel 3

Spektrale Eigenschaften des Galaxiensamples

In diesem Kapitel werde ich die spektralen Eigenschaften des Galaxiensamples untersuchen, bevor ich im Kapitel 4 auf die Ergebnisse der Umgebungsuntersuchung eingehe.

3.1 Linienverhältnis von $[\text{O III}] \lambda 5007$ zu schmaler Balmerlinie

Jeder einzelne Galaxientyp (1082 HII-Regionen, 288 LINERs und 3035 Seyfertgalaxien) der 4405 vermessenen Emissionliniengalaxien zeigt eine starke Korrelation zwischen dem Logarithmus der Intensität der $[\text{O III}] \lambda 5007$ -Linie und dem Logarithmus der Intensität der schmalen Komponente der $\text{H}\alpha$ -Linie im Rotverschiebungsbereich von $0.03 \leq z \leq 0.4$. Die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Korrelation ist sowohl für den Koeffizienten nach Pearson als auch nach dem nach Spearman und Kendall gleich Null (zur Erläuterung dieser Koeffizienten siehe Abschnitt 1.3). Das gilt für die Seyfertgalaxien (Typ 1 und Typ 2), LINER und HII-Regionen gleichermaßen (Tabelle 3.1).

Es liegt sogar ein linearer Zusammenhang zwischen den Logarithmen der $[\text{O III}] \lambda 5007$ - und schmalen $\text{H}\alpha$ -Linienintensität vor, da auch die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Korrelation nach Pearson gleich Null ist.

Dabei ist die lineare Regression für die Seyfertgalaxien mit $1.00 \pm 0.02 \cdot x + 0.04 \pm 0.03$ ähnlich der der HII-Regionen mit $1.07 \pm 0.04 \cdot x - 1.20 \pm 0.09$. Die Steigung der Geraden beträgt damit recht genau eins. Abweichend davon ist die Steigung der LINERs weniger als halb so groß. Die Geradengleichung beträgt hier $0.46 \pm 0.03 \cdot x - 0.14 \pm 0.06$. Das für das Verhältnis zwischen den Logarithmen der Intensität der $[\text{O III}] \lambda 5007$ -Linie und der Intensität der schmalen Komponente der $\text{H}\alpha$ -Linie gesagte, gilt fast gleichermaßen für das Verhältnis der Logarithmen der Intensität der $[\text{O III}] \lambda 5007$ -Linie und der Intensität der schmalen Komponente der $\text{H}\beta$ -Linie. Auch hier ist

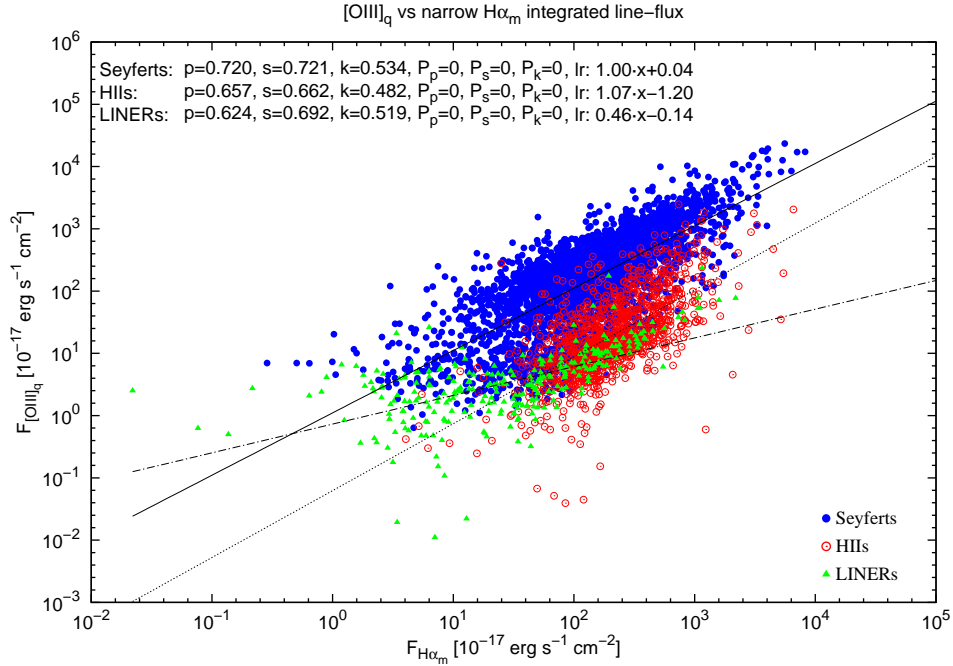


Abbildung 3.1: Doppellogarithmische Auftragung des Verhältnisses der abgefragten (Index q) [O III] $\lambda 5007$ -Linienintensität gegenüber der gemessenen (Index m) Intensität der schmalen Linienkomponente von H α .

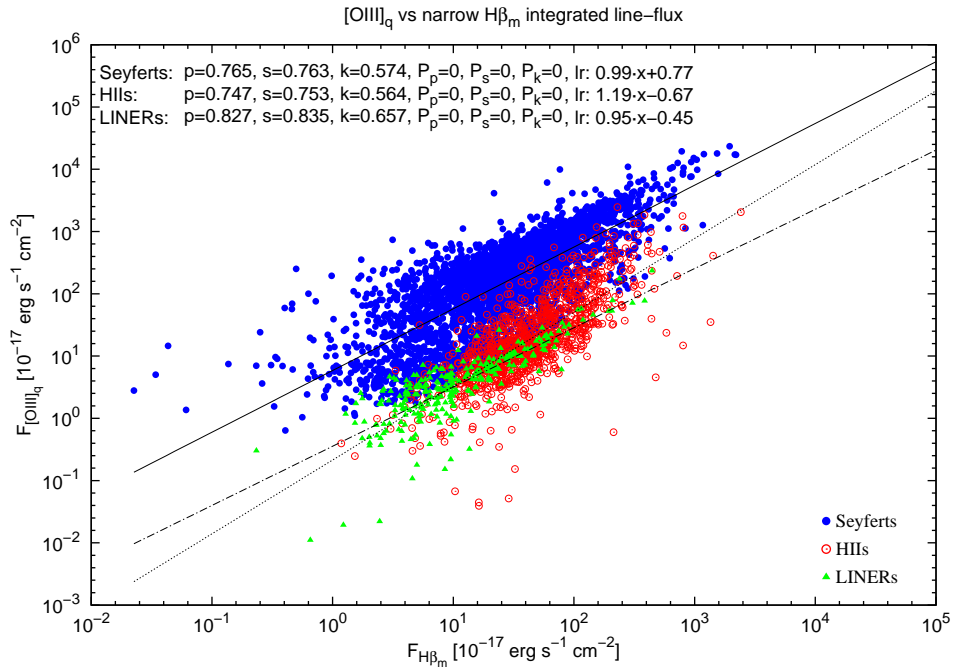


Abbildung 3.2: Doppellogarithmische Auftragung des Verhältnisses der abgefragten (Index q) [O III] $\lambda 5007$ -Linienintensität gegenüber der gemessenen (Index m) Intensität der schmalen Linienkomponente von H β .

die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Korrelation bei allen drei Galaxiensubtypen (Seyfertgalaxien, LINER und HII-Regionen) sowohl für den Koeffizienten nach Pearson als auch nach dem nach Spearman und Kendall gleich Null (Tabelle 3.1). Wie zuvor bei $H\alpha$ liegt ein linearer Zusammenhang vor. Der Anstieg der Regressionsgeraden bei den Seyfertgalaxien beträgt, wie schon bei $H\alpha$, fast eins (Geradengleichung: $0.99 \pm 0.02 \cdot x + 0.77 \pm 0.02$). Die Steigung der HII-Galaxien ist mit rund 1.2 leicht größer als zuvor bei den Betrachtungen bezüglich $H\alpha$. Den größten Unterschied bei den Steigungen gibt es bei den LINER-Galaxien. Sie ist hier mit 0.95 doppelt so groß wie bei $H\alpha$. Da die Regressionsuntersuchungen an den doppellogarithmischen Auftragungen vorgenommen wurden, müssen die Ergebnisse für den direkten Vergleich der Intensitätsverhältnisse entsprechend interpretiert werden. Das heißt aus dem linearen Zusammenhang der Logarithmen der Form $a \cdot x + b$ folgt ein Potenzgesetz für die Intensitäten der Form $10^b \cdot x^a$. Damit werden aus den linearen Regressionsgeraden die Gleichungen: $1.11 \pm 0.10 \cdot x^{1.00 \pm 0.02}$ für $H\alpha$ und $5.86 \pm 0.30 \cdot x^{0.99 \pm 0.02}$ für $H\beta$.

Da aber der Exponent bei den Seyfertgalaxien, innerhalb der Fehlergrenzen, eins ist, stehen die Intensitätsverhältnisse von [O III] λ 5007- $H\alpha$ und [O III] λ 5007- $H\beta$ sogar in einem linearen Zusammenhang. Bei den HII-Regionen ist der Exponent, bei $H\alpha$ nur leicht, bei $H\beta$ stärker von eins verschieden, sodass das Verhältnis einem Potenzgesetz folgt: $H\alpha$: $0.06 \pm 0.01 \cdot x^{1.07 \pm 0.04}$, $H\beta$: $0.21 \pm 0.03 \cdot x^{1.19 \pm 0.03}$. Die größten Unterschiede der Exponenten liegen bei den LINERs vor. Hier ist, wie schon bei den Logarithmen bemerkt, der Exponent bei $H\alpha$ mit 0.46 ± 0.03 nur halb so groß wie der bei $H\beta$, wo der Exponent fast eins ist. Daher ist das Potentgesetz bei $H\alpha$ fast ein Wurzelgesetz und bei $H\beta$ eine nahezu lineare Abhängigkeit. Dieser große Unterschied bei den LINERs ist bemerkenswert. Die vollständigen Gleichungen lauten: $H\alpha$: $0.73 \pm 0.10 \cdot x^{0.46 \pm 0.03}$, $H\beta$: $0.36 \pm 0.04 \cdot x^{0.95 \pm 0.04}$.

Alle Korrelationswerte sind in Tabelle 3.1 und die Regressionsgleichungen in Tabelle 3.2 zusammengefasst.

Linienverhältnis	r_P	r_S	r_K	P_P	P_S	P_K
Seyferts [O III] λ 5007 / $H\alpha$	0.720	0.717	0.530	0.000	0.000	0.000
HIIs [O III] λ 5007 / $H\alpha$	0.708	0.696	0.510	0.000	0.000	0.000
LINERs [O III] λ 5007 / $H\alpha$	0.641	0.703	0.531	0.000	0.000	0.000
Seyferts [O III] λ 5007 / $H\beta$	0.767	0.765	0.576	0.000	0.000	0.000
HIIs [O III] λ 5007 / $H\beta$	0.792	0.784	0.591	0.000	0.000	0.000
LINERs [O III] λ 5007 / $H\beta$	0.843	0.850	0.678	0.000	0.000	0.000

Tabelle 3.1: Korrelationsanalyse des [O III] λ 5007/ $H\alpha$ beziehungsweise [O III] λ 5007/ $H\beta$ -Verhältnisses bei doppellogarithmischer Auftragung. Korrelationskoeffizienten (r) und Wahrscheinlichkeiten zufälliger Korrelation (P) der in Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2 gegeneinander aufgetragenen Werte für LINERs, HII-Regionen und Seyfertgalaxien. Angegeben sind die Korrelationskoeffizienten nach Pearson (r_P), Spearman (r_S) und Kendall (r_K) und die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten zufälliger Korrelation nach diesen Korrelationskoeffizienten.

Linienverhältnis		lineare Regressionsgleichung	Potenzgesetz
Seyferts	[O III] $\lambda 5007 / H\alpha$	$1.00 \pm 0.01 \cdot x + 0.04 \pm 0.03$	$1.11 \pm 0.10 \cdot x^{1.00 \pm 0.02}$
HIIs	[O III] $\lambda 5007 / H\alpha$	$1.07 \pm 0.04 \cdot x - 1.20 \pm 0.09$	$0.06 \pm 0.01 \cdot x^{1.07 \pm 0.04}$
LINERs	[O III] $\lambda 5007 / H\alpha$	$0.46 \pm 0.03 \cdot x - 0.14 \pm 0.06$	$0.73 \pm 0.10 \cdot x^{0.46 \pm 0.03}$
Seyferts	[O III] $\lambda 5007 / H\beta$	$0.99 \pm 0.02 \cdot x + 0.77 \pm 0.02$	$5.86 \pm 0.30 \cdot x^{0.99 \pm 0.02}$
HIIs	[O III] $\lambda 5007 / H\beta$	$1.19 \pm 0.03 \cdot x - 0.67 \pm 0.05$	$0.21 \pm 0.03 \cdot x^{1.19 \pm 0.03}$
LINERs	[O III] $\lambda 5007 / H\beta$	$0.95 \pm 0.04 \cdot x - 0.45 \pm 0.04$	$0.36 \pm 0.04 \cdot x^{0.95 \pm 0.04}$

Tabelle 3.2: In der 2.Spalte stehen die Gleichungen der Regressiongeraden für das [O III] $\lambda 5007 / H\alpha$ - und [O III] $\lambda 5007 / H\beta$ -Verhältnis für die Seyfertgalaxien, HII-Regionen und LINER-Galaxien. Die Geraden der Form $a \cdot x + b$ bei doppellogarithmischer Auftragung gehen in ein Potenzgesetz der Form $10^b \cdot x^a$ bei linearer Auftragung über. Dieses Potenzgesetz steht in Spalte 3.

3.2 Das Balmerdekrement

Ich habe für alle Galaxien das Balmerdekrement, das Verhältnis der $H\alpha$ - zur $H\beta$ -Linienintensität der schmalen Linienkomponente, berechnet (Abbildung 3.3a). Dabei habe ich all diejenigen Objekte aussortiert, bei denen ich ein Balmerdekrement kleiner 2.76 der theoretischen Untergrenze der Case-B Rekombination (Osterbrock, 1989) gemessen habe. Die lineare Regressionsgerade zeigt einen Wert von 3.99. Durch die wenigen Datenpunkte bei hohen integrierten Linienintensitäten ist diese Regression aber recht unsicher.

Daher ist es besser, wenn man das Balmerdekrement aller Galaxien über die Rotverschiebung aufgetragen betrachtet (Abbildung 3.3b) und die Werte über ein Rotverschiebungsintervall von $\Delta z = 0.1$ (schwarze Linie) mittelt. Dann zeigt sich ein Abfall des Balmerdekrements von 5.2 auf 4.7.

Zudem ist zu bemerken, dass sich die verschiedenen Galaxientypen (HII-Regions, LINERs und Seyfertgalaxien) in verschiedenen Bereichen des Diagramms aufhalten: Bei Seyfertgalaxien und LINERs streut das Balmerdekrement über einen größeren Bereich als bei den HII-Regionen.

Daher habe ich mir nun den Verlauf des Balmerdekrements über der Rotverschiebung für die einzelnen Galaxientypen getrennt angesehen (Abbildung 3.4), indem ich die Werte über einen Bereich von $\Delta z = 0.1$ gemittelt habe. Bei den LINERs habe ich wegen der geringen Anzahl an Datenpunkten über $\Delta z = 0.14$ gemittelt.

Bei den LINER-Galaxien fällt das Balmerdekrement von 5.3 bei $z=0.03$ auf 4.6 bei $z=0.4$. Auch bei den Seyfertgalaxien geht der Wert des Balmerdekrements zurück: von 5.4 bei $z=0.03$ bis 4.6 bei $z=0.4$. Die HII-Regionen folgen diesem Trend deutlich schwächer. Hier sinkt das Balmerdekrement im vermessenen Rotverschiebungsbereich von $0.03 < z \leq 0.4$ von 4.9 auf 4.7 ab.

Zusammengefasst heißt dies, dass das Balmerdekrement in unserem Galaxiensample bei jedem Typ der Emissionsliniengalaxien (LINERs, Seyferts und HII-Regionen) mit steigender Rotverschiebung abfällt. Hierbei ist der Abfall bei den LINERs und Seyferts stärker als bei den HII-Regionen. Auch die Verteilung der Datenpunkte

(mehr Objekte mit höheren Balmerdekrementen bei $z \sim 0.1$ als bei $z \sim 0.3$) spricht für diesen Verlauf.

Für die Seyfertgalaxien zeigt sich keine Abhängigkeit des Balmerdekrements von der Kontinuumsleuchtkraft bei 5100 \AA (Abbildung 3.3c).

Bei den HII-Regionen sieht man, dass bei geringerer Kontinuumsleuchtkraft das Balmerdekrement kleiner wird. Die lässt sich auf die Absorptionskomponente der Hostgalaxie zurückführen.

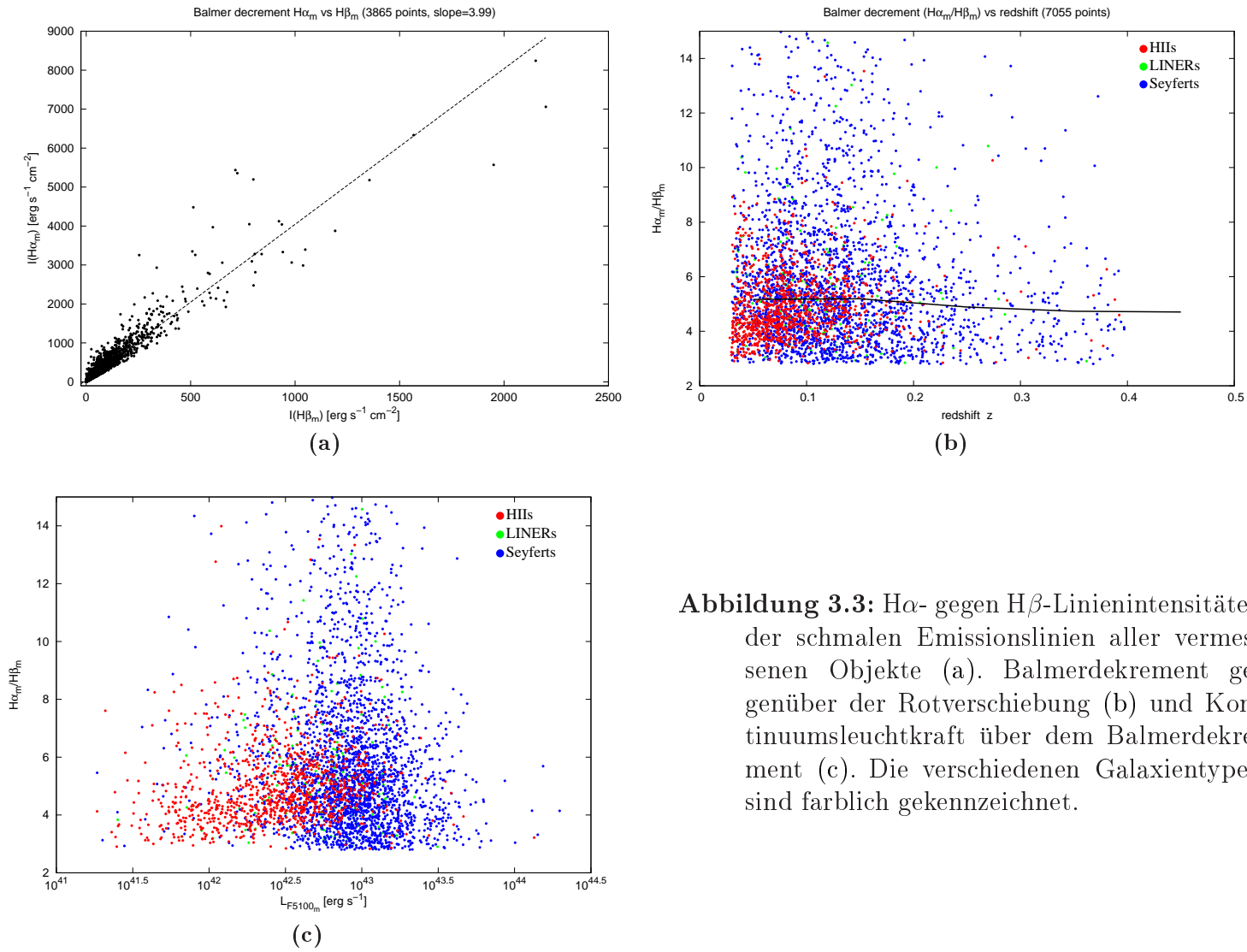


Abbildung 3.3: $H\alpha$ - gegen $H\beta$ -Linienintensitäten der schmalen Emissionslinien aller vermessenen Objekte (a). Balmerdekrement gegenüber der Rotverschiebung (b) und Kontinuumsleuchtkraft über dem Balmerdekrement (c). Die verschiedenen Galaxientypen sind farblich gekennzeichnet.

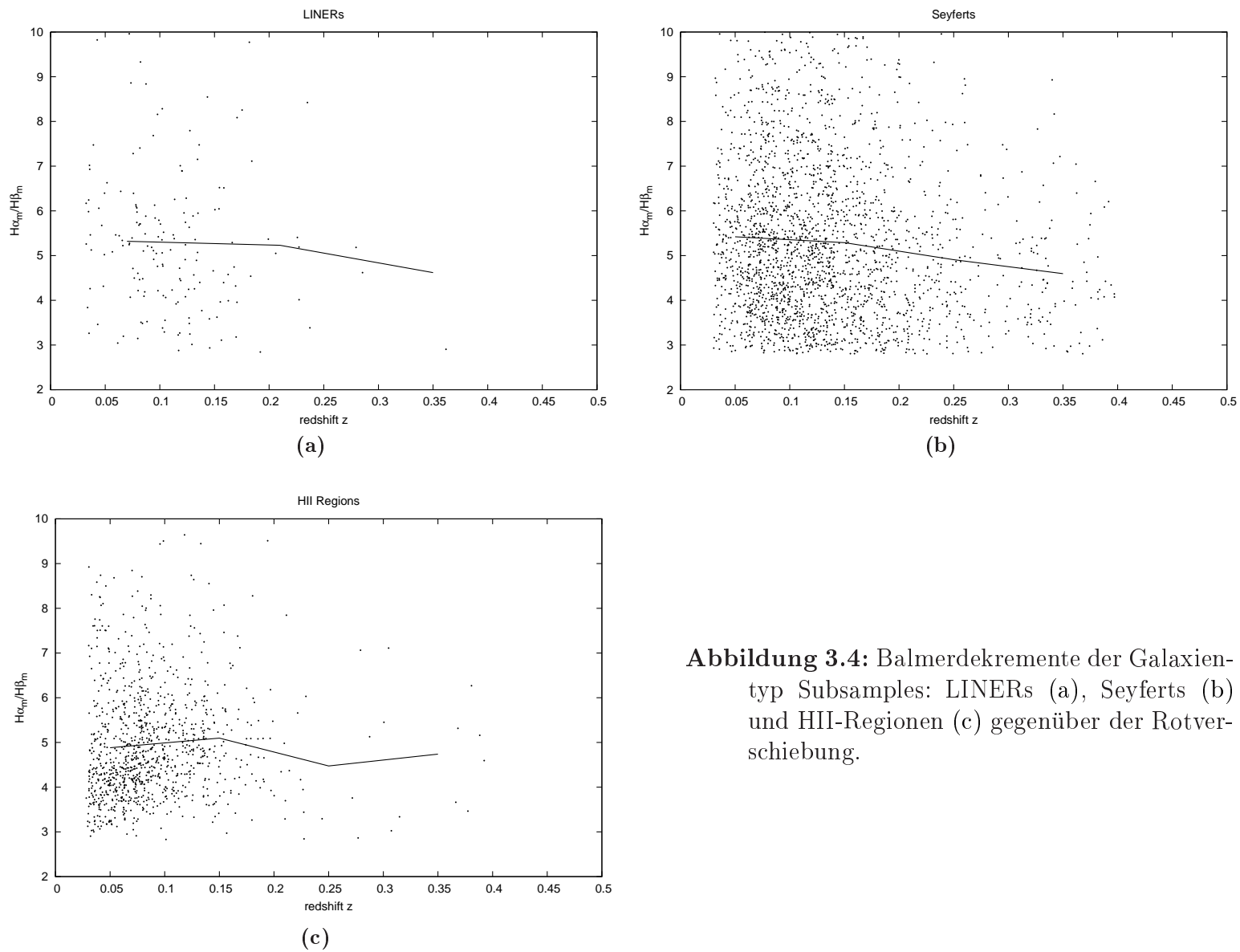


Abbildung 3.4: Balmerdekremente der Galaxientyp Subsamples: LINERs (a), Seyferts (b) und HII-Regionen (c) gegenüber der Rotverschiebung.

3.3 Die Untersuchung des Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325$ -Bereichs

3.3.1 Das [O III] $\lambda 5007$ /Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325$ -Verhältnis

Wir haben auch das [O III] $\lambda 5007$ /Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325$ -Verhältnis der integrierten Linienintensitäten untersucht. Für die [O III] $\lambda 5007$ -Linienintensität können die Werte der SDSS-Abfrage verwendet werden.

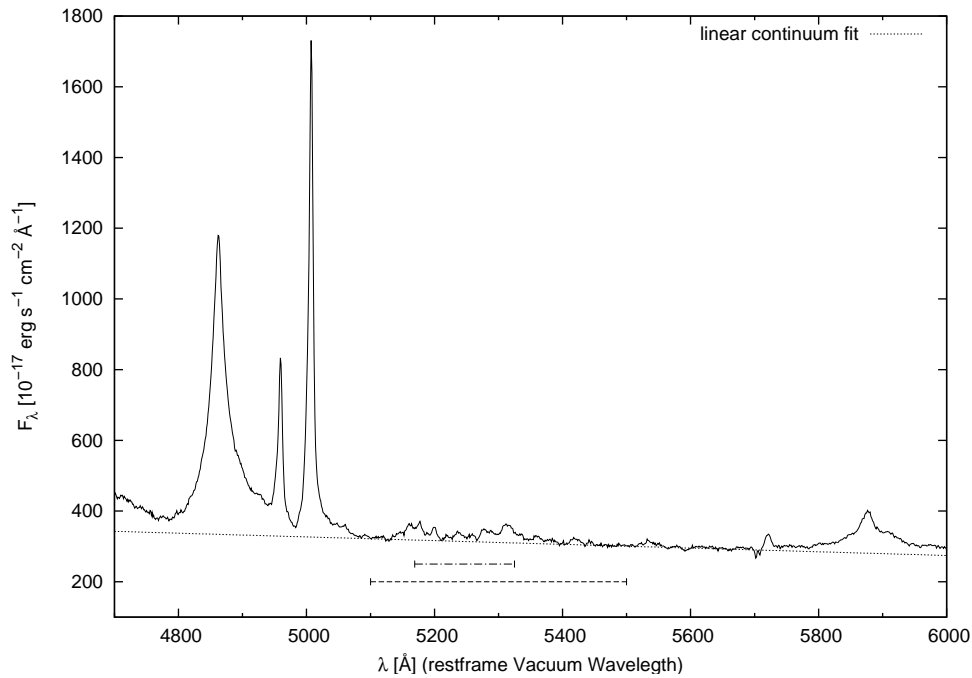


Abbildung 3.5: Beispielspektrum zur Illustration der Vorgehensweise bei der Vermessung des Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325$ -Bereichs. Die durchgezogene Linie ist das Spektrum der Galaxie CGCG 121-075 (sdssSpecID=644808454799622144), die gestrichelte Linie kennzeichnet den Bereich (5100 - 5500 Å), an dem das lineare Pseudokontinuum angefitet wurde (gepunktete Linie). Davon ausgehend habe ich über den Bereich von 5169 - 5325 Å (Strich-Punkt-Linie) den Linienfluss durch Integration bestimmt.

Der Fluss des Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325$ -Bereichs wurde hingegen aus den Spektren mit dem IRAF-Task `splot` bestimmt. Dazu wurde im Spektralbereich von 5100Å bis 5500Å ein Pseudokontinuum mit einem Polynom ersten Grades angepasst und dieses vom Spektrum abgezogen. Dann wurde der Linienfluss durch Integration des verbliebenen Spektrums von 5169Å bis 5325Å bestimmt und die Daten aus der Logdatei extrahiert (Programm `extract_flux.pl` im Anhang A.4). Dies ist bis zu einer maximalen Rotverschiebung von 0.783 möglich, da dann die Ruhewellenlänge der oberen Wellenlängengrenze der Spektren unter 5325 Å sinkt und daher der Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325$ -Bereich nicht mehr vollständig erfasst ist. Insgesamt habe

ich dadurch 19 588 Objekte (Zentral- und Nachbargalaxien) vermessen können. Trägt man das Linienverhältnis über die Rotverschiebung auf (Abbildung 3.6), sieht man einen Abfall des Verhältnisses bis zu einer Rotverschiebung von ca. 0.7. Aus der Gleichung der linearen Regression ($-103.05 \pm 40.6 \cdot x + 72.22 \pm 16$) habe ich die Stärke dieses Abfalls bestimmt: Es sinkt von einem Wert von ca. 70 bei $z = 0.03$ ab auf einen Wert von ca. 0.1 bei $z = 0.7$.

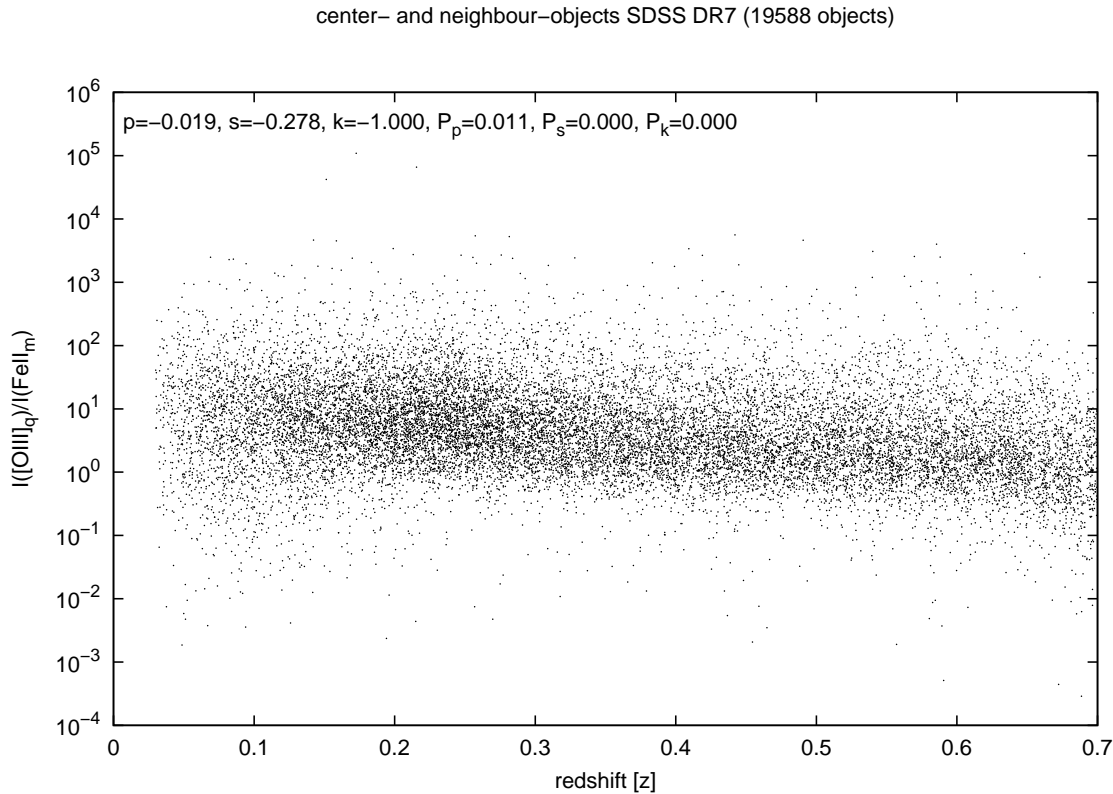


Abbildung 3.6: $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325$ -Verhältnis gegenüber der Rotverschiebung aller Objekte des Samples mit einer Rotverschiebung kleiner 0.7.

Rotverschiebungsbereich	r_P	r_S	r_K	P_P	P_S	P_K
$0.03 \leq z < 0.7$	-0.019	-0.278	-1.000	0.011	0.000	0.000

Tabelle 3.3: Korrelationsanalyse des $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325$ -Verhältnisses gegenüber der Rotverschiebung. Korrelationskoeffizienten (r) und Wahrscheinlichkeiten zufälliger Korrelation (P) der in Abbildung 3.6 gegeneinander aufgetragenen Werte. Angegeben sind die Korrelationskoeffizienten nach Pearson (r_P), Spearman (r_S) und Kendall (r_K) und die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten zufälliger Korrelation nach diesen Korrelationskoeffizienten.

Für diese Daten habe ich eine Korrelationsanalyse durchgeführt und die Korrelationskoeffizienten berechnet (Tabelle 3.3). Für die Berechnungen nach Spearman und Kendall ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Korrelation auf einem Zufall beruht,

kleiner als 0.05 Prozent. Da P_P kleiner fünf Prozent ist (1.1%), ist hier sogar die lineare Abhängigkeit signifikant. Die Gleichung der dazugehörigen linearen Regression beträgt: $-103.05 \pm 40.6 \cdot x + 72.22 \pm 16$.

Diese Korrelation kann nicht durch eine Abhängigkeit des $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{Fe II } \lambda \lambda 5169 - 5325$ -Verhältnisses von der Kontinuumsleuchtkraft F_{5100} hervorgerufen werden. Hier zeigt sich keine Korrelation (siehe Abbildung 3.7).

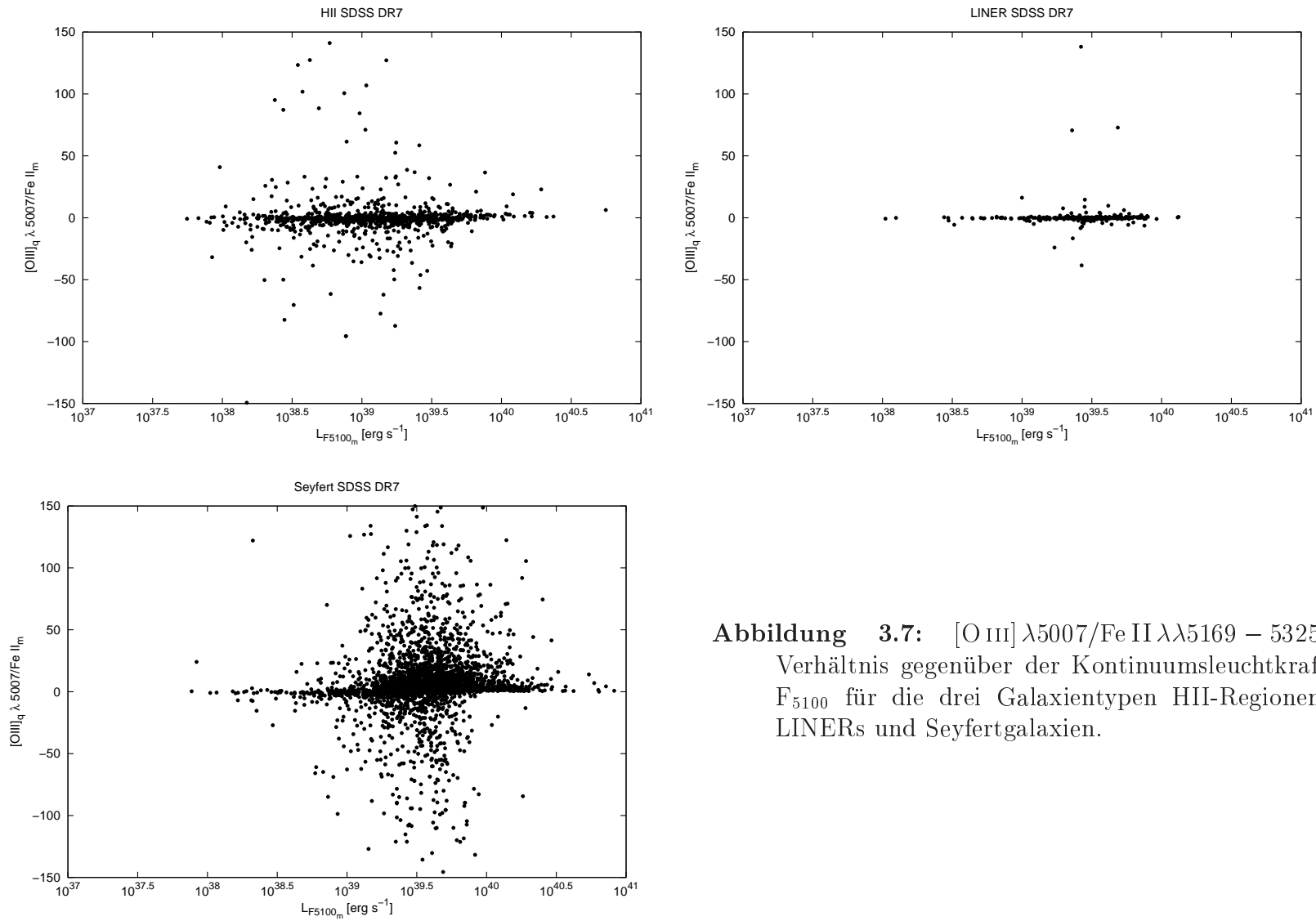


Abbildung 3.7: $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{Fe II } \lambda \lambda 5169 - 5325$ -Verhältnis gegenüber der Kontinuumsleuchtkraft F_{5100} für die drei Galaxientypen HII-Regionen, LINERs und Seyfertgalaxien.

3.3.2 Das $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ - vs. dem $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325/\text{H}\beta$ -Verhältnis

Als nächstes habe ich das $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ -Verhältnis, aufgetragen gegenüber dem $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325/\text{H}\beta$ -Verhältnis der zentralen Seyfertgalaxien untersucht (1782 Objekte, Abbildung 3.8). Für die $\text{H}\beta$ -Linienflüsse wurden die Werte der von mir vermessenen schmalen Linienkomponente verwendet. Bei der Korrelationsanalyse dieser beiden Linienverhältnisse zueinander ist die Irrtumswahrscheinlichkeit bezüglich aller drei Korrelationskoeffizienten kleiner als 10^{-10} . (Tabelle 3.4). Die Regressionsgerade hat einen positiven Gradienten und folgt der Gleichung: $1.77 \pm 0.08 \cdot x + 8.77 \pm 0.43$. Aus dieser Korrelation folgt, mit steigendem $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325/\text{H}\beta$ -Verhältnis der Seyfertgalaxie steigt auch die Stärke hoch-ionisierter Linien, wie die der $[\text{O III}] \lambda 5007$ -Linie an.

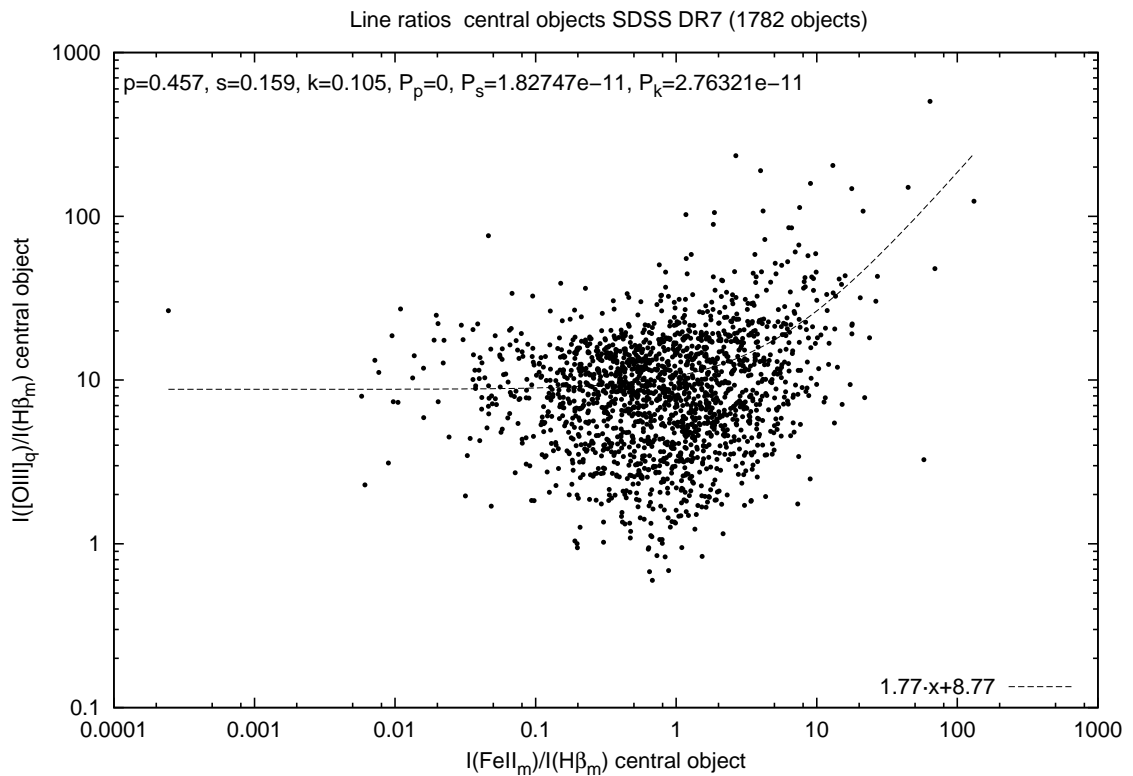


Abbildung 3.8: $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ -Verhältnis der zentralen Seyfertgalaxien gegenüber dem $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325/\text{H}\beta$ -Verhältnis der zentralen Seyfertgalaxien. Die gestrichelte Linie zeigt die Regressionsgerade, die aufgrund der doppeltlogarithmischen Auftragung „gebogen“ ist. Der Index q steht für vom SDSS abgefragte Werte (queried) und m für aus den Spektren vermessene Werte (measured).

Nun habe ich alle Zentralobjekte, die Seyfertgalaxien sind, Nachbargalaxien besitzen und bei denen ich den $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325$ -Bereich vermessen habe, betrachtet. Dies sind 1226 Objekte. Mit den von mir vermessenen integrierten Intensitäten der

schmalen $H\beta$ -Linien habe ich daraus das Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325/H\beta$ -Verhältnis gebildet.

Weiterhin habe ich die [O III] $\lambda 5007/H\beta$ -Verhältnisse der jeweiligen Nachbarobjekte ermittelt, daraus den Mittelwert gebildet und diese Werte gegeneinander aufgetragen (siehe dazu Programm `mean_neig.sh` in Anhang A.4). Damit erhalte ich das folgendes Resultat (Abbildung 3.9):

Die Wahrscheinlichkeiten einer zufälligen Korrelation unter den Korrelationskoeffizienten nach Kendall (P_S) und Spearman (P_S) haben Werte kleiner 10^{-12} , sodass mit Sicherheit eine Korrelation der Ränge vorliegt (aus höherem x-Wert folgt höherer y-Wert). Der Wahrscheinlichkeitswert nach Pearson (P_P) ist mit 0.4% in dem Bereich hoher Signifikanz, sodass davon ausgegangen werden kann, dass ein linearer Zusammenhang vorliegt. Die dazugehörige lineare Relation hat mit $0.004 \pm 0.001 \cdot x + 2.01 \pm 0.16$ einen nur leichten positiven Anstieg, was sich auch an den kleinen Werten der Korrelationskoeffizienten zeigt. Da ein hohes [O III] $\lambda 5007/H\beta$ -Verhältnis für eine Seyfertgalaxie spricht (siehe Abbildung 2.13) heißt das:

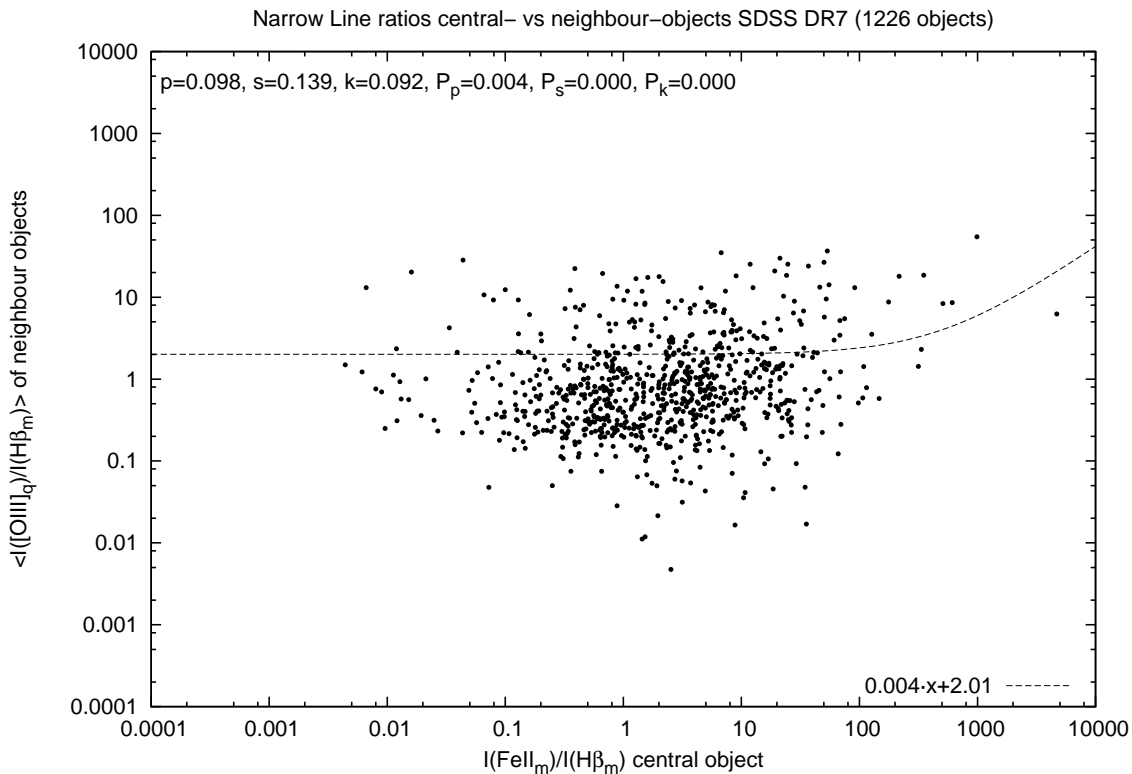


Abbildung 3.9: Mittelwerte des [O III] $\lambda 5007/H\beta$ -Verhältnis aller Nachbargalaxien gegenüber dem Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325/H\beta$ -Verhältnis des dazugehörigen Zentralobjektes. Die gestrichelte Linie zeigt die Regressionsgerade, die aufgrund der doppeltlogarithmischen Auftragung „gebogen“ ist. Der Index q steht für vom SDSS abgefragte Werte (queried) und m für aus den Spektren vermessene Werte (measured).

Je größer das Fe II $\lambda\lambda 5169 - 5325/H\beta$ -Verhältnis des Zentralobjekts ist, desto höher ist das [O III] $\lambda 5007/H\beta$ -Verhältnis des Nachbarobjekts. Das bedeutet aber, dass

das Nachbarobjekt im BPT-Diagramm weiter in Richtung Seyfertgalaxien verschoben ist. Dabei ist der Zusammenhang, aufgrund einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P_p < 0.4\%$ linear.

#	r_P	r_S	r_K	P_P	P_S	P_K
(1)	0.457	0.159	0.105	0	$1.8 \cdot 10^{-11}$	$2.8 \cdot 10^{-11}$
(2)	0.098	0.139	0.092	0.004	$4.1 \cdot 10^{-5}$	$4.3 \cdot 10^{-5}$

Tabelle 3.4: Korrelationsanalyse des $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ -Verhältnis der zentralen Seyfertgalaxien gegenüber dem $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325/\text{H}\beta$ -Verhältnis der zentralen Seyfertgalaxien (Zeile 1) und Korrelationsanalyse der Mittelwerte des $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ -Verhältnis aller Nachbargalaxien gegenüber dem $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325/\text{H}\beta$ -Verhältnis des dazugehörigen Zentralobjektes (Zeile 2). Angegeben sind die Korrelationskoeffizienten nach Pearson (r_P), Spearman (r_S) und Kendall (r_K) und die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten zufälliger Korrelation nach diesen Korrelationskoeffizienten.

3.4 Die Leuchtkraft, Linienbreiten und Linienverhältnisse

Im folgenden werde ich die Kontinuumsleuchtkräfte, die Linienleuchtkräfte der Balmerlinien und die FWHM der Balmerlinien untereinander vergleichen. Die FWHM in km s^{-1} berechnet sich mit $\text{FWHM} = \sqrt{8 \ln(2)} \cdot \sigma \cdot c/\lambda_0$, wobei c die Vakuumlichtgeschwindigkeit, λ_0 die Ruhewellenlänge der zu untersuchenden Linie und σ die bei der SDSS-Abfrage erhaltene Sigma-Breite der Linie ist (siehe Abschnitt 2.4.2). Um die Kontinuumsleuchtkraft $L_{\text{F}5100}$ in $\text{erg s}^{-1} \text{Å}^{-1}$ zu bestimmen, habe ich zunächst die Kontinuumsintensität F_{5100} in $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{Å}^{-1}$ ermittelt. Dazu habe ich den Mittelwert des Flusses im Wellenlängenbereich von 5050 bis 5150 Å mit dem Task `imstat` von IRAF ausgemessen. Die Kontinuumsleuchtkraft ergibt sich durch Multiplikation der Kontinuumsintensität mit der Größe der Oberfläche einer Kugel mit dem Radius der Leuchtkraftentfernung in cm^2 . Die Bestimmung der Leuchtkraftentfernung ist in Abschnitt A.1.2 beschrieben. Für die Linienleuchtkräfte wurden, bis auf $\text{H}\alpha$ und $\text{H}\beta$, die aus der SDSS-Datenbank ermittelten Intensitäten verwendet. Für die beiden Balmerlinien wurden die aus den Spektren bestimmten Intensitätswerte genommen (siehe dazu Abschnitt 2.4.2).

Wie auch schon zuvor sind aus den Spektren ermittelte Werte mit dem Index m und Resultate der SDSS-Datenbankabfrage mit dem Index q versehen.

3.4.1 Die Kontinuums- und Linienleuchtkraft

Trägt man die Linienleuchtkräfte der beiden Balmerlinien ($\text{H}\alpha$ und $\text{H}\beta$) gegenüber der Kontinuumsleuchtkraft auf, ergibt sich folgendes Bild (Abbildung 3.10): Die Sey-

fertgalaxien zeigen einen Trend, nach dem bei höherer Kontinuumsleuchtkraft auch die Leuchtkraft der breiten Komponente beider Balmerlinien zunimmt. Die HII-Regionen befinden sich am unteren Ende dieses Bereichs und zeigen einen ähnlichen Trend. Nur bei den LINERs ist anhand des Diagramms kein eindeutiger Trend auszumachen. Zentralobjekte ohne Nachbargalaxien mit einer Rotverschiebung kleiner 0.4 und Objekte mit einer Rotverschiebung größer 0.4 (schwarze Punkte in Abbildung 3.10) sind nicht klassifizierte Objekte. Durch eine quantitative Analyse lässt sich diese Aussage bestätigen und konkretisieren (Tabelle 3.5): Sowohl bei $H\alpha$, als auch bei $H\beta$ liegt für die HII-Regionen, die LINERs, die Seyfertgalaxien und auch für die nicht klassifizierten Zentralgalaxien ein linearer Zusammenhang vor. Die Irrtumswahrscheinlichkeit ist dabei mindestens kleiner als 10^{-8} .

Diese Korrelation zwischen der Kontinuums- und Linienleuchtkraft nichtthermischer Quellen wurde schon früh von vielen Autoren erwähnt (z.B. Searle & Sargent, 1968; Weedman, 1976; Yee & Oke, 1978).

Yee (1980) untersuchte ein Sample von 105 Quasaren, Radiogalaxien und Seyfertgalaxien und erklärte die auch von ihm gefundene Korrelation dadurch, dass die Kontinuumsemission durch Photoemission und anschließender Rekombination der Balmeremissionlinien hervorgehen.

Die Korrelation verschiedener Balmerlinien mit der Kontinuumsleuchtkraft von Narrow Line Seyfert 1 Galaxien und broad line AGNs untersuchten La Mura et al. (2007) und fanden dabei lineare Korrelationskoeffizienten von 0.937 für $H\alpha$ und 0.967 für $H\beta$, die in einer ähnlichen Größenordnung liegen wie unsere Werte für die Seyfert 1-Galaxien. La Mura et al. bestimmten die Regressionsgerade für $H\alpha$ mit $0.989 \pm 0.031 \cdot x - 0.784 \pm 1.346$ und für $H\beta$ mit $1.029 \pm 0.030 \cdot x - 3.025 \pm 1.289$. Aus meinen Daten erhalte ich für $H\alpha$ $1.28049 \pm 0.01966 \cdot x - 9.15595 \pm 0.7853$ und für $H\beta$ $1.24322 \pm 0.02196 \cdot x - 8.34818 \pm 0.8772$ als Geradengleichungen der linearen Regression und somit einen leicht höheren Anstieg.

3.4.2 Die Kontinuumsleuchtkraft und Linienvverhältnisse

Als nächstes habe ich mir die Verläufe der $[O III] \lambda 5007/H\beta$ - , $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ - und $[O I] \lambda 6302/H\alpha$ Linienvverhältnisse in Abhängigkeit der Kontinuumsleuchtkraft L_{F5100} angesehen, um etwas über die Abhängigkeit der Position eines Objekts im BPT-Diagramm von der Kontinuumsleuchtkraft zu finden. Zusätzlich zum $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ -Linienvverhältnis habe ich auch das $[O I] \lambda 6302/H\alpha$ -Linienvverhältnis betrachtet, das auch zur Klassifikation der verschiedenen Galaxientypen im BPT-Diagramm verwendet werden kann (Peterson, 1997).

Dabei zeigte sich, dass mit steigender Kontinuumsleuchtkraft bei den HII-Regionen das $[O III] \lambda 5007/H\beta$ - und das $[O I] \lambda 6302/H\alpha$ -Linienvverhältnis abnimmt (Abbildung 3.11a und b), wobei die Irrtumswahrscheinlichkeiten mindestens kleiner als 0.3% sind (Tabelle 3.6). Das bedeutet, dass sich die HII-Regionen mit größerer Kontinuumsleuchtkraft im BPT-Diagramm (siehe Abbildung 2.13) weiter links unten befinden als HII-Regionen mit geringerer Kontinuumsleuchtkraft.

Bei den LINERs besteht keine Korrelation zwischen der Kontinuumsleuchtkraft und dem $[O III] \lambda 5007/H\beta$ -Linienvverhältnis (Abbildung 3.11c). Die Irrtumswahrschein-

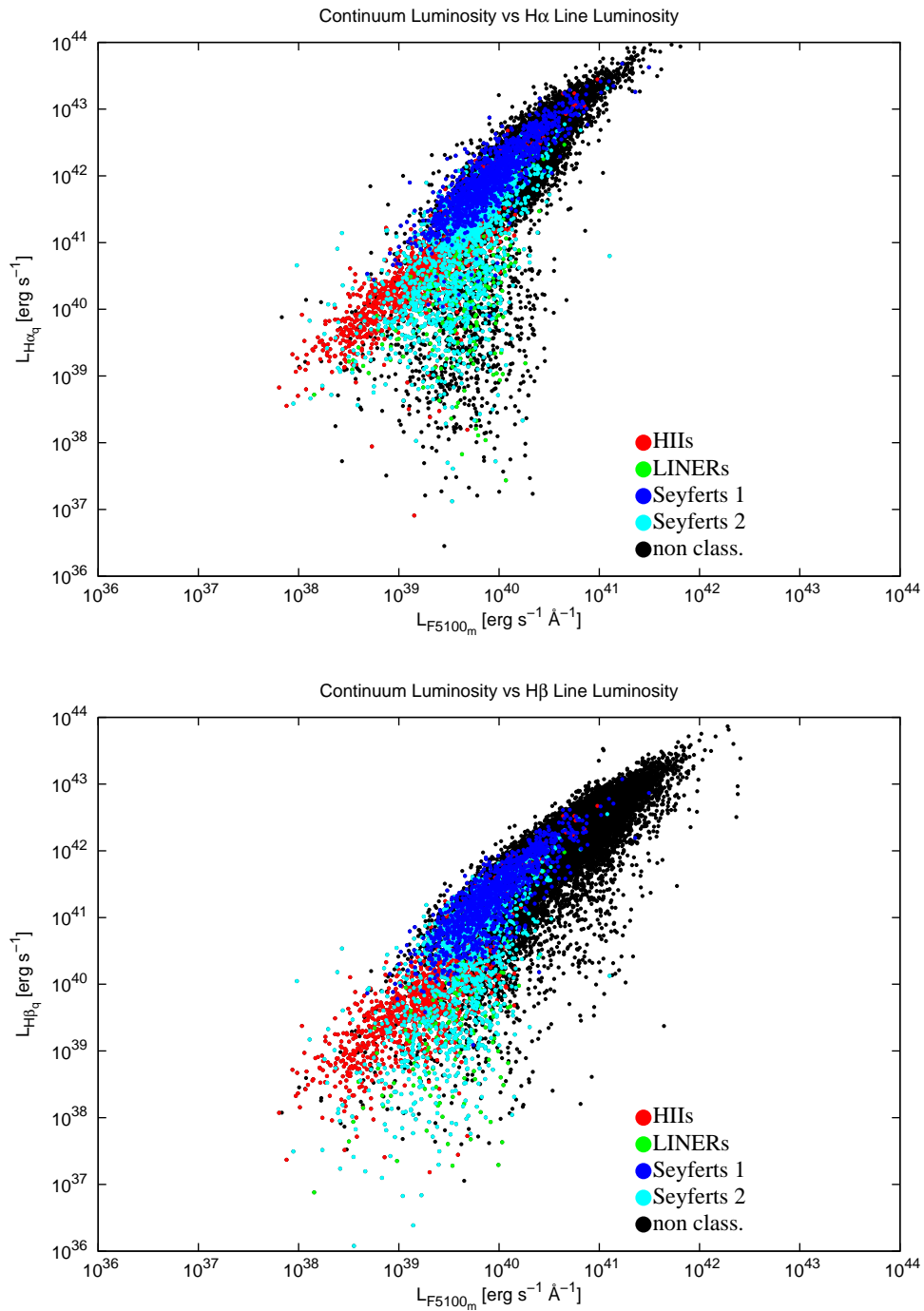


Abbildung 3.10: $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linienleuchtkräfte über der Kontinuumsleuchtkraft L_{F5100} bei 5100 \AA . Die HII-Regionen sind durch rote, LINERs durch grüne, Seyfert 1-Galaxien durch blaue und Seyfert 2-Galaxien durch cyanfarbige Punkte dargestellt. Zentralobjekte ohne Nachbargalaxien mit einer Rotverschiebung kleiner 0.4 und Objekte mit einer Rotverschiebung größer 0.4, die deshalb nicht anhand des BPT-Diagramms klassifiziert werden konnten, sind schwarz eingezeichnet.

$L_{H\alpha}$ vs L_{F5100}	r_P	r_S	r_K	P_P	P_S	P_K
HII	0.836	0.846	0.673	0	0	0
LINERs	0.778	0.761	0.575	0	0	0
Seyferts	0.726	0.765	0.584	0	0	0
Seyfert 1	0.870	0.874	0.697	0	0	0
Seyfert 2	0.620	0.655	0.481	0	0	0
Alle	0.805	0.867	1.000	0	0	0
$L_{H\beta}$ vs L_{F5100}	r_P	r_S	r_K	P_P	P_S	P_K
HII	0.346	0.322	0.223	$1.4 \cdot 10^{-08}$	$3.0 \cdot 10^{-7}$	$1.1 \cdot 10^{-7}$
LINERs	0.540	0.440	0.314	$2.8 \cdot 10^{-12}$	$1.5 \cdot 10^{-7}$	$2.3 \cdot 10^{-8}$
Seyferts	0.730	0.751	0.573	0	0	0
Seyfert 1	0.870	0.874	0.697	0	0	0
Seyfert 2	0.839	0.830	0.647	0	0	0
Alle	0.873	0.901	1.000	0	0	0

Tabelle 3.5: Korrelationskoeffizienten (r) und Wahrscheinlichkeiten zufälliger Korrelation (P) der in Abbildung 3.10 gegeneinander aufgetragenen Werte. Angegeben sind die Korrelationskoeffizienten nach Pearson (r_P), Spearman (r_S) und Kendall (r_K) und die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten zufälliger Korrelation nach diesen Korrelationskoeffizienten. Der Wert von Null bei den Wahrscheinlichkeiten bedeutet kleiner 10^{-45} . Alle steht für die klassifizierten und die nicht klassifizierten Emissionslinienobjekte.

lichkeiten sind mit Werten größer 3% zu groß. Aber die Kontinuumsleuchtkraft und das [N II] $\lambda 6583/H\alpha$ -Linienverhältnis sind miteinander positiv korreliert (Irrtumswahrscheinlichkeiten kleiner 0.018 %, Abbildung 3.11d). Das heißt, dass sich die LINERs mit steigender Kontinuumsleuchtkraft eher weiter rechts im BPT-Diagramm befinden als solche mit niedriger Kontinuumsleuchtkraft.

Bei den Seyfertgalaxien besteht eine starke Korrelation zwischen Kontinuumsleuchtkraft und dem [O III] $\lambda 5007/H\beta$ -Linienverhältnis mit einer Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Korrelation kleiner $2.2 \cdot 10^{-13}$ Prozent (Abbildung 3.11e). Dagegen ist die Kontinuumsleuchtkraft mit dem [N II] $\lambda 6583/H\alpha$ -Linienverhältnis unkorreliert, da hier die Wahrscheinlichkeit zufälliger Korrelationen über 77 % liegt (Abbildung 3.11f). Seyfertgalaxien sind somit bei steigender Kontinuumsleuchtkraft im oberen Bereich des BPT-Diagramms wiederzufinden. Zusammengefasst deutet dies auf einen Trend hin, dass sich mit steigender Kontinuumsleuchtkraft L_{F5100} bei 5100 Å die HII-Regionen weiter unten rechts, die LINERs weiter rechts und die Seyfertgalaxien weiter oben im BPT-Diagramm aufhalten.

3.4.3 Die Leuchtkraft und Linienbreiten

Sowohl die Linien-, als auch die Kontinuumsleuchtkräfte steigen zunächst mit wachsender Halbwertsbreite an (Abbildung 3.12). Bis zu einem Wert von 300 km s^{-1} erfolgt dieser Anstieg steiler, um danach bis zu ca. 6000 km s^{-1} schwächer anzusteigen. Im Gebiet des steilen Anstiegs befinden sich im wesentlichen HII-Regionen.

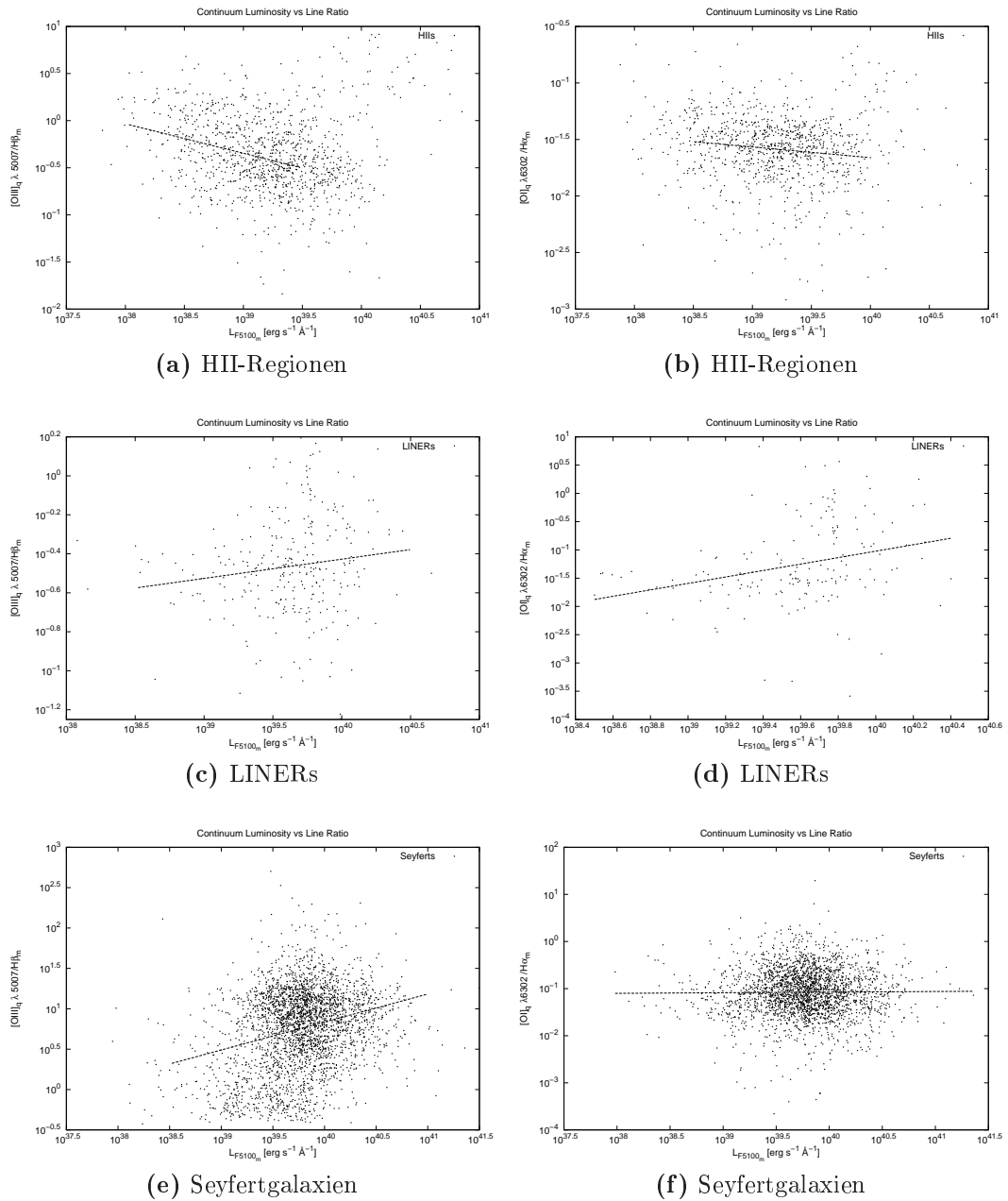


Abbildung 3.11: Kontinuumsleuchtkraft L_{F5100} bei 5100 Å gegen die $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\beta$ beziehungsweise $[\text{O I}] \lambda 6302 / \text{H}\alpha$ Linienverhältnisse für die drei Subtypen HII-Regionen, LINERs, und Seyfertgalaxien.

	r_P	r_S	r_K	P_P	P_S	P_K
L_{F5100} der HII-Regionen vs						
[O III] $\lambda 5007/H\beta$	-0.091	-0.182	-0.131	0.003	$2.5 \cdot 10^{-09}$	$1.2 \cdot 10^{-10}$
[O I] $\lambda 6302/H\alpha$	-0.112	-0.137	-0.095	0.001	$2.4 \cdot 10^{-05}$	$1.2 \cdot 10^{-05}$
[N II] $\lambda 6583/H\alpha$	-0.348	-0.192	-0.126	$1.19 \cdot 10^{-12}$	$1.5 \cdot 10^{-04}$	$1.9 \cdot 10^{-04}$
L_{F5100} der LINERs vs						
[O III] $\lambda 5007/H\beta$	0.126	0.128	0.080	0.035	0.033	0.046
[O I] $\lambda 6302/H\alpha$	0.290	0.355	0.232	$1.8 \cdot 10^{-4}$	$6.1 \cdot 10^{-06}$	$1.1 \cdot 10^{-05}$
[N II] $\lambda 6583/H\alpha$	0.296	0.392	0.256	$3.3 \cdot 10^{-07}$	$3.1 \cdot 10^{-11}$	$9.1 \cdot 10^{-11}$
L_{F5100} der Seyfertgalaxien vs						
[O III] $\lambda 5007/H\beta$	0.266	0.219	0.145	$2.2 \cdot 10^{-15}$	0	0
[O I] $\lambda 6302/H\alpha$	0.006	-0.003	-0.002	0.772	0.872	0.874
[N II] $\lambda 6583/H\alpha$	-0.085	-0.070	-0.044	$2.9 \cdot 10^{-06}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$3.0 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 3.6: Korrelationskoeffizienten (r) und Wahrscheinlichkeiten zufälliger Korrelation (P) der in Abbildung 3.11 gegeneinander aufgetragenen Werte. Angegeben sind die Korrelationskoeffizienten nach Pearson (r_P), Spearman (r_S) und Kendall (r_K) und die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten zufälliger Korrelation nach diesen Korrelationskoeffizienten. Der Wert von Null bei den Wahrscheinlichkeiten bedeutet kleiner 10^{-45} .

Zudem zeigen sich bei dieser Auftragung Halbwertbreiten-Gebiete, die von weniger Objekten bevölkert werden als die umliegenden Bereiche. Diese Lücken erstrecken sich bei den $H\alpha$ -FWHM von 1000 bis 2000 km s^{-1} (Abbildungen 3.12a und 3.12b). Bei der Auftragung der Kontinuumsleuchtkraft L_{F5100} über der $H\alpha$ -Linienbreite befinden sich in der Lücke hauptsächlich Seyfert-1-Galaxien, während sich die Seyfert-2-Galaxien links der Lücke befinden. Die LINERs befinden sich in Abbildung 3.12 im etwa gleichen Bereich wie die HII-Regionen. Eine Trennung der Seyfertpopulationen bei 4000 km s^{-1} , wie von Sulentic et al. (in press) vorgeschlagen, konnte ich in dem Sample nicht finden.

Zur Erinnerung (siehe Abschnitt 1.1.1): Seyfert 1-Galaxien sind Seyfertgalaxien, bei denen die breite Linienkomponente von $H\alpha$ und $H\beta$ breiter 1000 km s^{-1} ist und die FWHM von $H\beta$ ist größer der von [O III] $\lambda 5007$. Einige Spektren besitzen eine $H\alpha$ -Linienbreite von über 8000 km s^{-1} . Diese habe ich mir stichprobenartig angesehen und stellte fest, dass sie stark verrauscht sind. Da dann bei diesen Halbwertsbreiten der von der SDSS-Fitroutine verwendete Gaussfit ungenau wird, habe ich sie aus den Untersuchungen ausgeschlossen.

La Mura et al. (2007) haben die Bolometrische Leuchtkraft von Narrow Line Seyfert 1 Galaxien und broad line AGNs über der $H\beta$ -Leuchtkraft aufgetragen einen ähnlichen Verteilung der Datenpunkte erhalten. Daher wäre es in weiteren Untersuchungen interessant zu sehen, ob unsere Verteilung der Daten bei der $H\alpha$ -Linie auch bei der $H\beta$ -Linie zu erkennen ist.

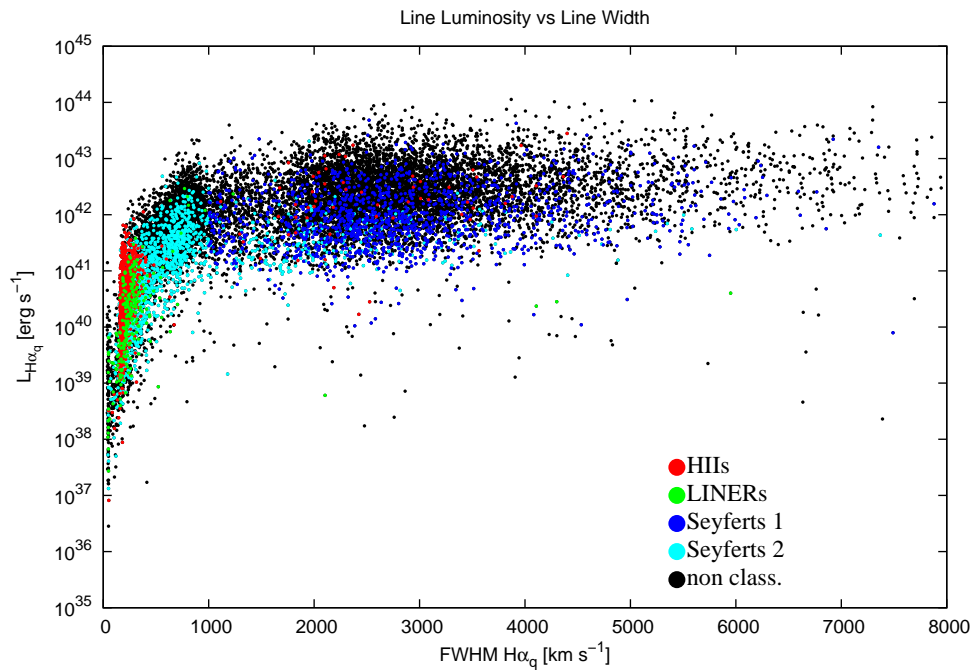
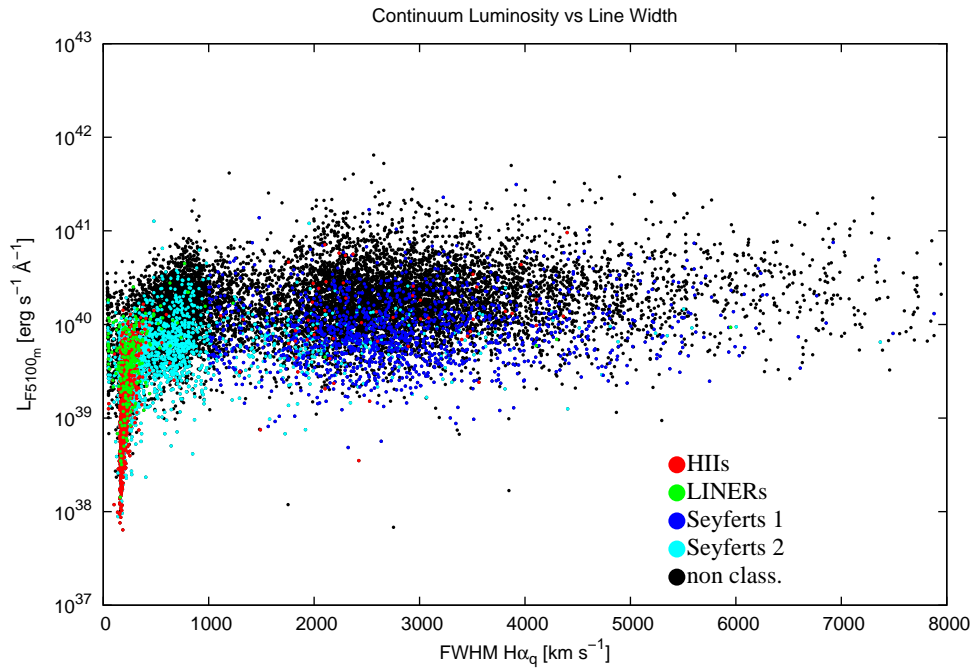


Abbildung 3.12: Kontinuumsleuchtkraft L_{F5100} bei 5100 \AA gegen die FWHM von $H\alpha$ (a) und Linienleuchtkräfte von $H\alpha$ gegen die FWHM von $H\alpha$ (b). Die verschiedenen Galaxientypen sind farbig markiert. Zentralobjekte ohne Nachbargalaxien mit einer Rotverschiebung kleiner 0.4 und Objekte mit einer Rotverschiebung größer 0.4, die deshalb nicht anhand des BPT-Diagramms klassifiziert werden konnten, sind schwarz eingezeichnet. Die Halbwertsbreiten sind die beim SDSS erfragten (Index q).

Kapitel 4

Ergebnisse der Umgebungsuntersuchung

4.1 Die Verteilung der Umgebungsobjekte

Wir wollen jetzt die räumliche Verteilung der Umgebungsobjekte von Seyfert- und nicht-Seyfertgalaxien untersuchen. Es ist zu beachten, dass bei einer linearen Auftragung der Entfernung zunehmend größere Volumina eingeschlossen werden, wenn man die Verteilung der Nachbarobjekte in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zentralobjekt beachtet.

Dadurch wird auch bei gleicher Anzahl von Objekten pro Volumeneinheit ein Anstieg der Anzahl von Objekten zu größeren Entfernungen vom Zentralobjekt hin auftreten. Um diesen Effekt zu vermeiden, wurde eine Auftragung linear zum eingeschlossenen Volumen gewählt (Abbildung 4.1).

Ich habe zwei verschiedene Histogrammartentypen erstellt: a) stellt die Verteilung hinsichtlich der projizierten Entfernung d_{proj} dar (schraffierte Boxen, d_{proj} aus Abbildung 2.7, rechts) und b) die Verteilung bezüglich des geometrischen Abstandes d (offene Boxen, d aus Abbildung 2.7, rechts).

Zur Bestimmung der optimalen Boxenbreite habe ich zunächst verschiedene Histogramme mit verschiedenen Boxenbreiten erstellt. Dazu habe ich Werte von $\Delta 0.025$, $\Delta 0.05$, $\Delta 0.1$ und $\Delta 0.5$ in Einheiten des durch die Entfernung (distance) umschlossenen Kugelvolumens von $\frac{4}{3}\pi \cdot \text{distance}^3$ gewählt. Daraus habe ich die Boxenbreite von 0.1 als diejenige ausgewählt, die für alle Samples den besten Kompromiss zwischen ausreichend detaillierter Unterteilung der x-Achse einerseits und ausreichender Anzahl von Objekten pro Balken andererseits hat.

Zunächst habe ich die Umgebung aller 2460 Zentralobjekte im Rotverschiebungsbereich von $0.03 \leq z \leq 6$ untersucht, die Nachbarobjekte besitzen. Es zeigt sich, dass sich die meisten Nachbarobjekte in der Nähe des Zentralobjekts befinden und die Anzahl der Nachbarobjekte mit zunehmendem Abstand vom Zentrum abnimmt (Abbildung 4.1). Der Form dieses Abfalls folgend wurden beide Verteilungen durch eine Funktion der Form a/x^b gefittet, wobei der Parameter b die Stärke des Abfalls der Anzahl der Nachbarobjekte zu größeren Entfernungen vom Zentralobjekt

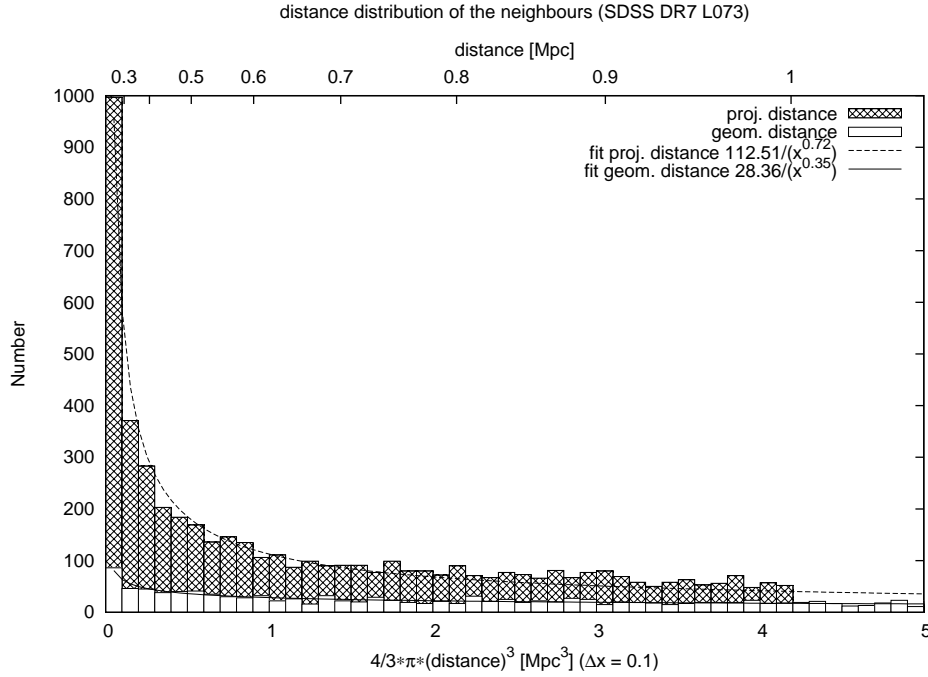


Abbildung 4.1: Anzahl der Umgebungsobjekte in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zentralobjekt. Auf der unteren Abszisse sind die Abstände in Einheiten vom eingeschlossenen Kugelvolumen in Mpc^3 aufgetragen. Im Vergleich dazu ist auf der oberen Abszisse die Entfernung in Mpc vom Zentralobjekt angegeben.

charakterisiert. Beim geometrischen Abstand ist $b = 0.35$ und beim projizierten ist $b = 0.72$. Jetzt wurde obiges Histogramm für jeden Galaxientyp einzeln erstellt, wobei hier aufgrund der Klassifizierung der Galaxientypen mit dem BPT-Diagramm der Rotverschiebungsbereich bis $z = 0.4$ reicht. Abbildung 4.2 zeigt die Verteilungen für Seyfertgalaxien (Abbildung (a)), HII-Region (Abbildung (b)), LINER (Abbildung (c)) und Absorptionsliniengalaxien (Abbildung (d)). Für den geometrischen Abstand streut der Parameter b für jeden Galaxientyp um den Wert von b für das gesamte Sample: 0.29 für die Seyfertgalaxien, 0.39 für die HII-Regionen, 0.32 für die Absorptionsliniengalaxien, und 0.42 für die LINERs.

Wie schon in Abschnitt 2.2 erläutert, ist es nicht eindeutig möglich, zwischen der Eigenbewegung der Objekte und dem Abstand parallel zum Sehstrahl (d_z in Abbildung 2.7, rechts) zu unterscheiden. Deshalb untersuche ich im folgenden nur die Verteilung bezüglich des projizierten Abstandes.

Hier lässt sich nun ein leichter Trend bzgl. der Werte des Parameters b erkennen: Von den Seyfertgalaxien ($b = 0.77$) über die LINERs ($b = 0.74$) und HII-Regionen ($b = 0.73$) zu den Absorptionsliniengalaxien ($b = 0.69$) nimmt der Wert des Parameters ab, d.h. Seyfertgalaxien sind eher in der Nähe eines AGNs anzutreffen als LINERs und HII-Regionen. Absorptionsliniengalaxien sind relativ zu den Seyfertgalaxien am seltensten nahe des AGNs.

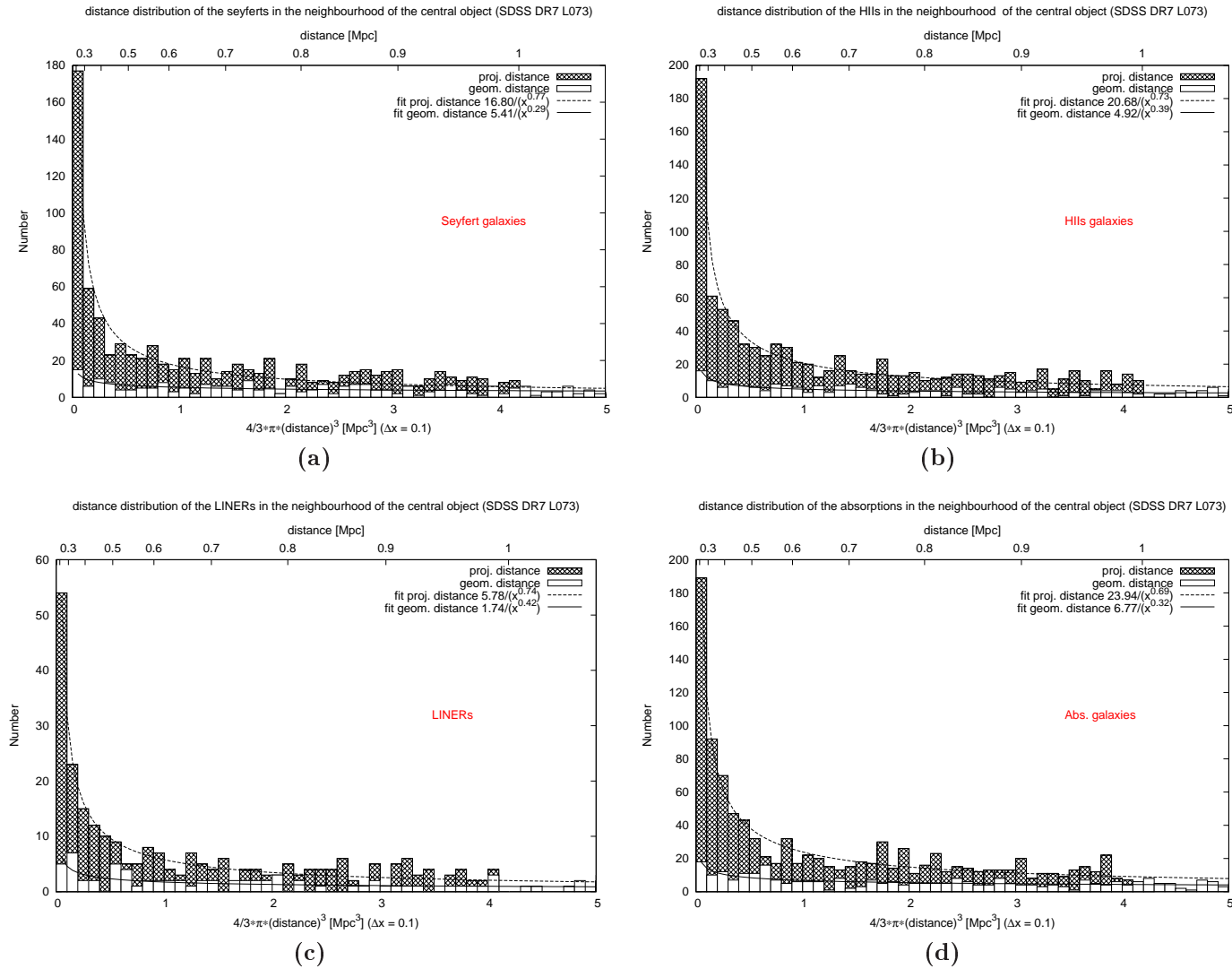


Abbildung 4.2: Dieselbe Auftragung wie in Abbildung 4.1, wobei als Nachbargalaxien nur Seyferts (a), HII-Regionen (b), LINERs (c) und Absorptionslinienobjekte (d) betrachtet werden.

Weiter habe ich untersucht, ob die Verteilung der Umgebungsobjekte von der absoluten Leuchtkraft der Zentralobjekte abhängt. Dazu habe ich die scheinbare i-Band Magnitude (m_i) verwendet, die ich aus der SQL-Abfrage der Zentralgalaxien (siehe Abschnitt 2.1) erhalten hatte. Daraus habe ich mit dem Entfernungsmodul EM und der K-Korrektur $K(z)$ die absolute i-Band-Magnitude M_i mit der Beziehung $M_i = m_i - EM - K(z)$ berechnet (siehe dazu Programm `kc.sh` im Anhang A.4). Das Entfernungsmodul ist durch $EM = 5 \cdot \log(D_L/10\text{pc})$ definiert, wobei D_L die Leuchtkraftentfernung aus Gleichung (A.6) ist. Für die K-Korrektur habe ich die Werte aus Richards et al. (2006, dortige Tabelle 4) verwendet, die von Richards et al. speziell für das SDSS-i-Band berechnet wurden.

Von den 5091 Nachbarobjekten im QSO-Sample besitzen 5089 Nachbarobjekte ein Zentralobjekt, für das ein m_i -Wert berechnet worden war. Wählt man nun eine Magnitude von $M_i = -21.32$ als Grenze, lassen sich die 5089 Nachbarobjekte in zwei nahezu gleichgroße Teilsample aufteilen (2550 Objekte mit $M_i < -21.32$ und 2539 Objekte $M_i \geq -21.32$). In Abbildung 4.3b ist nun die Verteilung der Nachbarobjekte von Zentralobjekten mit $M_i < -21.32$ aufgetragen und in Abbildung 4.3b für Nachbarobjekte von Zentralobjekten mit $M_i \geq -21.32$ aufgetragen. Für den Parameter b erhalte ich Werte von $b = 0.71$ für die Zentralobjekte mit niedriger M_i -Magnitude und $b = 0.73$ für die Zentralobjekte höherer Magnitude.

Strand et al. (2008) untersuchten die Umgebung von AGNs, ausgewählt aus der fünften Data Release (DR5) des SDSS, und fanden, dass sich in der Umgebung leuchtstarker AGNs mehr Objekte befinden als in der Umgebung leuchtschwacher AGNs. In meinen Daten finde ich, basierend auf den Werten des Parameters b , dass sich bei leuchtstärkeren QSOs mehr Objekte in direkter Nachbarschaft befinden als bei leuchtschwächeren QSOs. Durch Vergleich der Abbildung 4.4a mit Abbildung 4.4b erkennt man, dass der Unterschied in der Verteilung der Objekte im Bereich bis zu 0.1 Mpc am stärksten ist: Es sind 97 Nachbarobjekte bei Zentralgalaxien mit $M_i \geq -21.32$ und 147 Nachbarobjekte bei Zentralgalaxien mit $M_i < -21.32$ in dem Bereich bis 0.1 Mpc. Somit besitzen die leuchtstärkeren QSOs ca. 50% mehr Nachbarobjekte in der Umgebung bis 0.1 Mpc als die leuchtschwächeren QSOs. Weiter stellt sich nun die Frage, ob sich die Verteilung der Umgebungsobjekte bei nicht-aktiven Zentralobjekten - im Vergleich zu aktiven Zentralobjekten - ändert.

4.1.1 Vergleichssample 1 - Nicht-aktive Zentralgalaxien aus dem Ursprungssample

Zur Untersuchung der Verteilung von Nachbarobjekten um nicht-aktive Zentralobjekte habe ich aus dem Sample alle diejenigen Galaxien ausgewählt, bei denen $H\alpha$ und $H\beta$ in Absorption vorliegen und diese als Zentralgalaxien eines Vergleichssamples 1 gewählt. Dabei habe ich diese Absorptionsliniengalaxien aus meinem parallel mituntersuchten Sample mit einer Kosmologie von $\Omega_\Lambda = 0$ ausgewählt, da in diesem Sample die Anzahl der Objekte größer ist (1286 Absorptionsliniengalaxien gegenüber 1141 Absorptionsliniengalaxien).

Von diesen 1286 Galaxien erfüllen 1276 die in Gleichung (2.1) angegebene Bedingungen und ich habe, wie in Abschnitt 2.4.1 beschrieben, die Umgebung mit dem

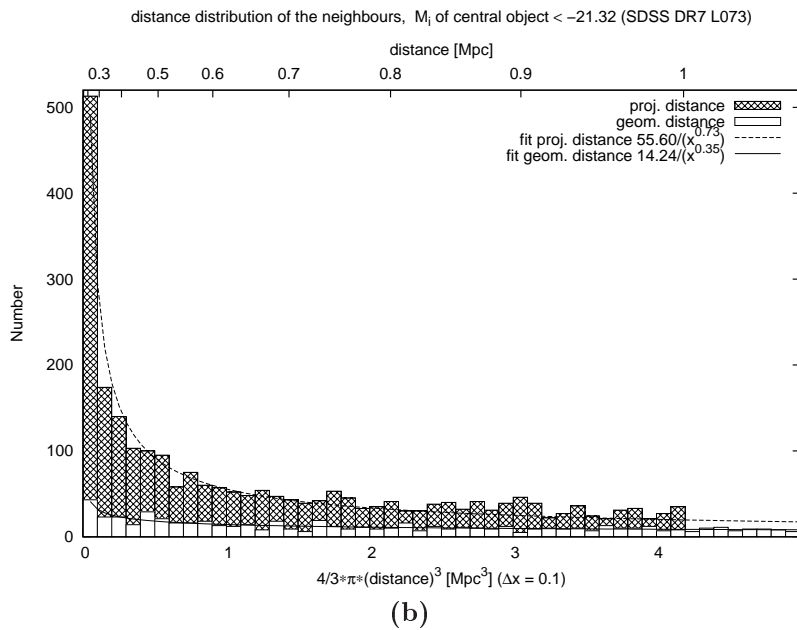
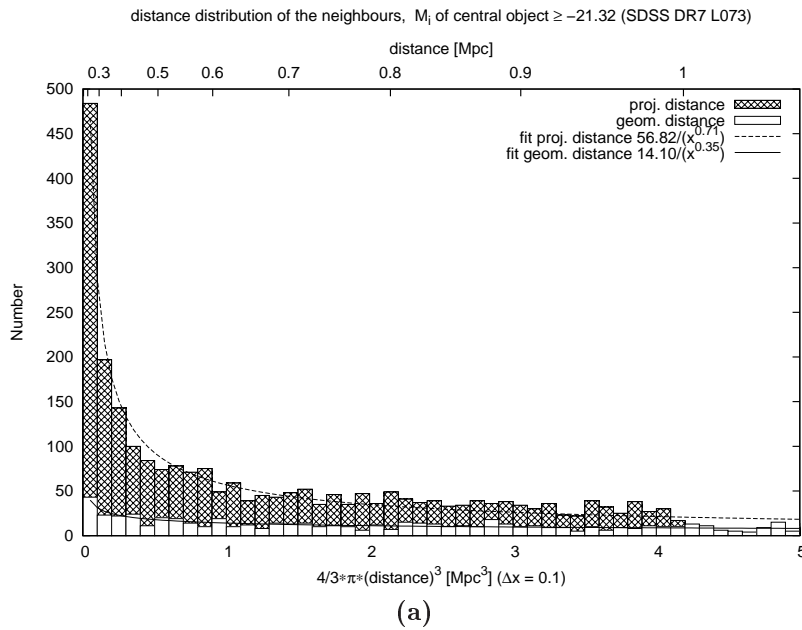


Abbildung 4.3: Anzahl der Umgebungsobjekte in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zentralobjekt. Die absolute i-Band Magnitude des Zentralobjekts ist in Abbildung (a) nicht kleiner als 21^M32 und in Abbildung (b) kleiner als 21^M32 . Auf der unteren Abszisse sind die Abstände in Einheiten vom eingeschlossenen Kugelvolumen in Mpc^3 aufgetragen. Im Vergleich dazu ist auf der oberen Abszisse die Entfernung in Mpc vom Zentralobjekt angegeben.

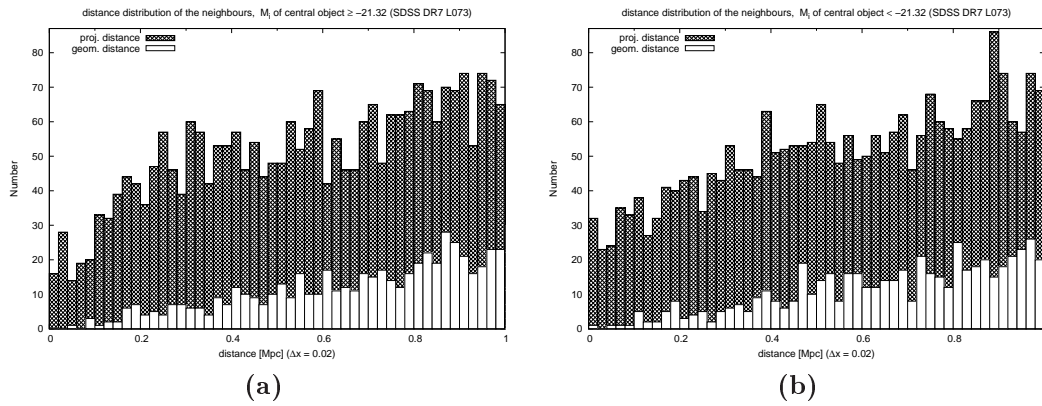


Abbildung 4.4: Anzahl der Umgebungsobjekte des QSO-Samples in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zentralobjekt. Für Zentralobjekte mit $M_i \geq -21.32$ (a) und Zentralobjekte mit $M_i < -21.32$ (b). Die Entfernung ist in diesem Fall linear in Megaparsec angegeben.

Programm `sdss_mksql.sh` abgefragt. Die Form der SQL-Abfrage ist identisch mit der Abfrage in Abschnitt 2.4.1. Aufgrund der relativ geringen Anzahl von Zentralobjekten in diesem Sample, dauerte der Durchlauf von `sdss_mksql.sh` und `sdss_iterate_query.sh` nur ca. 9 Stunden. Abbildung 4.5 zeigt das Ergebnis dieser Nachbarschaftsabfrage.

Entsprechend der Anzahl der Zentralgalaxien habe ich 1276 Umgebungen unter-

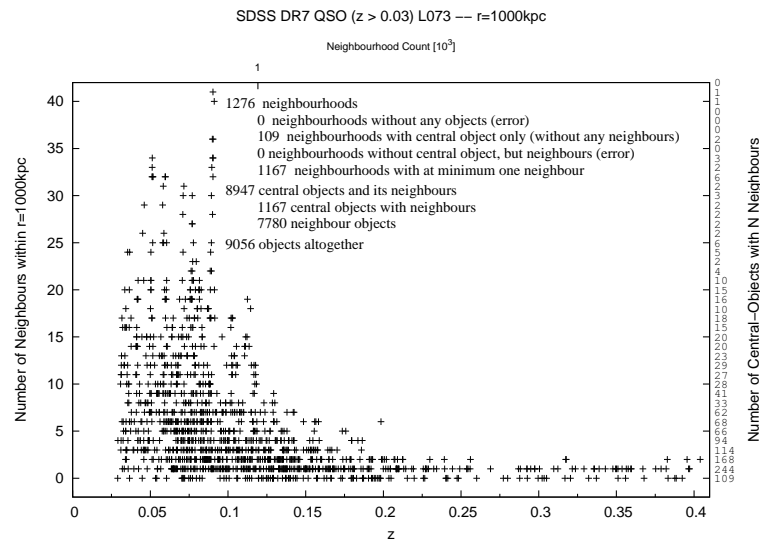


Abbildung 4.5: Verteilung der Anzahl der Nachbarn über der Rotverschiebung für das Vergleichssample 1. Auf der linken Ordinate ist dargestellt, wieviele Nachbarn ein Zentralobjekt hat. Die rechte Ordinate zeigt an, wieviele Zentralobjekte eine bestimmte Anzahl von Nachbarn besitzen. Die untere Abszisse zeigt die Rotverschiebung an und die obere die aufsummierte Anzahl der Zentralobjekte. Die Statistik in der Mitte der Abbildung wird im Text näher erläutert.

sucht. In 109 Umgebungen habe ich nur das Zentralobjekt gefunden, d.h. es gibt hier keine Nachbarn. Somit gibt es 1167 Umgebungen, in denen sich das Zentralobjekt und mindestens ein Nachbar befindet. Es gibt 7780 Nachbarobjekte. Mit den 1167 Zentralobjekten erhält man somit ein Sample von 8947 Objekten.

Zur Erstellung des Nachbarschaftshistogramms habe ich jetzt das Programm `make_flux.sh`, diesmal ohne die Abfrage der Linienintensitäten, ausgeführt. Nur die Routinen zum Sortieren der Daten wurden verwendet. Dieser Schritt dauerte weniger als eine Minute. Ausgehend von diesen Daten konnte nun analog zu Abbildung 4.1 die Umgebungsverteilung für das Vergleichssample ermittelt werden (Abbildung 4.6).

Hier hat nun der Parameter b des projizierten Abstandes einen Wert von 0.68, der

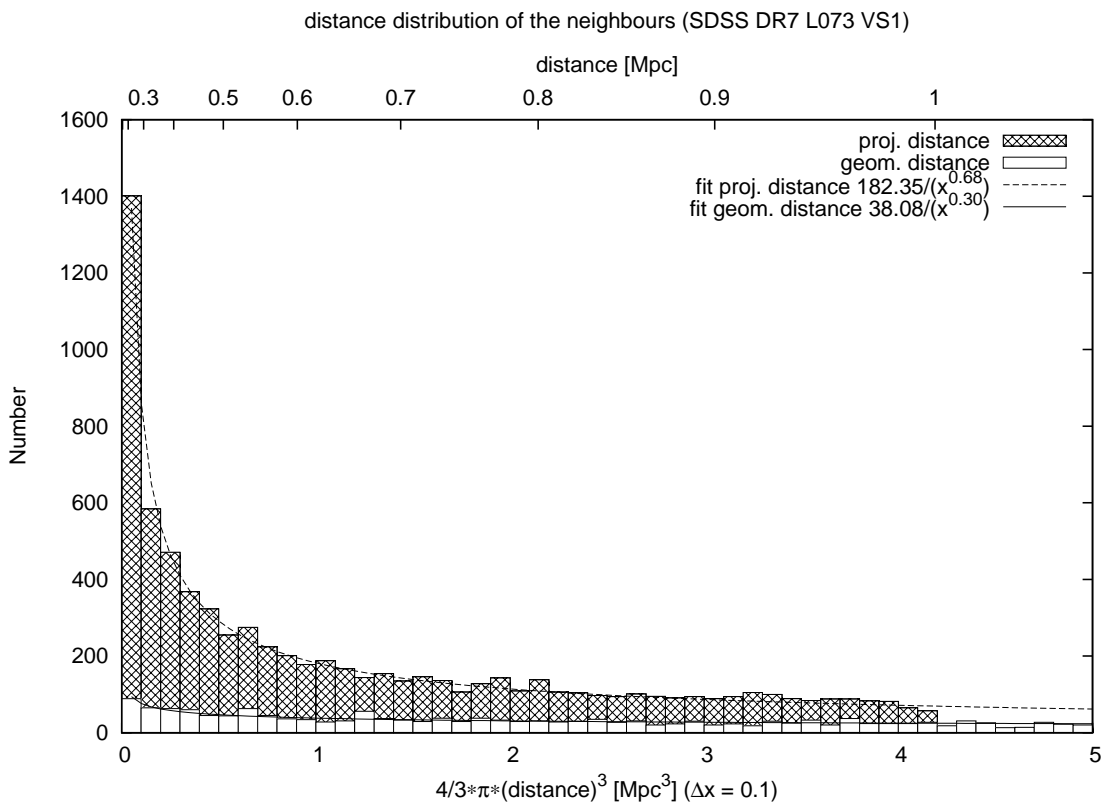


Abbildung 4.6: Anzahl der Umgebungsobjekte in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zentralobjekt für das Vergleichssample 1. Auf der unteren Abszisse sind die Abstände in Einheiten vom eingeschlossenen Kugelvolumen in Mpc^3 aufgetragen. Im Vergleich dazu ist auf der oberen Abszisse die Entfernung in Mpc vom Zentralobjekt angegeben.

geringer ist als der Wert für das ursprüngliche AGN-Sample (0.72).

Aufgrund dieses Ergebnisses lässt sich vermuten, dass sich bei nicht-aktiven Zentralgalaxien generell weniger Objekte in direkter Nachbarschaft zum Zentrum befinden als bei aktiven Zentralgalaxien. Deshalb habe ich ein zweites Sample mit nicht-aktiven Zentralgalaxien erstellt, um diese Vermutung zu verifizieren.

4.1.2 Vergleichssample 2 - Nicht-aktive Zentralgalaxien aus neuer Abfrage

Um die in Abschnitt 4.1.1 gemachten Aussagen auf eine breitere statistische Grundlage zu stellen, habe ich ein zweites, größeres Vergleichssample erstellt. Dazu habe ich eine SQL-Abfrage formuliert, die alle Galaxien ab einer Rotverschiebung von $z \geq 0.03$ umfasst, bei denen $H\alpha$ und $H\beta$ in Absorption vorliegen:

```
SELECT s.specObjID, s.ra, s.dec, s.z, s.plate, s.mjd, s.fiberid, p.type,
p.u, p.g, p.r, p.i, p.z, p.Err_u, p.Err_g, p.Err_r, p.Err_i, p.Err_z,
Hb_4863.height as Hb_4863_height, Ha_6565.height as Ha_6565_height
FROM BESTDR7..SpecObj as s, BESTDR7..PhotoObj as p,
BESTDR7..SpecLine as Hb_4863, BESTDR7..SpecLine as Ha_6565
WHERE p.objid=s.bestobjid AND s.specObjId=Ha_6565.specObjId
AND Hb_4863.specObjId = Ha_6565.specObjId AND s.z > 0.03
AND s.specclass = 2 AND p.type = 3
AND Hb_4863.lineID = '4863' AND Ha_6565.lineID = '6565'
AND Ha_6565.height < 0 AND Hb_4863.height < 0
AND Ha_6565.height > -9999 AND Hb_4863.height > -9999
ORDER BY s.z, s.specObjID
```

Diese Abfrage ergab nach ca. 33 min eine Liste von 256 032 Objekten. Nun habe ich, wie schon in Abschnitt 2.4.1 beschrieben, mit dem Programm `sdss_mksql.sh` die Umgebungsabfragen gestartet. Die Form der SQL-Abfrage ist auch hier identisch mit der Abfrage in Abschnitt 2.4.1. Da die Anzahl der Zentralobjekte dieses Vergleichssamples um ein wesentliches größer ist als die des Ursprungssamples, benötigte diese Abfrage ca. 9 Tage. Die einzelnen Funktionen des Programms `sdss_iterate_query.sh` (siehe Abschnitt 2.4.1) benötigten nun 73 Tage für `calc_distance`, 39 Tage für `cut_distance` und 4 Tage für `make_double`. Abbildung 4.7 zeigt nun das Ergebnis dieser Nachbarschaftsabfrage. Entsprechend der Anzahl der Zentralgalaxien wurden 255 120 Umgebungen untersucht. In 128 437 Nachbarschaften wurde nur das Zentralobjekt gefunden, d.h. es gibt hier keine Nachbarn. Somit gibt es 126 683 Umgebungen, bei denen das Zentralobjekt und mindestens ein Nachbar gefunden wurde. Es gibt 544 668 Nachbarobjekte. Mit den 255 120 Zentralobjekten erhält man nun ein Sample von 799 788 Objekten. Zur Erstellung des Nachbarschaftshistogramms wurde auch hier das Programm `make_flux.sh` - ohne die Abfrage der Linienintensitäten und nur mit den Routinen zum Sortieren der Daten - verwendet. Aufgrund der großen Datenfülle dauert der Lauf dieses Programms in diesem Fall wiederum 77 Stunden. Ausgehend von diesen Daten konnte nun analog zu Abbildung 4.1 die Umgebungsverteilung für das zweite Vergleichssample ermittelt werden (Abbildung 4.8).

Hier hat nun der Parameter b des projizierten Abstandes einen Wert von 0.69, der zwar leicht größer ist als der Wert vom Vergleichssample 1 (0.68), aber immer noch kleiner als der Wert für das ursprüngliche QSO-Sample (0.72). Das heißt, dass sich bei nicht-aktiven Zentralgalaxien anteilig weniger Objekte in direkter Nachbarschaft (bis ca. 0.1 Mpc) zum Zentrum befinden als bei aktiven Zentralgalaxien. Da die Vergleichssample 1 und Vergleichssample 2 ihrer Definition nach auf Rotverschiebungs-

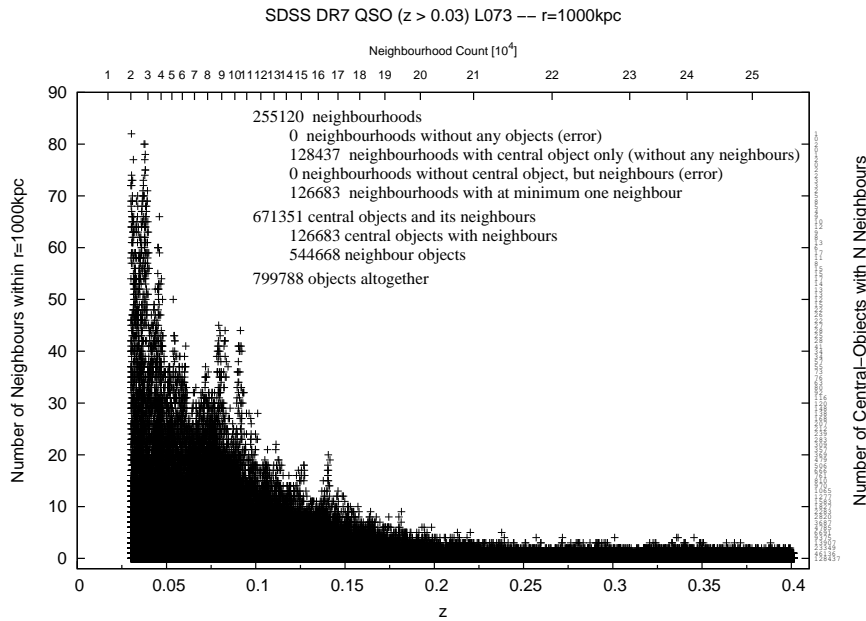


Abbildung 4.7: Verteilung der Anzahl der Nachbarn über der Rotverschiebung für das Vergleichssample 2. Auf der linken Ordinate ist dargestellt, wieviele Nachbarn ein Zentralobjekt hat. Die rechte Ordinate zeigt an, wieviele Zentralobjekte eine bestimmte Anzahl von Nachbarn besitzen. Die untere Abszisse zeigt die Rotverschiebung und die obere die aufsummierte Anzahl der Zentralobjekte an. Die Statistik in der Mitte der Abbildung wird im Text näher erläutert.

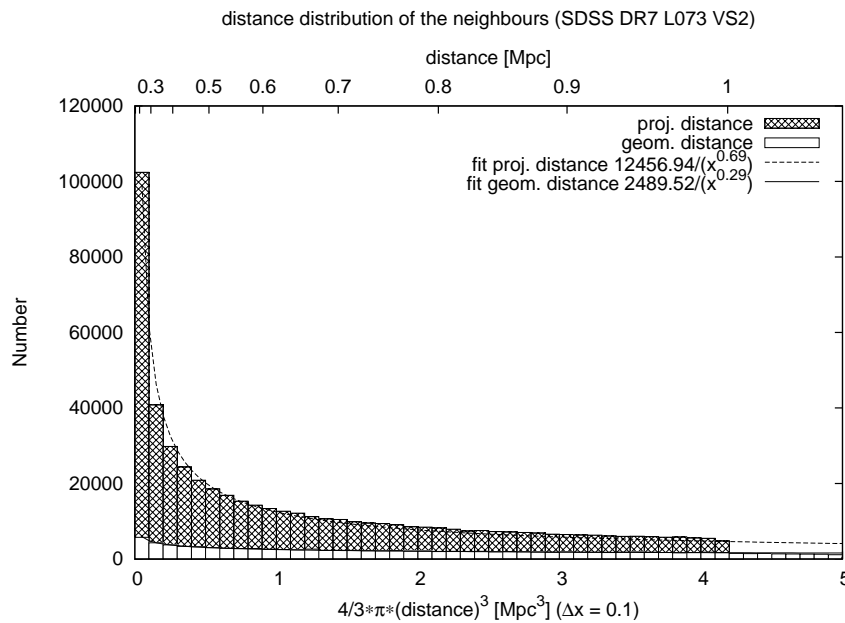


Abbildung 4.8: Anzahl der Umgebungsobjekte in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zentralobjekt für das Vergleichssample 2. Auf der unteren Abszisse sind die Abstände in Einheiten vom eingeschlossenen Kugelvolumen in Mpc^3 aufgetragen. Im Vergleich dazu ist auf der oberen Abszisse die Entfernung in Mpc vom Zentralobjekt angegeben.

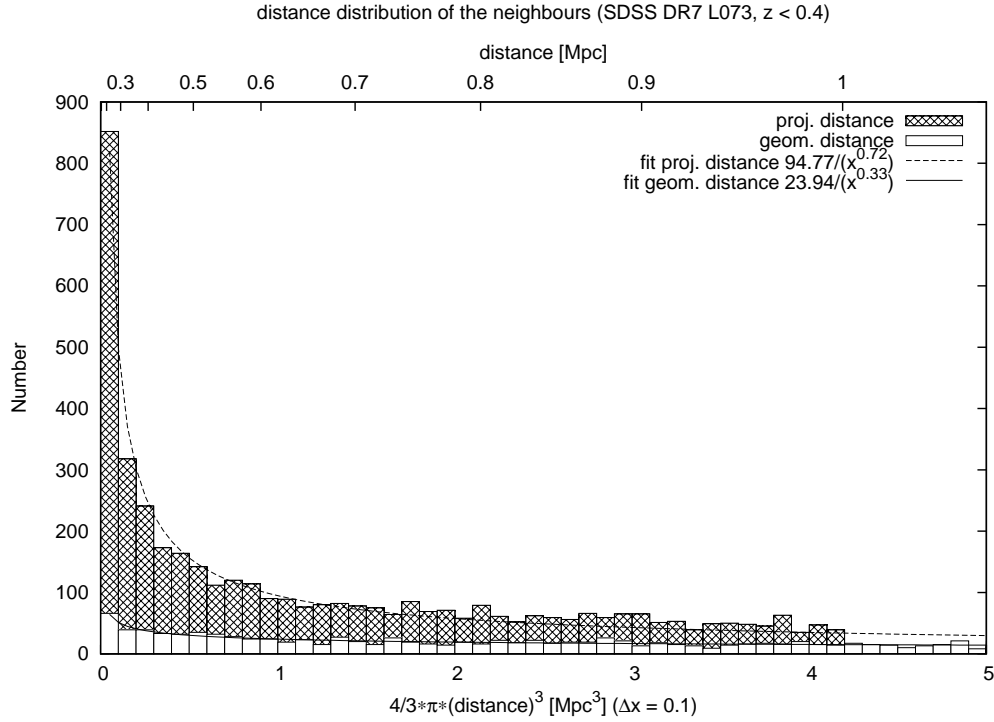


Abbildung 4.9: Anzahl der Umgebungsobjekte des AGN Samples mit einer Rotverschiebung kleiner 0.4 in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zentralobjekt. Auf der unteren Abszisse sind die Abstände in Einheiten vom eingeschlossenen Kugelvolumen in Mpc^3 aufgetragen. Im Vergleich dazu ist auf der oberen Abszisse die Entfernung in Mpc vom Zentralobjekt angegeben.

werte kleiner 0.4 beschränkt sind, ist es noch notwendig zu untersuchen, wie sich das ursprüngliche QSO Sample verhält, wenn es auch dieser Beschränkung unterliegt. In Abbildung 4.9 sieht man, dass diese Beschränkung keine große Änderung in der Distribution der Umgebungsobjekte hervorruft und der Parameter b obige Aussagen mit seinem Wert von 0.72 noch unterstreicht.

Alle Werte des Parameters b für die verschiedenen diskutierten Samples stellt jetzt Tabelle 4.1 dar.

	QSO	VS 1	VS 2	Sey.	HIIs	LINERs	Abs.	Hi	Low
$0.03 \leq z \leq 6$	0.72	–	–	–	–	–	–	0.73	0.71
$0.03 \leq z \leq 0.4$	0.72	0.68	0.69	0.77	0.73	0.74	0.69	–	–

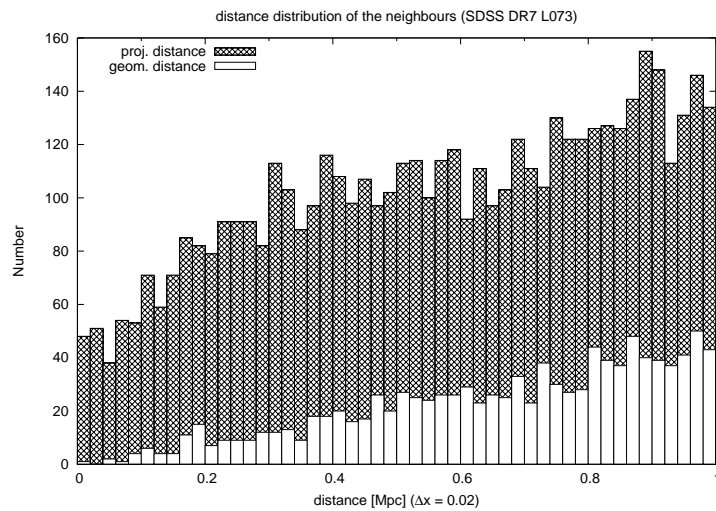
Tabelle 4.1: Parameter b für das ursprüngliche QSO-Sample (QSOs), das QSO-Sample für Zentralobjekte mit einer Rotverschiebung $z \leq 0.4$, das Vergleichssample 1 (VS 1) und Vergleichssample 2 (VS 2) und für die Galaxiensubtypen Seyferts (Sey), HII-Regionen, LINERs und Absorptionslinienobjekte. Außerdem für Zentralgalaxien mit $M_i < -21.32$ (Hi) und $M_i \geq -21.32$ (Low).

Zusätzlich zu den volumenkorrigierten Diagrammen wurden auch Diagramme erstellt, bei denen die Umgebungsdistribution linear aufgetragen ist.

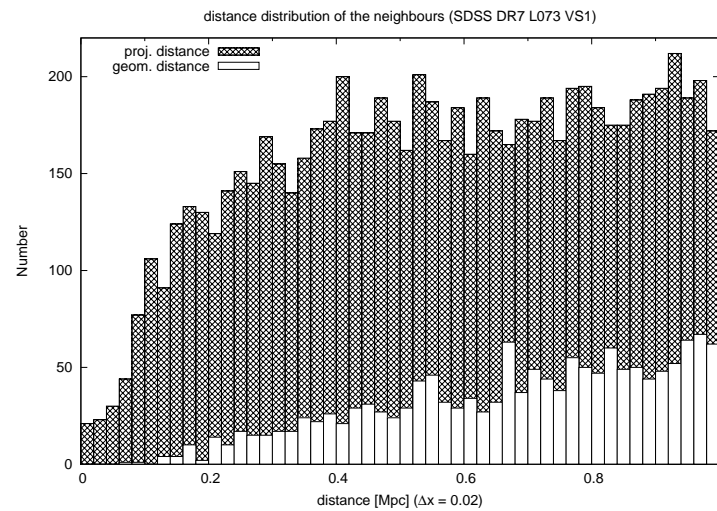
Auch hier habe ich Diagramme mit verschiedenen Boxenbreiten erstellt und das mit einem Delta von 0.02 Mpc ausgewählt, da es den besten Kompromiss zwischen ausreichend detaillierter Unterteilung der x-Achse einerseits und ausreichender Anzahl von Objekten pro Balken andererseits hat. Abbildung 4.10 zeigt nun diese Verteilung. Hier lässt sich die unterschiedliche Verteilung der Nachbarobjekte auch qualitativ gut erkennen: Während beim ursprünglichen QSO-Sample relativ viele Nachbarobjekte in der Nähe des Zentrums sind und der darauf folgende Anstieg moderat ausfällt (Abbildung 4.10a), sind bei den beiden Vergleichssamples relativ wenige Objekte in der Nähe des Zentrums und der darauf folgende Anstieg der Anzahl der Nachbarobjekt ist recht stark (Abbildung 4.10b und 4.10c). Da es hierbei nur um den Vergleich der drei Samples untereinander geht, ist in diesem Fall eine lineare Auftragung angebracht.

Daher habe ich auch quantitativ untersucht, wieviele Objekte sich im Entfernungsbereich bis 0.1 Mpc, relativ zur Gesamtzahl der Nachbarobjekte, befinden. In unserem Ursprungssample befinden sich 244 von 5091 Nachbarobjekten (4.70%) im Intervall bis 0.1 Mpc. Im Vergleichssample 1 sind es 195 von 7780 Nachbarobjekten (2.51%) und im Vergleichssample 2 sind es 16413 von 544668 Nachbarobjekten (3.01%). Das heißt, bei den Vergleichssamples 1 und 2 sind 53%, beziehungsweise 64% weniger Objekte im Intervall bis 0.1 Mpc als bei dem Ursprungssample.

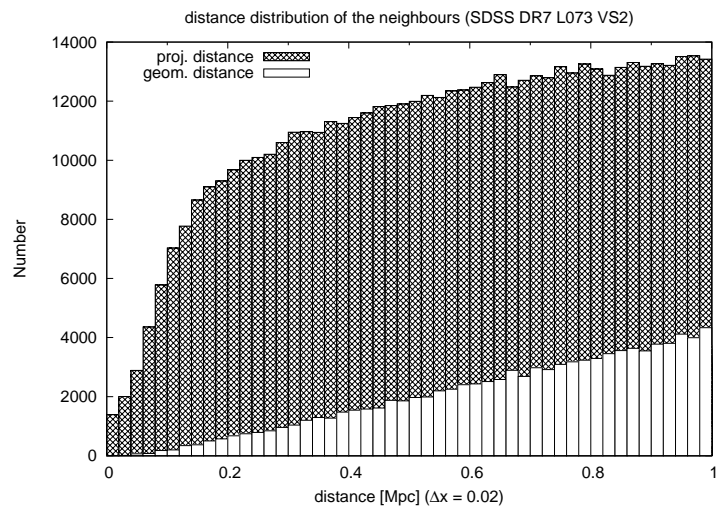
Diese Entfernung von 0.1 Mpc entspricht einer Umgebung von ± 0.1 Mpc um das Zentralobjekt und somit einer Strecke von bis zu 0.2 Mpc. Diese Strecke besitzt eine ähnliche Größenordnung, wie die im Abschnitt 2.2 berechnete Strecke von 0.27 Mpc, die Galaxien während ihrer Aktivitätsphase zurücklegen können.



(a)



(b)



(c)

Abbildung 4.10: Anzahl der Umgebungsobjekte des QSO-Samples in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zentralobjekt. Die Entfernung ist in diesem Fall linear in Megaparsec angegeben. Für das QSO-Sample (a), das Vergleichssample 1 (b) und für das Vergleichssample 2 (c).

4.2 Die Leuchtkraftverteilung der Umgebungsobjekte

Die Abbildungen 4.11 und 4.12 zeigen die Verteilung der verschiedenen Galaxientypen bezüglich der Entfernung vom Zentralobjekt in Abhängigkeit von der Leuchtkraft der schmalen Balmerlinien ($H\alpha$ und $H\beta$). Die durchgehende Linie mittelt die Werte auf einem Intervall von jeweils ± 0.2 Mpc. Abbildung 4.13 fasst die gemittelten Werte der verschiedenen Galaxientypen, nach $H\alpha$ und $H\beta$ getrennt, zusammen. Dabei habe ich die Werte der Leuchtkraft für die Absorptionsliniengalaxien mit minus eins multipliziert, um sie mit den Kurven der anderen Galaxien vergleichen zu können.

Bei den Seyfertgalaxien halbiert sich der Wert der Leuchtkraft sowohl bei $H\alpha$ als auch bei $H\beta$. Auch die Leuchtkräfte der LINERs fallen um einen Faktor von 1.5 bei $H\alpha$ und 1.4 bei $H\beta$ ab. Der stärkste Abfall findet bis zur Entfernung von 0.3 Mpc statt. Sowohl für die $H\alpha$ - als auch $H\beta$ -Leuchtkräfte der HII-Regionen gilt, dass sie bis zu einer Entfernung von 0.3 Mpc stark abfallen (ca. 30%), um dann bis 0.7 Mpc wieder leicht anzusteigen (ca. 10%) um dann wieder leicht abzufallen (wiederum ca. 10%). Insgesamt nimmt die Leuchtkraft um einen Faktor von 1.5 ab. Die Leuchtkräfte der Absorptionsliniengalaxien sind für $H\alpha$ und $H\beta$ über den gesamten Entfernungsbereich nahezu konstant.

Die HII-Regionen sind die Objekte mit der höchsten $H\alpha$ - und auch $H\beta$ -Leuchtkraft von $5.84 \cdot 10^{40}$ bzw. $1.23 \cdot 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ (Abbildung 4.13). Dann folgen die Seyfertgalaxien mit $4.01 \cdot 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ für $H\alpha$ und $7.38 \cdot 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ für $H\beta$. Die geringsten $H\alpha$ - und $H\beta$ -Leuchtkräfte besitzen die LINERs mit $L_{H\alpha} = 2.39 \cdot 10^{40}$ und $L_{H\beta} = 5.55 \cdot 10^{39}$ (Tabelle 4.2). Dass die HII-Objekte die höchsten Linienleuchtkräfte besitzen, deckt

Galaxientyp	$L_{H\alpha} [\text{erg s}^{-1}]$	$L_{H\beta} [\text{erg s}^{-1}]$
HII-Regionen	$5.84 \cdot 10^{40}$	$1.23 \cdot 10^{40}$
Seyferts	$4.01 \cdot 10^{40}$	$7.38 \cdot 10^{39}$
LINERs	$2.39 \cdot 10^{40}$	$5.55 \cdot 10^{39}$
Absorptionslinienobjekte	$-3.97 \cdot 10^{39}$	$-3.05 \cdot 10^{39}$

Tabelle 4.2: Mittelwerte der schmalen $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linienleuchtkräfte für HII-Regionen, Seyfertgalaxien, LINERs und Absorptionslinienobjekte in erg s^{-1} .

sich auch mit den Werten von Ho et al. (1997), bei dem die $H\alpha$ -Linien einen Wert von $10^{39.25} \text{ erg s}^{-1} = 1.78 \cdot 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ besitzen. Die Seyfertgalaxien kommen auf einen Wert von $10^{39.22} \text{ erg s}^{-1} = 1.66 \cdot 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ und die LINERs haben bei Ho et al. eine Linienleuchtkraft von $10^{38.82} \text{ erg s}^{-1} = 6.61 \cdot 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$. Auch die Reihenfolge der Galaxientypen stimmt somit mit unserer überein.

Zusammengenommen bleibt festzustellen, dass bei den Emissionliniengalaxien die Leuchtkraft der Nachbarobjekte mit der Entfernung zum Zentralobjekt abnimmt.

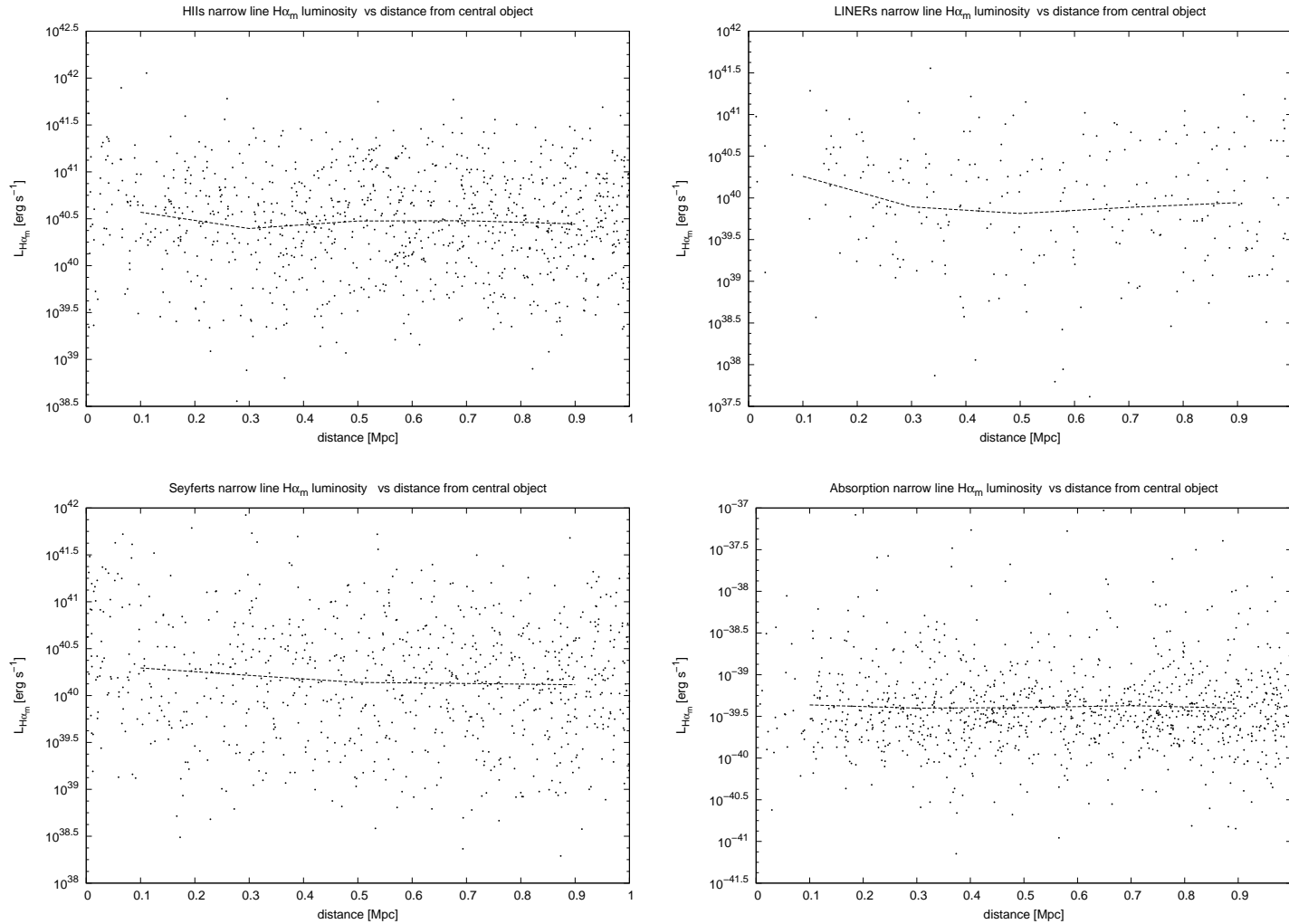


Abbildung 4.11: H α -Linienleuchtkräfte für HII-Regionen, LINER, Seyferts und Absorptionsliniengalaxien (v.l.o.n.r.u) gegenüber dem Abstand vom Zentralobjekt. Die eingezeichneten Kurven sind die auf ± 0.2 Mpc gemittelten Werte (arithmetisches Mittel).

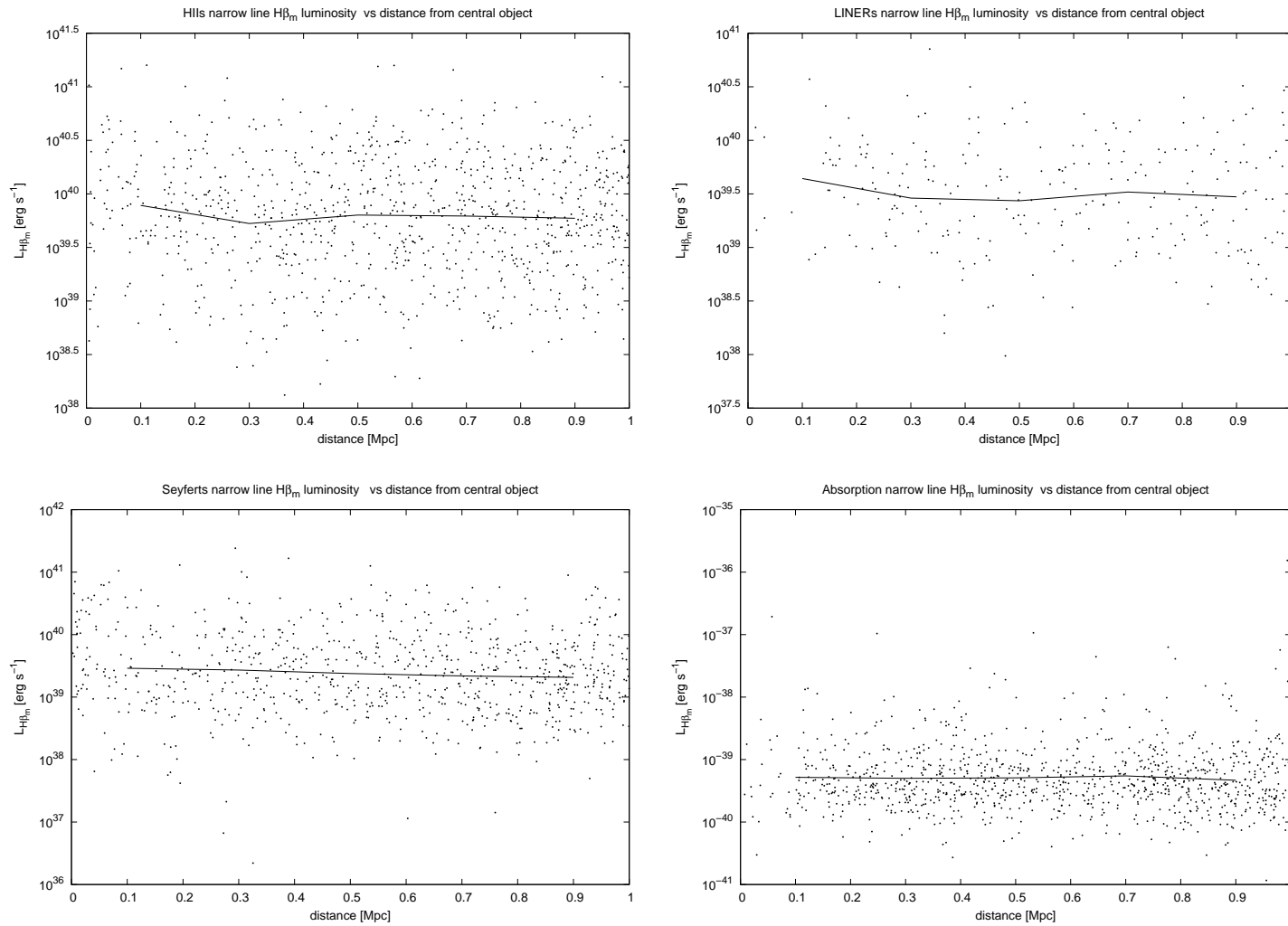


Abbildung 4.12: $H\beta$ -Linienleuchtkräfte für HII-Regionen, LINER, Seyferts und Absorptionsliniengalaxien (v.l.o.n.r.u) gegenüber dem Abstand vom Zentralobjekt. Die eingezeichneten Kurven sind die auf ± 0.2 Mpc gemittelten Werte (arithmetisches Mittel).

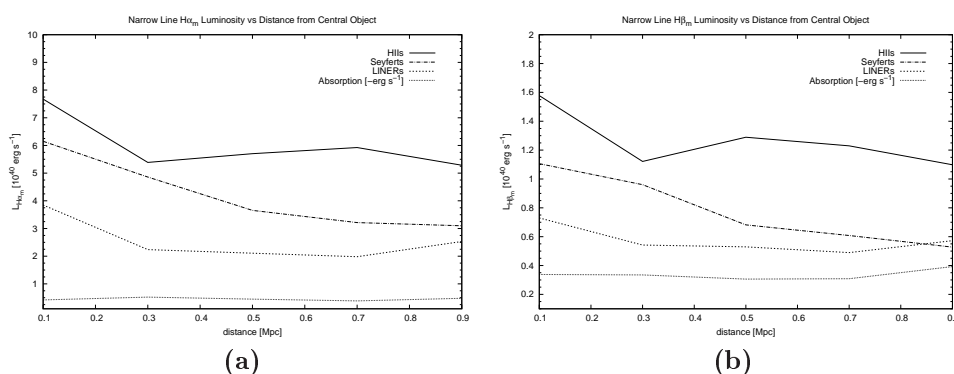


Abbildung 4.13: Zusammenfassung der Kurven aus Abbildung 4.11 für $H\alpha$ (a) und Abbildung 4.12 für $H\beta$ (b) in linearer Auftragung der Linienleuchtkraft.

Zur genaueren Untersuchung der Verteilung der Nachbarobjekte bezüglich der Leuchtkraft als auch der Entfernung vom Zentralobjekt habe ich sogenannte *Leuchtkraft-Entfernungs-Histogramme* erstellt. Diese Diagramme sind eine Kombination der Entfernungshistogramme (z.B. Abbildung 4.1) und der Leuchtkraftdiagramme (Abbildung 4.11). Auf der einen Achse ist die Entfernung vom Zentralobjekt in Einheiten des Kugelvolumens aufgetragen und auf der dazu senkrechten Achse die jeweilige Linienleuchtkraft der schmalen Linienkomponenten in erg s^{-1} . Für die jeweiligen Entfernungsintervalle ist ein Leuchtkrafthistogramm in genau diese Intervalle eingezeichnet. Zusätzlich ist auf der rechten Seite die Anzahl der sich in dem Intervall befindlichen Objekte angegeben.

1. Linienleuchtkraft-Entfernungs-Histogramme für Seyfertgalaxien

Bei der Betrachtung der Leuchtkraft-Entfernungs-Histogramme für die Seyfertgalaxien (Abbildung 4.14), ist zu erkennen, dass die Maxima der Histogramme der jeweiligen Emissionslinie über die gesamte Entfernung vom Zentrum im gleichen Leuchtkraftintervall verbleiben. Die $H\beta$ und $[\text{O III}] \lambda 5007$ Linienleuchtkraftmaxima befinden sich in dem Intervall von $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ und die $H\alpha$ -Linienleuchtkraftmaxima im Bereich von $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{41} \text{ erg s}^{-1}$.

Bei den Leuchtkraft-Entfernungs-Histogrammen der $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linien ändert sich die relative Anzahl der Objekte, die sich in den Leuchtkraftintervallen neben dem Maximum befinden. Je größer die Entfernung vom Zentrum ist, desto höher werden die linken Balken relativ zu den rechten, d.h. die Anzahl der Objekte in den nächstgrößeren Leuchtkraftintervallen nimmt gegenüber denen in den nächstniedrigeren ab. Die Streuung der Objekte über der Leuchtkraft ist bei den $H\beta$ -Werten (Abbildung 4.14a) am geringsten. Hier befinden sich fast alle Objekte in den drei Intervallen von $10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{41} \text{ erg s}^{-1}$. Bei den $H\alpha$ (4.14b) und $[\text{O III}] \lambda 5007$ (4.14c) Diagrammen ist die Streuung größer. Hier geht sie über einen Bereich von $10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{42} \text{ erg s}^{-1}$, der vier Balken umfasst.

2. Linienleuchtkraft-Entfernungs-Histogramme für LINER

Bei dem Leuchtkraft-Entfernungs-Histogramm für $H\alpha$ verbleibt die maximale Leuchtkraft über den gesamten Entfernungsbereich von bis zu 1 Mpc vom Zentralobjekt im Intervall von $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ (Abbildung 4.15a). Bei $H\beta$ variiert die Lage des Maximums (Abbildung 4.15b): Zunächst liegt sie im Intervall von $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{41} \text{ erg s}^{-1}$, geht dann über ins Intervall von $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$. Dann haben beide genannten Intervalle die gleiche Anzahl von Objekten und nach einem Maximum im Bereich von $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ haben beide Intervalle (von $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ und von $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{41} \text{ erg s}^{-1}$) wieder gleich viele Objekte. Bei der [O III] $\lambda 5007$ -Leuchtkraft wechselt das Maximum vom $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ -Intervall über das $10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ -Intervall wieder zurück zum Intervall von $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ (Abbildung 4.15c).

Die größte Streuung der Leuchtkraft liegt beim Diagramm für $H\alpha$ vor (von $10^{37} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{42} \text{ erg s}^{-1}$). Beim [O III] $\lambda 5007$ - und $H\beta$ -Diagramm beträgt die Streuung durchschnittlich drei Intervalle.

3. Linienleuchtkraft-Entfernungs-Histogramme für HII-Regionen

Bei den Leuchtkraft-Entfernungs-Histogrammen für die HII-Regionen (Abbildung 4.16) bleiben die Maxima aller drei untersuchten Emissionslinien über den gesamten Entfernungsbereich im jeweils gleichen Leuchtkraftintervall. Die $H\beta$ und [O III] $\lambda 5007$ Linienleuchtkraftmaxima sind in dem Intervall von 10^{39} bis $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ und die $H\alpha$ -Linienleuchtkraftmaxima im Bereich von 10^{40} bis $10^{41} \text{ erg s}^{-1}$.

Die Streuung der Objekte über die Leuchtkraftintervalle erstreckt sich bei allen drei Emissionslinien über einen Bereich von drei Balken: von 10^{38} bis $10^{41} \text{ erg s}^{-1}$ bei den $H\beta$ - (Abbildung 4.16a) und [O III] $\lambda 5007$ - (Abbildung 4.16c) Werten und von 10^{39} bis $10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ bei den $H\alpha$ -Werten.

Sowohl bei den Seyfertgalaxien, als auch bei den LINERs und HII-Regionen befinden sich die $H\beta$ -Linienleuchtkraftmaxima über die gesamte Entfernung vom Zentralobjekt im Intervall von $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$. Die größte Ähnlichkeit untereinander zeigen dabei die Histogramme der LINERs und Seyfertgalaxien.

Für die $H\alpha$ - und [O III] $\lambda 5007$ -Linienleuchtkräfte gilt das Verbleiben des Maximums in einem Intervall nur für die Seyfertgalaxien und die HII-Regionen. Dabei sind die $H\alpha$ -Maxima bei beiden Galaxientypen im Leuchtkraftintervall von $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{41} \text{ erg s}^{-1}$ und die [O III] $\lambda 5007$ -Maxima im Bereich von $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ bis $10^{40} \text{ erg s}^{-1}$.

Nur bei den $H\alpha$ - und [O III] $\lambda 5007$ -Linien der LINERs ändert sich das Leuchtkraftintervall mit den meisten Objekten mehrfach über die Entfernung, wie oben beschrieben.

Die Streuung der Objekte über die Leuchtkraftintervalle ist, für alle drei untersuchten Emissionslinien, bei den Seyfertgalaxien am größten, gefolgt von den HII-Regionen. Die LINERs zeigen die geringste Streuung in der Leuchtkraft.

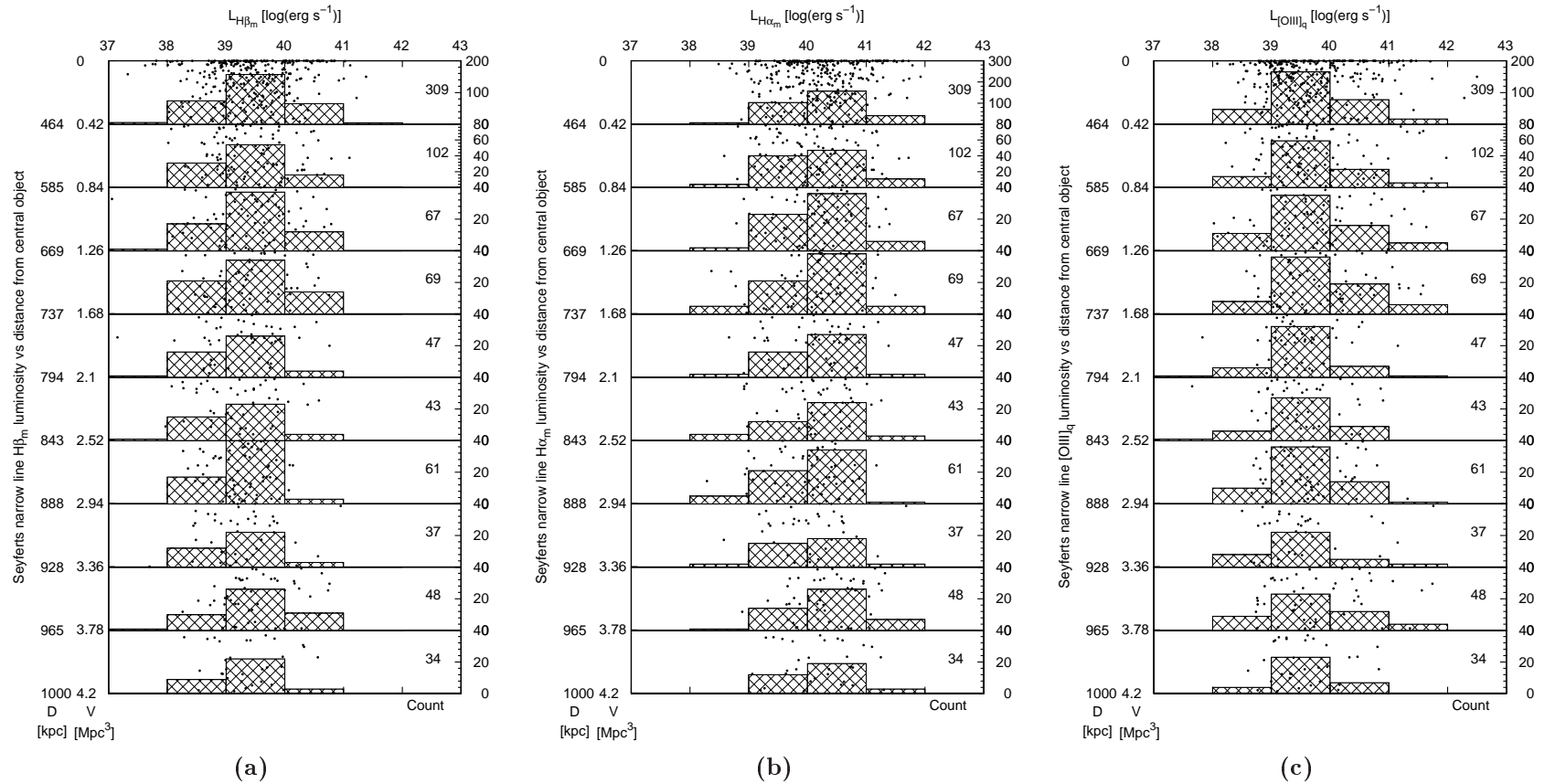


Abbildung 4.14: Leuchtkraft-Entfernungs-Histogramm für Seyfertgalaxien bezüglich der $\text{H}\beta$ -Leuchtkraft (a), der $\text{H}\alpha$ -Leuchtkraft (b) und der $[\text{O III}]\lambda 5007$ -Leuchtkraft (c). Die Leuchtkraft der Balmerlinien habe ich aus der schmalen Linienelementkomponente berechnet. Zur ausführlichen Erklärung der aufgetragenen Werte siehe Text.

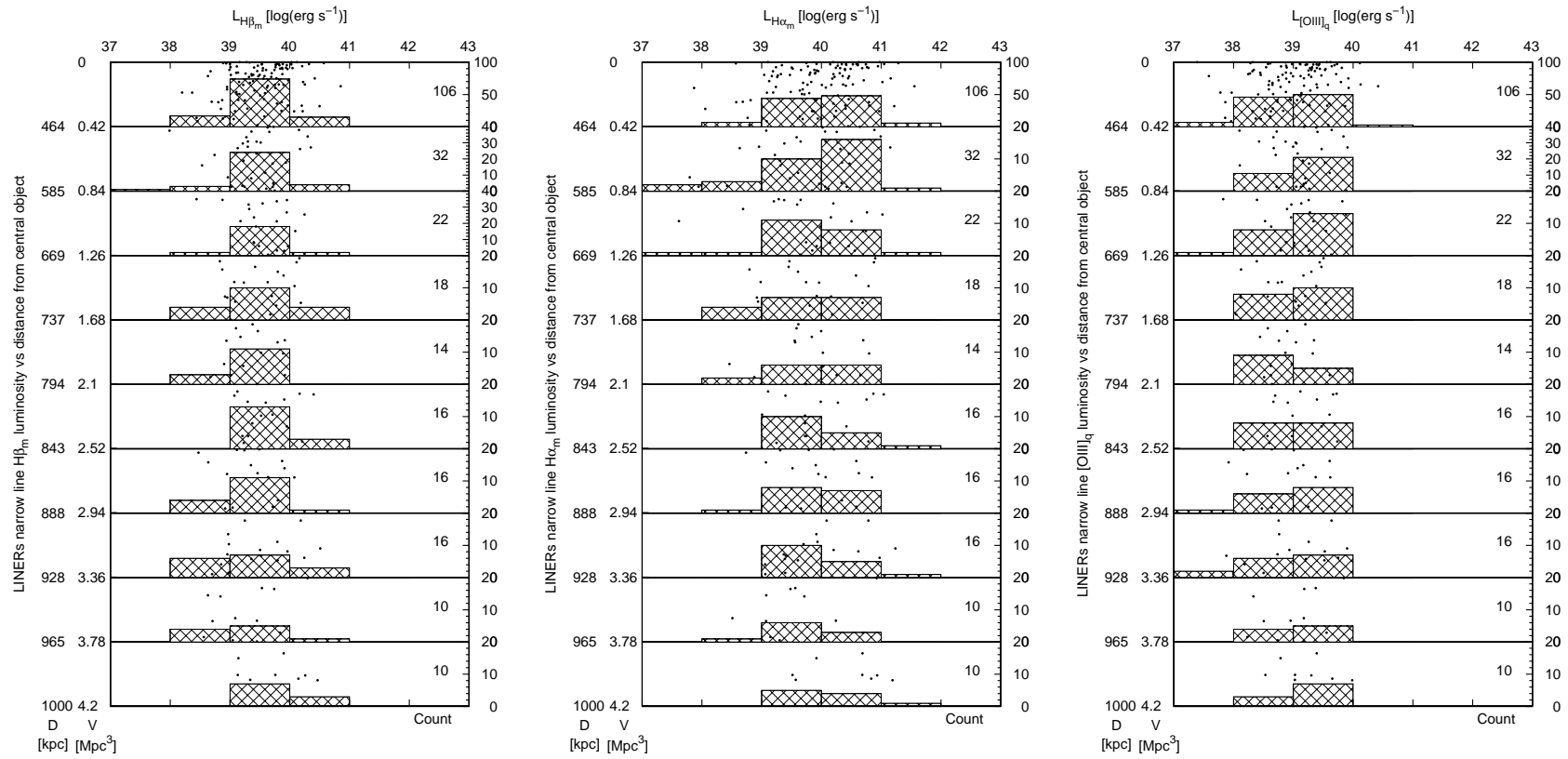


Abbildung 4.15: Leuchtkraft-Entfernungs-Histogramm für LINERs bezüglich der H β -Leuchtkraft (a), der H α -Leuchtkraft (b) und der [O III] λ 5007-Leuchtkraft (c). Zur ausführlichen Erklärung der aufgetragenen Werte siehe Text.

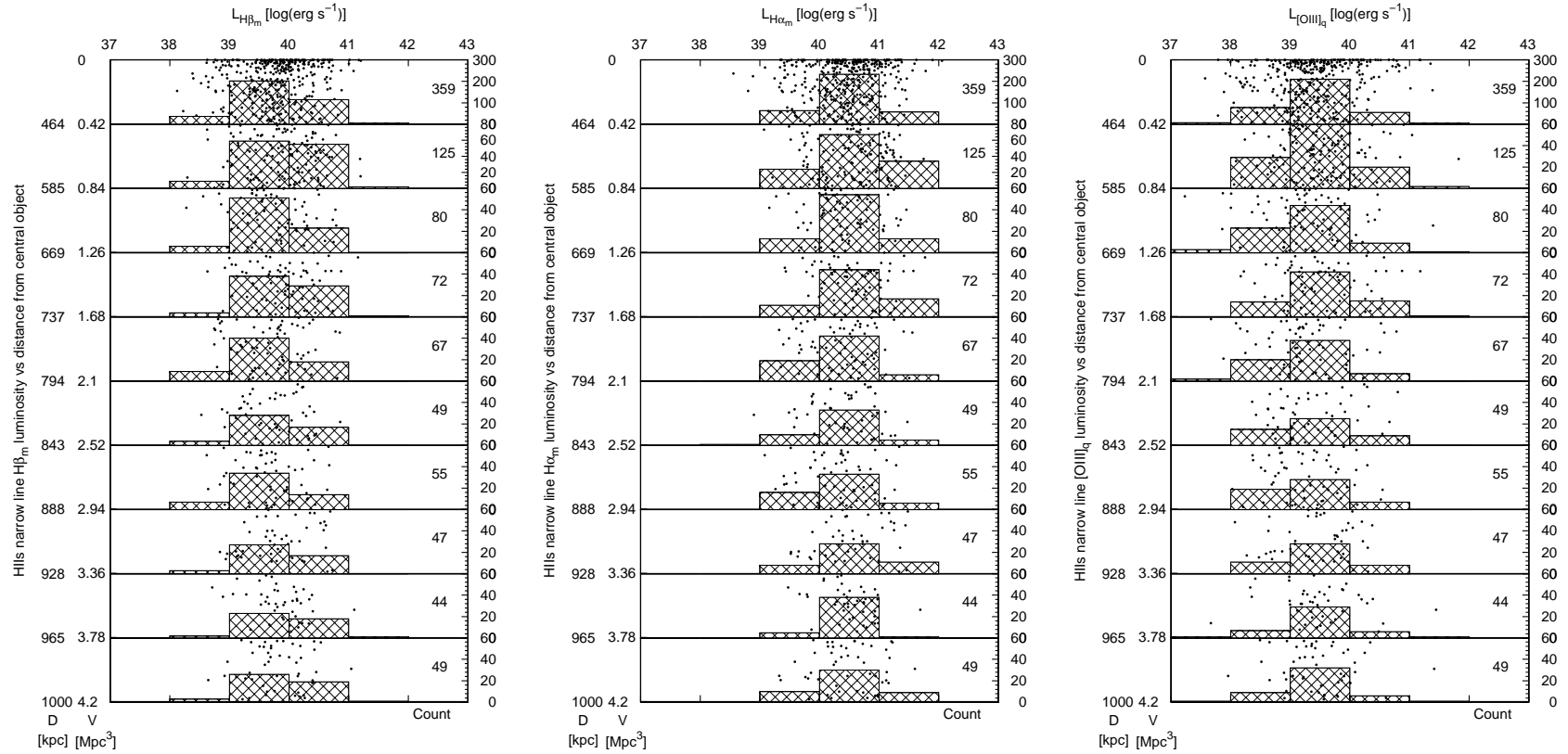


Abbildung 4.16: Leuchtkraft-Entfernungs-Histogramm für HII-Regionen bezüglich der $H\beta$ -Leuchtkraft (a), der $H\alpha$ -Leuchtkraft (b) und der $[O III] \lambda 5007$ -Leuchtkraft (c). Zur ausführlichen Erklärung der aufgetragenen Werte siehe Text.

4.3 Die BPT-Diagramme des SDSS-Samples

4.3.1 Die Zentral- und Nachbarschaftsobjekte

Abbildung 4.17 zeigt nun das BPT-Diagramm aller vermessenen Zentralgalaxien im Rotverschiebungsbereich von $0.03 \leq z \leq 0.4$ unter den Einschränkungen der Gleichung (2.1). Wie schon früher bemerkt, habe ich all diejenigen Zentralgalaxien vermessen, die Nachbarobjekte in der in Abschnitt 2.2 definierten Umgebung besitzen. Ein Großteil der Zentralgalaxien sind Emissionsliniengalaxien (94.3 %), von denen wiederum 97.1 % als Seyfertgalaxien klassifiziert wurden. Somit sind 91.5 % der von mir untersuchten Zentralgalaxien und vom SDSS als QSOs klassifizierten Objekte, Seyfertgalaxien. Diese unterteilen sich wiederum in 38.3% Seyfert-2-Galaxien und 61.7 % Seyfert-1-Galaxien.

Als HII-Region habe ich 2.4 % aller Zentralobjekte bestimmt und nur einen sehr kleiner Anteil (0.4 %) als LINER.

Bei den Nachbarschaftsobjekten (Abbildung 4.18) sind knapp ein Viertel der Objekte Absorptionslinienobjekte (24.1 %). Bei 14.4 % liegt zwar $H\beta$ in Absorption vor, aber nicht $H\alpha$. Der umgekehrte Fall kommt nur bei 5.5 % vor. Knapp die Hälfte aller Objekte in der Nachbarschaft sind Emissionslinienobjekte (47.1 %). Den größten Anteil machen die HII-Regionen aus (46.8 %, 22.0 % bezogen auf alle Objekte), gefolgt von den Seyferts (40.4 %, 19.0 % bezogen auf alle Objekte). Die LINERs machen einen deutlich geringeren Anteil aus (12.8 %, 6.1 % bezogen auf alle Objekte). Ein Großteil der LINERs (58.8 %) und fast die Hälfte der Seyferts (39.9 %) befinden sich im Composite-Bereich. Im Gegensatz zu den Zentralgalaxien habe ich hier 5.0 % der Seyfertgalaxien als Seyfert 1 und 95.0 % als Seyfert 2-Galaxien identifiziert. Zudem gibt es 353 Objekte, bei denen die $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linien in Absorption vorliegen, die $[O\text{III}]\lambda 5007$ -Linie aber in Emission. Von diesen 353 Objekten sind 351 Nachbargalaxien und zwei Zentralgalaxien.

Tabelle 4.3 fasst die oben beschriebenen statistischen Aussagen zusammen.

In Abbildung 4.20a sind die Positionen der drei Beispiel-Emissionsliniengalaxien aus Abbildung 2.16 (HII-Region, LINER, Seyfert-Galaxie) durch größere Punkte gekennzeichnet. Zudem zeigt die Abbildung 4.20a alle vermessenen Objekte, ob Zentral- oder Nachbargalaxie, an und die Unterschiede für verschiedene kosmologische Parameter. Die schwarzen, beziehungsweise dunklen Punkte sind alle diejenigen Objekte, für die bei der Nachbarschaftsberechnung die kosmologischen Parameter $\Omega_\Lambda = 0.73$ und $\Omega_M = 0.27$ angenommen wurden. Nimmt man eine verschwindende kosmologische Konstante an ($\Omega_\Lambda = 0$ und $\Omega_M = 1$), kommen zusätzlich noch die roten, beziehungsweise helleren Datenpunkte dazu. Wie man schon an diesem Plot erkennen kann, kommen nur wenige neue Objekte durch die andere Kosmologie hinzu. Vergleicht man zusätzlich noch das Nachbarschafts-BPT-Diagramm für $\Omega_\Lambda = 0$ und $\Omega_M = 1$ (Abbildung 4.20b) mit den Werten von der Abbildung 4.18, ist auch qualitativ kein großer Unterschied auszumachen. Eine Vergleich der Werte bietet Tabelle 4.4. Dieses Resultat war auch zu erwarten, da zur Vermessung der für das BPT-Diagramm notwendigen Linien nur Objekte mit einer Rotverschiebung kleiner 0.4 verwendet werden konnten, bei denen sich die beiden Kosmologien noch nicht

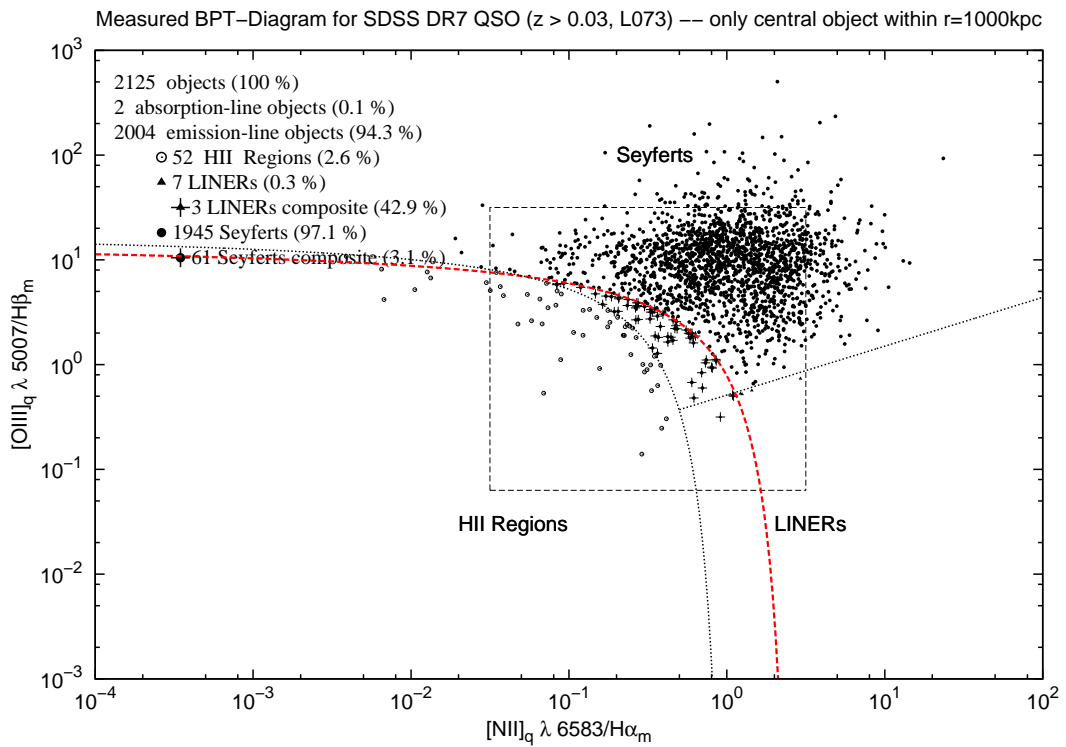


Abbildung 4.17: BPT-Diagramm der vermessenen Zentralgalaxien.

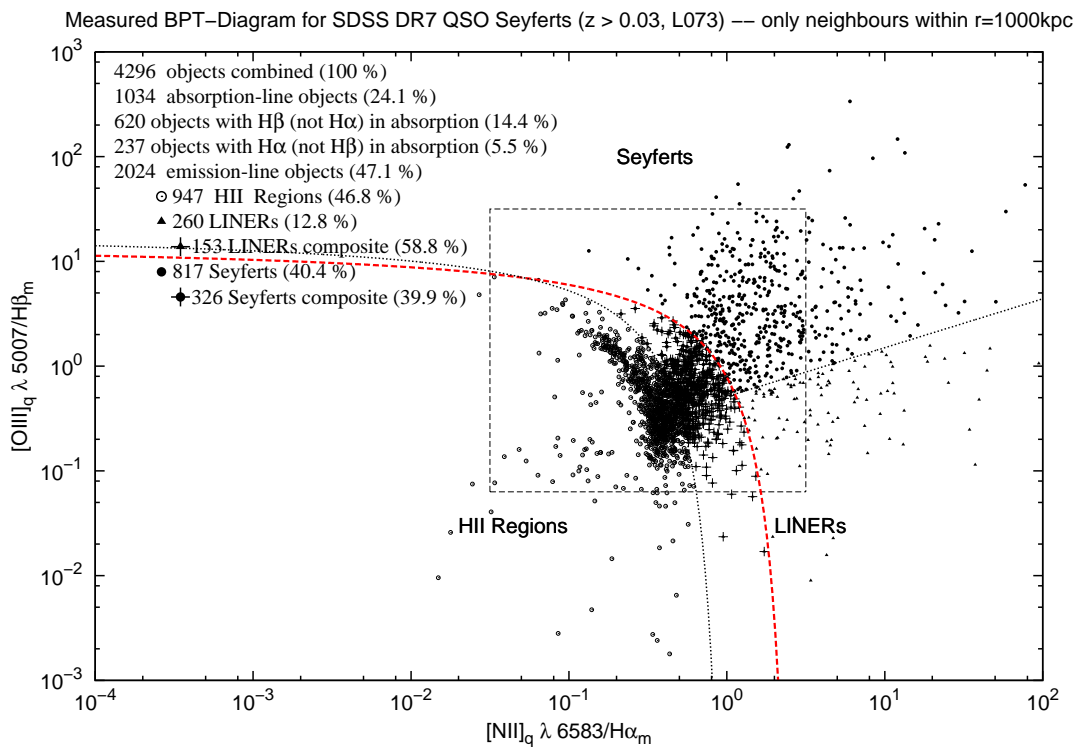


Abbildung 4.18: BPT-Diagramm der vermessenen Nachbarobjekte, deren Zentralobjekte Seyfertgalaxien sind.

	Zentralobjekte				Nachbarobjekte			
	Anzahl	Prozentsatz [%]			Anzahl	Prozentsatz [%]		
Alle Objekte	2125	100			4269	100		
Absorptionslinienobjekte	2	0.1			1034	24.2		
HaHbE-OIII-Obj.	2	0.1			351	8.2		
Emissionslinienobjekte	2004	94.3	100		2024	47.4	100	
HII-Regionen	52	2.4	2.6		947	22.2	46.8	
LINERs	7	0.3	0.3	100	260	6.1	12.8	100
comp. LINERs	3	0.1	0.1	42.9	153	3.6	7.6	58.8
Seyferts	1945	91.5	97.1	100	817	19.1	40.4	100
comp. Seyferts	61	2.9	3.0	3.1	326	7.6	16.2	39.9
Seyferts 1	1201	56.5	59.9	61.7	41	1.0	2.0	5.0
Seyferts 2	744	35.0	37.1	38.3	776	18.2	38.3	95.0

Tabelle 4.3: Vergleich der Werte für die Zentralgalaxien aus dem BPT-Diagramm 4.17 und der Nachbargalaxien (BPT-Diagramm 4.18). Die Prozentzahlen beziehen sich immer auf die darüber liegende Zeile mit 100 Prozent. HaHbE-OIII-Obj. steht für Objekte, bei denen die $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linien in Absorption vorliegen, die $[O III] \lambda 5007$ -Linie aber in Emission. Comp. steht für Composite.

stark voneinander unterscheiden.

Bei Objekten mit einer größeren Rotverschiebung als 0.4 befindet sich die $H\alpha$ - und $[N II] \lambda 6583$ -Linie nicht mehr im beobachteten Spektralbereich, sodass nicht mehr alle zum Erstellen des BPT-Diagramms notwendigen Emissionslinien im Spektrum vorhanden sind. Eines der letzten ausmessbaren Spektren ist in Abbildung 4.19 dargestellt.

	$\Omega_\Lambda = 0.73, \Omega_M = 0.27$		$\Omega_\Lambda = 0, \Omega_M = 1$	
	Anzahl	Prozentsatz	Anzahl	Prozentsatz
Alle Objekte	4296	100%	4867	100%
Absorptionslinienobjekte	1034	24.1%	1167	24.0%
Emissionslinienobjekte	2024	47.1%	2318	47.6%
HII-Regionen	947	22.0%	1073	22.0%
LINERs	260	6.1%	305	6.3%
composite LINERs	153	3.6%	184	3.8%
Seyferts	817	19.0%	940	19.3%
composite Seyferts	326	7.6%	390	8.0%

Tabelle 4.4: Vergleich der Werte aus den BPT-Diagrammen 4.18 und 4.20b. Die Prozentwerte basierend auf den unterschiedlichen Kosmologien stimmen innerhalb von ca. 0.5% überein.

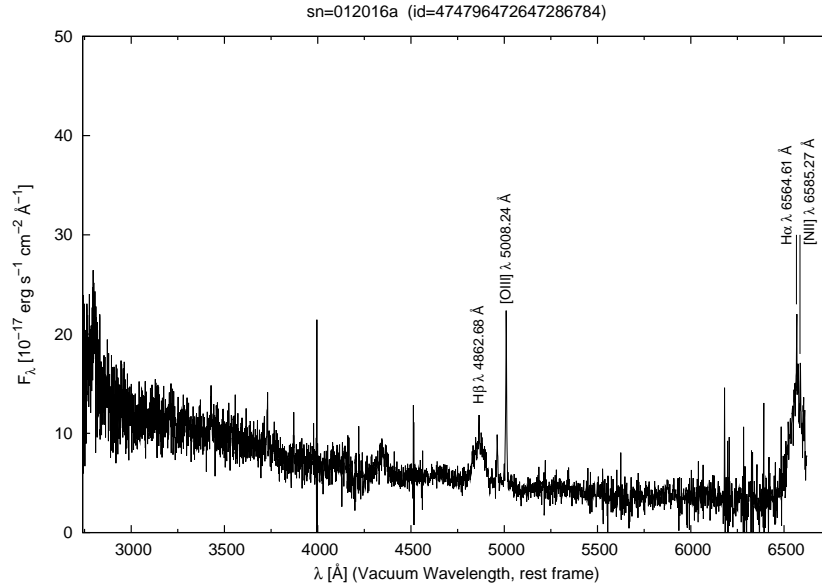


Abbildung 4.19: SDSS-Spektrum bei einer Rotverschiebung von $z=0.396$. Die $H\alpha$ - und die $[N II] \lambda 6583$ -Linie sind am rechten Rand des Spektrums zu erkennen. Bei noch größeren Rotverschiebungen werden sie aus dem Spektrum herauswandern und nicht mehr messbar sein.

4.3.2 Die Untersuchung diskreter Rotverschiebungsintervalle

Untersucht man nun die Verteilung der verschiedenen Emissionliniengalaxien der Nachbarobjekte für diskrete Rotverschiebungsintervalle (Abbildung 4.22), fällt zunächst auf, dass die Gesamtzahl aller Objekte bis zum Rotverschiebungsintervall $0.07 \leq z < 0.09$ ansteigt, dort sein Maximum hat und danach wieder abfällt. Das Verhältnis von Absorptionslinien- zu Emissionslinienobjekten über der Rotverschiebung zeigt folgenden Verlauf:

Der Anteil an Emissionslinienobjekten fällt im untersuchten Rotverschiebungsbereich von 62.5 % bei $z=0.04$ auf 30.3 % bei $z=0.2$ ab, steigt noch einmal bis 40.0 % bei $z=0.24$ an, um auf 12.5 % bei $z=0.395$ abzufallen.

Bei den Absorptionslinienobjekten verläuft der prozentuale Anteil von 23.8 %, bei $z=0.04$ abfallend bis zu 13.7 %, bei $z=0.265$ um bis $z=0.395$ auf das Maximum von 37.5 % anzusteigen (Abbildung 4.21a und Tabelle 4.5). Vergleicht man den Verlauf der Anteile der LINER, Seyfert und HII-Galaxien zueinander (Abbildung 4.21b), so stellt man bis zu einer Rotverschiebung von 0.265 fest, dass der Anteil von HII-Galaxien stark abnimmt (von 64 % auf 5.6 %), der Anteil von Seyferts jedoch zunimmt (von 29.1 % bis 72.2 %). Bei größerer Rotverschiebung wird die Verteilung uneinheitlich, was wohl auch an der geringer werdenden Zahl von Objekten in diesem Bereich liegt (siehe dazu die Statistiken der Bereiche in Abbildung 4.23). Der Anteil der LINER zeigt einen leichten Anstieg von 6.9 % auf 22.2 % bei $z = 0.24$. Danach bewegt sich der Anteil weiterhin in diesem Bereich, wobei auch hier aufgrund der geringen Objektzahl (nur sieben LINERs in den letzten fünf Intervallen,

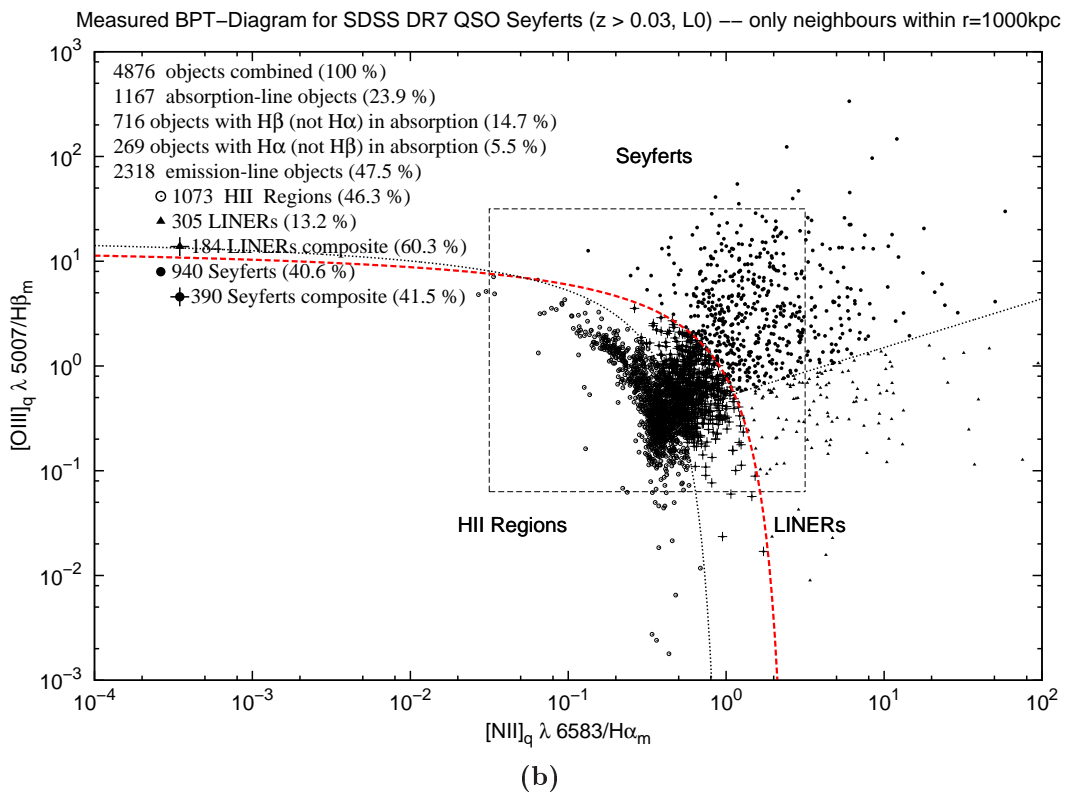
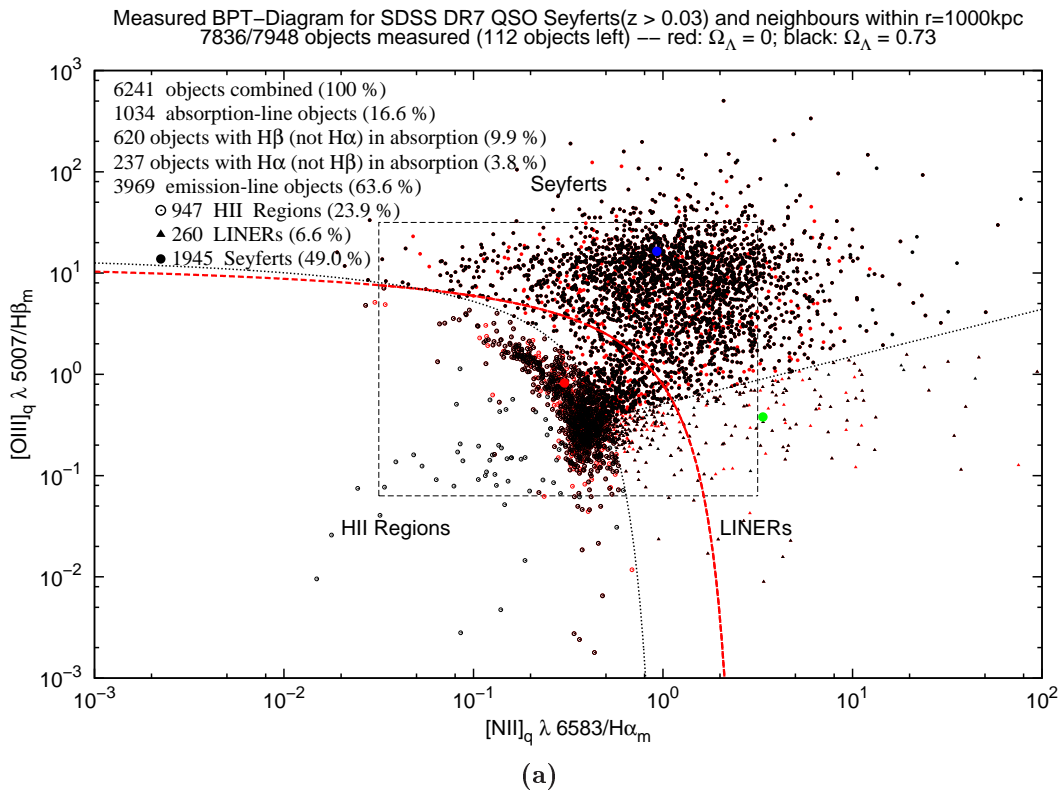


Abbildung 4.20: BPT-Diagramme: Vergleich aller vermessenen Emissionslinienobjekte bezüglich der verschiedenen Kosmologien (a) und Nachbarschaftsgalaxien für $\Omega_\Lambda = 0$ und $\Omega_M = 1$ (b)

siehe die letzten fünf Diagramme in Abbildung 4.23) die Unsicherheit recht groß ist. Bemerkenswert ist, dass es von $z = 0.35$ bis $z = 0.41$ keine LINERs in unserem Sample gibt.

Abbildung 4.21c stellt nun das Verhältnis der LINER zu den HII-Galaxien dar.

Δz (a)	Alle (b)	Emiss. [%] (c)	Abs [%] (d)	Sey. [%] (e)	HII [%] (f)	LINERs [%] (g)	L/HII ratio (h)
0.03 - 0.05	462	62.55	23.81	29.07	64.01	6.92	0.11
0.05 - 0.07	617	52.84	29.98	36.50	60.12	3.37	0.06
0.07 - 0.09	824	50.61	29.61	34.53	53.96	11.51	0.21
0.09 - 0.11	552	50.18	21.20	41.16	44.77	14.08	0.31
0.11 - 0.13	563	43.52	22.74	44.90	33.47	21.63	0.65
0.13 - 0.15	387	44.19	21.96	47.37	36.26	16.37	0.45
0.15 - 0.17	274	39.42	19.71	56.48	26.85	16.67	0.62
0.17 - 0.19	188	36.70	13.30	47.83	23.19	28.99	1.25
0.19 - 0.21	122	30.33	20.49	51.35	27.03	21.62	0.80
0.21 - 0.23	71	38.03	19.72	62.96	22.22	14.81	0.67
0.23 - 0.25	45	40.00	17.78	72.22	5.56	22.22	4.00
0.25 - 0.28	51	33.33	13.73	52.94	17.65	29.41	1.67
0.28 - 0.31	29	17.24	20.69	60.00	40.00	0.00	0.00
0.31 - 0.35	55	14.55	16.36	75.00	0.00	25.00	NaN
0.35 - 0.38	33	15.15	27.27	80.00	20.00	0.00	0.00
0.38 - 0.41	16	12.50	37.50	0.00	100.00	0.00	0.00

Tabelle 4.5: Statistik der BPT-Diagramme 4.22 bzw. 4.23 für verschiedene Rotverschiebungsbereiche.

Zunächst gibt es einen leichten Anstieg von 0.1 bis zu 1.0 bei $z = 0.22$, der Wert steigt auf 4 im Intervall $0.23 \leq z < 0.25$ an, um dann wieder abzufallen. Danach werden auch hier die Werte wieder uneinheitlich. In den restlichen betrachteten Intervallen gibt es entweder keine LINERs mehr oder die Anzahl der HII-Regionen ist Null. Es ist aber zu erkennen, dass dieses Verhältnis zu höheren Rotverschiebungen hin ansteigt.

Ho et al. (1997) untersuchten Galaxien mit einer Rotverschiebung nahe Null und fanden, dass die Emissionlinienobjekte zu gleichen Teilen HIIs und AGNs sind, wobei sie unter AGNs Seyfertgalaxien, LINERs und LINER/H II-composite Objekte verstehen. 43% klassifizierten sie als AGNs. 10% aller Galaxien haben sie als Seyfertgalaxien (sowohl Typ 1 als auch Typ 2) klassifiziert. LINERs machen 20% bis 25% aller Objekte beziehungsweise 50% bis 75% der AGNs aus.

Auch in unserem Sample machen bei den Nachbarobjekten der zentralen Seyfertgalaxien die HII-Regionen ca. die Hälfte aller Emissionliniengalaxien aus (46.8%, siehe Tabelle 4.3), obwohl wir einen anderen Rotverschiebungsbereich untersucht haben. Auch der Anteil an Seyfertgalaxien von Ho et al. (1997) passt gut zu unserer Verteilung (Abbildung 4.21b), da der Prozentsatz an Seyfertgalaxien mit der Rotverschiebung zunimmt und ihr Maximum bei $z = 2$ besitzt (Wang et al., 2009). Nur der Anteil der LINER-Galaxien ist in unserem Sample bedeutend geringer als in dem von Ho et al..

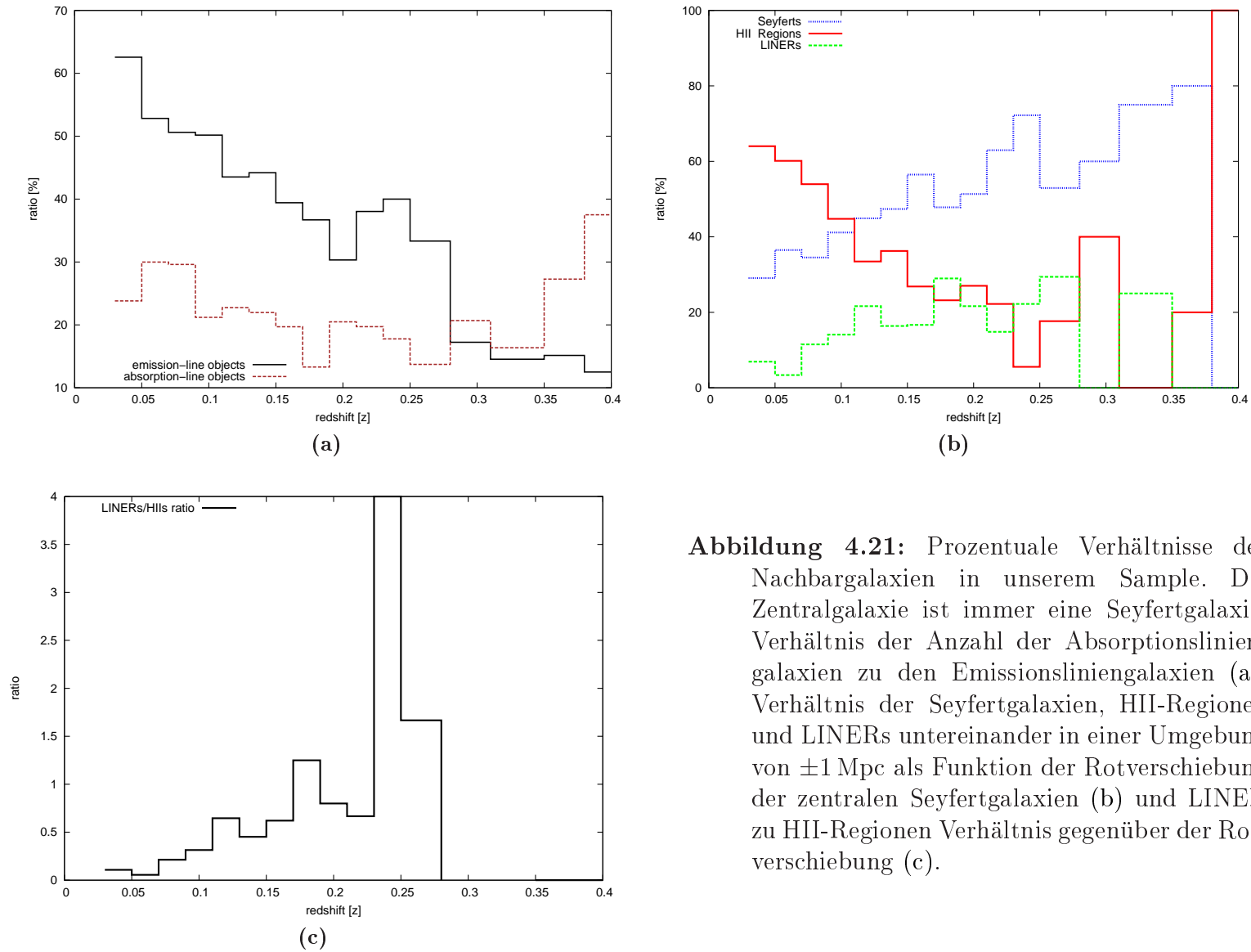


Abbildung 4.21: Prozentuale Verhältnisse der Nachbargalaxien in unserem Sample. Die Zentralgalaxie ist immer eine Seyfertgalaxie. Verhältnis der Anzahl der Absorptionsliniengalaxien zu den Emissionsliniengalaxien (a), Verhältnis der Seyfertgalaxien, HII-Regionen und LINERs untereinander in einer Umgebung von ± 1 Mpc als Funktion der Rotverschiebung der zentralen Seyfertgalaxien (b) und LINER zu HII-Regionen Verhältnis gegenüber der Rotverschiebung (c).

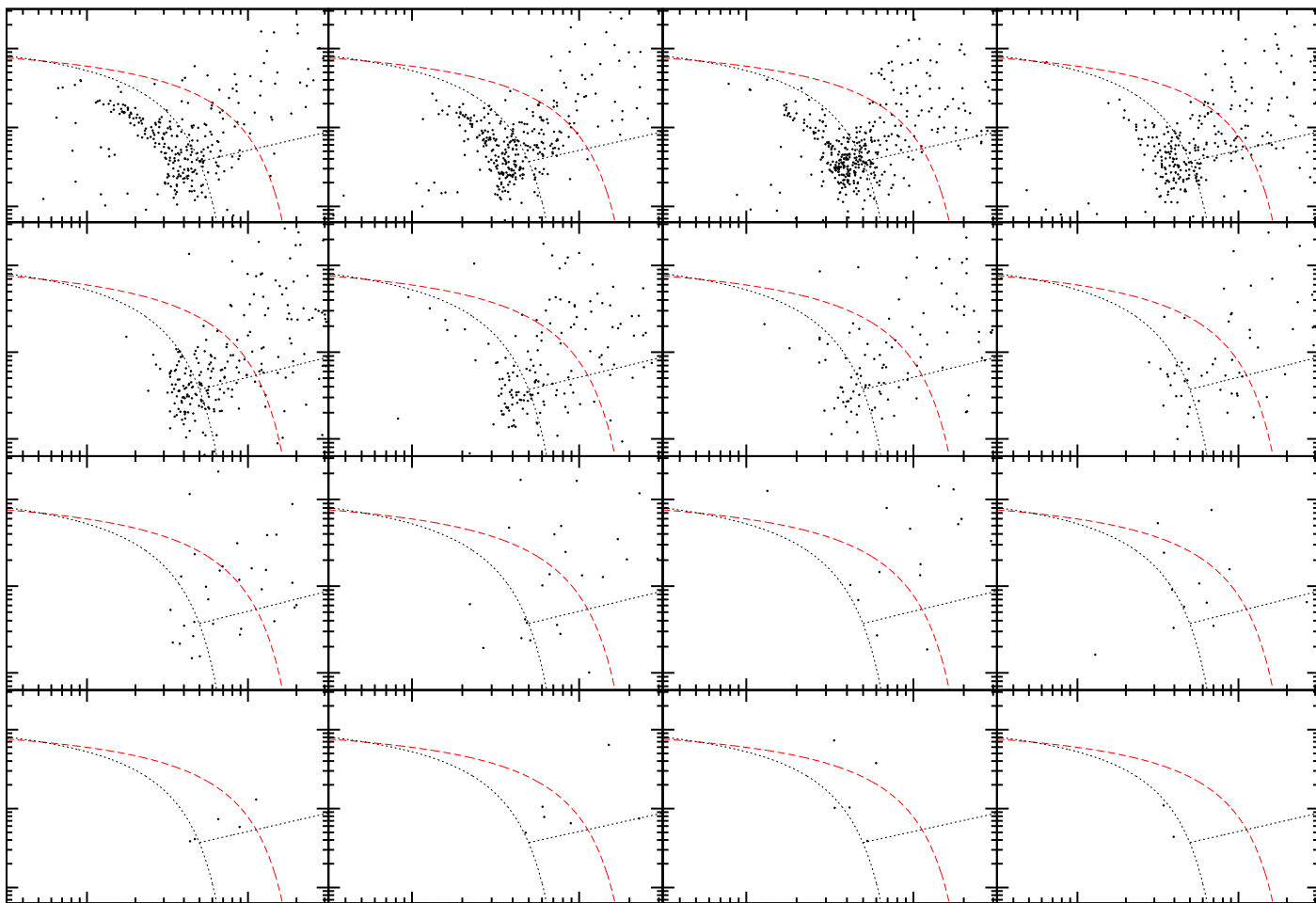


Abbildung 4.22: BPT-Diagramme der Nachbarobjekte aus Diagramm 4.18 für verschiedene Rotverschiebungsintervalle. Die ersten 11 Diagramme haben ein Rotverschiebungsintervall Δz von 0.2, das 14. von 0.4 und die restlichen von 0.3. Die Ordinaten- und Abszissen-Intervalle entsprechen denen der gestrichelten Box in Abbildung 4.18.

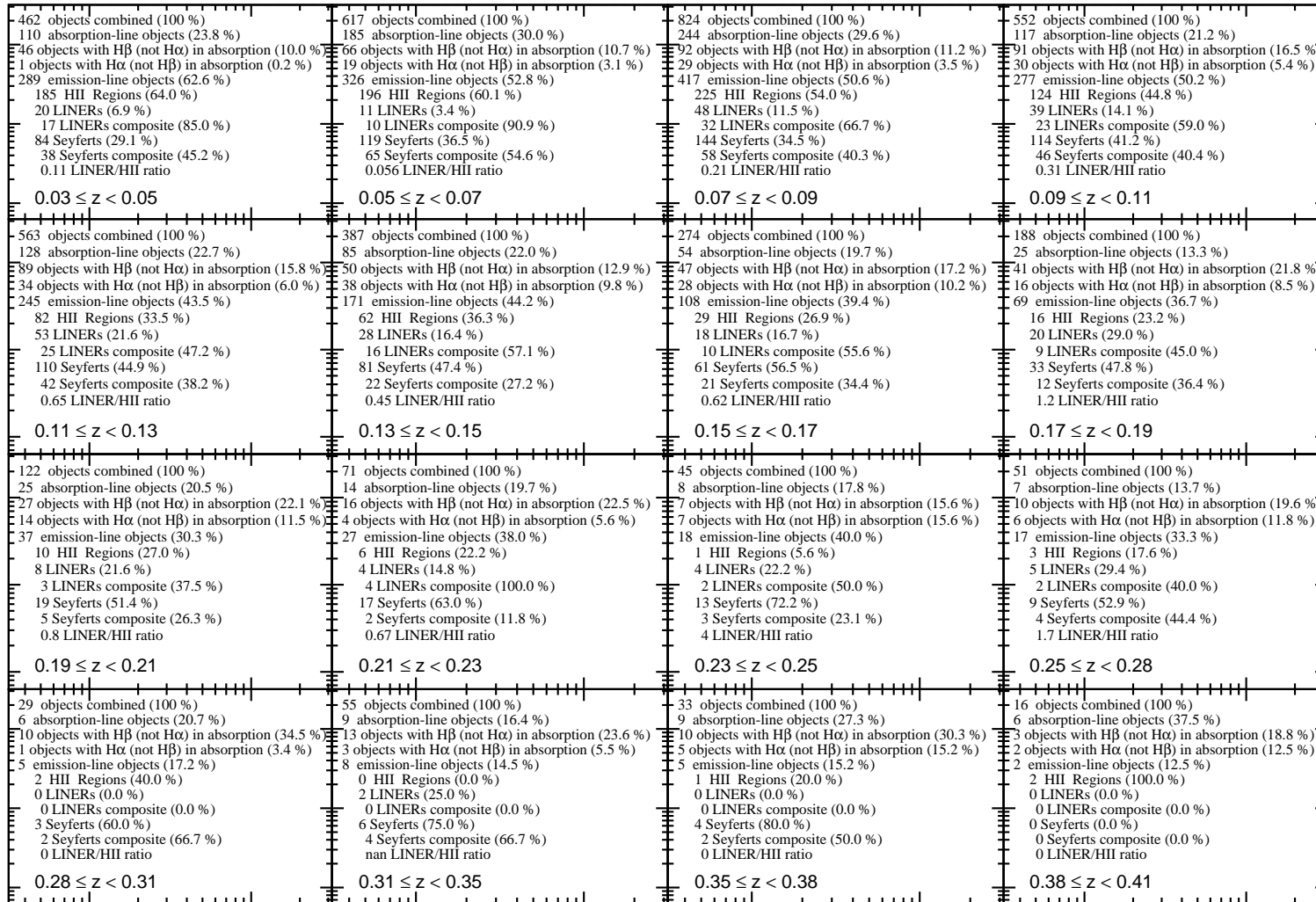


Abbildung 4.23: Statistiken für die BPT-Diagramme aus der Abbildung 4.23.

4.3.3 Erweiterte BPT-Diagramme

Zusätzlich zu den $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ vs $[\text{N II}] \lambda 6583/\text{H}\alpha$ Linienverhältnissen wurden auch die $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ vs $[\text{N II}] \lambda 6584/\text{H}\alpha$ und $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ vs $[\text{O I}] \lambda 6302/\text{H}\alpha$ Verhältnisse der Nachbarobjekte bestimmt. Abbildung 4.24 zeigt die Diagramme der 1550 untersuchten Nachbarobjekte, bei denen für alle sechs der oben genannten Linien Werte vorlagen. Dabei habe ich die Werte für die integrierten Linienintensitäten der schmalen Linienkomponente von $\text{H}\alpha$ und $\text{H}\beta$ selbst ausgemessen und die Werte für die integrierten Linienintensitäten der $[\text{O III}] \lambda 5007$ -, $\text{VNI} \lambda 6583$ -, $[\text{N II}] \lambda 6584$ - und $[\text{O I}] \lambda 6302$ -Linie aus der SDSS-Datenbank entnommen. Die eingezeichneten Trennlinien wurden in Kewley et al. (2006) und Kauffmann et al. (2003) definiert. Um diese Diagramme mit dem ursprünglichen BPT-Diagramm (Abbildung 4.20b) zu vergleichen, habe ich die einzelnen Datenpunkte entsprechend ihrer Klassifikation im ursprünglichen BPT-Diagramm kodiert: gefüllte blaue Kreise symbolisieren Seyfertgalaxien, grüne Dreiecke LINERs und offene rote Kreise HII-Regionen. Ein Großteil der Seyfertgalaxien wird in diesen Diagrammen als HII-Regionen und LINERs klassifiziert. Dadurch verringert sich der Anteil an Seyfertgalaxien auf weniger als die Hälfte und der Anteil der HII-Regionen nimmt um über die Hälfte zu (siehe Tabelle 4.6). Die Objekte, die in Abbildung 4.20b als HII-Regionen klassifiziert wurden, werden aber auch hier so eingeordnet. Viele in Abbildung 4.20b als LINER klassifizierte Objekte tauchen in Abbildung 4.24 als HII-Regionen auf. Da viele ursprünglich als Seyfertgalaxien eingeordnete Objekte nun als LINERs klassifiziert sind, bleibt der Prozentsatz der Seyfertgalaxien nahezu gleich (Tabelle 4.6). Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass sich in unserem Sample die Klassifizierung der Objekte zwischen denen in den Diagrammen 4.24a und 4.24b verwendeten Regeln nicht groß unterscheiden, aber sich große Diskrepanzen zu der Klassifikation bezüglich der $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ vs $[\text{N II}] \lambda 6583/\text{H}\alpha$ Linienverhältnisse ergeben. Daher werde ich im folgenden die in den Diagrammen 4.24a und 4.24b verwendeten Grenzen zur Unterscheidung zwischen LINERs, Seyferts und HII-Regionen nicht weiter verwenden und bei der Klassifikation bezüglich der Gleichungen (2.32) bis (2.34) verbleiben.

	[N II]-Diagramm		[S II]-Diagramm		[O I]-Diagramm	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Emissionslinienobjekte	2024	100%	1550	100%	1550	100%
HII-Regionen	947	46.8%	1146	73.9%	1163	75.0%
LINERs	260	12.8%	238	15.4%	160	10.3%
Seyferts	817	40.4%	166	10.7%	227	14.6%

Tabelle 4.6: Vergleich der Werte aus den BPT-Diagrammen 4.18, 4.24a und 4.24b. [N II] steht für das $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ vs $[\text{N II}] \lambda 6584/\text{H}\alpha$ BPT-Diagramm. [S II] für das $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ vs $[\text{S II}] \lambda \lambda 6718, 6733/\text{H}\alpha$ und [O I] für das $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ vs $[\text{O I}] \lambda 6302/\text{H}\alpha$ BPT-Diagramm.

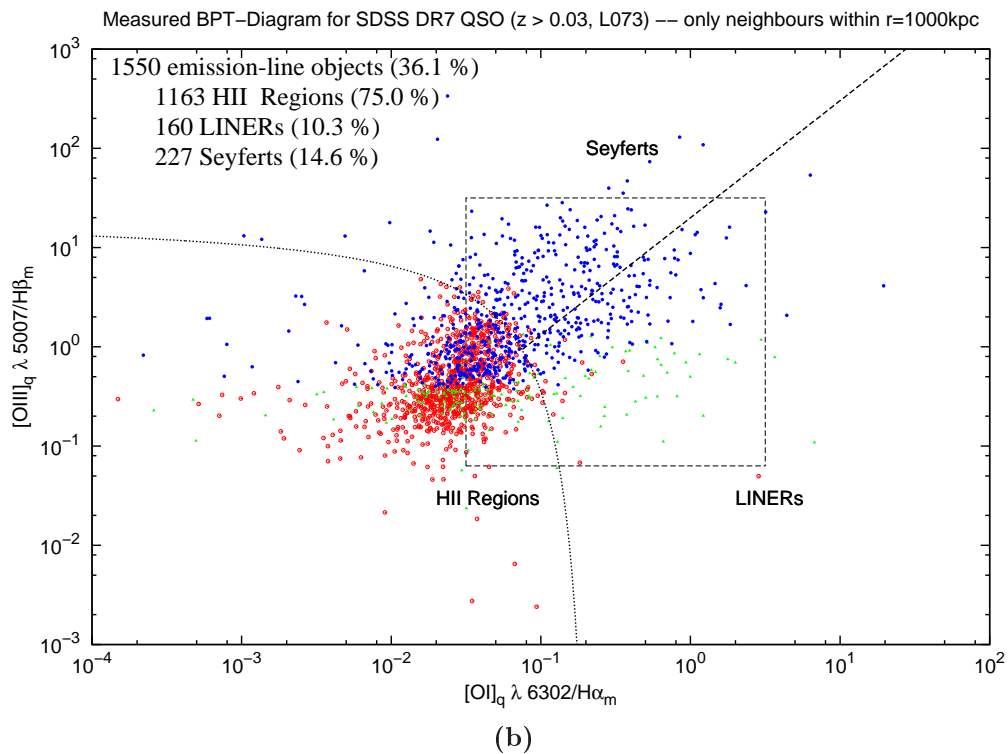
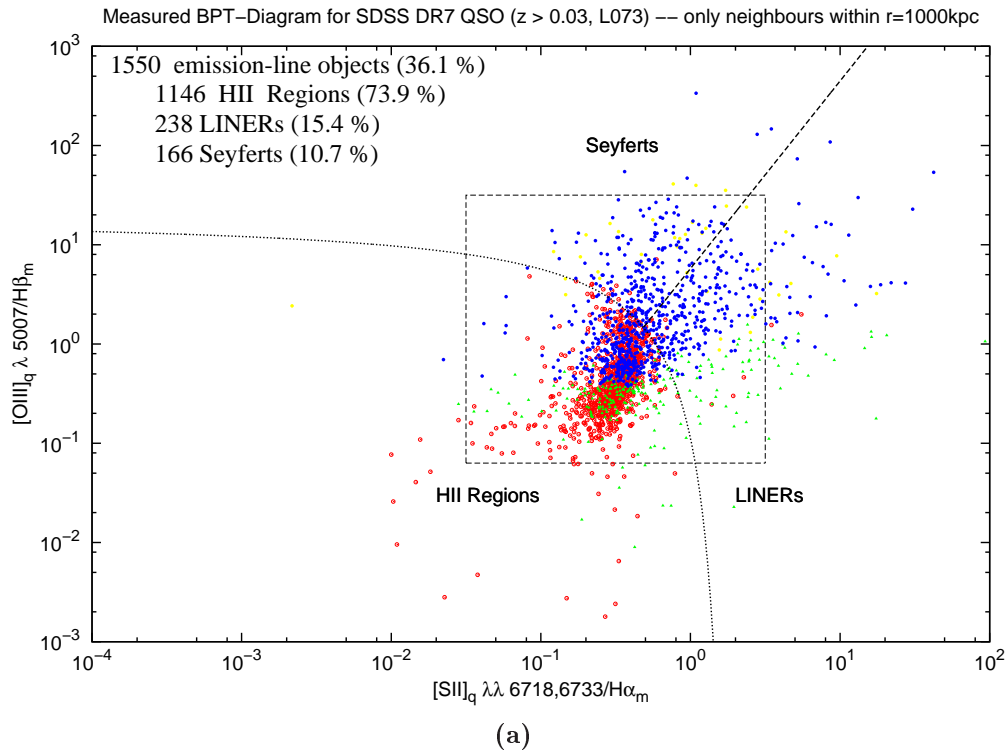


Abbildung 4.24: BPT-Diagramme, bei denen statt der $[\text{N II}] \lambda 6584$ -Linie die $[\text{S II}] \lambda \lambda 6718, 6733$ -Linien (a), beziehungsweise die $[\text{O I}] \lambda 6302$ -Linie (b) genommen wurde. Die verschiedenen Punkttypen symbolisieren hier die Einordnung der Objekte ins ursprüngliche $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ vs $[\text{N II}] \lambda 6584/\text{H}\alpha$ BPT-Diagramm (Abbildung 4.20b): gefüllte blaue Kreise für Seyfertgalaxien, grüne Dreiecke für LINERs und offene rote Kreise für HII-Regionen.

4.4 Die Leuchtkraft des Zentralobjekts und Anzahl der Nachbarn

Nachdem in Abschnitt 4.2 ein Zusammenhang zwischen der Leuchtkraft der Nachbarobjekte und deren Entfernung vom Zentralobjekt gezeigt wurde, soll jetzt die Anzahl der Nachbarn als Funktion der Leuchtkraft untersucht werden.

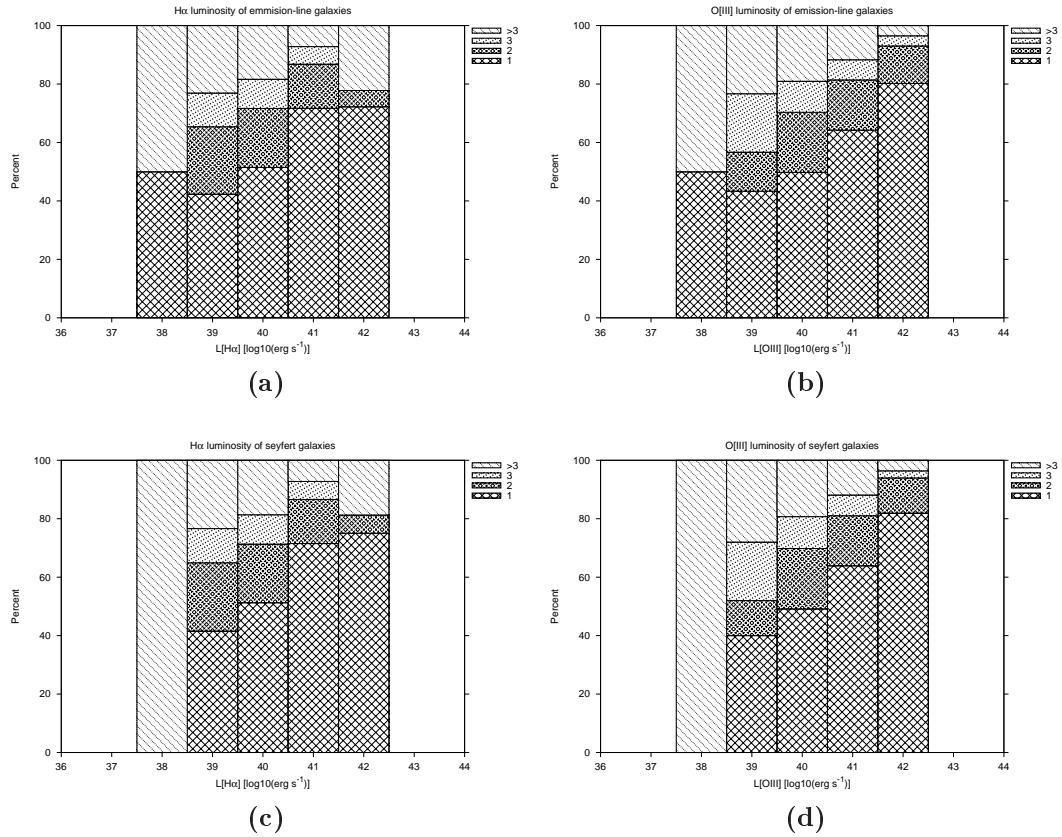


Abbildung 4.25: Prozentuale Anteile der Anzahl der Nachbarn im Verhältnis zur $H\alpha$ - beziehungsweise $[O III] \lambda 5007$ -Leuchtkraft der Zentralobjekte. (a) und (b): $H\alpha$ - und $[O III] \lambda 5007$ -Leuchtkräfte für alle Zentralgalaxien unseres Galaxiensamples. (c) und (d): $H\alpha$ - und $[O III] \lambda 5007$ -Leuchtkräfte für als Seyfertgalaxien klassifizierte Zentralgalaxien.

Die Abbildungen 4.25a und 4.25b stellen die prozentualen Anteile der Anzahl der Nachbarn im Verhältnis zur $H\alpha$ - und $[O III] \lambda 5007$ -Leuchtkraft der Zentralobjekte dar. Dabei habe ich als Zentralobjekte alle 2004 Emissionslinienobjekte (siehe Tabelle 4.3) verwendet. Durch verschiedene Schraffuren werden ein, zwei, drei und mehr als drei Nachbarn unterschieden. Es ist ein Trend zu beobachten, dass zu höheren Leuchtkräften der Anteil derjenigen Zentralobjekte zunimmt, die nur einen Nachbarn besitzen. Betrachtet man nur die Zentralobjekte, die als Seyfertgalaxien klassifiziert wurden (1945 Objekte), bemerkt man, dass dieser Trend hier noch stärker zu sehen ist (Abbildungen 4.25c und 4.25d). Dann habe ich untersucht,

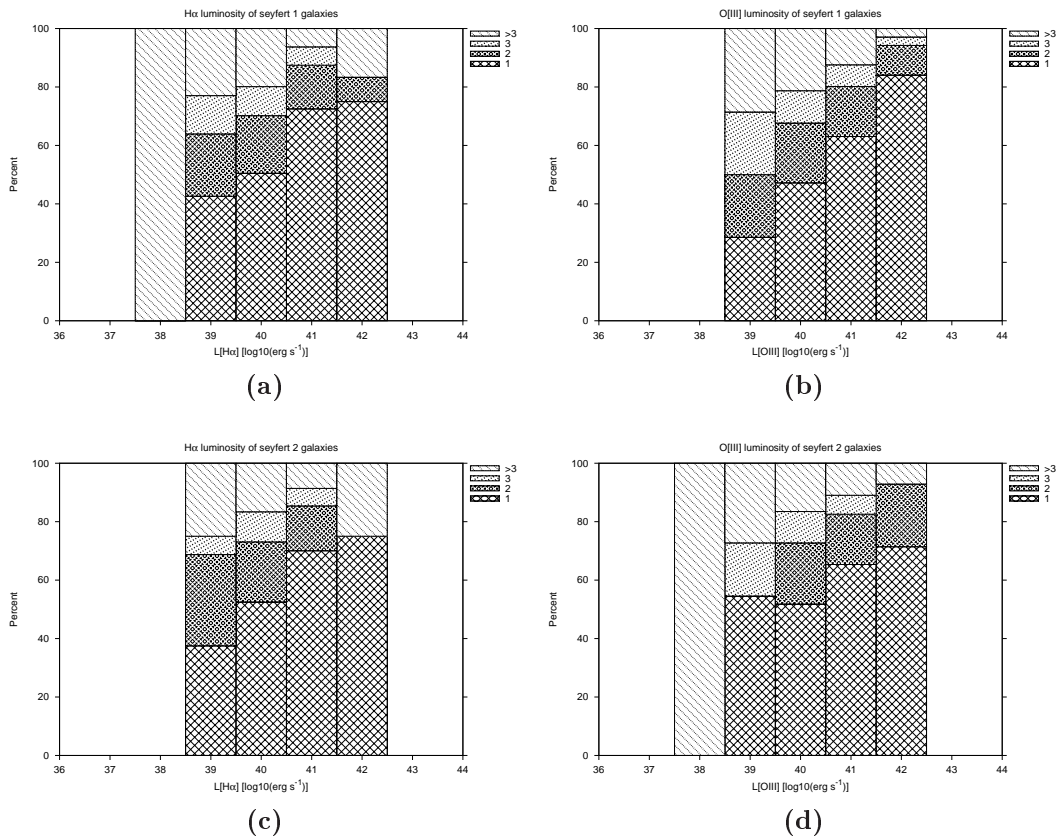


Abbildung 4.26: Prozentuale Anteile der Anzahl der Nachbarn im Verhältnis zur H α - beziehungsweise [O III] λ 5007-Leuchtkraft der Zentralobjekte. (a) und (b): H α - und [O III] λ 5007-Leuchtkräfte für die als Seyfert-1-Galaxien klassifizierte Zentralobjekte. (c) und (d): H α - und [O III] λ 5007-Leuchtkräfte für die als Seyfert-2-Galaxien klassifizierte Zentralobjekte unseres Galaxiensamples.

wie sich dieser Zusammenhang verhält, wenn ich die Seyfertgalaxien in Typ 1 und Typ 2 aufteile. Dazu habe ich Diagramme erstellt für die Anzahl der Nachbarobjekte in Abhängigkeit von der H α -Leuchtkraft der Seyfert-1-Galaxien (Abbildung 4.26a) und Seyfert-2-Galaxien (Abbildung 4.26c) und in Abhängigkeit von der [O III] λ 5007-Leuchtkraft der Seyfert-1-Galaxien (Abbildung 4.26b) und Seyfert-2-Galaxien (Abbildung 4.26d). Es ist zu erkennen, dass der Trend auch bei jedem Seyferttyp einzeln zu beobachten ist und am stärksten bei der [O III] λ 5007-Leuchtkraft der Seyfert-1-Galaxien auszumachen ist. Ich habe diese Untersuchung auch bei den als LINERs und HII-Regionen klassifizierten Zentralgalaxien durchgeführt, aber aufgrund ihrer geringen Anzahl (7 LINERs und 52 HII-Regionen, siehe auch Tabelle 4.3) konnte kein derartiger Zusammenhang gefunden werden. Es bleibt also festzustellen, dass mit wachsender Leuchtkraft der Zentralobjekte die Anzahl Nachbarobjekte abnimmt. Dieser Trend ist bei den als Seyfert klassifizierten Zentralgalaxien (sowohl Seyfert-1- als auch Seyfert-2-Galaxien) am stärksten.

Kapitel 5

Zusammenfassung

In dieser Arbeit habe ich die Umgebung von 76 552 Quasaren aus dem Sloan Digital Sky Survey (SDSS) untersucht. Dabei habe ich die Daten aller, in der siebten Data Release (DR7) des SDSS als Quasare klassifizierten Objekte mit einer Rotverschiebung z größer 0.03 ausgewählt (siehe Kapitel 2). Die zu betrachtende Umgebung der Quasare habe ich als einen Zylinder mit einem Radius von einem Mpc und einer Länge von ± 11.2 Mpc definiert. Dabei ist dieser Zylinder so im Raum orientiert, dass sich die Länge von ± 11.2 Mpc parallel zum Sehstrahl ausdehnt und der Radius senkrecht dazu. Für die Bestimmung der Entfernung habe ich eine Kosmologie von $H_0 = 71 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $\Omega_M = 0.27$ und $\Omega_\Lambda = 0.73$ angenommen und die Entfernungswerte durch numerische Integration bestimmt. Für jedes der 76 552 Zentralobjekte habe ich eine Datenbankabfrage gemacht, um eine Liste aller Nachbarobjekte in der oben definierten Umgebung zu erhalten. Durch eine zusätzliche Datenbankabfrage habe ich auch die integrierten Linienflüsse der 38 UV/optischen – vom SDSS vermessenen – Spektrallinien erhalten.

Die Linienflüsse dieser Spektrallinien sind vom SDSS nur durch einfache „single line fits“ vermessen worden und es wurde nicht zwischen Linienkomponenten verschiedener Breite unterschieden. Daher habe ich die schmale Komponente der $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linien bei all denjenigen Zentralobjekten per Hand ausgemessen, die auch Nachbarobjekte besitzen. Zudem habe ich die Linien bei den dazugehörigen Nachbarobjekten ausgemessen. Liegen die Balmerlinien $H\alpha$ und $H\beta$ in Absorption vor, habe ich das Objekt als Absorptionsliniengalaxie eingeordnet. Liegen diese beiden Balmerlinien, die $[\text{O III}] \lambda 5007$ - und $[\text{N II}] \lambda 6584$ -Linien in Emission vor, werden sie anhand der $[\text{O III}] \lambda 5007/H\beta$ - und $[\text{N II}] \lambda 6584/H\alpha$ -Linienverhältnisse als HII-Regionen, LINERs und Seyfertgalaxien klassifiziert. Bei den 76 552 Zentralobjekte konnte ich die schmalen Komponenten der $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linien bis zu einer Rotverschiebung von $z = 0.4$ ausmessen, da ab dann die $H\alpha$ -Linie aus dem beobachteten Spektralbereich herausfiel. Somit konnte ich 7055 Galaxien vermessen, wovon 4405 Objekte Emissionliniengalaxien sind. Davon habe ich 1082 als HII-Regionen, 288 als LINERs und 3035 als Seyfertgalaxien klassifiziert.

Im Kapitel 3 habe ich dann die spektralen Eigenschaften des Galaxiensamples untersucht.

Dazu habe ich zunächst im Abschnitt 3.1 die integrierte Linienintensität der $[\text{O III}] \lambda 5007$ -Linie in Abhängigkeit der integrierten Linienintensität der Balmerlinien in diesem Sample von 4405 Emissionsliniengalaxien untersucht. Ich habe eine starke Korrelation zwischen den Logarithmen der integrierten Linienintensität der $[\text{O III}] \lambda 5007$ -Linie und der integrierten Linienintensität der Balmerlinien gefunden. Diese Korrelation gilt für die HII-Regionen, LINERs und Seyfertgalaxien sowohl beim $[\text{O III}] \lambda 5007$ -zu- $\text{H}\alpha$ -Linienverhältnis als auch beim $[\text{O III}] \lambda 5007$ -zu- $\text{H}\beta$ -Linienverhältnis. Die Irrtumswahrscheinlichkeiten sind für die Korrelationskoeffizienten nach Pearson, Spearman und Kendall kleiner 0.05 Prozent. Die Regressionsgeraden bezüglich dieser Verhältnisse haben, bis auf das $[\text{O III}] \lambda 5007$ -zu- $\text{H}\alpha$ -Verhältnis der LINERs, Steigungen nahe eins. Beim $[\text{O III}] \lambda 5007$ -zu- $\text{H}\alpha$ -Verhältnis der LINERs beträgt der Steigungswert 0.46 ± 0.03 . Die Intensitätsverhältnisse der $[\text{O III}] \lambda 5007$ -Linie zu den Balmerlinien der Seyfertgalaxien haben sogar einen linearen Zusammenhang. Dabei beträgt die Steigung 1.11 ± 0.10 für das $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\alpha$ -Verhältnis und 5.86 ± 0.30 für das $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\beta$ -Verhältnis.

In Abschnitt 3.2 finden sich meine Berechnungen zu dem Verhältnis der $\text{H}\alpha$ - zur $\text{H}\beta$ -Linienintensität der schmalen Linienkomponente, das Balmerdekrement meines Samples. Dabei erhalte ich für das Gesamtsample einen Wert von fünf, konstant über den betrachteten Rotverschiebungsbereich von 0.03 bis 0.4.

Betrachte ich die Werte des Balmerdekrements getrennt für LINERs, Seyferts und HII-Regionen und trage sie über der Rotverschiebung z auf, erhalte ich folgenden Verlauf: Bei den Emissionsliniengalaxien (LINERs, Seyferts und HII-Regionen) fällt das Balmerdekrement mit steigender Rotverschiebung ab

Im Abschnitt 3.3.1 habe ich den integrierten Linienfluss der $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325$ -Linien im Bereich von 5169 \AA bis 5325 \AA aus den Spektren meines Samples berechnet. Dieser Bereich war in den Spektren bis zu einer Rotverschiebung von $z \leq 0.7$ vollständig enthalten. Dann habe ich den integrierten Linienfluss des $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325$ -Bereichs über der Rotverschiebung z aufgetragen und ermittelte eine negative Korrelation, wobei die Irrtumswahrscheinlichkeiten für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman und Kendall kleiner als 0.05 Prozent sind. Der lineare Korrelationskoeffizient nach Pearson ist mit einem Wert von 1.1% zwar größer, aber immer noch signifikant. Die Gleichung der dazugehörigen linearen Regression beträgt: $-103.05 \pm 40.6 \cdot x + 72.22 \pm 16$.

Bei dem als Seyfertgalaxien klassifizierten Zentralobjekten habe ich mit den berechneten Intensitätswerten des $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325$ -Bereichs das $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\beta$ -Linienverhältnis mit dem $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325 / \text{H}\beta$ -Linienverhältnis verglichen (Abschnitt 3.3.2). Dazu habe ich die schmalen, von mir vermessenen Komponenten der $\text{H}\alpha$ - und $\text{H}\beta$ -Linien verwendet. Ich finde eine positive Korrelation mit Irrtumswahrscheinlichkeiten der Korrelationskoeffizienten nach Pearson, Spearman und Kendall kleiner als 10^{-10} . Die Regressionsgerade hat die Form $1.77 \pm 0.08x + 8.77 \pm 0.43$. Das heißt mit steigendem $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325 / \text{H}\beta$ -Verhältnis bei den Seyfertgalaxien steigt auch die Stärke hoch-ionisierter Linien, wie die der $[\text{O III}] \lambda 5007$ -Linie an.

Dann habe ich in Abschnitt 3.3.2 das $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325 / \text{H}\beta$ -Linienverhältnis

der zentralen Seyfertgalaxien mit dem $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ -Linienverhältnis der dazugehörigen Nachbargalaxien verglichen. Dazu habe ich das $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ -Linienverhältnis aller Nachbarobjekte eines jeden Zentralobjekts bestimmt und den arithmetischen Mittelwert berechnet. Auch hier finde ich eine positive Korrelation und die Irrtumswahrscheinlichkeit bezüglich des linearen Korrelationskoeffizienten nach Pearson beträgt 0.4%. Hier lautet die Regressionsgerade $0.004 \pm 0.001 \cdot x + 2.01 \pm 0.16$. Aus diesem Ergebnis folgt, dass mit höherem $\text{Fe II } \lambda\lambda 5169 - 5325/\text{H}\beta$ -Verhältnis des Zentralobjekts, das Nachbarobjekt im BPT-Diagramm weiter in Richtung Seyfertgalaxien verschoben ist.

In Abschnitt 3.4.1 ermittle ich bei der Untersuchung der Linienleuchtkräfte der beiden Balmerlinien $\text{H}\alpha$ und $\text{H}\beta$ gegenüber der Kontinuumsleuchtkraft bei 5100 \AA eine positive Korrelation sowohl für alle untersuchten Objekte als auch für jeden Galaxientyp einzeln (HII-Regionen, LINERs, Seyferts, nur Seyferts-1-Galaxien und nur Seyferts-2-Galaxien). Dabei ist die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Korrelation kleiner als $3 \cdot 10^{-7}$.

In Abschnitt 3.4.2 habe ich einen Trend gefunden, dass mit steigender Kontinuumsleuchtkraft L_{F5100} bei 5100 \AA die relative Stärke der verbotenen Linien bei HII-Regionen abnehmen und bei LINERs und Seyfertgalaxien zunehmen. Das entspricht einer Verschiebung der HII-Regionen nach rechts unten, der LINERs nach rechts und der Seyfertgalaxien nach oben in den jeweiligen Regionen des BPT-Diagramms. Dazu habe ich mir das $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ - und die $[\text{N II}] \lambda 6583/\text{H}\alpha$ - und $[\text{O I}] \lambda 6302/\text{H}\alpha$ -Linienverhältnisse in Abhängigkeit von der Kontinuumsleuchtkraft bei 5100 \AA , jeweils für die drei Galaxientypen (HII-Regionen, LINERs, Seyferts) angesehen. Dabei habe ich gefunden, dass das $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ - und das $[\text{N II}] \lambda 6583/\text{H}\alpha$ - und $[\text{O I}] \lambda 6302/\text{H}\alpha$ -Linienverhältnis der HII-Regionen gegenüber der Kontinuumsleuchtkraft eine negative Korrelation zeigt. Für die LINERs hat das $[\text{N II}] \lambda 6583/\text{H}\alpha$ - und das $[\text{O I}] \lambda 6302/\text{H}\alpha$ -Linienverhältnis gegenüber der Kontinuumsleuchtkraft eine positive Korrelation und bei den Seyfertgalaxien besitzt das $[\text{O I}] \lambda 6302/\text{H}\alpha$ -Verhältnis eine positive Korrelation gegenüber der Kontinuumsleuchtkraft.

In meinem Sample habe ich in Abschnitt 3.4.3, die $\text{H}\alpha$ -Linienleuchtkraft und die Kontinuumsleuchtkraft bei 5100 \AA in Abhängigkeit der Linienbreite (FWHM) der $\text{H}\alpha$ -Linie untersucht und einen Anstieg der Leuchtkräfte mit steigender $\text{H}\alpha$ -Linienbreite festgestellt. Dabei befinden sich im $\text{H}\alpha$ -FWHM-Bereich von 1000 bis 2000 km s^{-1} weniger Objekte als in den Halbwertsbreitenbereichen größerer 2000 km s^{-1} und kleiner 1000 km s^{-1} .

Im Kapitel 4 habe ich mich mit den Eigenschaften der Nachbarobjekte in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Zentralobjekts beschäftigt.

In Abschnitt 4.1 habe ich die räumliche Verteilung der Umgebungsobjekte um das Zentralobjekt untersucht. Dabei habe ich die Anzahl der Nachbarobjekte nicht nur über ihrer Entfernung zum Zentralobjekt aufgetragen, sondern auch über dem aufgrund ihrer Entfernung vom Zentralobjekt eingeschlossenen Volumen. Da man für diese Betrachtung keine Werte bestimmter Spektrallinien benötigt, die man nur bis zu einer bestimmten Rotverschiebung aus den Spektren ermitteln kann, konnte hier

der gesamte Rotverschiebungsbereich von $z = 0.03$ bis $z = 6$ betrachtet werden. Dabei habe ich bei der Auftragung der Anzahl der Objekte über dem eingeschlossenen Volumen einen Abfall der Werte der Form $y = a/x^b$ gefunden, wobei x für das eingeschlossene Volumen und y für die Anzahl der Objekte in Abhängigkeit von x steht. Dabei sind a und b freie Parameter, wobei ich für den Parameter b , der die Stärke des Abfalls beschreibt, einen Wert von $b = 0.72$ ermittelt habe. Wenn ich diese Auftragung für jeden Galaxientype einzeln erstelle, d.h. mir nur die Umgebungsverteilung der Objekte, die als Seyferts, HII-Regionen, LINERs und Absorptionslinienobjekte klassifiziert sind, herausgreife, erhalte ich folgende Werte für den Parameter b : Seyfertgalaxien ($b = 0.76$), HII-Regionen ($b = 0.74$), LINERs ($b = 0.74$) und Absorptionsliniengalaxien ($b = 0.70$). Aufgrund der Klassifikation über Linienverhältnisse wird hier die Umgebung aller Zentralobjekte von $0.03 \leq z \leq 0.4$ betrachtet.

Ich habe die Nachbargalaxien in zwei Gruppen aufgeteilt, basierend auf der i-Band-Magnitude ihres Zentralobjekts. Dabei habe ich als Grenze eine Magnitude von $M_i = -21.32$ gewählt. Für den Parameter b erhalte ich Werte von $b = 0.71$ für die Zentralobjekte mit niedriger M_i -Magnitude und $b = 0.73$ für die Zentralobjekte höherer Magnitude. Beim direkten Vergleich der Anzahl der Nachbarobjekte bis 0.1 Mpc Entfernung finde ich 50% mehr Nachbarobjekte bei den leuchtstärkeren QSOs als bei den leuchtschwächeren QSOs. Das heißt, dass sich bei leuchtstärkeren QSOs mehr Objekte in direkter Nachbarschaft befinden (bis ca. 0.1 Mpc) als bei leuchtschwächeren QSOs.

Um zu untersuchen, wie sich die Verteilung von Umgebungsobjekten um nicht-aktive Zentralgalaxien von der um aktive Zentralgalaxien unterscheidet, habe ich zwei Vergleichssamples gebildet. Für das erste habe ich alle als Absorptionsliniengalaxien klassifizierten Objekte des Ursprungssamples ausgewählt und sie als neue Zentralgalaxien gesetzt. In diesem kleineren Sample befinden sich 2926 Zentralobjekte. Für das zweite habe ich eine neue SQL-Abfrage an die SDSS-Datenbank gestellt, die mir eine Liste aller Absorptionsliniengalaxien, d.h. aller Galaxien, bei der $H\alpha$ und $H\beta$ in Absorption vorliegen, im Rotverschiebungsbereich von $0.03 \leq z \leq 0.4$ lieferte. In diesem größeren Sample beträgt die Anzahl der Zentralobjekte 255 120. Beim ersten Vergleichssample besitzt der Parameter b nun den Wert von 0.67 und beim zweiten Vergleichssample den Wert von 0.69, beide kleiner als der Wert von $b = 0.72$ des Ursprungssamples. Schränkt man den Rotverschiebungsbereich des Ursprungssamples auch auf $0.03 \leq z \leq 0.4$ ein, erhält man $b = 0.73$. Beim direkten Vergleich der Anzahl der Nachbarobjekte bis 0.1 Mpc Entfernung finde ich 53% weniger Objekte im ersten Vergleichssample und 64% weniger Objekte im zweiten Vergleichssample als bei dem Ursprungssample. Das heißt, dass sich bei nicht-aktiven Zentralgalaxien über 50% weniger Objekte in direkter Nachbarschaft (bis ca. 0.1 Mpc) zum Zentrum befinden, als bei aktiven Zentralgalaxien. Dieser Radius der direkten Nachbarschaft entspricht einem Bereich von bis zu 0.2 Mpc, ähnlich groß der Strecke von bis zu 0.27 Mpc, die Galaxien während ihrer Aktivitätsphase zurücklegen können.

Im Abschnitt 4.2 habe ich die Linienleuchtkraft der schmalen Balmerlinien ($H\alpha$ und $H\beta$) der Nachbarobjekte über ihrer Entfernung vom Zentralobjekt untersucht. Dazu habe ich die Nachbarobjekte getrennt nach Seyfertgalaxien, LINERs, HII-Regionen und Absorptionsliniengalaxien betrachtet. Dabei habe ich festgestellt, dass die $H\alpha$ -

und $H\beta$ -Leuchtkräfte für alle drei Typen von Emissionliniengalaxien (Seyfertgalaxien, LINERs und HII-Regionen) mit steigender Entfernung vom Zentralobjekt abnehmen.

Zudem habe ich Leuchtkraft-Entfernungs-Histogramme im Abschnitt 4.2 erstellt, um die Verteilung der Linienleuchtkräfte der schmalen $H\alpha$ -, $H\beta$ - und zusätzlich der [O III] $\lambda 5007$ -Linie in Intervallen gleichen Volumens über der Entfernung vom Zentralobjekt zu untersuchen. Dabei zeigt sich, dass die Streuung der Linienleuchtkräfte der $H\alpha$ -, $H\beta$ - und [O III] $\lambda 5007$ -Linien bei den Seyfertgalaxien am größten ist, kleiner bei den HII-Regionen und am geringsten bei den LINERs.

Im Abschnitt 4.3 habe ich alle Zentralgalaxien und deren Nachbarobjekte, bei denen ich die schmalen $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linien vermessen habe, anhand ihrer Spektrallinien und mit Hilfe des BPT-Diagramms klassifiziert. 91.5 % der von mir vermessenen und vom SDSS als QSOs klassifizierten Objekte sind Seyfertgalaxien (davon 38.3% Seyfert 2 und 61.7 % Seyfert 1). Bei den Nachbarschaftsobjekten sind 24.1 % Absorptionslinienobjekte und 47.1 % Emissionslinienobjekte. Von diesen Emissionslinienobjekten sind 46.8 % HII-Regionen, 40.4 % Seyferts (davon 95.0% Seyfert 2 und 5.0 % Seyfert 1) und 12.8 % LINERs.

Die Verteilung aller klassifizierten Nachbarobjekte in Abhängigkeit von der Rotverschiebung habe ich in Abschnitt 4.3.2 untersucht, indem ich den Rotverschiebungsbereich von $0.03 \leq z \leq 0.4$ in diskrete Rotverschiebungsintervalle aufgeteilt habe. Dabei habe ich folgende Verläufe für die Nachbarobjekte ermittelt:

Der Anteil der Emissionslinienobjekte nimmt über den untersuchten Rotverschiebungsbereich ab. Der Anteil der HII-Regionen nimmt bis zu der Rotverschiebung von 0.265 auf ein Drittel ab, während sich der Anteil an Seyfertgalaxien verdoppelt. Der Anteil der LINERs verdreifacht sich auf niedrigem Niveau. Wegen der geringen Anzahl von Objekten ab $z > 0.265$ ist für den Bereich größer diesem Rotverschiebungswert keine gesicherte Aussage möglich. Das Verhältnis der LINERs zu HII-Regionen nimmt mit steigender Rotverschiebung zu.

Im Abschnitt 4.4 habe ich untersucht, ob die Leuchtkraft des Zentralobjekts ($H\alpha$ - und [O III] $\lambda 5007$ -Linienleuchtkräfte) im Zusammenhang mit der Anzahl seiner Nachbargalaxien steht. Dabei habe ich den Trend gefunden, dass mit steigender $H\alpha$ - und [O III] $\lambda 5007$ -Leuchtkraft des Zentralobjektes die Anzahl der Nachbarobjekte abnimmt. Dieser Trend wird noch stärker, wenn man nur Zentralgalaxien, die Seyfertgalaxien sind, beachtet. Am stärksten ist dieser Zusammenhang zu erkennen, wenn man die Anzahl der Nachbarn der als Seyfert-1-Galaxie klassifizierten Zentralobjekte gegenüber der [O III] $\lambda 5007$ -Leuchtkraft dieser Zentralobjekte betrachtet.

Tabellenverzeichnis

2.1	Beispieldaten <i>look-back-time</i> -Problem	29
2.2	Statistik der Galaxientypen	40
3.1	Korrelationsanalyse [O III] $\lambda 5007$ / Balmerlinien-Verhältnis	43
3.2	Regressionsgleichungen [O III] $\lambda 5007$ vs Balmerlinien	44
3.3	Korrelationsanalyse [O III]/Fe II-Verhältnis gegen Rotverschiebung	49
3.4	Korrelationsanalyse [O III] $\lambda 5007/H\beta$ gegen Fe II/ $H\beta$	54
3.5	Korrelationsanalyse Linien- gegenüber Kontinuumsleuchtkraft	57
3.6	Korrelationsanalyse Linienverhältnisse / Kontinuumsleuchtkraft	59
4.1	Parameter b für verschiedene Samples	70
4.2	Mittelwerte schmaler $H\alpha$ - und $H\beta$ -Linienleuchtkräfte	73
4.3	Statistik der Galaxientypen	83
4.4	Galaxienstatistik bezüglich der BPT-Diagramme 4.18 und 4.20b	83
4.5	Statistik der BPT-Diagramme für verschiedenen Rotverschiebungsbereiche	86
4.6	Galaxienstatistik bezüglich der BPT-Diagramme 4.18, 4.24a und 4.24b	90
A.1	Liste der SDSS-Spektrallinien	115

Abbildungsverzeichnis

1.1	Klassifikation der verschiedenen Seyfert-Typen.	3
1.2	Unified Model	5
1.3	Akkretions Scheibenwindmodell	6
1.4	BLR von Mkn 110	6
1.5	2.5 m SDSS Teleskop am APO	7
1.6	SDSS Kamera	8
2.1	Häufigkeitsverteilung der QSOs über der Rotverschiebung	14
2.2	Räumliche Verteilung des QSO-Samples	15
2.3	QSO-Sample in Aitoff-Projektion	15
2.4	Beispielspektren bei verschiedenen Rotverschiebungen	16
2.5	Graphische Illustration der QSO-Nachbarschaft	18
2.6	Rotverschiebung und Skalenfaktor	21
2.7	Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation und Entfernungsbestimmung	24
2.8	Winkelradius gegen Rotverschiebung	25
2.9	Verteilung der Anzahl der Nachbarn über der Rotverschiebung	27
2.10	Mittlere Anzahl der Nachbargalaxien unseres Galaxiensamples	27
2.11	Rotverschiebung-Entfernungs-Relation und <i>look-back-time</i>	29
2.12	Himmelsbedeckung der 1802 SDSS Platten in Aitoff Projektion	30
2.13	Beispiel-BPT-Diagramm mit Trennlinien	33
2.14	Beispielspektrum	34
2.15	Vergleich abgefragtes und Kauffmann et al. (2003) BPT-Diagramm	35
2.16	Beispielspektren verschiedener Galaxientypen	36
2.17	Linienprofil aus Gausskurven	37

2.18	Vermessungsstrategien mit <code>splot</code>	38
2.19	Störung im Spektrum bei $H\beta$	39
3.1	Verhältnis $[O\ III]\ \lambda 5007 / H\alpha$	42
3.2	Verhältnis $[O\ III]\ \lambda 5007 / H\beta$	42
3.3	Balmerdekrement gegen Rotverschiebung	46
3.4	Balmerdekrement gegen Rotverschiebung für Galaxientypen	47
3.5	Beispielspektrum Vermessung $Fe\ II\ \lambda\lambda 5169 - 5325$ -Bereich	48
3.6	$[O\ III]\ \lambda 5007 / Fe\ II\ \lambda\lambda 5169 - 5325$ gegen Rotverschiebung	49
3.7	$[O\ III]\ \lambda 5007 / Fe\ II\ \lambda\lambda 5169 - 5325$ gegen Kontinuumsleuchtkraft	51
3.8	$[O\ III]\ \lambda 5007 / H\beta$ gegen $Fe\ II / H\beta$ der Zentralobjekte.	52
3.9	$[O\ III]\ \lambda 5007 / H\beta$ Nachbarn gegen $Fe\ II / H\beta$ Zentralobjekt.	53
3.10	Linienleuchtkräfte gegenüber Kontinuumsleuchtkraft	56
3.11	Kontinuumsleuchtkraft gegen $[O\ III]\ \lambda 5007 / H\beta$ und $[O\ I]\ \lambda 6302 / H\alpha$	58
3.12	Kontinuumsleuchtkraft gegen Halbwertsbreite	60
4.1	Entfernung der Objekte vom Zentrum	62
4.2	Entfernung der Umgebungsobjekte vom Zentrum nach Galaxientyp	63
4.3	Entfernung der Umgebungsobjekte vom Zentrum nach Leuchtkraft	65
4.4	Lineare Entfernung vom Zentrum nach Leuchtkraft getrennt	66
4.5	Nachbarnverteilung über Rotverschiebung (Vergleichssample 1)	66
4.6	Entfernung der Objekte vom Zentrum (Vergleichssample 1)	67
4.7	Nachbarnverteilung über Rotverschiebung (Vergleichssample 2)	69
4.8	Entfernung der Objekte vom Zentrum (Vergleichssample 2)	69
4.9	Entfernung der Objekte vom Zentrum (QSO-Sample mit $z \leq 0.4$)	70
4.10	Lineare Entfernung der Objekte vom Zentrum	72
4.11	$H\alpha$ -Leuchtkräfte gegenüber dem Abstand vom Zentralobjekt	74
4.12	$H\beta$ -Leuchtkräfte gegenüber dem Abstand vom Zentralobjekt	75
4.13	Gebinnete Leuchtkräfte gegenüber dem Abstand vom Zentralobjekt	76
4.14	Leuchtkraft-Entfernungs-Histogramm für Seyferts	78
4.15	Leuchtkraft-Entfernungs-Histogramm für LINERs	79
4.16	Leuchtkraft-Entfernungs-Histogramm für HII-Regionen	80

4.17	BPT-Diagramm der vermessenen Zentralobjekte	82
4.18	BPT-Diagramm der vermessenen Nachbarobjekte	82
4.19	Spektrum bei $z=0.396$	84
4.20	BPT-Diagramme für verschiedene Kosmologien	85
4.21	Verhältnis Absorptions- / Emissionslinien über Rotverschiebung	87
4.22	BPT-Diagramme für verschiedene Rotverschiebungsintervalle	88
4.23	BPT-Diagramme für verschiedene Rotverschiebungsintervalle	89
4.24	BPT-Diagramme für $[S II] \lambda\lambda 6718, 6733$ und $[O I] \lambda 6302$ -Verhältnis	91
4.25	Anzahl der Nachbarn gegen Leuchtkraft des Zentralobjekts I	92
4.26	Anzahl der Nachbarn gegen Leuchtkraft des Zentralobjekts II	93
A.1	Ablaufdiagramm	113

Literaturverzeichnis

- Abazajian, K., et al. 2004, *AJ*, 128, 502 [ADS]
- Abazajian, K., et al. 2005, *AJ*, 129, 1755 [ADS]
- Abazajian, K., et al. 2003, *AJ*, 126, 2081 [ADS]
- Abazajian, K. N., et al. 2009, *ApJS*, 182, 543 [ADS]
- Adelman-McCarthy, J. K., et al. 2008, *ApJS*, 175, 297 [ADS]
- Adelman-McCarthy, J. K., et al. 2007, *ApJS*, 172, 634 [ADS]
- Adelman-McCarthy, J. K., et al. 2006, *ApJS*, 162, 38 [ADS]
- Baldwin, J. A., Phillips, M. M., & Terlevich, R. 1981, *PASP*, 93, 5 [ADS]
- Barlow, R. 1989, *Statistics. A guide to the use of statistical methods in the physical sciences* (The Manchester Physics Series, New York: Wiley, 1989) [ADS]
- Becker, R. H., White, R. L., & Helfand, D. J. 1995, *ApJ*, 450, 559 [ADS]
- Beckert, T., & Duschl, W. J. 2002, *A&A*, 387, 422 [ADS]
- Bevington, P. R. 1969, *Data reduction and error analysis for the physical sciences* (New York: McGraw-Hill, 1969) [ADS]
- Blandford, R. D., & Payne, D. G. 1982, *MNRAS*, 199, 883 [ADS]
- Blanton, M. R., Lin, H., Lupton, R. H., Maley, F. M., Young, N., Zehavi, I., & Loveday, J. 2003, *AJ*, 125, 2276 [ADS]
- Bowen, I. S. 1927, *Nature*, 120, 473 [ADS]
- Constantin, A., & Vogeley, M. S. 2006, *ApJ*, 650, 727 [ADS]
- Dahari, O. 1984, *AJ*, 89, 966 [ADS]
- Dahari, O. 1985, *AJ*, 90, 1772 [ADS]
- De Robertis, M. M., Yee, H. K. C., & Hayhoe, K. 1998, *ApJ*, 496, 93 [ADS]
- Dultzin-Hacyan, D., Krongold, Y., Fuentes-Guridi, I., & Marziani, P. 1999, *ApJ*, 513, L111 [ADS]

- 1926, *The Internal Constitution of the Stars*, ed. Eddington, A. S. [ADS]
- Einstein, A. 1916, *Annalen der Physik*, 354, 769 [ADS]
- Friedman, A. 1922, *Zeitschrift für Physik*, 10, 377 [ADS]
- Fuentes-Williams, T., & Stocke, J. T. 1988, *AJ*, 96, 1235 [ADS]
- Fukugita, M., Ichikawa, T., Gunn, J. E., Doi, M., Shimasaku, K., & Schneider, D. P. 1996, *AJ*, 111, 1748 [ADS]
- Goenner, H. 1996, *Einführung in die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie*.
- Greenstein, J. L. 1963, *Nature*, 197, 1041 [ADS]
- Gunn, J. E., et al. 1998, *AJ*, 116, 3040 [ADS]
- Gunn, J. E., et al. 2006, *AJ*, 131, 2332 [ADS]
- Heckman, T. M. 1980, *A&A*, 87, 152 [ADS]
- Ho, L. C., Filippenko, A. V., & Sargent, W. L. W. 1997, *ApJ*, 487, 568 [ADS]
- Hogg, D. W. 1999, *ArXiv Astrophysics e-prints* [ADS]
- Hubble, E. 1929, *Proceedings of the National Academy of Science*, 15, 168 [ADS]
- Huchra, J., Davis, M., Latham, D., & Tonry, J. 1983, *ApJS*, 52, 89 [ADS]
- Huggins, W., & Miller, W. A. 1864, *Royal Society of London Philosophical Transactions Series I*, 154, 437 [ADS]
- Kauffmann, G., et al. 2003, *MNRAS*, 346, 1055 [ADS]
- Kewley, L. J., Groves, B., Kauffmann, G., & Heckman, T. 2006, *MNRAS*, 372, 961 [ADS]
- Khachikian, E. Y., & Weedman, D. W. 1971, *Astrofizika*, 7, 389 [ADS]
- Kollatschny, W. 2003, *A&A*, 407, 461 [ADS]
- Kollatschny, W., & Fricke, K. J. 1989, *A&A*, 219, 34 [ADS]
- Kollatschny, W., & Zetzl, M. 2011, *Nature*, 470, 366 [ADS]
- Kormendy, J., & Richstone, D. 1995, *ARA&A*, 33, 581 [ADS]
- Koulouridis, E., Plionis, M., Chavushyan, V., Dultzin-Hacyan, D., Krongold, Y., & Goudis, C. 2006, *ApJ*, 639, 37 [ADS]
- Krengel, U. 1991, *Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik* (Vieweg)

- Krongold, Y., Dultzin-Hacyan, D., & Marziani, P. 2001, in *QSO Hosts and Their Environments*, ed. I. Márquez, J. Masegosa, A. del Olmo, L. Lara, E. García, & J. Molina, 273 [ADS]
- Königl, A., & Kartje, J. F. 1994, *ApJ*, 434, 446 [ADS]
- La Mura, G., Popović, L. Č., Ciroi, S., Rafanelli, P., & Ilić, D. 2007, *ApJ*, 671, 104 [ADS]
- Laurikainen, E., & Salo, H. 1995, *A&A*, 293, 683 [ADS]
- Li, C., Kauffmann, G., Wang, L., White, S. D. M., Heckman, T. M., & Jing, Y. P. 2006, *MNRAS*, 373, 457 [ADS]
- Lietzen, H., et al. 2009, *A&A*, 501, 145 [ADS]
- Lynden-Bell, D. 1969, *Nature*, 223, 690 [ADS]
- Matthews, T. A., & Sandage, A. R. 1963, *ApJ*, 138, 30 [ADS]
- Minkowski, R. L., & Abell, G. O. 1963, *The National Geographic Society-Palomar Observatory Sky Survey*, ed. Strand, K. A. (the University of Chicago Press), 481 [ADS]
- Mortlock, D. J., et al. 2011, *Nature*, 474, 616 [ADS]
- Osterbrock, D. E. 1977, *ApJ*, 215, 733 [ADS]
- Osterbrock, D. E. 1981, *ApJ*, 249, 462 [ADS]
- 1989, *Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei*, ed. Osterbrock, D. E. [ADS]
- Osterbrock, D. E., & Pogge, R. W. 1985, *ApJ*, 297, 166 [ADS]
- Pacini, F., & Salvati, M. 1978, *ApJ*, 225, L99 [ADS]
- Padmanabhan, N., et al. 2008, *ApJ*, 674, 1217 [ADS]
- Peterson, B. 1997, *An introduction to active galactic nuclei* (Cambridge University Press)
- Peterson, B. M. 1988, *PASP*, 100, 18 [ADS]
- Rafanelli, P., Violato, M., & Baruffolo, A. 1995, *AJ*, 109, 1546 [ADS]
- Rees, M. J. 1984, *ARA&A*, 22, 471 [ADS]
- Richards, G. T., et al. 2002, *AJ*, 123, 2945 [ADS]
- Richards, G. T., et al. 2006, *AJ*, 131, 2766 [ADS]
- Richstone, D., et al. 1998, *Nature*, 395, A14 [ADS]

- Salpeter, E. E. 1964, *ApJ*, 140, 796 [ADS]
- Schneider, P. 2005, *Einführung in die Extragalaktische Astronomie und Kosmologie* (Springer)
- Searle, L., & Sargent, W. L. W. 1968, *ApJ*, 153, 1003 [ADS]
- Seyfert, C. K. 1943, *ApJ*, 97, 28 [ADS]
- Shirasaki, Y., Tanaka, M., Ohishi, M., Mizumoto, Y., Yasuda, N., & Takata, T. 2011, *PASJ*, 63, 469 [ADS]
- Sorrentino, G., Radovich, M., & Rifatto, A. 2006, *A&A*, 451, 809 [ADS]
- Spergel, D. N., et al. 2003, *ApJS*, 148, 175 [ADS]
- Stauffer, J. R. 1982, *ApJ*, 262, 66 [ADS]
- Stoughton, C., et al. 2002, *AJ*, 123, 485 [ADS]
- Strand, N. E., Brunner, R. J., & Myers, A. D. 2008, *ApJ*, 688, 180 [ADS]
- Subbarao, M., Frieman, J., Bernardi, M., Loveday, J., Nichol, B., Castander, F., & Meiksin, A. 2002, in *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, Vol. 4847, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, ed. J.-L. Starck & F. D. Murtagh, 452 [ADS]
- Sulentic, J., Marziani, P., & Zamfir, S. in press
- Terlevich, R., Tenorio-Tagle, G., Franco, J., & Melnick, J. 1992, *MNRAS*, 255, 713 [ADS]
- Tucker, D. L., et al. 2006, *Astronomische Nachrichten*, 327, 821 [ADS]
- Uomoto, A., et al. 1999, in *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol. 31, *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, 1501 [ADS]
- Urry, C. M., & Padovani, P. 1995, *PASP*, 107, 803 [ADS]
- Véron-Cetty, M.-P., & Véron, P. 2010, *A&A*, 518, A10 [ADS]
- Veron-Cetty, M. P., & Veron, P. 2010, *VizieR Online Data Catalog*, 7258, 0 [ADS]
- Wang, J.-M., et al. 2009, *ApJ*, 697, L141 [ADS]
- Weedman, D. W. 1976, *ApJ*, 208, 30 [ADS]
- Yee, H. K. C. 1980, *ApJ*, 241, 894 [ADS]
- Yee, H. K. C., & Oke, J. B. 1978, *ApJ*, 226, 753 [ADS]
- York, D. G., et al. 2000, *AJ*, 120, 1579 [ADS]

Anhang

A.1 Weitere Entfernungsberechnungen

A.1.1 Die Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation bei $k \neq 0$

Für die Berechnung der Entfernung D_0^k bei nicht verschwindender Krümmung k folgt:

D_0^k für $k \neq 0$

für $k = -1 \implies \Omega_K > 0 \implies \sqrt{\Omega_K} \in \mathbb{R}$

$$\begin{aligned} D_0^k &= R_0 \cdot S_k(\omega) = R_0 \frac{\sin(\sqrt{k}\omega)}{\sqrt{k}} \\ D_0^k &= R_0 \frac{\sin\left(\sqrt{k} \frac{D_0}{R_0}\right)}{\sqrt{k}} \\ D_0^k &= R_0 \frac{\sin\left(\sqrt{\Omega_K} \frac{R_0 \cdot H_0}{c} \frac{D_0}{R_0}\right)}{\sqrt{\Omega_K} \frac{R_0 \cdot H_0}{c}} \\ D_0^k &= \frac{c}{\sqrt{\Omega_K} H_0} \sin\left(\sqrt{\Omega_K} \frac{H_0 D_0}{c}\right) \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

für $k = +1 \implies \Omega_K < 0 \implies \Omega_K = -|\Omega_K|$

$$\sqrt{\Omega_K} = i\sqrt{|\Omega_K|}$$

$$D_0^k = \frac{c}{\sqrt{|\Omega_K|} H_0} \sinh\left(\sqrt{|\Omega_K|} \frac{H_0 D_0}{c}\right) \quad (\text{A.2})$$

$$D^k = R \cdot S_k(\omega) = \frac{R_0}{1+z} \cdot S_k(\omega) = \frac{D_0^k}{1+z} \quad (\text{A.3})$$

A.1.2 Die Leuchtkraftentfernung

Die von einem Objekt ausgestrahlte Energie E berechnet aus $E = h\nu$. Aufgrund der kosmologischen Rotverschiebung (2.15) folgt daraus für die hier ankommende

Energie E_0 .

$$E_0 = h\nu_0 \stackrel{\text{Gl. (2.15)}}{=} h \frac{1}{1+z} \nu = \frac{E}{1+z}$$

Beachtet man noch die kosmologische Zeitdilatation (2.16), so ergibt sich aus der abgestrahlten Leuchtkraft $L = \frac{E}{\delta t}$ eine ankommende Leuchtkraft L_0 :

$$L_0 = \frac{E_0}{\delta t_0} = \frac{E}{\delta t} \frac{1}{(1+z)^2} = \frac{1}{(1+z)^2} L$$

Die emittierte Flussdichte F ist die Leuchtkraft L geteilt durch die durchdrungene Fläche $A = 4\pi(D_0^k)^2$.

$$F = \frac{L}{A} = \frac{L}{4\pi(D_0^k)^2} \Rightarrow D_0^k = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}} \quad (\text{A.4})$$

Die beobachtete Flussdichte ist jetzt:

$$F_0 = \frac{L_0}{A} = \frac{L}{A(1+z)^2} = \frac{L}{4\pi\{(D_0^k)^2(1+z)^2\}} \Rightarrow D_0^k(1+z) = \sqrt{\frac{L}{4\pi F_0}} \quad (\text{A.5})$$

Vergleicht man Gleichung (A.4) mit Gleichung (A.5) sieht man, dass zur Berechnung der emittierten Flussdichte aus der beobachteten Flussdichte statt D_0^k , $D_0^k(1+z)$ verwendet werden muss. Dies ist die Leuchtkraftentfernung D_L .

$$D_L = D_0^k(1+z) \quad (\text{A.6})$$

A.2 Ablaufdiagramm

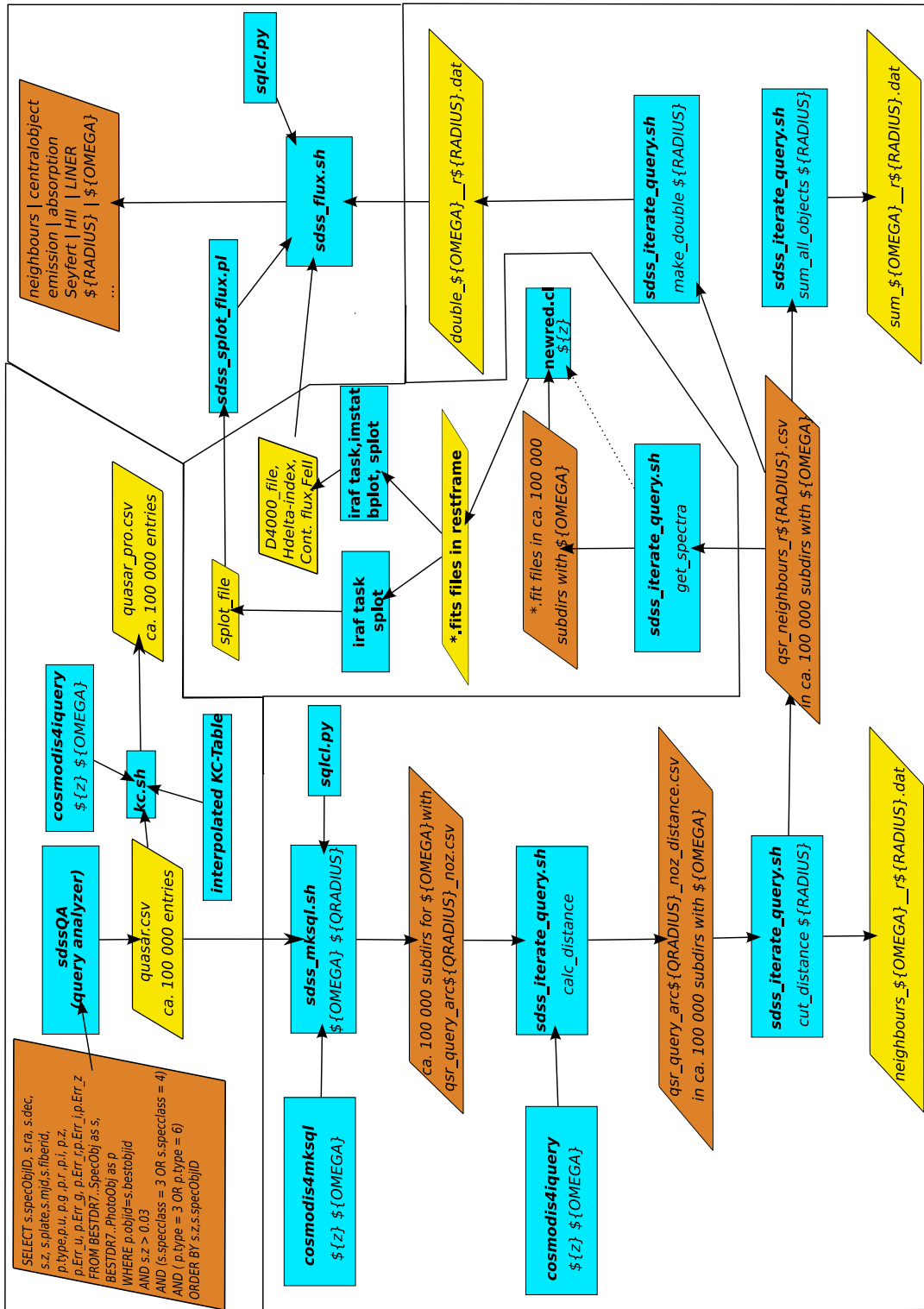


Abbildung A.1: Ablaufdiagramm aller von mir verwendeten Programme zur Verarbeitung der Ausgaben der SDSS-Datenbankabfrage.

A.3 Liste der SDSS-Spektrallinien

name	value	description
UNKNOWN	0	0.00
OVI_1033	1033	1033.82
Lya_1216	1216	1215.67
NV_1241	1241	1240.81
OI_1306	1306	1305.53
CII_1335	1335	1335.31
SiIV_1398	1398	1397.61
SiIV_OIV_1400	1400	1399.80
CIV_1549	1549	1549.48
HeII_1640	1640	1640.40
OIII_1666	1666	1665.85
AlIII_1857	1857	1857.40
CIII_1909	1909	1908.73
CII_2326	2326	2326.00
NeIV_2439	2439	2439.50
MgII_2799	2799	2799.12
NeV_3347	3347	3346.79
NeV_3427	3427	3426.85
OII_3727	3727	3727.09
OII_3730	3730	3729.88
Hh_3799	3799	3798.98
Oy_3836	3836	3836.47
HeI_3889	3889	3889.00
K_3935	3935	3934.78
H_3970	3970	3969.59
He_3971	3971	3971.19
SII_4072	4072	4072.30
Hd_4103	4103	4102.89
G_4306	4306	4305.61
Hg_4342	4342	4341.68
OIII_4364	4364	4364.44
Hb_4863	4863	4862.68
OIII_4933	4933	4932.60
OIII_4960	4960	4960.30
OIII_5008	5008	5008.24
Mg_5177	5177	5176.70
Na_5896	5896	5895.60
OI_6302	6302	6302.05
OI_6366	6366	6365.54
NI_6529	6529	6529.03

name	value	description
NII_6550	6550	6549.86
Ha_6565	6565	6564.61
NII_6585	6585	6585.27
Li_6708	6708	6707.89
SII_6718	6718	6718.29
SII_6733	6733	6732.67
CaII_8500	8500	8500.36
CaII_8544	8544	8544.44
CaII_8665	8665	8664.52

Tabelle A.1: Liste der 48 SDSS-Spektrallinien mit zugehöriger Wellenlänge im Ruhesystem, die zur Identifikation vom SDSS verwendet wird. Die erste Spalte gibt die Bezeichnung der Linie an, die zweite die gerundete Wellenlänge und die dritte den genauen Wellenlängenwert in Å. Die Bezeichnungen im Kopf der Tabelle sind die vom SDSS in ihrer Datenbank verwendeten.

A.4 Programmcode

corana.m

```

2  #!/usr/local/bin/octave -q
3  #####
4  # Name: corana.m #
5  # Author: Matthias Zetzl <zetzl at uni-sw.gwdg.de> #
6  # Syntax: corana.m <x-Spalte> <y-Spalte> <tabellendatei.dat> #
7  # #
8  # Zweck: Liest die uebergebene Datei ein und berechnet #
9  # aus der x- und y-Spalte #
10 # Regressions-Koeffizienten sowie ander statistische Werte #
11 # und gibt es als LaTeX Tabellenzeile aus. #
12 # #
13 # Benoeigte Programme: bash #
14 #####
15
16
17
18 x=1;
19 y=2;
20
21
22
23
24 if nargin == 1
25     file = argv(1,:);
26 elseif nargin == 3;
27     x = str2num(argv(1,:));
28     y = str2num(argv(2,:));
29     file = argv(3,:);
30 else
31     error("Wrong number of arguments");
32 endif
33
34
35 load(file);
36 eval(sprintf("T=%s;\n",system(sprintf("f=$(basename %s);echo -n ${f%%.*}",file))));
37
38
39
40 [m,n]=size(T);
41 l=1;
42 for j = 1:m
43     if T(j,x) != 0 && T(j,y) != 0;
44         S(l,:) = T(j,:);
45         l++;
46     endif
47 endfor

```

```

50 [s,i]=sort(S(:,x));
52 A=S(i,:);

54 clear T
55 clear S

56

58
59 k=kendall(A(:,x),A(:,y));
60 p=cor(A(:,x),A(:,y));
61 s=spearman(A(:,x),A(:,y));

62
63 Tk=cor_test(A(:,x),A(:,y),"!=", "k");
64 Tp=cor_test(A(:,x),A(:,y),"!=", "p");
65 Ts=cor_test(A(:,x),A(:,y),"!=", "s");

66
67 [coeff,values]=polyfit(A(:,x),A(:,y),1);

68
69 if strcmp(program_name,"corana_4gp.m")
70 # printf("\np=%.3f, s=%.3f, k=%.3f, P_{p}=%.3f, P_{s}=%m, P_{k}=%g\n",p,s,k,Tp.pval,Ts.pval,Tk.pval);
71 # printf("\np=%.3f, s=%.3f, k=%.3f, P_{p}=%.3f, P_{s}=%.3f, P_{k}=%g\n",p,s,k,Tp.pval,Ts.pval,Tk.pval);
72 # printf("\np=%.3f, s=%.3f, k=%.3f, P_{p}=%g, P_{s}=%g, P_{k}=%g\n",p,s,k,Tp.pval,Ts.pval,Tk.pval);
73 # printf("\np=%.3f, P_{p}=%.3f\n",p,Tp.pval);
74 else
75 # printf("a2 = %.3f\nb2 = %.3f\n",coeff(1),coeff(2));
76 # printf("Case % Pearson % Spearman % Kendall % P_{Pearson} % P_{Spearman} % P_{Kendall} \\\n");
77 # printf("%s % %.3f % %.3f % %.3f % %g % %g % %g \\\n",file,p,s,k,Tp.pval,Ts.pval,Tk.pval);
78 # printf("%s % %.3f % %.3f % %.3f % %f % %f % %f \\\n",file,p,s,k,Tp.pval,Ts.pval,Tk.pval);
79 # printf("%s % %.3f % %.3f % %.3f % %.30f % %.30f % %.30f \\\n",file,p,s,k,Tp.pval,Ts.pval,Tk.pval);
80 # printf("%s % %.3f % %.3f \\\n",file,p,Tp.pval);
endif

```

edge_points.sh

```

1 #!/bin/bash
2 #####
3 # Name: edge_points.sh #
4 # Author: Matthias Zetzl <zetzl at astro.physik.uni-goettingen.de> #
5 # Syntax: edge_points.sh {plate_radii.dat}{nhood_radii_L<OmegaL>_<r_kpc>.dat}|#
6 # {edge_points.dat} #
7 # #
8 # Zweck: In Abhaengigkeit von RA und DEC wird ein Kreis beim Übergang #
9 # in Kugeloberflaechenkoordinaten zur Ellipse. #
10 # Aus den Dateien $maindr72spectro oder $coverage werden die #
11 # Koordinaten $l_a (RA) und $phi_a (DEC) ausgelesen und in #
12 # Abhaengigkeit vom Radius $d entweder nur die 2. Halbachse #
13 # berechnet (plate_radii.dat,nhood_radii.dat) oder der Radius #
14 # aller in $seq angegebenen Grade (edge_points_2.dat). #
15 # #
16 # #
17 # Benoeigte Programme: cut, seq, octave #
18 #####
19
20 PROGRAM='basename $0'
21
22 function Usage(){
23 echo "Usage: $PROGRAM {plate_radii.dat}{nhood_radii_L<OmegaL>_<r_kpc>.dat}|{edge_points.dat}"
24 exit
25 }
26
27 d=1.5
28 k=0.017453
29 outfile=$1
30
31 edge=''
32
33 plate_radii='plate_radii.dat'
34 nhood_radii='nhood_radii_'
35 edge_points='edge_points.dat'
36
37 maindr72spectro='maindr72spectro.par'
38 coverage='coverage_flux'
39
40 case "$outfile" in
41 $plate_radii)
42 input=$maindr72spectro
43 seq='0 0'
44 ;;
45 *)
46 ;;
47 $nhood_radii*)
48 first=${outfile%_*}
49 end=${outfile##*}
50 input=$coverage${end}
51 coverage=$input
52 seq='0 0'
53 ;;
54 *)
55 ;;
56 $edge_points)
57 input=$maindr72spectro

```

```

57     seq='-90 10 90'
58     edge='1'
59     ;;
60
61 *)
62     Usage
63     ;;
64 esac
65
66 echo $input
67 echo $outfile
68
69 for line in $(grep -v '^#' $input | tr ' ' ',') ; do
70
71     if [ $input == $coverage ] ; then
72
73         l_a=$(echo $line | cut -d',' -f8)
74         phi_a=$(echo $line | cut -d',' -f9)
75         no=$(echo $line | cut -d',' -f2)
76         d=$(echo "$line" | cut -d',' -f5) | bc -l
77
78     elif [ $input == $maindr72spectro ] ; then
79
80         l_a=$(echo $line | cut -d',' -f5)
81         phi_a=$(echo $line | cut -d',' -f6)
82         no=$(echo $line | cut -d',' -f2)
83
84     fi
85
86     echo "$no" > /dev/stderr
87
88     for s in $(seq $seq); do
89         phi_b=$(export TERM=''; echo "erg=$(echo $phi_a + ($d * (sin($k * ($s))))); printf(\"%f\\n\", erg);" | octave -q)
90         d2=$(export TERM=''; echo "erg=(acos((cos($k * $d) - (sin($k * ($phi_a)) * sin($k * ($phi_b)))) / (cos($k * ($phi_a)
91             )) * cos($k * ($phi_b)))) / $k; printf(\"%f\\n\", erg);" | octave -q)
92         l_b1=$(export TERM=''; echo "erg=$l_a + ($d2); printf(\"%f\\n\", erg);" | octave -q)
93         l_b2=$(export TERM=''; echo "erg=$l_a - ($d2); printf(\"%f\\n\", erg);" | octave -q)
94
95         if [ $edge ] ; then
96             echo -e "$phi_b $l_b1 \n $phi_b $l_b2"
97         else
98             echo "$no $phi_a $l_a $d $d2"
99         fi
100     done
101 done > $outfile
102
103
104
105 #####

```

extract_flux.pl

```

#!/usr/bin/perl
#####
2 # Name:      extract_flux.pl #
4 # Author:   Matthias Zetzl <zetzl@astro.physik.uni-goettingen.de> #
5 # Syntax:   extract_flux.pl <splot logfile> #
6 # # #
7 # Zweck:    Extrahiert den den Dateinamen un den gemessenen Fluss #
8 #           aus dem <splot logfile> und gibt ihn aus. #
9 # # #
10 # Benoeigte Programme: keines #
11 #####
12
13 use File::Basename;
14
15 my $splot_file = shift;
16
17 open(INPUT, $splot_file) || die "$splot_file: !$!\nUsage: ", basename($0), " <splot logfile>\n";
18 my @input = <INPUT>;
19 close(INPUT);
20
21 my $filename;
22
23 foreach my $line (@input){
24     if (($filename) = ($line =~ /\[(.+)\.fits\[/]){
25         print join(' ', split (/\/, $filename)), "\n";
26         print @{$split(/\/, $filename)}[0], ", ";
27     }
28     if($line =~ /\s+\d/){
29         my @field = split (/s+/, $line);
30         print $field[3], "\n";
31     }
32 }

```

kc.sh

```

#!/bin/bash
#####
2 # Name: kc.sh #
4 # Author: Matthias Zetzl <zetzl at astro.physik.uni-goettingen.de> #
# Syntax: $PROGRAM quasar.csv #
6 # #
8 # Zweck: Berechnet aus der in Spalte 4 der INPUT-Datei uebergebenen #
# Rotverschiebung z die Entfernung fuer zwei verschiedenen Kosmologien #
# (Omega_M=1, Omega_Lambda=0 und (Omega_M=0.27, Omega_Lambda=0.73) #
10 # und die dazugehörigen Entfernungsmodule. Weiterhin K-Korrektur #
# durch Interpolation der Daten in der Datei 'datafile4.txt' #
12 # Ausgegeben wird die Eingabezeile und zusätzlich die berechneten #
# Daten. #
14 # #
# Benoeigte Programme: grep, cut, bc, octave, cosmodis4iquery #
16 #####
18
#-----
20 # specObjID , ra, dec, z, plate, mjd, fiberid, type, mu, mg, mr, mi, mz, Err_mu, Err_mg, Err_mr, Err_mi, Err_mz, $dist_exact , )
# $dist_num, $EM_ex, $EM_num, $mi_kc
# 1, 2, 3,4, 5, 6, 7, 8, 9,10,11,12,13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, )
22 #-----
24
COSMODISTANCE=$DHOME/programme/cosmodis4iquery
26 H0=71
c=299792.458
28 Omega0_num=0.27
Omega0_exact=1
30 octave=octave
32
PROGRAM='basename $0'
34
function Usage(){
36 Usage: $PROGRAM quasar.csv
exit
38 }
40
function FNF(){
42 echo "$1 not found"
exit
}
44
[ $1 ] || Usage
46 [ -e $1 ] || FNF $1
48
INPUT=$1
50
for line in $(grep -v '^#' $INPUT|grep -ve '-9999'); do
z=$(echo $line|cut -d',' -f4)
52 mi=$(echo $line|cut -d',' -f12)
54
dist_num=$(echo "$Omega0_num" "$(echo 1-$Omega0_num|bc)" $z" | $COSMODISTANCE | cut -d',' -f1)
dist_exact=$(echo "(((c/$H0)*2*(2-$Omega0_exact*(1-$z)-(2-$Omega0_exact)*sqrt(1+$Omega0_exact*$z)))/((2
$Omega0_exact^2)*(1+$z)^2))" |bc -l)
56 EM_ex=$(echo "5*(l(($dist_exact*(1+$z))/(10^-5)))/l(10)" |bc -l)
EM_num=$(echo "5*(l(($dist_num*(1+$z))/(10^-5)))/l(10)" |bc -l)
58
mi_kc=$(
60 TERM=''; octave -q <<EOF
x=1;
62 y=2;
64 # datafile4.txt ist Tabelle 4 in Richards et al.(2006), (\cite{2006AJ...131.2766R})
load "$DHOME/daten/sdss_qsr/awz/kcorrection/sdssmethode/datafile4.txt";
66 A=datafile4;
ed=spline(A(:,x),A(:,y), $z);
68
[N, cols] = size( ed );
70 for i = 1:N
printf ("%f\n", ed(i)-0.596);
72 endfor
EOF
74 )
76
echo "$line, $dist_exact, $dist_num, $EM_ex, $EM_num, $mi_kc"
78 done

```

mean_neig.sh

```

#!/bin/bash
#####
2 # Name: mean_neig.sh #
4 # Author: Matthias Zetzl <zetzl at astro.physik.uni-goettingen.de> #
# Syntax: $PROGRAM quasar.csv #
6 # #
8 # Zweck: Berechnet aus den Daten der Datei $inputfile den Mittelwert der #
# Flussverhältnisse zwischen der [O III] 5007- und H beta-Linie aller #
10 # Nachbargalaxien einer Zentralgalaxie. #
# Ausgegeben wird dieser Wert mit dem Flusswert von FeII und H beta #
# der Zentralgalaxie. #
12 # #
# Benötigte Programme: grep, cut, bc #
14 #####

16 inputfile=$1
18
19 fFeII=1
20 fspecid_c=2
21 fspecid_n=3
22 fz=4
23 fOIII_5008=5
24 fHa=6
25 fHb=7
26
28
30 old_specObjID_c='x'
31 i=0
32 sum_o3_hb=0
34
36 for line in $(grep -v '#' $inputfile); do
37 specObjID_c=$(echo $line | cut -d',' -f$fspecid_c)
38 specObjID_n=$(echo $line | cut -d',' -f$fspecid_n)
40
41 if [ $old_specObjID_c != $specObjID_c -a $old_specObjID_c != x ] ; then
42 mean_o3_hb=$(echo "if ($i) $sum_o3_hb/$i else 0"|bc -l)
43 echo "$old_specObjID_c $mean_o3_hb $fz $hb"
44 sum_o3_hb=0
45 i=0
46 fi
48 if [ $specObjID_c == $specObjID_n ] ; then
49 f2=$(echo $line | cut -d',' -f$fFeII)
50 hb=$(echo $line | cut -d',' -f$fHb)
51 else
52 o3=$(echo $line | cut -d',' -f$fOIII_5008)
53 hb=$(echo $line | cut -d',' -f$fHb)
54 if [ $(echo "$o3 > 0" |bc -l) == 1 ] ; then
55 o3_hb=$(echo "$o3/$hb" |bc -l)
56 sum_o3_hb=$(echo "$o3_hb+$sum_o3_hb" |bc -l)
57 ((i++))
58 fi
59 fi
60 old_specObjID_c=$specObjID_c
61 old_line=$line
62 done
64 mean_o3_hb=$(echo "if ($i) $sum_o3_hb/$i else 0"|bc -l)
echo "$old_specObjID_c $mean_o3_hb $fz $hb"

```

sdss_coverage.sh

```

#!/bin/bash
#####
2 # Name: sdss_coverage.sh #
4 # Author: Matthias Zetzl <zetzl at astro.physik.uni-goettingen.de> #
# Syntax: sdss_coverage.sh #
6 # #
# Zweck: Testen, ob die Umgebung von der Groesse r_kpc um eine Objekt #
8 # vollstaendig auf der Platte liegt #
# #
10 # Benoetigte Programme: bc, grep, cut, awk #
#####
12 PROGRAM='basename $0'
14
16 function Usage(){
17     echo "Usage: $PROGRAM <Omega> <r_kpc>"
18     exit
19 }
20 [ $2 ] || Usage
22
24 #-----
26 INPUT="$DATEN/sdss_qsr/dr7/center/results/quasar.csv"
28 COVERAGE="$DATEN/sdss_qsr/awz/coverage/dr7/maindr72spectro.par"
30
32 H0=71
33 c=299792.458
34 k=0.017453 # pi/180
36
38 #-----
39
40 Omega0=$1
41 r_kpc=$2
42 i=1
43
44 #####
45 function comp_r_arc(){
46     # Auxiliary function to compute the
47     # query radius in arcmin form a
48     # given query radius in kpc, redshift
49     # and Omega0.
50     # Do a numerical integration for
51     # Omega0 not equal 1 and a
52     # exact calculation otherwise
53     #####
54     local z=$1
55     local Omega0=$2
56     local half_tube_length=11.2
57
58     if [ $(echo "$Omega0 == 1" |bc -l) == 1 ]; then
59         echo "((($r_kpc*(360*60)/(2*4*a(1)*1000)) / ((($c/$H0)*2*(2-$Omega0*(1-$z)-(2-$Omega0)*sqrt(1+$Omega0*
60         $z)))/((($Omega0^2)*(1+$z)^2)) - $half_tube_length))" |bc -l
61     else
62         #for Omega_Lambda != 0
63         echo "((($r_kpc*(360*60)/(2*4*a(1)*1000)) / ( $(echo "$Omega0 $(echo 1-$Omega0|bc) $z" |$DHOME/
64         programme/cosmodis4mksql) - $half_tube_length))" |bc -l
65     fi
66 }
67
68 ##### MAIN #####
69
70 for line in $(grep -v '^#' $INPUT); do
71
72     #echo "$i"
73     specObjID=$(echo $line|cut -d',' -f1)
74     ra=$(echo $line|cut -d',' -f2)
75     dec=$(echo $line|cut -d',' -f3)
76     z=$(echo $line|cut -d',' -f4)
77     plate=$(echo $line|cut -d',' -f5)
78     mjd=$(echo $line|cut -d',' -f6)
79
80     r_arc=$(comp_r_arc $z $Omega0)
81
82     pos_plate=$(awk "if($2 == $plate && $3 == $mjd) print $5\" \"$6}" $COVERAGE)
83     ra_plate=$(echo $pos_plate|cut -d' ' -f1)
84     dec_plate=$(echo $pos_plate|cut -d' ' -f2)
85
86     dist_pos=$(echo "60*$k^(-1)*acos(sin($k*$dec) * sin($k*$dec_plate) + cos($k*$dec) * cos($k*$dec_plate) * )
87     cos($k*$ra - $k*$ra_plate)" |octave -q|cut -d' ' -f2)
88     dist_add=$(echo "$dist_pos + $r_arc"|bc -l)
89
90     echo "$(printf %.6i %i) $specObjID $z $dist_pos $r_arc $dist_add"
91     ((i++))
92 done
93
94 #-----

```

sdss_flux.sh

```

1  #!/bin/bash
#####
3  # Name:      sdss_flux.sh
# Author: Matthias Zetzl <zetzl at astro.physik.uni-goettingen.de>
5  # Syntax: sdss_flux.sh <DOUBLE_IN>
#
7  # Zweck: Die in der 3. Spalte von $DOUBLE_IN stehenden specObjIds werden
# jeweils zu $LINE_NUMBER-Zeilen grossen Dateien unter $DIR gesplittet
9  # und SDSS-Anfragen zu _ALLEN_ Linien dieser specObjIds gemacht.
# Die Resultate aus den gesplitteten Dateien werden danach wieder
11 # zusammengesetzt und der Fluss berechnet (FLUX_OUT), sowie
# nach verschiedenen Kriterien aufgeteilt in entsprechenden Dateien
13 # geschrieben.
#
15 # Benotigte Programme: sqlcl.py, grep, cut, split, cat,
# tr, sed, sort, join, awk, rm, octave
17 #####
19 PROGRAM='basename $0'
21 function Usage(){
22     echo "Usage: $PROGRAM <double-file>"
23     exit
24 }
25
26 function FNF(){
27     echo "$1 not found"
28     exit
29 }
31 [ $1 ] || Usage
32 [ -e $1 ] || FNF
33
34 # -----
35 octave=/usr/bin/octave
36
37 LINE_NUMBER=20
38 SUFFIX_LENGTH=4
39
40 APP_MAG_CUT=18
41
42 SPLOT_FILE1=$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/L0_splot/splot1.log
43 SPLOT_FILE2=$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/L0_splot/splot2.log
44 SPLOT_FILE=$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/L0_splot/splot.log
45
46 DOUBLE_LIB=$DHOME/daten/sdss_qsr/aux/name2col/double2col.dat
47 LINE_LIB=$DHOME/daten/sdss_qsr/aux/name2col/line2col.dat
48
49 COL_DOUBLE_MAX=$(( (tail -1 $DOUBLE_LIB | cut -d' ' -f1) + 1))
50 COL_FLUX_MAX=$(( (tail -1 $LINE_LIB | cut -d' ' -f1) + 1)*3))
51 COL_ALL_MAX=$(( COL_DOUBLE_MAX + COL_FLUX_MAX))
52
53
54
55 DOUBLE_IN=$1
56 BASE=${DOUBLE_IN#double}
57 QUERY_OUT=raw_lines${BASE}
58 DIR=split${LINE_NUMBER}_ids${BASE}%.*)
59
60
61 NHOOD2LARGE=$DHOME/daten/sdss_qsr/aux/coverage/dr7/nhood2large${BASE}
62
63 D4000_ZAEHLER=$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/L0_all/measuring/d4000_zaehler.dat
64 D4000_NENNER=$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/L0_all/measuring/d4000_nenner.dat
65 D4000=$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/L0_all/measuring/d4000.dat
66 DOUBLE_IN_ADD01=double_add01${BASE}
67
68 HDELTAINDEX_CONT=$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/L0_all/measuring/Hdeltaindex_cont.dat
69 HDELTAINDEX_FLUX=$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/L0_all/measuring/Hdeltaindex_flux.dat
70 HDELTAINDEX=$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/L0_all/measuring/Hdeltaindex.dat
71 DOUBLE_IN_ADD02=double_add02${BASE}
72
73 CONT5100=$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/L0_all/measuring/contflux_imstat.dat
74 DOUBLE_IN_ADD03=double_add03${BASE}
75
76 DOUBLE_IN_ADDALL=double_addall${BASE}
77
78
79 DOUBLE_IN_ONLY_CENTRALOBJECT=double_only_centralobject${BASE}
80 DOUBLE_IN_ONLY_NEIGHBOURS=double_only_neighbours${BASE}
81
82 LINES_OUT=lines${BASE}
83 FLUX_OUT=flux${BASE}
84
85 SPLIT_PREFIX=split
86 QUERY_OUT_SUFFIX=query_out
87
88
89 ALL=all${BASE}
90 ALL_TMP=all_tmp${BASE}
91 ALL_TMP2=all_tmp2${BASE}
92 ALL_GALAX=all_galax${BASE}

```

```

93 ALL_STAR=all_star${BASE}
95 ALL_ONLY_NEIGHBOURS=all_only_neighbours${BASE}
ALL_ONLY_CENTRALOBJECT=all_only_centralobject${BASE}
97 ALL_GALAX_ONLY_NEIGHBOURS=all_galax_only_neighbours${BASE}
ALL_STAR_ONLY_NEIGHBOURS=all_star_only_neighbours${BASE}
99
NEIGHBOURS=neighbours${BASE}
101 TMP_CENTRALOBJECTLIST=tmp_centralobjectlist${BASE}
TMP_NEIGHBOURSLIST=tmp_neighbourslist${BASE}
103 NEIGHBOURS2=neighbours2${BASE}
TMP_NEIGHBOURS2=tmp_neighbours2${BASE}
105
EDENS_ALL=edens_all${BASE}
107 EVALUES_ALL=evalues_all${BASE}
109
FLUX_MEASURED1=flux_measured1${BASE}
FLUX_MEASURED2=flux_measured2${BASE}
111 FLUX_MEASURED=flux_measured${BASE}
FLUX_MEASURED_REV=flux_measured_rev${BASE}
113 FLUX_MEASURED_TMP=flux_measured_tmp${BASE}
115
FLUX_MEASURED_DOUBLE=flux_measured_double${BASE}
117
SIGMA_OUT=sigma${BASE}
QSO_TYPE=qso_type${BASE}
119 DOUBLE_TYPE=double_type${BASE}
121
FLUX_COMBINED=flux_combined${BASE}
TMP_FLUX_COMBINED=tmp_flux_combined${BASE}
123
FLUX_COMBINED_ATYPE1=flux_combined_atype1${BASE}
FLUX_COMBINED_ATYPE0=flux_combined_atype0${BASE}
125
127 FLUX_EMISSION_COMBINED=flux_emission_combined${BASE}
FLUX_EMISSION_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=flux_emission_combined_only_centralobject${BASE}
129 FLUX_EMISSION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_emission_combined_only_neighbours${BASE}
131
FLUX_EMISSION6_COMBINED=flux_emission6_combined${BASE}
133
FLUX_ABSORPTION_COMBINED=flux_absorption_combined${BASE}
FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=flux_absorption_combined_only_centralobject${BASE}
135 FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_absorption_combined_only_neighbours${BASE}
FLUX_HAHBABS_OIIEIEMI_COMBINED=flux_hahbabs_oiieiem_i_combined${BASE}
137
FLUX_HII_COMBINED=flux_hii_combined${BASE}
FLUX_LINER_COMBINED=flux_liner_combined${BASE}
139 FLUX_SEYFERT_COMBINED=flux_seyfert_combined${BASE}
FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED=flux_seyfert_composite_combined${BASE}
141 FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED=flux_liner_composite_combined${BASE}
FLUX_HII_SII_COMBINED=flux_hii_sii_combined${BASE}
143 FLUX_LINER_SII_COMBINED=flux_liner_sii_combined${BASE}
FLUX_SEYFERT_SII_COMBINED=flux_seyfert_sii_combined${BASE}
145 FLUX_HII_OI_COMBINED=flux_hii_oi_combined${BASE}
FLUX_LINER_OI_COMBINED=flux_liner_oi_combined${BASE}
147 FLUX_SEYFERT_OI_COMBINED=flux_seyfert_oi_combined${BASE}
149
FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=flux_combined_only_centralobject${BASE}
FLUX_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_combined_only_neighbours${BASE}
151
153 TMP_FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=tmp_flux_combined_only_centralobject${BASE}
TMP2_FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=tmp2_flux_combined_only_centralobject${BASE}
155 TMP3_FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=tmp3_flux_combined_only_centralobject${BASE}
157
FLUX_EMISSION_COMBINED_ATYPE1=flux_emission_combined_atype1${BASE}
FLUX_EMISSION_COMBINED_ATYPE0=flux_emission_combined_atype0${BASE}
159
FLUX_HII_COMBINED_ATYPE1=flux_hii_combined_atype1${BASE}
FLUX_LINER_COMBINED_ATYPE1=flux_liner_combined_atype1${BASE}
161 FLUX_SEYFERT_COMBINED_ATYPE1=flux_seyfert_combined_atype1${BASE}
163
FLUX_HII_COMBINED_ATYPE0=flux_hii_combined_atype0${BASE}
FLUX_LINER_COMBINED_ATYPE0=flux_liner_combined_atype0${BASE}
165 FLUX_SEYFERT_COMBINED_ATYPE0=flux_seyfert_combined_atype0${BASE}
167
FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED_ATYPE0=flux_liner_composite_combined_atype0${BASE}
FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED_ATYPE0=flux_seyfert_composite_combined_atype0${BASE}
169
171 FLUX_HII_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=flux_hii_combined_only_centralobject${BASE}
FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=flux_liner_combined_only_centralobject${BASE}
173 FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=flux_seyfert_combined_only_centralobject${BASE}
175
FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_hii_combined_only_neighbours${BASE}
FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_liner_combined_only_neighbours${BASE}
177 FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_seyfert_combined_only_neighbours${BASE}
179
FLUX_EMISSION6_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_emission6_combined_only_neighbours${BASE}
FLUX_HII_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_hii_sii_combined_only_neighbours${BASE}
181 FLUX_LINER_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_liner_sii_combined_only_neighbours${BASE}
FLUX_SEYFERT_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_seyfert_sii_combined_only_neighbours${BASE}
183 FLUX_HII_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_hii_oi_combined_only_neighbours${BASE}
FLUX_LINER_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_liner_oi_combined_only_neighbours${BASE}
185 FLUX_SEYFERT_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_seyfert_oi_combined_only_neighbours${BASE}

```



```

187 FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_liner_composite_combined_only_neighbours${BASE}
188 FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS=flux_seyfert_composite_combined_only_neighbours${BASE}
189
190 FLUX_HII_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE1=flux_hii_combined_only_centralobject_atype1${BASE}
191 FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE1=flux_liner_combined_only_centralobject_atype1${BASE}
192 FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE1=flux_seyfert_combined_only_centralobject_atype1${BASE}
193
194 FLUX_HII_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE0=flux_hii_combined_only_centralobject_atype0${BASE}
195 FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE0=flux_liner_combined_only_centralobject_atype0${BASE}
196 FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE0=flux_seyfert_combined_only_centralobject_atype0${BASE}
197
198 FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE1=flux_hii_combined_only_neighbours_atype1${BASE}
199 FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE1=flux_liner_combined_only_neighbours_atype1${BASE}
200 FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE1=flux_seyfert_combined_only_neighbours_atype1${BASE}
201
202 FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE0=flux_hii_combined_only_neighbours_atype0${BASE}
203 FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE0=flux_liner_combined_only_neighbours_atype0${BASE}
204 FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE0=flux_seyfert_combined_only_neighbours_atype0${BASE}
205
206 FLUX_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
207 FLUX_EMISSION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_emission_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
208 FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_absorption_combined_only_neighbours_of_seyfersts${
BASE}
209 FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_hii_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
210 FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_liner_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
211 FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_seyfert_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
212
213 FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=)
flux_seyfert_composite_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=)
flux_liner_composite_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
215
216 FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=flux_liner_composite_combined_only_centralobject${BASE}
217 FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT=flux_seyfert_composite_combined_only_centralobject${BASE}
218
219 FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE0=flux_hii_combined_only_neighbours_of_seyfersts_atype0${
BASE}
FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE0=flux_liner_combined_only_neighbours_of_seyfersts_atype0${
BASE}
221 FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE0=)
flux_seyfert_combined_only_neighbours_of_seyfersts_atype0${BASE}
FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE0=)
flux_absorption_combined_only_neighbours_of_seyfersts_atype0${BASE}
223
224 FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE1=flux_hii_combined_only_neighbours_of_seyfersts_atype1${
BASE}
225 FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE1=flux_liner_combined_only_neighbours_of_seyfersts_atype1${
BASE}
FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE1=)
flux_seyfert_combined_only_neighbours_of_seyfersts_atype1${BASE}
227 FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE1=)
flux_absorption_combined_only_neighbours_of_seyfersts_atype1${BASE}
228
229 FLUX_EMISSION6_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_emission6_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
230
231 FLUX_HII_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_hii_sii_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
FLUX_LINER_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_liner_sii_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
233 FLUX_SEYFERT_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_seyfert_sii_combined_only_neighbours_of_seyfersts${
BASE}
234
235 FLUX_HII_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_hii_oi_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
FLUX_LINER_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_liner_oi_combined_only_neighbours_of_seyfersts${BASE}
237 FLUX_SEYFERT_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS=flux_seyfert_oi_combined_only_neighbours_of_seyfersts${
BASE}
238
239 EDENS_HII_COMBINED=edens_${FLUX_HII_COMBINED}
240 EDENS_LINER_COMBINED=edens_${FLUX_LINER_COMBINED}
241 EDENS_SEYFERT_COMBINED=edens_${FLUX_SEYFERT_COMBINED}
242
243 EVALUES_HII_COMBINED=evalues_${FLUX_HII_COMBINED}
244 EVALUES_LINER_COMBINED=evalues_${FLUX_LINER_COMBINED}
245 EVALUES_SEYFERT_COMBINED=evalues_${FLUX_SEYFERT_COMBINED}
246
247
248
249 TMP_DOUBLE_TYPE=tmp_1.dat
TMP_FLUX_OUT=tmp_2.dat
251 TMP_LIST=tmp_list${BASE}
252
253 #-----
254
255 function fun_get_sdss_flux(){
i=1
257 j=0
missed=0
259 test -d $DIR || mkdir $DIR
grep -e '[0-9]' $DOUBLE_IN_ADDALL | tr -s [:blank:] ' ' | cut -d' ' -f3 | split --lines=$LINE_NUMBER --numeric)
--suffixes --suffix-length=$SUFFIX_LENGTH - $DIR/$SPLIT_PREFIX
261
for s in $DIR/${SPLIT_PREFIX}???? ; do
263 outputfile=${s}_${QUERY_OUT_SUFFIX}
264
exp_wc=$((wc -l $s | cut -d' ' -f1) * 44 + 1))
265 test -f $outputfile && curr_wc_bq=$((wc -l $outputfile | cut -d' ' -f1) || curr_wc_bq=0

```

```

267 do_query=false
269 ! test -f $outputfile && do_query=true
271 test -f $outputfile && ! grep -qe '[0-9]' $outputfile && do_query=true
271 test -f $outputfile && grep -qe '[0-9]' $outputfile && test $exp_wc -ne $curr_wc_bq && do_query=)
    true

273 if $do_query ; then
274 echo $outputfile
275 spec_id_list=$(cat $s | tr '\n' ',' | sed 's/,,$//')
276 QUERY="SELECT
277   sl.specObjId,
278   sl.lineID,
279   sl.sigma,
280   sl.sigmaErr,
281   sl.height,
282   sl.heightErr,
283   sl.z
284 FROM   SpecLine as sl
285 WHERE  sl.specObjId IN ($spec_id_list)
286 "
287 #echo "$QUERY"
288 sqlcl.py -f csv -q "$QUERY" > $outputfile
289 #sqlcl.py -f csv -q "$QUERY"
290 curr_wc_aq=$(wc -l $outputfile | cut -d' ' -f1)
291 missed=$((($missed + ($exp_wc - $curr_wc_aq)))
292 ((j++))
293 sleep 1
294 else
295   printf '\r%s\r' $i
296   :
297 fi
298 ((i++))
299 done
300 echo "$j queries, $missed missed"
301 }

303 function fun_rearrange_and_join(){
304
305
306
307 > ${FLUX_OUT}
308 > ${SIGMA_OUT}
309 for f in $DIR/${SPLIT_PREFIX}????_${QUERY_OUT_SUFFIX} ; do
310   grep -e '[0-9]' $f | sort -g |
311   awk -F',' '{ if ($3 != -9999 && $5 != -9999) print $1","$2","(2.5066/(1+$7))*$3*$5","(2.5066/(1+$7))*
312     sqrt($3^2*$6^2+$5^2*$4^2); \
313   else print $1","$2",-9999,-9999"}' | sdss_rearrange_specline_out.pl >> ${FLUX_OUT}
314   grep -e '[0-9]' $f | sort -g |
315   awk -F',' '{ if ($3 != -9999 && $5 != -9999) print $1","$2","(1/(1+$7))*$3","(1/(1+$7))*$4; \
316   else print $1","$2",-9999,-9999"}' | sdss_rearrange_specline_out.pl >> ${SIGMA_OUT}
317 done

318 Hb_sigma_q=$((($ul Hb_4863) - $COL_DOUBLE_MAX + 1)
319 Ha_sigma_q=$((($ul Ha_6565) - $COL_DOUBLE_MAX + 1)
320 OIII_sigma_q=$((($ul OIII_5008) - $COL_DOUBLE_MAX + 1)

321
322 # awk -F',' 'BEGIN { v_ha=((299792.458*sqrt(8*log(2)))/6564.61); v_hb=((299792.458*sqrt(8*log(2)))/4862.68)
323 ;} \
324 { if ((v_hb * \${Hb_sigma_q}) >= 500 && (v_ha * \${Ha_sigma_q}) >= 500) print $1\","1,\"(v_ha * \
325 \${Ha_sigma_q})\","(v_hb * \${Hb_sigma_q}); \
326 else print $1\","0,\"(v_ha * \${Ha_sigma_q})\","(v_hb * \${Hb_sigma_q})" ${SIGMA_OUT} > ${QS0_TYPE}

327 awk -F',' 'BEGIN { v_ha=((299792.458*sqrt(8*log(2)))/6564.61); v_hb=((299792.458*sqrt(8*log(2)))/4862.68); \
328 v_o3=((299792.458*sqrt(8*log(2)))/5008.24); \
329 { if ((v_hb * \${Hb_sigma_q}) >= 1000 && (v_ha * \${Ha_sigma_q}) >= 1000 && (v_hb * \${Hb_sigma_q}) > \
330 v_o3 * \${OIII_sigma_q}) \
331 print $1\","1,\"(v_ha * \${Ha_sigma_q})\","(v_hb * \${Hb_sigma_q}); \
332 else print $1\","0,\"(v_ha * \${Ha_sigma_q})\","(v_hb * \${Hb_sigma_q})" ${SIGMA_OUT} > ${QS0_TYPE}

333 join -t',' -13 -21 -o"$(seq -s',' -f'1.%g' 1 $((($COL_DOUBLE_MAX-1)))", "2.2" \
334 <(grep -v '^#' $DOUBLE_IN_ADDALL | sort -g -k3 | sed 's/ /,/g') <(grep -v '^#' ${QS0_TYPE} | sort -g -) \
335 k1 | uniq --check-chars=18) | sort -g -k1 > $DOUBLE_TYPE

336
337 grep -v '^#' $DOUBLE_TYPE | sort -t',' -g -k3 > $TMP_DOUBLE_TYPE
338 grep -v '^#' $FLUX_OUT | sort -g -k1 | uniq --check-chars=18 > $TMP_FLUX_OUT
339
340 join -t',' -13 -21 -o"$(seq -s',' -f'1.%g' 1 $COL_DOUBLE_MAX)", "$(seq -s',' -f'2.%g' 2 $COL_FLUX_MAX)" \
341 $TMP_DOUBLE_TYPE $TMP_FLUX_OUT | sort -g -k1 > $ALL

342
343 rm $TMP_DOUBLE_TYPE $TMP_FLUX_OUT
344 }

345 function fun_calc_edens(){
346   rem_command='
347
348
349
350
351 IN_F=$1
352 OUT_F=$2
353 cut -d',' -f$(ud z),$(ul OIII_4364),$(ul OIII_4960),$(ul OIII_5008),$(ul SII_6718),$(ul SII_6733) $IN_F | >

```

```

        sed 's/,/ /g'|
355 while read z j3 j1 j2 sa sb ; do
        if [ $sa != -9999 -a $sb != -9999 ] ; then
            echo $z "$(export TERM=''; echo $sa/$sb |$octave -q| cut -d'= ' -f2|$rem_command $HOME/bin/
            getedens.m)" "$j1" "$j2" "$j3
357         fi
        done > $OUT_F
359 }

361 function fun_evalues(){
362     IN_=$1
363     OUT_=$2
364
365     awk -F' ' 'BEGIN {OFS=" "};{\
        if ($2 >= 10**1 && $2 <= 10**5 && $3>0 && $4>0 && $5>0 && $3+$4 > $5 ){\  

367         T=((log(8.3)*3.3*(10**4))/(log((($3+$4)/$5)))
            print $1,$2,$2*sqrt(10000/T),T}}' $IN_ > $OUT_
369 }

371 #-----MAIN -----
372 ##### hier 4000Abreak hin
373
374 join <(grep -v '^#' $D4000_ZAEHLER |sed -e 's/\s+//g' -e 's/_/ /'|cut -d' ' -f2,4)\
375 <(grep -v '^#' $D4000_NENNER |sed -e 's/\s+//g' -e 's/_/ /'|cut -d' ' -f2,4)|awk '{print $1 " "$2/$3}' >
376 > $D4000
377
378 join -j 1 -a 1 -e '-9999' -o"0,$(seq -s',' -f'%.%g' 2 $((COL_DOUBLE_MAX-4))","2.2" <(sort $DOUBLE_IN) >
379 $D4000 > $DOUBLE_IN_ADD01
380 #---
381
382 join $HDELTAINDEX_CONT $HDELTAINDEX_FLUX | awk '{print $1 " (4122.25-4083.50)*(1-$3/$2)}' > $HDELTAINDEX
383
384 join -j 1 -a 1 -e '-9999' -o"0,$(seq -s',' -f'%.%g' 2 $((COL_DOUBLE_MAX-3))","2.2" $DOUBLE_IN_ADD01 >
385 $HDELTAINDEX > $DOUBLE_IN_ADD02
386 #---
387
388 join -j 1 -a 1 -e '-9999' -o"0,$(seq -s',' -f'%.%g' 2 $((COL_DOUBLE_MAX-2))","2.2" $DOUBLE_IN_ADD02 >
389 $COUNT5100 > $DOUBLE_IN_ADD03
390 #---
391
392 mv $DOUBLE_IN_ADD03 $DOUBLE_IN_ADDALL
393 #---
394
395
396
397
398
399 awk '{if ($2 == $3 ) print $0 }' $DOUBLE_IN_ADDALL > $DOUBLE_IN_ONLY_CENTRALOBJECT
400 awk '{if ($2 != $3 ) print $0 }' $DOUBLE_IN_ADDALL > $DOUBLE_IN_ONLY_NEIGHBOURS
401
402 #-----
403
404 fun_get_sdss_flux
405 fun_rearrange_and_join
406
407 APP_MAG_CUT_ZLE3=19.1
408 APP_MAG_CUT_ZGT3=20.2
409
410 mv $ALL $ALL_TMP
411 for id in $(awk '{if ( \###(ud z) <= 3 || \###(ud mi) < $APP_MAG_CUT_ZLE3 || \###(ud z) > 3 || \###(ud mi) < }
            $APP_MAG_CUT_ZGT3 ) print \###(ud specObjID_c) }' $DOUBLE_IN_ONLY_CENTRALOBJECT) ;do
412     awk -F ' ' '{if ( $id == \###(ud specObjID_c) ) print $0 }' $ALL_TMP >> $ALL
413 done
414 rm $ALL_TMP
415
416
417
418 fun_calc_edens $ALL $EDENS_ALL
419 fun_evalues $EDENS_ALL $EVALUES_ALL
420 #-----
421
422 awk -F ' ' '{if ($11 == 3 ) print $0 }' $ALL > $ALL_GALAX
423 awk -F ' ' '{if ($11 == 6 ) print $0 }' $ALL > $ALL_STAR
424
425 awk -F ' ' '{if ($2 != $3 ) print $0 }' $ALL > $ALL_ONLY_NEIGHBOURS
426 awk -F ' ' '{if ($2 == $3 ) print $0 }' $ALL > $ALL_ONLY_CENTRALOBJECT
427
428
429 awk -F ' ' '{if ($11 == 3 ) print $0 }' $ALL_ONLY_NEIGHBOURS > $ALL_GALAX_ONLY_NEIGHBOURS
430 awk -F ' ' '{if ($11 == 6 ) print $0 }' $ALL_ONLY_NEIGHBOURS > $ALL_STAR_ONLY_NEIGHBOURS
431
432 #-----
433
434 cut -d',' -f2 $ALL_ONLY_CENTRALOBJECT |sort > $TMP_CENTRALOBJECTLIST
435 sort $NEIGHBOURS > $TMP_NEIGHBOURLIST
436
437 join $TMP_CENTRALOBJECTLIST $TMP_NEIGHBOURLIST |sort -k2 > $NEIGHBOURS2
438
439

```

```

441 rm $TMP_CENTRALOBJECTLIST $TMP_NEIGHBOURLIST
443 #-----
445
446 Hb_m=5
447 Ha_m=7
448 Hb_q=$(ul Hb_4863)
449 OIII_5008=$(ul OIII_5008)
450 Ha_q=$(ul Ha_6565)
451 NII_6585=$(ul NII_6585)
453 OI_6302=$(ul OI_6302)
454 SII_6718=$(ul SII_6718)
455 SII_6733=$(ul SII_6733)
457
458 sdss_splot_flux.pl $SPLOT_FILE1 |grep -v 'XXX' |sed 's/ /,/g' > $FLUX_MEASURED1
459 sdss_splot_flux.pl $SPLOT_FILE2 |grep -v 'XXX' |sed 's/ /,/g' > $FLUX_MEASURED2
461 #--
463
464 join -t',' -j 1 $FLUX_MEASURED1 $FLUX_MEASURED2 -o"1.1,1.2,1.3,1.4,2.4,1.5,2.5,1.6,2.6,1.7,2.7"|
465 awk -F',' '{print $1","$2","$3","($4+$5)/2","($6+$7)/2","($8+$9)/2","($10+$11)/2}' > $FLUX_MEASURED_TMP
469
470 cp $FLUX_MEASURED_TMP $FLUX_MEASURED
471
472 rm $FLUX_MEASURED_TMP
473 #--
475
476 cp $FLUX_MEASURED $FLUX_MEASURED_REV
477
478 for o in $(cat $NHOOD2LARGE |tr ' ' ',') ; do
479 mv $FLUX_MEASURED_REV $FLUX_MEASURED_TMP
480 id=$(echo $o |cut -d',' -f1)
481 awk -F',' '{if($id != $2) print }' $FLUX_MEASURED_TMP > $FLUX_MEASURED_REV
482 rm $FLUX_MEASURED_TMP
483 done
484 #--
485
486 join -t',' -j 1 -o"$(seq -s',' -f'2.%g' 1 $((Hb_q-1)),1.$Hb_m,$(seq -s',' -f'2.%g' $((Hb_q+1)) $((Ha_q-1)),1.$Ha_m,$(seq -s',' -f'2.%g' $((Ha_q+1)) $COL_ALL_MAX))" \
487 $FLUX_MEASURED_REV $ALL > $TMP_FLUX_COMBINED
489
490
491 awk -F',' '{if($2 != $3) print $0}' $TMP_FLUX_COMBINED > $FLUX_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
492 awk -F',' '{if($2 == $3) print $0}' $TMP_FLUX_COMBINED |sort -t',' -k3 > \
493 $TMP_FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
494
495 cat $NEIGHBOURS2 |tr ' ' ', ' |sort > $TMP_NEIGHBOURS2
496
497 join -t',' -11 -23 $TMP_NEIGHBOURS2 $TMP_FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT |awk -F',' '{if($5 != 0) print $6}' | \
498 sort -n > $TMP_LIST
499
500 sort $TMP_FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT > $TMP2_FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
501
502 join -t',' $TMP_LIST $TMP2_FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT > $TMP3_FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
503
504 cat $TMP3_FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT $FLUX_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS |sort -n > $FLUX_COMBINED
505 #-----
506
507 at=$(ud atype)
508
509 awk -F',' '{if($at == 1) print $0}' $FLUX_COMBINED > $FLUX_COMBINED_ATYPE1
510 awk -F',' '{if($at != 1) print $0}' $FLUX_COMBINED > $FLUX_COMBINED_ATYPE0
511
512
513 awk -F',' '{if($2 == $3) print $0}' $FLUX_COMBINED > $FLUX_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
514 awk -F',' '{if($2 != $3) print $0}' $FLUX_COMBINED > $FLUX_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
515
516
517 awk -F',' '{if($Hb_q >= 0 && $OIII_5008 >= 0 && $Ha_q >= 0 && $NII_6585 >= 0 && $OI_6302 >= 0 && \
518 $SII_6718 >= 0 && $SII_6733 >= 0) \
519 print $0}' $FLUX_COMBINED > $FLUX_EMISSION6_COMBINED
520
521
522 awk -F',' '{if($Hb_q >= 0 && $OIII_5008 >= 0 && $Ha_q >= 0 && $NII_6585 >= 0) print $0}' > \
523 $FLUX_COMBINED > $FLUX_EMISSION_COMBINED
524
525 awk -F',' '{if($Hb_q < 0 && $Ha_q < 0 && $Hb_q != -9999 && $Ha_q != -9999) print $0}' > \
526 $FLUX_COMBINED > $FLUX_ABSORPTION_COMBINED
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891

```

```

529 awk -F ',' ' {if ($2 == $3 ) print $0 }' $FLUX_EMISSION_COMBINED > $FLUX_EMISSION_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
awk -F ',' ' {if ($2 != $3 ) print $0 }' $FLUX_EMISSION_COMBINED > $FLUX_EMISSION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
531
533 awk -F ',' ' {if ($2 == $3 ) print $0 }' $FLUX_ABSORPTION_COMBINED > \
    $FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
awk -F ',' ' {if ($2 != $3 ) print $0 }' $FLUX_ABSORPTION_COMBINED > $FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
535
537 # -----
539 # sepline3(x) = 10**(0.61/(log10(x)-0.05))+1.3
541 # sepline2(x) = (x > 0.425) ? x*tan(25)*(10**(0.5)) : 1/0
543 #
545 awk -F ',' 'function log10(x) { return log(x)/log(10) };
547 {if ((\$$NII_6585/\$$Ha_q) <= 10^-0.05) ##
549 \$$OIII_5008/\$$Hb_q <= (10^(0.61/(log10(\$$NII_6585/\$$Ha_q)-0.05)+1.3)) print \$0 }" \
    $FLUX_EMISSION_COMBINED > $FLUX_HII_COMBINED
551
553 awk -F ',' "BEGIN { Pi=3.141592;} function log10(x) { return log(x)/log(10) };function tan(x){return sin(x) /
547 cos(x)};
549 {if ((\$$NII_6585/\$$Ha_q) <= 10^-0.05) ##
551 \$$OIII_5008/\$$Hb_q > (10^(0.61/(log10(\$$NII_6585/\$$Ha_q)-0.05)+1.3)) ##
553 \$$OIII_5008/\$$Hb_q <= (\$$NII_6585/\$$Ha_q)^tan(25*2*Pi/360)*(10^(tan(25*2*Pi/360)*0.45-0.5)) ||
555 (\$$NII_6585/\$$Ha_q > 10^-0.05) ##
557 \$$OIII_5008/\$$Hb_q <= (\$$NII_6585/\$$Ha_q)^tan(25*2*Pi/360)*(10^(tan(25*2*Pi/360)*0.45-0.5))) \
    print \$0 }" $FLUX_EMISSION_COMBINED > $FLUX_LINER_COMBINED
559
561 # -----
563 awk -F ',' "BEGIN { Pi=3.141592;} function log10(x) { return log(x)/log(10) };function tan(x){return sin(x) /
547 cos(x)};
549 {if ((\$$NII_6585/\$$Ha_q) <= 2.9512) ##
551 \$$OIII_5008/\$$Hb_q < (10^(0.61/(log10(\$$NII_6585/\$$Ha_q)-0.47)+1.19))} print \$0 }" \
    $FLUX_SEYFERT_COMBINED > $FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED
557
567 awk -F ',' "BEGIN { Pi=3.141592;} function log10(x) { return log(x)/log(10) };function tan(x){return sin(x) /
547 cos(x)};
549 {if ((\$$NII_6585/\$$Ha_q) <= 2.9512) ##
551 \$$OIII_5008/\$$Hb_q < (10^(0.61/(log10(\$$NII_6585/\$$Ha_q)-0.47)+1.19))} print \$0 }" \
    $FLUX_LINER_COMBINED > $FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED
557
567 # -----
573
575 awk -F ',' 'function log10(x) { return log(x)/log(10) };
577 {if ((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q) <= 2.0893) ##
579 \$$OIII_5008/\$$Hb_q <= (10^(0.72/(log10((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q)-0.32)+1.3)) print \$0 }" \
    $FLUX_EMISSION6_COMBINED > $FLUX_HII_SII_COMBINED
581
583 awk -F ',' "BEGIN { Pi=3.141592;} function log10(x) { return log(x)/log(10) };function tan(x){return sin(x) /
547 cos(x)};
549 {if ((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q) <= 2.0893) ##
551 \$$OIII_5008/\$$Hb_q > (10^(0.72/(log10((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q)-0.32)+1.3)) ##
553 \$$OIII_5008/\$$Hb_q <= (10^(1.89*log10((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q)+0.76)) ||
555 ((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q > 2.0893) ##
557 \$$OIII_5008/\$$Hb_q <= 10^(1.89*log10((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q)+0.76)) print \$0 }" \
    $FLUX_EMISSION6_COMBINED > $FLUX_LINER_SII_COMBINED
585
587
589 awk -F ',' "BEGIN { Pi=3.141592;} function log10(x) { return log(x)/log(10) };function tan(x){return sin(x) /
547 cos(x)};
549 {if ((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q) <= 2.0893) ##
551 \$$OIII_5008/\$$Hb_q > (10^(0.72/(log10((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q)-0.32)+1.3)) ##
553 \$$OIII_5008/\$$Hb_q > 10^(1.89*log10((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q)+0.76)) ||
555 ((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q > 2.0893) ##
557 \$$OIII_5008/\$$Hb_q > 10^(1.89*log10((\$$SII_6718+\$$SII_6733)/\$$Ha_q)+0.76)) print \$0 }" \
    $FLUX_EMISSION6_COMBINED > $FLUX_SEYFERT_SII_COMBINED
593
595 # -----
597
599 awk -F ',' 'function log10(x) { return log(x)/log(10) };
547 {if ((\$$OI_6302)/\$$Ha_q) <= 0.25704) ##
549 \$$OIII_5008/\$$Hb_q <= (10^(0.73/(log10((\$$OI_6302)/\$$Ha_q)+0.59)+1.33)) print \$0 }" \
    $FLUX_EMISSION6_COMBINED > $FLUX_HII_OI_COMBINED
601
603
605 awk -F ',' "BEGIN { Pi=3.141592;} function log10(x) { return log(x)/log(10) };function tan(x){return sin(x) /
547 cos(x)};
549 {if ((\$$OI_6302)/\$$Ha_q) <= 0.25704) ##
551 \$$OIII_5008/\$$Hb_q > (10^(0.73/(log10((\$$OI_6302)/\$$Ha_q)+0.59)+1.33)) ##
553

```

```

605  \###OIII_5008/\##Hb_q <= (10^(1.18*log10((\##OI_6302)/\##Ha_q)+1.3)) ||
    ((\##OI_6302)/\##Ha_q > 0.25704 ##)
    \###OIII_5008/\##Hb_q <= 10^(1.18*log10((\##OI_6302)/\##Ha_q)+1.3)) print \#0 }" >
607      $FLUX_EMISSION6_COMBINED > $FLUX_LINER_OI_COMBINED
609  awk -F ' ', ' "BEGIN { Pi=3.141592;} function log10(x) { return log(x)/log(10) };function tan(x){return sin(x) }
    / cos(x)};
    {if ((\##OI_6302)/\##Ha_q <= 0.25704 ##)
611  \###OIII_5008/\##Hb_q > (10^(0.73/(log10((\##OI_6302)/\##Ha_q)+0.59)+1.33)) ##
    \###OIII_5008/\##Hb_q > 10^(1.18*log10((\##OI_6302)/\##Ha_q)+1.3)) ||
613  ((\##OI_6302)/\##Ha_q > 0.25704 ##)
    \###OIII_5008/\##Hb_q > 10^(1.18*log10((\##OI_6302)/\##Ha_q)+1.30)) print \#0 }" >
        $FLUX_EMISSION6_COMBINED > $FLUX_SEYFERT_OI_COMBINED
615  #-----
617  awk -F ' ', ' "{if (\##at == 1 ) print \#0 }" $FLUX_EMISSION_COMBINED > $FLUX_EMISSION_COMBINED_ATYPE1
619  awk -F ' ', ' "{if (\##at != 1 ) print \#0 }" $FLUX_EMISSION_COMBINED > $FLUX_EMISSION_COMBINED_ATYPE0
621  #-
623  awk -F ' ', ' "{if (\##at == 1 ) print \#0 }" $FLUX_HII_COMBINED > $FLUX_HII_COMBINED_ATYPE1
    awk -F ' ', ' "{if (\##at == 1 ) print \#0 }" $FLUX_LINER_COMBINED > $FLUX_LINER_COMBINED_ATYPE1
625  awk -F ' ', ' "{if (\##at == 1 ) print \#0 }" $FLUX_SEYFERT_COMBINED > $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ATYPE1
627  awk -F ' ', ' "{if (\##at != 1 ) print \#0 }" $FLUX_HII_COMBINED > $FLUX_HII_COMBINED_ATYPE0
    awk -F ' ', ' "{if (\##at != 1 ) print \#0 }" $FLUX_LINER_COMBINED > $FLUX_LINER_COMBINED_ATYPE0
629  awk -F ' ', ' "{if (\##at != 1 ) print \#0 }" $FLUX_SEYFERT_COMBINED > $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ATYPE0
631  #-
633  awk -F ' ', ' "{if (\##at != 1 ) print \#0 }" $FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED > >
    $FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED_ATYPE0
    awk -F ' ', ' "{if (\##at != 1 ) print \#0 }" $FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED > >
    $FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED_ATYPE0
635  #-----
637  #-----
639  awk -F ' ', ' "{if ($2 == $3 ) print $0 }" $FLUX_HII_COMBINED > $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
    awk -F ' ', ' "{if ($2 == $3 ) print $0 }" $FLUX_LINER_COMBINED > $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
641  awk -F ' ', ' "{if ($2 == $3 ) print $0 }" $FLUX_SEYFERT_COMBINED > $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
643  awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_HII_COMBINED > $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
    awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_LINER_COMBINED > $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
645  awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_SEYFERT_COMBINED > $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
647  awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_EMISSION6_COMBINED > >
    $FLUX_EMISSION6_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
649  awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_HII_SII_COMBINED > >
    $FLUX_HII_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
    awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_LINER_SII_COMBINED > >
    $FLUX_LINER_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
651  awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_SEYFERT_SII_COMBINED > >
    $FLUX_SEYFERT_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
653  awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_HII_OI_COMBINED > >
    $FLUX_HII_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
    awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_LINER_OI_COMBINED > >
    $FLUX_LINER_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
655  awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_SEYFERT_OI_COMBINED > >
    $FLUX_SEYFERT_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
657  awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED > >
    $FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
    awk -F ' ', ' "{if ($2 != $3 ) print $0 }" $FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED > >
    $FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS
659  awk -F ' ', ' "{if ($2 == $3 ) print $0 }" $FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED > >
    $FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
661  awk -F ' ', ' "{if ($2 == $3 ) print $0 }" $FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED > >
    $FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT
663  #-----
665  awk -F ' ', ' "{if (\##at == 1 ) print \#0 }" $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT > >
    $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE1
667  awk -F ' ', ' "{if (\##at == 1 ) print \#0 }" $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT > >
    $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE1
    awk -F ' ', ' "{if (\##at == 1 ) print \#0 }" $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT > >
    $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE1
669  awk -F ' ', ' "{if (\##at != 1 ) print \#0 }" $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT > >
    $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE0
671  awk -F ' ', ' "{if (\##at != 1 ) print \#0 }" $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT > >
    $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE0
    awk -F ' ', ' "{if (\##at != 1 ) print \#0 }" $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT > >
    $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT_ATYPE0
673  #-
675  #-----

```

```

677 awk -F ',' '{if ($$at == 1) print $0}' $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS > >
    $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE1
677 awk -F ',' '{if ($$at == 1) print $0}' $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS > >
    $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE1
679 awk -F ',' '{if ($$at == 1) print $0}' $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS > >
    $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE1
679
681 awk -F ',' '{if ($$at != 1) print $0}' $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS > >
    $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE0
681 awk -F ',' '{if ($$at != 1) print $0}' $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS > >
    $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE0
681 awk -F ',' '{if ($$at != 1) print $0}' $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS > >
    $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_ATYPE0
683
685 #-----
685
687 echo -n > $FLUX_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
687 echo -n > $FLUX_EMISSION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
687 echo -n > $FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
689
691 echo -n > $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
691 echo -n > $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
691 echo -n > $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
693
695 echo -n > $FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
695 echo -n > $FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
697
699 echo -n > $FLUX_HII_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
699 echo -n > $FLUX_LINER_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
701 echo -n > $FLUX_SEYFERT_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
703
705 echo -n > $FLUX_HII_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
705 echo -n > $FLUX_LINER_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
705 echo -n > $FLUX_SEYFERT_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
707
709
711 for line in $(cat $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_CENTRALOBJECT) ; do
713 num=$(echo $line | cut -d',' -f1 | tr -d 'a')
713 grep ^$num $FLUX_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> $FLUX_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
715 grep ^$num $FLUX_EMISSION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_EMISSION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
715 grep ^$num $FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
717
719 grep ^$num $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
719 grep ^$num $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
719 grep ^$num $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
721
723 grep ^$num $FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_SEYFERT_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
723 grep ^$num $FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_LINER_COMPOSITE_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
725
727 grep ^$num $FLUX_EMISSION6_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_EMISSION6_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
727
729 grep ^$num $FLUX_HII_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_HII_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
729 grep ^$num $FLUX_LINER_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_LINER_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
729 grep ^$num $FLUX_SEYFERT_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_SEYFERT_SII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
731
733 grep ^$num $FLUX_HII_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_HII_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
733 grep ^$num $FLUX_LINER_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_LINER_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
733 grep ^$num $FLUX_SEYFERT_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS >> >
    $FLUX_SEYFERT_OI_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS
735
737 done
737
739 awk -F ',' '{if ($$at != 1) print $0}' $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS > >
    $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE0
739 awk -F ',' '{if ($$at != 1) print $0}' $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS > >
    $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE0
741 awk -F ',' '{if ($$at != 1) print $0}' $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS > >
    $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE0
741 awk -F ',' '{if ($$at != 1) print $0}' $FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS > >
    $FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE0
743
745 awk -F ',' '{if ($$at == 1) print $0}' $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS > >
    $FLUX_HII_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE1
745 awk -F ',' '{if ($$at == 1) print $0}' $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS > >
    $FLUX_LINER_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE1
745 awk -F ',' '{if ($$at == 1) print $0}' $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS > >
    $FLUX_SEYFERT_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE1

```

```

747 awk -F ',' '{if ($at == 1) print $0}' $FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS > >
    $FLUX_ABSORPTION_COMBINED_ONLY_NEIGHBOURS_OF_SEYFERTS_ATYPE1
749 # -----
751 fun_calc_edens $FLUX_HII_COMBINED $EDENS_HII_COMBINED
753 fun_calc_edens $FLUX_LINER_COMBINED $EDENS_LINER_COMBINED
    fun_calc_edens $FLUX_SEYFERT_COMBINED $EDENS_SEYFERT_COMBINED
755 fun_values $EDENS_HII_COMBINED $EVALUES_HII_COMBINED
    fun_values $EDENS_LINER_COMBINED $EVALUES_LINER_COMBINED
757 fun_values $EDENS_SEYFERT_COMBINED $EVALUES_SEYFERT_COMBINED

```

sdss_iterate_query.sh

```

#!/bin/bash
2 #####
3 # Name: sdss_iterate_query.sh #
4 # Author: Matthias Zetzl <zetzl at astro.physik.uni-goettingen.de> #
5 # Syntax: sdss_iterate_query.sh <function> <RDIR/> ... #
6 # Purpose: Script to iterate over the results (directories,files) #
7 # of the sdss query in RDIR using differnt function. #
8 # For a deeper explanation of the functions see there #
9 # #
10 # Used commands: bc, cut, diff, grep, mv, wc, cosmodis4iquery #
11 # #
12 #####
13
14
16 PROGRAM='basename $0'
    octave=/usr/bin/octave
18
20 function Usage(){
    cat << EOT
22 Usage: $PROGRAM <function> <RDIR/> ... e.g.
    $PROGRAM test_tt <RDIR>
24 $PROGRAM count_all_neighbours <RDIR>
    $PROGRAM calc_distance <RDIR>
26 $PROGRAM cut_distance <RDIR> <r_kpc>
    $PROGRAM make_double <RDIR> <r_kpc> <N_OUT>
28 $PROGRAM sum_all_objects <RDIR> <r_kpc>
    $PROGRAM move_dir_name <RDIR>
30 $PROGRAM get_spectra <RDIR> <r_kpc>
32
34 EOT
    exit
}
36 function FNF(){
    echo "$1 not found"
38 exit
}
40
42 [ $1 ] || Usage
    [ -e $2 ] || FNF $2
44 # -----
46 INPUT="$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/center/results/quasar.csv"
    QUERY_OUT="qsr_query_arc2000kpc_noz.csv"
48
50
52 H0=71
    c=299792.458
    COSMODISTANCE=$DHOME/programme/cosmodis4iquery
54 CALC_DISTANCE_COLUMNS=26
56
58 delta_lbt_max=0.01
59
61 fspecObjID=1
    nfphi_arcmin=20
62 fz=4
    nfz=$fz
64 fd_proj=21
    fd_z=22
66 fnd=23
    flbt=26
68
69 i=1
    cnt=0
70
71 whattodo="break"
72 # -----
73
74 RDIR=$2
75
76 RDIR_wo_slash=$(echo ${RDIR%/*})
    Lambda=L$(echo ${RDIR_wo_slash}*_L)

```



```

78 Omega0=$(echo "1-.$ {RDIR_wo_slash#*_LO}"|bc -l)
80
81 FUNCTION=$1
82 [ $3 ] && V3=$3
83 [ $4 ] && V4=$4
84
85 char_cnt1=97
86 char_cnt2=''
87
88 #####
89 function comp_dist(){
90 # Auxiliary function to compute the distance
91 # form a given redshift and Omega0
92 # Do a numerical integration for
93 # Omega0 not equal 1 and a
94 # exact calculation otherwise
95 #####
96 local z=$1
97 local Omega0=$2
98 local dist
99 local lbt
100
101 if [ $(echo "$Omega0 == 1" |bc -l) == 1 ]; then
102 dist=$(echo "((($c/$H0)*2*(2-$Omega0*(1-z)-(2-$Omega0)*sqrt(1+$Omega0*z)))/((($Omega0^2)*(1+z)^2))" |bc -l)
103 lbt=$(echo "printf(\"%f\n\",(977.81)*2./(3.*$H0)*(1-(1/(1+z)^(3./2))))" |$octave -q)
104 echo "$dist,$lbt"
105 else
106 #for Omega_Lambda != 0
107 echo "$Omega0" "$(echo 1-$Omega0|bc)" "$z"|$COSMODISTANCE
108 fi
109 }
110
111 #####
112 function numerate_nbours(){
113 # Auxiliary function to compute the letter
114 # for the neighbours
115 # (a-z, aa-az, ba-bz, ..., za-zz)
116 #####
117
118 if [ $char_cnt1 -le 122 -a -z "$char_cnt2" ]; then
119 char1=$(echo "${char_cnt1}P" | dc)
120
121 ((char_cnt1++))
122 echo "$char1,$char_cnt1,"
123 return
124 fi
125
126 if [ $char_cnt1 == 123 -a -z "$char_cnt2" ]; then
127 char_cnt1=97
128 char_cnt2=97
129 char1=$(echo "${char_cnt1}P" | dc)
130 char2=$(echo "${char_cnt2}P" | dc)
131 ((char_cnt2++))
132 echo "${char1}${char2},$char_cnt1,$char_cnt2"
133 return
134 fi
135
136 if [ "$char_cnt2" -le 122 ]; then
137 char1=$(echo "${char_cnt1}P" | dc)
138 char2=$(echo "${char_cnt2}P" | dc)
139 ((char_cnt2++))
140 echo "${char1}${char2},$char_cnt1,$char_cnt2"
141 return
142 fi
143
144 if [ "$char_cnt2" == 123 ]; then
145 ((char_cnt1++))
146 char_cnt2=97
147 char1=$(echo "${char_cnt1}P" | dc)
148 char2=$(echo "${char_cnt2}P" | dc)
149 ((char_cnt2++))
150 echo "${char1}${char2},$char_cnt1,$char_cnt2"
151 return
152 fi
153 }
154
155 #####
156 function count_all_neighbours(){
157 # Count all Objects in RDIR for each
158 # $OUT_DIR/$QUERY_OUT and echos the
159 # results at STDOUT
160 #####
161 for line in $(grep -v '^#' $INPUT); do
162 z=$(echo $line|cut -d',' -f$z)
163 specObjID=$(echo $line|cut -d',' -f$specObjID)
164 OUT_DIR=$RDIR/$(printf "%.6i" $i)_$specObjID
165
166 test -d $OUT_DIR || $whattodo

```

```

170     if test -f $OUT_DIR/$QUERY_OUT ; then
171         count_neighbours=$(awk -F',' 'BEGIN { C=0;N=0;} $0 ~ /^[0-9]/ {if($specObjID == \#1) C++; else N}
172         ++};END{print C+N"\n" \#C"\n" \#N}' $OUT_DIR/$QUERY_OUT)
173     fi
174     echo "$specObjID $z $count_neighbours"
175 fi
176 ((i++))
177 done
178 }
179
180 #####
181 function sum_all_objects(){
182 # Count all Objects under RDIR/
183 # in CALC_OUT and print out the sum
184 # to STDOUT
185 #####
186 for line in $(grep -v '#$' $INPUT); do
187
188     r_kpc=$V3
189     CALC_OUT="$qsr_neighbours_r${r_kpc}kpc.csv"
190     specObjID=$(echo $line |cut -d',' -f$specObjID)
191     OUT_DIR=$RDIR/$(printf %.6i $i)_$specObjID
192
193     test -d $OUT_DIR || $whattodo
194
195     if test -f $OUT_DIR/$CALC_OUT ; then
196         count_neighbours=$(grep -e '[0-9]' $OUT_DIR/$CALC_OUT |wc -l |cut -d' ' -f1)
197     fi
198
199     ((cnt=cnt+count_neighbours))
200     ((i++))
201 done
202 echo "$cnt"
203 }
204 #####
205 function calc_distance(){
206 # Calculates the distance between the
207 # central object and the neighbours and
208 # the distance from here. Additionally
209 # calculate delta z and the differenz
210 # in look back time between the center
211 # and the neighbour object
212 # Prints the result in the file
213 # CALC_OUT in every OUT_DIR
214 #####
215 for line in $(grep -v '#$' $INPUT); do
216
217     CALC_OUT=${QUERY_OUT}/.csv/_distance.csv}
218
219     specObjID=$(echo $line |cut -d',' -f$specObjID)
220     OUT_DIR=$RDIR/$(printf %.6i $i)_$specObjID
221
222     test -d $OUT_DIR || $whattodo
223
224     z_center_long=$(echo $line |cut -d',' -f$z)
225     z_center=$(printf "%.6f" $z_center_long)
226
227     d_z_center_and_lbtime_center=$(comp_dist $z_center $Omega0)
228     d_z_center=$(echo $d_z_center_and_lbtime_center |cut -d',' -f1)
229     lbtime_center=$(echo $d_z_center_and_lbtime_center |cut -d',' -f2)
230
231
232     if test -f $OUT_DIR/$QUERY_OUT; then
233         echo -n "" > $OUT_DIR/$CALC_OUT
234         for nline in $(grep -e '[0-9]' $OUT_DIR/$QUERY_OUT); do
235
236             phi_arcmin=$(printf "%f" $(echo $nline |cut -d',' -f$phi_arcmin))
237             phi=$(echo "$phi_arcmin*((2*/a(1))/(60*360))" |bc -l)
238             z_neighbour=$(printf "%f" $(echo $nline |cut -d',' -f$z))
239
240             test $(echo "$z_neighbour > 0" |bc -l) == 1 || continue
241
242             d_z_neighbour_and_lbtime_neighbour=$(comp_dist $z_neighbour $Omega0)
243             d_z_neighbour=$(echo $d_z_neighbour_and_lbtime_neighbour |cut -d',' -f1)
244             lbtime_neighbour=$(echo $d_z_neighbour_and_lbtime_neighbour |cut -d',' -f2)
245
246             delta_z=$(echo $z_neighbour-$z_center |bc -l)
247             delta_lbt=$(echo $lbtime_neighbour-$lbtime_center |bc -l)
248             d=$(echo "sqrt( ($d_z_center)^2 + ($d_z_neighbour)^2 - 2 * ($d_z_center) * ($d_z_neighbour) * c(2
249                 $phi) )" |bc -l)
250             d_proj=$(echo "$d_z_neighbour*(s($phi))" |bc -l)
251             d_z=$(echo "sqrt( ($d)^2 - ($d_proj)^2 )" |bc -l)
252
253             echo "$nline,$d_proj,$d_z,$d,$d_z_neighbour,$delta_z,$delta_lbt" >> $OUT_DIR/$CALC_OUT
254         done
255     fi
256     ((i++))
257 done
258 }
259 }

```

```

262 #+++++
263 function cut_distance(){
264 # Print all files with a distance
265 # (got from CALC_OUT) lesser then
266 # r_kpc in the file DISTANCE_OUT
267 # in every OUT_DIR. Additionally
268 # print the number of neighbours within
269 # this distance to STDOUT
270 #+++++
271 for line in $(grep -v '^#' $INPUT); do
272
273     r_kpc=$V3
274
275     DISTANCE_OUT="qsr_neighbours_r${r_kpc}kpc.csv"
276     #CALC_OUT="qsr_query_distance.csv"
277     CALC_OUT=${QUERY_OUT}/.csv/_distance.csv}
278
279     specObjID=$(echo $line|cut -d',' -f$specObjID)
280     OUT_DIR=${RDIR}/${printf %.6i $i}_${specObjID}
281
282     test -d $OUT_DIR || $whattodo
283
284     z_center_long=$(echo $line|cut -d',' -f$z)
285     sortcol=$((CALC_DISTANCE_COLUMNS+1))
286
287     if test -f $OUT_DIR/$CALC_OUT && ! test -f $OUT_DIR/$DISTANCE_OUT; then
288         count_neighbours=0
289         echo -n "" > $OUT_DIR/$DISTANCE_OUT
290
291         for nline in $(grep -e '[0-9]' $OUT_DIR/$CALC_OUT|awk -F',' '{if($1 == $specObjID) print $0",1\n";
292             else print $0",2\n"}' |sort -t',' -k${fnd},${fnd}g -k$sortcol,$sortcol|cut -d',' --complement)
293             -f$sortcol); do
294
295             d=$(echo $nline|cut -d',' -f$fd)
296             d_proj=$(echo $nline|cut -d',' -f$fd_proj)
297             d_z=$(echo $nline|cut -d',' -f$fd_z)
298             lbt_delta=$(echo $nline|cut -d',' -f$lbt)
299
300             if [ $(echo "$d_proj <= $r_kpc/1000" |bc -l) == 1 -a $(echo "$d_z <= 11.2" |bc -l) == 1 -a $(
301                 echo "$lbt_delta <= $delta_lbt_max" |bc -l) == 1 ]; then
302                 echo "$nline" >> $OUT_DIR/$DISTANCE_OUT
303             fi
304
305         done
306         echo $i > /dev/stderr
307     else
308         printf '\r%s\r' $i > /dev/stderr
309     fi
310     if [ -f $OUT_DIR/$DISTANCE_OUT ]; then
311         count_neighbours=$(awk -F',' 'BEGIN { C=0;N=0;} $0 ~ /^[0-9]/ {if($specObjID == $1) C++; else N}
312             ++};END{print C+N"\n"C"\n"N}' $OUT_DIR/$DISTANCE_OUT)
313         echo "$specObjID $z_center_long $count_neighbours"
314     fi
315     ((i++))
316 done
317 }
318
319 #+++++
320 function make_double(){
321 # For each central object print to N_OUT
322 # the serial number, the id of this object
323 # followed by the id of the neighbour
324 # and the other values from CALC_OUT.
325 # To test whether one neighbour object is in
326 # the surrounding of different central
327 # object use the command 'uniq'.
328 #+++++
329 N_OUT=$V4
330 r_kpc=$V3
331
332 echo "#no      specObjID_c      specObjID_n      ra      dec      z      zErr      plate mjd fiberid type u)
333      g r i z Err_u Err_g Err_r Err_i Err_z d_arcmin d_proj_Mpc d_z_Mpc      d_Mpc      D_Mpc )
334      delta_z delta_lbt">$N_OUT
335
336 for line in $(grep -v '^#' $INPUT); do
337
338     CALC_OUT="qsr_neighbours_r${r_kpc}kpc.csv"
339
340     specObjID=$(echo $line|cut -d',' -f$specObjID)
341     OUT_DIR=${RDIR}/${printf %.6i $i}_${specObjID}
342
343     test -d $OUT_DIR || $whattodo
344
345     if test -f $OUT_DIR/$CALC_OUT; then
346         char_cnt1=97
347         char_cnt2=""
348         for nline in $(<$OUT_DIR/$CALC_OUT); do
349             specObjID_n=$(echo "$nline"|cut -d',' -f1)
350             test $char_cnt1 == 97 -a X$char_cnt2 == X' -a $specObjID != $specObjID_n && ((char_cnt1++))
351             nret=$(numerate_nighbours)
352             chars=$(echo "$nret"|cut -d',' -f1)
353             char_cnt1=$(echo "$nret"|cut -d',' -f2)
354             char_cnt2=$(echo "$nret"|cut -d',' -f3)

```

```

350         d_line=$(echo $nline|sed 's/,/ /g')
351         printf "%.6i%-2s %s %s\n" $i $chars $specObjID "$d_line" >> $N_OUT
352     done
353     fi
354     ((i++))
355
356 done
357 }
358
359 #+++++
360 function get_spectra(){
361     # For each central object get the spectra
362     # and the ps-files (wget) of the neighbours
363     # (from DISTANCE) and save it in the respective
364     # OUT_DIR. Create a CL to shift the spectra
365     # to the restframe and to NEWREDSHIFT_DIR
366     # and link the plots to the same dirrctory.
367     #+++++
368
369     NEWREDSHIFT_DIR_ALL=${DHOME}/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/${Lambda}_all
370     NEWREDSHIFT_DIR_SPLOT=${DHOME}/daten/sdss_qsr/dr7/spectra/${Lambda}_splot
371     PLOTS_DIR=${DHOME}/daten/sdss_qsr/dr7/plot
372     CL=newred.cl
373     OBJECTLIST=objectlist.dat
374
375     test -d $NEWREDSHIFT_DIR_ALL || mkdir $NEWREDSHIFT_DIR_ALL
376     test -d $NEWREDSHIFT_DIR_SPLOT || mkdir $NEWREDSHIFT_DIR_SPLOT
377     test -d $PLOTS_DIR || mkdir $PLOTS_DIR
378
379     echo -n > $NEWREDSHIFT_DIR_ALL/$CL
380     echo -n > $NEWREDSHIFT_DIR_SPLOT/$CL
381
382     echo -n > $NEWREDSHIFT_DIR_ALL/$OBJECTLIST
383     echo -n > $NEWREDSHIFT_DIR_SPLOT/$OBJECTLIST
384
385     for line in $(grep -v '^#' $INPUT); do
386
387         r_kpc=$V3
388
389         DR=DR7
390         spRerun=26
391         DISTANCE="qsr_neighbours_r${r_kpc}kpc.csv"
392         ix5=$(printf %.6i $i)
393         specObjID=$(echo $line|cut -d',' -f$fspecObjID)
394         OUT_DIR=${RDIR}/${ix5}_$specObjID
395
396         withN=''
397         test $(cat $OUT_DIR/$DISTANCE |wc -l) -gt 1 && withN=true
398
399         ( cd $OUT_DIR
400         (
401             char_cnt1=97
402             char_cnt2=''
403             cut -d',' -f 1,4,6-8 --output-delimiter=' ' $OUT_DIR/$DISTANCE |
404             while read n_specObjID oldz Zplate Zmjd Zfiberid ; do
405
406                 test $char_cnt1 == 97 -a X$char_cnt2 == X' -a $specObjID != $n_specObjID && ((char_cnt1++))
407                 nret=$(numerate_nbours)
408                 chars=$(echo "$nret"|cut -d',' -f1)
409                 char_cnt1=$(echo "$nret"|cut -d',' -f2)
410                 char_cnt2=$(echo "$nret"|cut -d',' -f3)
411
412                 plate=$(printf %.4i ${Zplate})
413                 mjd=$(printf %.5i ${Zmjd})
414                 fiberid=$(printf %.3i ${Zfiberid})
415
416                 #test -z $withN -a $n_specObjID != $specObjID && withN=true
417                 test -z $withN && test $n_specObjID != $specObjID && withN=true
418                 echo "http://das.sdss.org/spectro/id_${spRerun}/${plate}/id/spSpec-${mjd}-${plate}-${fiberid}
419                 ).fit"
420                 #test $withN && echo "http://das.sdss.org/spectro/id_${spRerun}/${plate}/gif/spPlot-${mjd}-${
421                 plate}-${fiberid}.gif"
422
423                 #(test $withN && cd $PLOTS_DIR/ &&
424                 #ln -s ${RDIR}/${ix5}_$specObjID/spPlot-${mjd}-${plate}-${fiberid}.gif ${ix5}${chars}_$
425                 specObjID_${n_specObjID}.gif
426                 #)
427
428                 { echo "${ix5}${chars} ${specObjID} ${n_specObjID} $oldz"
429                 } >> $NEWREDSHIFT_DIR_ALL/$OBJECTLIST
430                 { test $withN && echo "${ix5}${chars} ${specObjID} ${n_specObjID} $oldz"
431                 } >> $NEWREDSHIFT_DIR_SPLOT/$OBJECTLIST
432
433                 { echo "newredshift \`${OUT_DIR}/spSpec-${mjd}-${plate}-${fiberid}.fit\` \
434                 \`${NEWREDSHIFT_DIR_ALL}/${ix5}${chars}_${specObjID}_${n_specObjID}.fits\` oldz=$oldz newz)
435                 =0"|sed 's|/|/|g'
436                 } >> $NEWREDSHIFT_DIR_ALL/$CL
437                 { test $withN && echo "newredshift \`${OUT_DIR}/spSpec-${mjd}-${plate}-${fiberid}.fit\` \
438                 \`${NEWREDSHIFT_DIR_SPLOT}/${ix5}${chars}_${specObjID}_${n_specObjID}.fits\` oldz=$oldz )
439                 newz=0"|sed 's|/|/|g'
440                 } >> $NEWREDSHIFT_DIR_SPLOT/$CL
441
442             done
443         ) | wget -c -i -
444     # )

```

```

    )
    ((i++))
done
}
444
446 ##### MAIN #####
448 $FUNCTION
450 #####
452 #__END__

```

sdss_mksql.sh

```

1 #!/bin/bash
2 #####
3 # Name: sdss_mksql.sh #
4 # Author: Matthias Zetzl <zetzl at astro.physik.uni-goettingen.de> #
5 # Syntax: sdss_mksql.sh $RDIR #
6 # #
7 # Zweck: Fuer jeden Zeile (jede(s) Objekt/specObjID) in der Datei $INPUT #
8 # wird eine Nachbarschaftsanfrage mit einem Radius von $r_kpc kpc #
9 # an SDSS gemacht und das Resultat in die Datei $QUERY_OUT im #
10 # Verzeichniss $RDIR/$(printf %.5i $i)_$specObjId geschrieben. #
11 # #
12 # Benoeetigte Programme: sqlcl.py, cut, mkdir, grep, bc #
13 #####
14
15 PROGRAM='basename $0'
16
17 function Usage(){
18     echo "Usage: $PROGRAM <dir/>"
19     exit
20 }
21
22 function FNF(){
23     echo "$1 not found"
24     exit
25 }
26
27 [ $1 ] || Usage
28 [ -e $1 ] || FNF
29
30 #-----
31 INPUT="$DHOME/daten/sdss_qsr/dr7/center/results/quasar.csv"
32
33 H0=71
34 c=299792.458
35 r_kpc=2000 # QRADIUS = query-radius
36 z_max=10.0
37 velo=11.2
38
39 QUERY_OUT="qsr_query_arc${r_kpc}kpc_noz.csv"
40
41 #-----
42
43
44
45 RDIR=$1
46 Omega0=$(echo "1-.$RDIR#*_L0"|bc -l)
47 i=1
48
49 #####
50 function comp_r_arc(){
51     # Auxiliary function to compute the
52     # query radius in arcmin form a
53     # given query radius in kpc, redshift
54     # and Omega0.
55     # Do a numerical integration for
56     # Omega0 not equal 1 and a
57     # exact calculation otherwise
58     #####
59     local z=$1
60     local Omega0=$2
61
62     if [ $(echo "$Omega0 == 1" |bc -l) == 1 ]; then
63         echo "((($r_kpc*(360*60)/(2*4*a(1)*1000)))/((($c/$H0)*2*(2-$Omega0*(1-$z)-(2-$Omega0)*sqrt(1+$Omega0*$z)))/((($Omega0^2)*(1+$z)^2) - $velo) )" |bc -l
64     else
65         #for Omega_Lambda != 0
66         echo "((($r_kpc*(360*60)/(2*4*a(1)*1000)))/($ (echo "$Omega0" $(echo 1-$Omega0|bc) "$z"|$DHOME/programme/cosmodis4mksql) - $velo) )" |bc -l
67     fi
68 }
69
70 ##### MAIN #####
71 for line in $(grep -v '^#' $INPUT); do
72
73

```

```

75 #echo "$i"
76 specObjID=$(echo $line|cut -d',' -f1)
77 ra=$(echo $line|cut -d',' -f2)
78 dec=$(echo $line|cut -d',' -f3)
79 z=$(echo $line|cut -d',' -f4)
80
81 [ $(echo "$z > $z_max" |bc -l) == 1 ] && echo "z=$z -> limit reached" && exit 0
82
83 r_arc=$(comp_r_arc $z $Omega0)
84
85 OUT_DIR=$RDIR/$(printf "%.6i" $i)_$specObjID
86
87 test -d $OUT_DIR || mkdir $OUT_DIR
88
89 do_query=false
90 ! test -f $OUT_DIR/$QUERY_OUT && do_query=true
91 test -f $OUT_DIR/$QUERY_OUT && ! grep -qe '^[0-9]' $OUT_DIR/$QUERY_OUT && do_query=true
92
93 if $do_query ; then
94     echo "$i: z=$z r_arc=$r_arc id=$specObjID"
95
96     QUERY="SELECT s.specObjID, s.ra, s.dec, s.z, s.zErr, s.plate,s.mjd,s.fiberid,p.type,
97 p.u, p.g, p.r, p.i, p.z, p.Err_u, p.Err_g, p.Err_r, p.Err_i, p.Err_z, n.distance
98 FROM SpecObj as s, PhotoObj as p, dbo.fGetNearbyObjEq ($ra,$dec,$r_arc) as n
99 WHERE n.objid=s.bestobjid AND p.objid=s.bestobjid AND p.objid=n.objid
100 AND (s.specClass = dbo.fSpecClass('STAR') OR s.specClass = dbo.fSpecClass('STAR_LATE')
101 OR s.specClass = dbo.fSpecClass('GALAXY') OR s.specClass = dbo.fSpecClass('QSO')
102 OR s.specClass = dbo.fSpecClass('HIZ_QSO') OR s.specClass = dbo.fSpecClass('UNKNOWN'))"
103
104     #echo "$QUERY"
105     sqlcl.py -v -f csv -q "$QUERY" > $OUT_DIR/$QUERY_OUT
106     sleep 1
107 else
108     printf '\r%s\r' $i
109 fi
110 : ${i++}
111 done

```

sdss_rearrange_specline_out.pl

```

#!/usr/bin/perl
2 #####
3 # Name: sdss_splot_flux.pl #
4 # Author: Matthias Zetzl <zetzl@astro.physik.uni-goettingen.de> #
5 # Syntax: sdss_rearrange_specline_out.pl <sdss_flux_query_out> #
6 # #
7 # Zweck: Sortiert die Ausgabe der SDSS Fluss-Querys so um, dass alle #
8 # Fluss-Werte (lineID) einer specid, getrennt durch Komma, in einer #
9 # einzigen Zeile stehen. Wenn die Werte einer lineID fehlen, werden #
10 # dort nur Kommas gesetzt. #
11 # #
12 # Benötigte Programme: keines #
13 #####
14
15 use File::Basename;
16 use strict;
17
18 my @input;
19
20 if (my $spec_file = shift){
21     open(INPUT, "$spec_file") || die "$spec_file: !\nUsage: ", basename($0), " <sdss_flux_query_out_file>\n";
22     @input = <INPUT>;
23     close(INPUT);
24 }
25 else{
26     @input = <STDIN>;
27 }
28
29
30 my $words = [];
31 my $i = 0;
32 my $old_objid = "";
33 my $lineIdCount = 0;
34
35 my @lineids = (1034,1216,1241,1306,1335,1398,1400,1549,1640,1666,1857,1909,2326,
36 2439,2799,3347,3427,3727,3730,3799,3836,3889,3935,3970,3971,4072,
37 4103,4306,4342,4364,4863,4933,4960,5008,5177,5896,6302,6366,6529,
38 6550,6565,6585,6708,6718,6733,8500,8544,8665);
39
40 foreach my $line (@input){
41     chomp(@$words = split (/\./,$line));
42     my $cur_objid = $words->[0];
43     my $cur_lineid = $words->[1];
44
45     $cur_lineid = 1034 if $cur_lineid == 1033;
46     $cur_lineid = 1216 if $cur_lineid == 1215;
47
48     $cur_lineid = 1241 if $cur_lineid == 1239;
49     $cur_lineid = 1335 if $cur_lineid == 1336;
50     $cur_lineid = 1549 if $cur_lineid == 1546;

```

```

52   $cur_lineid   = 1909 if $cur_lineid == 1908;
53   $cur_lineid   = 2799 if $cur_lineid == 2800;
54   $cur_lineid   = 6708 if $cur_lineid == 6710;
55
56   if ($cur_objjid != $old_objjid){
57     print("\n") if $i != 0;
58     #print(join(' ', @words));
59     print($cur_objjid);
60     $lineIdCount = 0;
61   }
62
63   for(my $j=$lineIdCount; $j<=$#lineids; $j++){
64
65     if ($cur_lineid == $lineids[$j]){
66       print(" ", $words->[1], " ", $words->[2], " ", $words->[3]);
67       $lineIdCount++;
68       last;
69     }
70     else{
71       print(" ", 0, "-9999", "-9999");
72       $lineIdCount++
73     }
74   }
75   $old_objjid=$cur_objjid;
76   $i++;
77 }
78 print("\n")
79
80 __END__

```

sdss_splot_flux.pl

```

1  #!/usr/bin/perl
2  #####
3  # Name: sdss_splot_flux.pl #
4  # Author: Matthias Zetzl <zetzl at astro.physik.uni-goettingen.de> #
5  # Syntax: sdss_splot_flux.pl <splot logfile> #
6  # #
7  # Zweck: Extrahiert den Fluss bestimmter Linien aus <splot logfile> und gibt #
8  # ihn mit dem Dateinamen, sortiert nach diesem, aus. #
9  # Bei Mehrfachmessungen wird nur die letzte ausgegeben. #
10 # #
11 # Benotigte Programme: keines #
12 #####
13
14 use File::Basename;
15
16
17 my $w_ha = 6564.614; # vacuum sdss
18 my $w_hb = 4862.721; # vacuum sdss
19
20
21 my $deltaplus = 5.1;
22 my $deltaminus = $deltaplus;
23
24 my $splot_file = shift;
25
26 open(INPUT, $splot_file) || die "$splot_file: ${!}Usage: ", basename($0), " <splot logfile>\n";
27 my @input = <INPUT>;
28 close(INPUT);
29
30 # center cont flux eqw core gfvhm lfwhm
31 # 7718.139 2.37E-313 1.810E-13 -116.4 1.315E-15 129.3 0.
32
33 my $filename;
34 my $in;
35 my $objects = {};
36 my $hashptr = {};
37 my $i=0;
38
39 foreach my $line (@input){
40
41   if (($filename) = ($line =~ /\[(.+)\.fits\[/]){
42     if ($hashptr->{'sn'}){
43       foreach my $k (sort(keys (%$hashptr))){
44         $objects->{$hashptr->{'sn'}}->{$k}=$hashptr->{$k};
45       }
46     }
47     $hashptr = {};
48     ($hashptr->{'sn'}, $hashptr->{'c_id'}, $hashptr->{'n_id'}) = split (/\/, $filename);
49   }
50   if($line =~ /\s+\d/){
51     my @f = split (/\/, $line);
52     if ($w_ha-$deltaminus < $f[1] && $w_ha+$deltaplus > $f[1] ){
53       $hashptr->{'fluxHa'} = $f[3]*$fluxHaFactor;
54       $hashptr->{'fluxHb'} = $f[3];
55       $hashptr->{'waveHa'} = $f[1];
56     }
57     elsif ($w_hb-$deltaminus < $f[1] && $w_hb+$deltaplus > $f[1] ){
58       $hashptr->{'fluxHb'} = $f[3]*$fluxHbFactor;
59     }
60   }
61 }

```

```

61     $hashptr ->{'fluzHb'} = $field[3];
        $hashptr ->{'waveHb'} = $field[1];
63     }
        else{
65         $hashptr ->{'fluzNN'} = $field[3];
            $hashptr ->{'waveNN'} = $field[1];
67     }
    }
69     if ($i == $#input){
        foreach my $k (sort(keys (%$hashptr))){
71         $objects ->{$hashptr ->{'sn'}}->{$k}=$hashptr ->{$k};
73     }
        $i++;
75 }
77
79 foreach my $sn (sort(keys (%$objects))){
    if ($printother){
81         if ($objects ->{$sn}->{'waveNN'}){
            print (
83                 $objects ->{$sn}->{'sn'}, " ",
                    $objects ->{$sn}->{'c_id'}, " ",
85                 $objects ->{$sn}->{'n_id'}, " ",
                    $objects ->{$sn}->{'waveNN'}, " ",
87                 $objects ->{$sn}->{'fluzNN'}, " "
            );
89             print (
                "\n"
91             );
93         }
        else{
95             print (
                $objects ->{$sn}->{'sn'}, " ",
97                 $objects ->{$sn}->{'c_id'}, " ",
                $objects ->{$sn}->{'n_id'}, " "
99             );
101             $objects ->{$sn}->{'waveHb'} ? print ($objects ->{$sn}->{'waveHb'}, " ") : print ("XXX ");
            $objects ->{$sn}->{'fluzHb'} ? print ($objects ->{$sn}->{'fluzHb'}, " ") : print ("XXX ");
103             $objects ->{$sn}->{'waveHa'} ? print ($objects ->{$sn}->{'waveHa'}, " ") : print ("XXX ");
            $objects ->{$sn}->{'fluzHa'} ? print ($objects ->{$sn}->{'fluzHa'}, " ") : print ("XXX ");
105
            print (
107                 "\n"
            );
109     }
}

```


Publikationen

Konferenzbeiträge:

1. W. Kollatschny, D. Hofmann, S. Dreizler, H. Nicklas, **Zetzl, M.**, and C. Köhler. BMBF funded projects at Göttingen. *Astronomische Nachrichten*, 328, 710, 2007. [ADS]
2. W. Kollatschny, **Zetzl, M.**, and K. Ulbrich. Line profile variations in selected Seyfert galaxies. *Journal of Physics Conference Series*, 257(1), 012024, 2010.

Referierte Publikationen:

3. W. Kollatschny and **Zetzl, M.** Line profile variability in AGN. *Astronomische Nachrichten*, 326, 547, 2005. [ADS]
4. W. Kollatschny, **Zetzl, M.**, and M. Dietrich. Spectral line variability amplitudes in active galactic nuclei. *A&A*, 454, 459, 2006. [ADS]
5. W. Kollatschny, R. Kotulla, W. Pietsch, K. Bischoff, and **Zetzl, M.** New active galactic nuclei detected in ROSAT All Sky Survey galaxies. II. The complete dataset. *A&A*, 484, 897, 2008. [ADS]
6. **Zetzl, M.** and W. Kollatschny. QSO/AGN environments at different redshifts. *New Astronomy Review*, 53, 209, 2009. [ADS]
7. W. Kollatschny and **Zetzl, M.** Line profile and continuum variability in the very broad-line Seyfert galaxy Mrk 926. *A&A*, 522, 36, 2010. [ADS]
8. W. Kollatschny and **Zetzl, M.** Broad-line active galactic nuclei rotate faster than narrow-line ones. *Nature*, 470, 366, 2011. [ADS]
9. W. Kollatschny and **Zetzl, M.** Accretion disk structure and kinematics of the BLR in selected Aktive Galactic Nuclei. *Baltic Astronomy*, in press
10. S. E. Rafter, S. Kaspi, E. Behar, W. Kollatschny, and **Zetzl, M.** Reverberation Mapping of the Intermediate Mass Nuclear Black Hole in SDSS J114008.71+030711.4. *ApJ*, in press
11. W. Kollatschny, A. Reichstein, and **Zetzl, M.** The environment of AGNs and the activity degree of their surrounding galaxies. *A&A*, submission in September 2011

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei denjenigen Personen bedanken, ohne die diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. W. Kollatschny für das interessante Thema und die engagierte wissenschaftliche Betreuung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Wolfgang Glatzel danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Bei den Mitarbeitern des Instituts für Astrophysik für die angenehme Arbeitsatmosphäre und die zahlreichen Tipps und Ratschläge.

Bei meiner Frau Kerstin für das Korrekturlesen der Arbeit und ihre zahlreichen Verbesserungsvorschläge.

Die von mir geschriebenen Programme habe ich als Shellscrip (bash) und Perlscripte realisiert.

Erstellt wurde die Arbeit mit dem Textsatzsystem \LaTeX unter Linux. Die Abbildungen wurden größtenteils mit Hilfe des Programms *gnuplot* erzeugt und die Berechnungen größtenteils mit dem Programm *octave* realisiert.

Diese Arbeit wurde mit Mitteln des Deutschen Elektronen Synchrotrons (DESY) unter dem Förderkennzeichen 05 AV 5MGA/1 sowie des Niedersachsen-Israel Research Cooperation Programms ZN2318 gefördert.

Funding for the SDSS and SDSS-II has been provided by the Alfred P. Sloan Foundation, the Participating Institutions, the National Science Foundation, the U.S. Department of Energy, the National Aeronautics and Space Administration, the Japanese Monbukagakusho, the Max Planck Society, and the Higher Education Funding Council for England. The SDSS Web Site is <http://www.sdss.org/>.

The SDSS is managed by the Astrophysical Research Consortium for the Participating Institutions. The Participating Institutions are the American Museum of Natural History, Astrophysical Institute Potsdam, University of Basel, University of Cambridge, Case Western Reserve University, University of Chicago, Drexel University, Fermilab, the Institute for Advanced Study, the Japan Participation Group, Johns Hopkins University, the Joint Institute for Nuclear Astrophysics, the Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, the Korean Scientist Group, the Chinese Academy of Sciences (LAMOST), Los Alamos National Laboratory, the

Max-Planck-Institute for Astronomy (MPIA), the Max-Planck-Institute for Astrophysics (MPA), New Mexico State University, Ohio State University, University of Pittsburgh, University of Portsmouth, Princeton University, the United States Naval Observatory, and the University of Washington.

Lebenslauf

Name	Matthias Zetzl
Geboren	31. Juli 1971 in Heilbad Heiligenstadt
Eltern	Heinrich Josef Zetzl und Anna Antonia Zetzl
Familienstand	verheiratet
Staatsangehörigkeit	deutsch
1978 – 1988	Polytechnische Oberschule II in Heilbad Heiligenstadt. Abschluss: Mittlere Reife
1988 – 1990	Lehre in den VEB Papierfabriken Heiligenstadt
15. Juli 1990	Facharbeiterbrief für „Facharbeiter für Werkzeugmaschinen“
Juli – August 1990	Tätigkeit als Facharbeiter für Werkzeugmaschinen in den VEB Papierfabriken Heiligenstadt
Sep. 1990 – Sep. 1991	Tätigkeit als Facharbeiter für Werkzeugmaschinen bei der PST GmbH Heiligenstadt
01.10.1991 – 30.09.1992	Grundwehrdienst in der Görmar-Kaserne in Mühlhausen
Okt. 1992 – August 1995	Tätigkeit als Facharbeiter für Werkzeugmaschinen bei der PST GmbH Heiligenstadt
Okt. 1992 – Juni 1995	Abiturkurs an der Kreisvolkshochschule Heiligenstadt
21. Juni 1995	Zeugnis der allgemeinen Hochschulreife
Okt. 1995 – Sep. 2004	Diplomstudiengang Physik an der Georg August Universität zu Göttingen
16. Oktober 1997	Diplomvorprüfung im Fachbereich Physik
2003 – 2004	Diplomarbeit zum Thema „Langzeitvariabilität der Intensitäten und Linienprofile ausgewählter Aktiver Galaxien“
07. Mai 2004	Diplomhauptprüfung im Fachbereich Physik
Okt. 2004 – Sep. 2011	Promotion zum Thema „Die großräumige Umgebung von QSO/Seyfertgalaxien bei nahen und kosmologischen Rotverschiebungen“