

Radioleise Aktive Galaxien

Seyfert Galaxien





„normale“ Galaxien



Besteht aus Sternen mit
typischen
Temperaturen von
3000 K bis 40000 K



Erwartetes Spektrum:
Superposition aller
Sternspektren
4000 – 20000 Angström

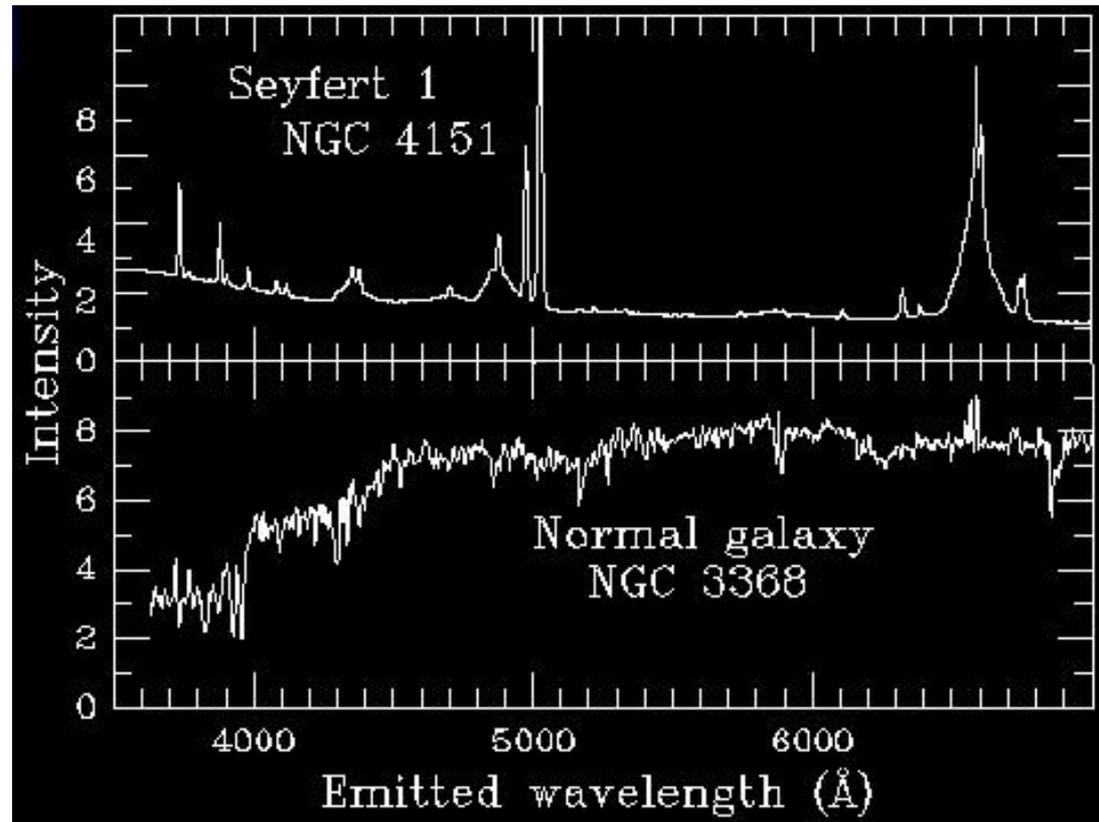
Inaktive Galaxie Andromeda Nebel (M31)



Aktive Galaxien

Aber: Galaxien mit wesentlich breiterem Spektrum beobachtet:

- Radio bis Gamma Strahlung
- Sehr starke und breite Emissionslinien
- Leuchtkräftigste Objekte im Universum (bis $10^{14} L_{\odot}$)
- Leuchtkraft größer als Summe der Sterne
- Emission aus sehr kleinem Gebiet im Zentrum
(**Active Galactic Nucleus**)
- Rotverschiebung bis zu $z \sim 6$



spiff.rit.edu



AGN

Active Galactic Nucleus

- Sehr hohe Flächenhelligkeit
- Super Massive Black Hole (SMBH) als Energielieferant
- Viele Untergruppen (z.B.: Quasare, Seyfert-Galaxien, Blazare...)

Tabelle 5.1. Überblick der Klassifikation der Aktiven Galaxienkerne

	Normale Galaxie	Radiogalaxie	Seyfert-Galaxie	Quasar	Blazar
Beispiel	Milchstraße	M87, Cygnus A	NGC 4151	3C273	BL Lac, 3C279
Galaxientyp	Spirale	Ellipse, Irreguläre	Spirale	Irreguläre	Ellipse?
L/L_{\odot}	$< 10^4$	$10^6 - 10^8$	$10^8 - 10^{11}$	$10^{11} - 10^{14}$	$10^{11} - 10^{14}$
M_{BH}/M_{\odot}	2.6×10^6	3×10^9	$10^6 - 10^9$	$10^6 - 10^9$	$10^6 - 10^9$
Radiostrahlung	schwach	Kern, Jets, Lobes	nur $\approx 5\%$ radiolaut	nur $\approx 5\%$ radiolaut	stark, schnell variabel
Strahlung im Optischen/ NIR	vollständig absorbiert	alte Sterne, Kontinuum	breite Emissionslinien	breite Emissionslinien	schwache oder keine Linien
Röntgenstrahlung	schwach	stark	stark	stark	stark
Gammastrahlung	schwach	schwach	mäßig	stark	stark
Variabilität	unbekannt	Monate-Jahre	Stunden-Monate	Wochen-Jahre	Stunden- Jahre

[1]



Die AGN Klassifikation

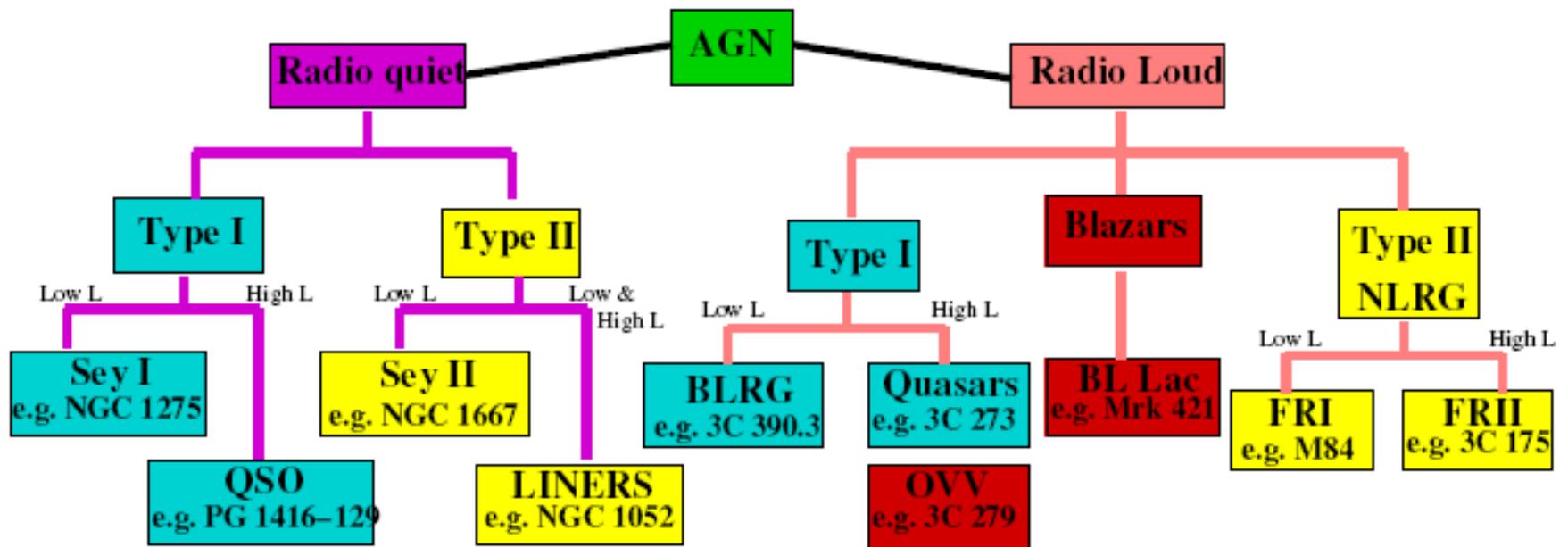
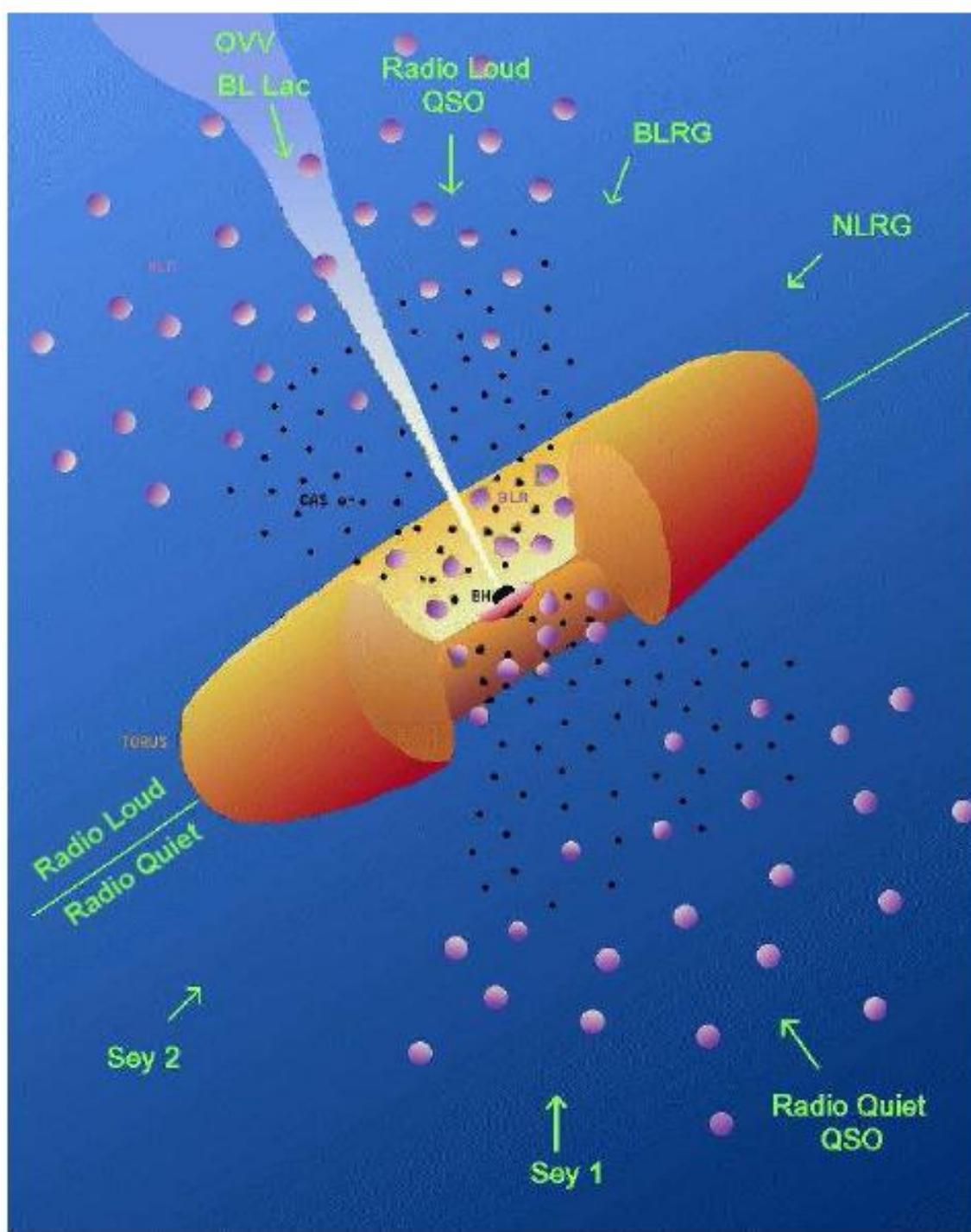


Abbildung 2.1: AGN Klassifikation (aus: Benlloch-Garcia 2004)

[2]





Eine kurze Geschichte der Aktiven Galaxien

- 1908: Erste Entdeckung ungewöhnlich starker und breiter Emissionslinien in NGC 1068 durch E A Fath
- 1943: Erste Systematische Untersuchung von Carl Seyfert.: („Seyfert - Galaxien“)



Carl Seyfert

[5]



Eine kurze Geschichte der Aktiven Galaxien

- 1959: Lodewijk Woltjer argumentiert, dass Ausdehnung der Kerne nicht größer 100pc sein kann, da sie auf optischen Aufnahmen als Punktquelle erscheinen.
- Um 1960: Radiokataloge 3C und 3CR: Himmelsdurchmusterung bei 158 und 178 MHz des nördlichen Himmels
- 1963: zeigen T. Matthews und A. Sandage dass 3C48 eine punktförmige Quelle mit 16 mag ist, deren Linien aber keinen Übergängen zugeordnet werden kann.

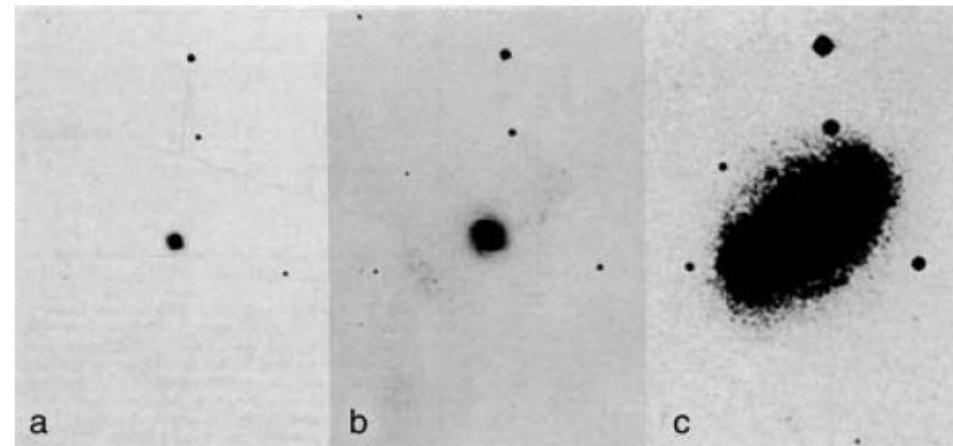


Abb. 5.4. Drei Aufnahmen der Seyfert-Galaxie NGC4151 mit nach rechts zunehmender Belichtungszeit. Bei kurzen Belichtungen erscheint die Quelle punktförmig, bei längerer Belichtungszeit ist die Galaxie zu erkennen [1]



Eine kurze Geschichte der Aktiven Galaxien

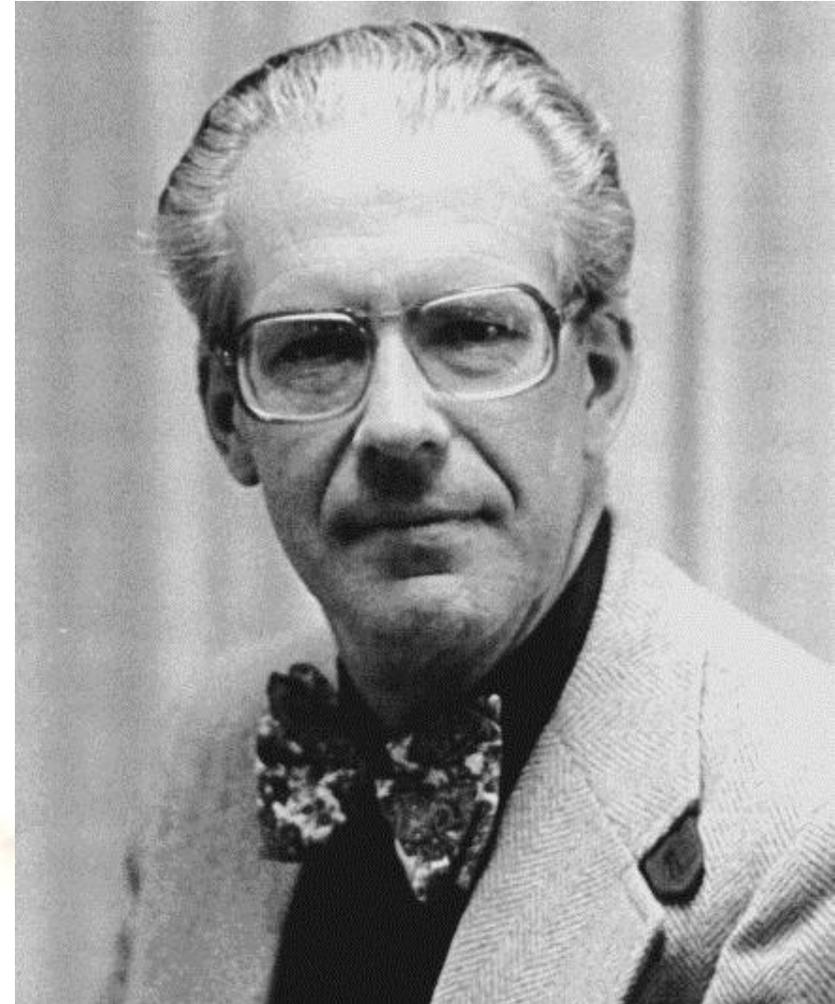
- Dasselbe gelang Maarten Schmidt mit 3C273. Zuordnung der Balmer Serie mit für damals extrem hohem $z=0.158$.
 - Entfernung: 500 Mpc/h
 - Abs. Leuchtkr. $M_b = -25.3 + \log h$
 - 100 mal heller als normale Galaxie

Identifizierung sehr vieler Radioquellen mit optischen Quellen

(mit deutlich höheren z)

→ QUASAR

(QuasiStellarRadioSource)

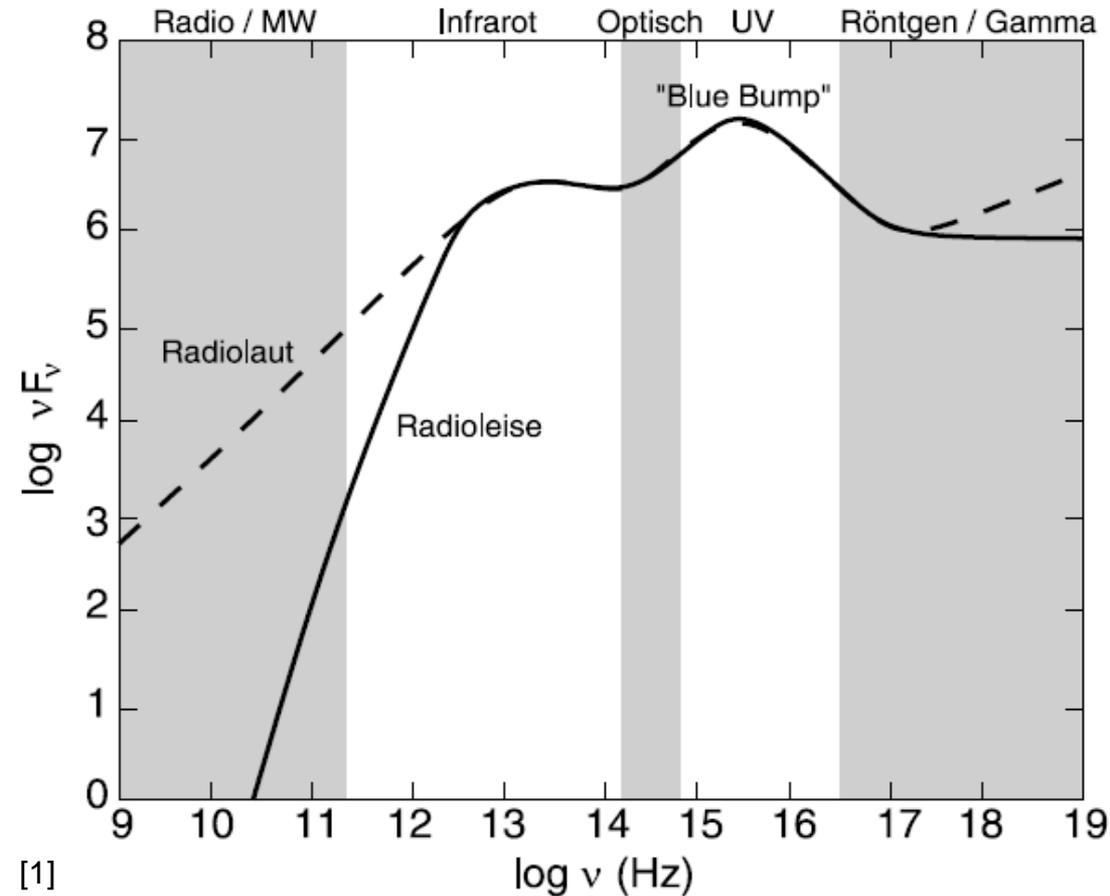


Maarten Schmidt

phys-astro.sonoma.edu



Radiolaute und Radioleise AGN



Ca. 95 % der AGNs sind Radioleise

Teilweise fließender Übergang

Jets in Radiolauten AGN

Radioleise AGN 100 -1000 mal schwächer als Radiolaute





Seyfert Galaxien

Häufiger Vertreter der Radioleisen Aktiven Galaxien:

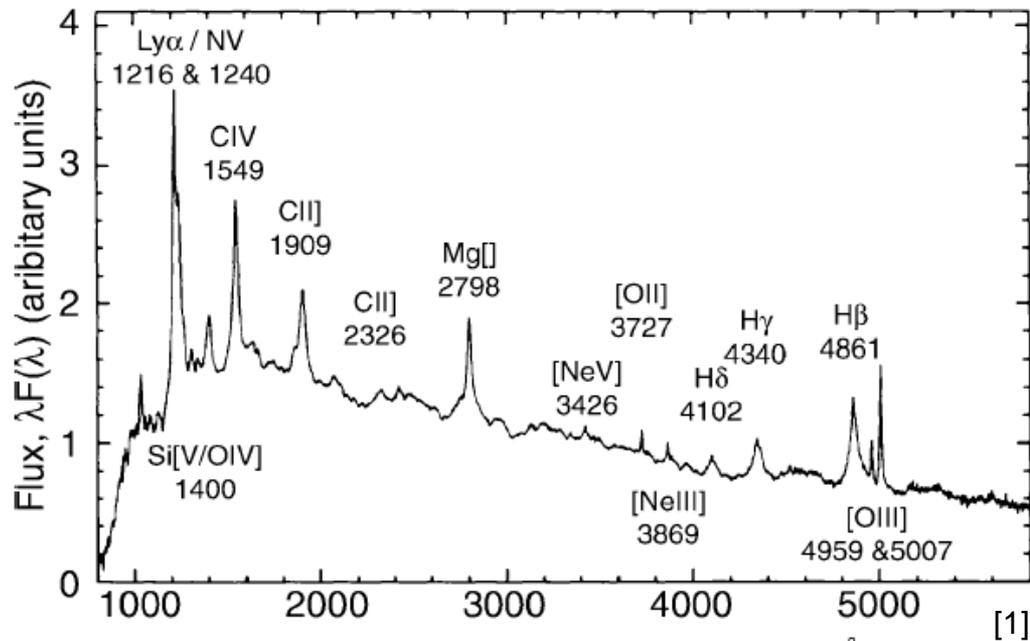
- Spiral Galaxien mit Leuchtkraft $\sim 10^{44}$ erg/s
- extrem helle Flächenhelligkeit im Kern
- Spektrum mit Emissionslinien sehr hoher Anregung.
 - Photonen junger Sterne haben zu wenig Energie für Ionisation dieser Atome
- sehr breite Linien. $\Delta v \sim 8500$ km/s
- Unterteilung in Typ I und Typ II



NGC7742 „Spiegeleigalaxie“



Anm.: Verbotene und Erlaubte Emissionslinien



Übergangs-
wahrscheinlichkeit

Lebensdauer

Erlaubt CIV

Hoch

$\sim 10^{-8}$ s

Verboten [NeV]

Klein 10^{-9} - 10^{-10}

~ 1 s

Halbverboten CII]

$\sim 10^{-6}$



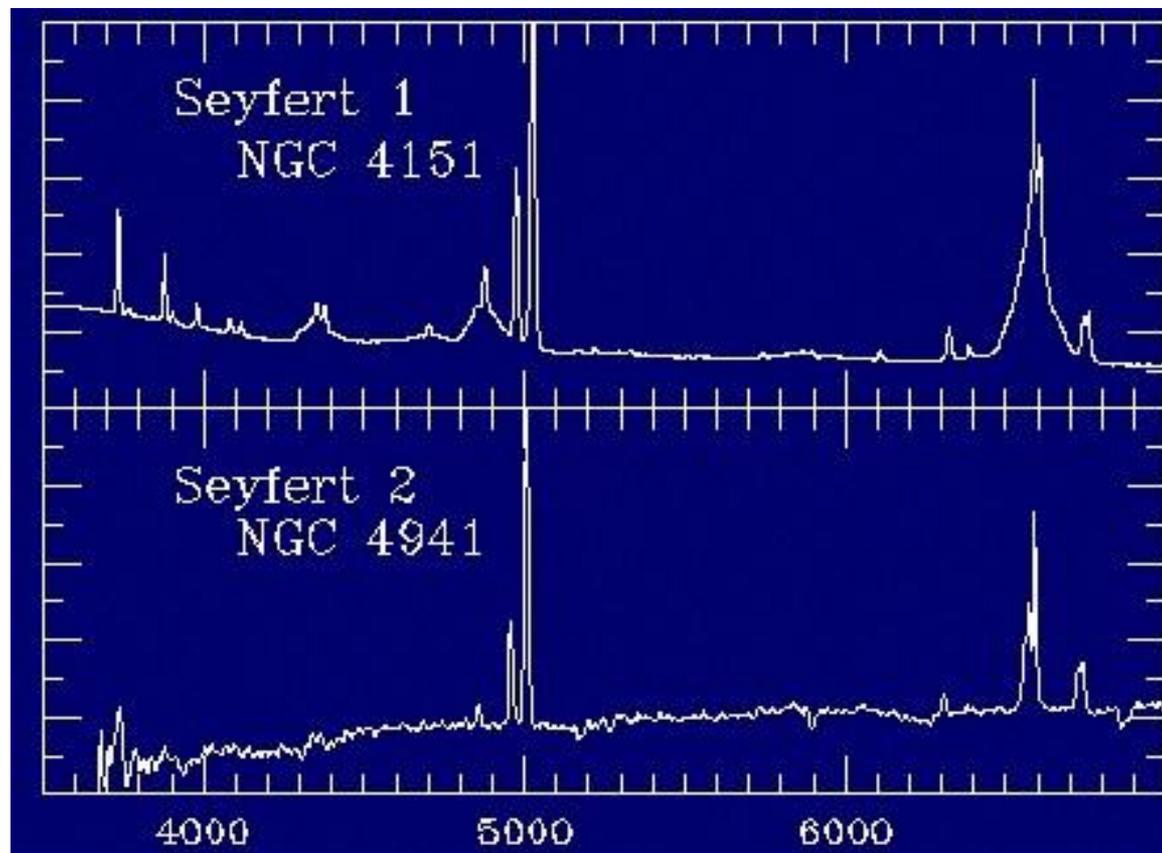
Seyfert Typ I und Typ II

Seyfert Typ I:

- Breite Erlaubte (H α , H β , H γ , sowie einige Metalle..
- schmale Verbotene Linien (z.B. [OIII])

Seyfert Typ II

- Keine breiten Linien
- Schmale Verbotene und Erlaubte Linien



spiff.rit.edu

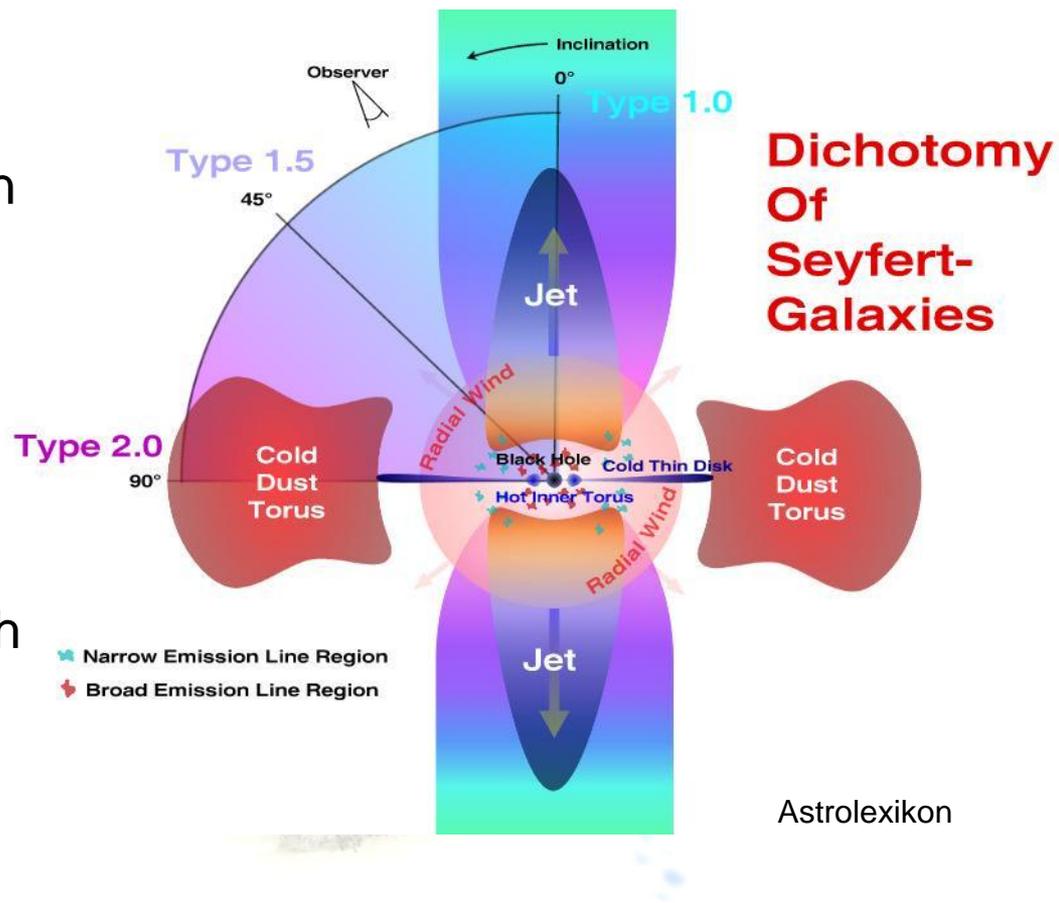


Die Zwischenstufen

Typ 1.5: Superposition aus breiten und schmalen Linien

Typ 1.8: starke schmale aber noch sichtbare breite $H\alpha$ $H\beta$

Typ 1.9: schwache breite bei $H\alpha$
keine breiten bei $H\beta$



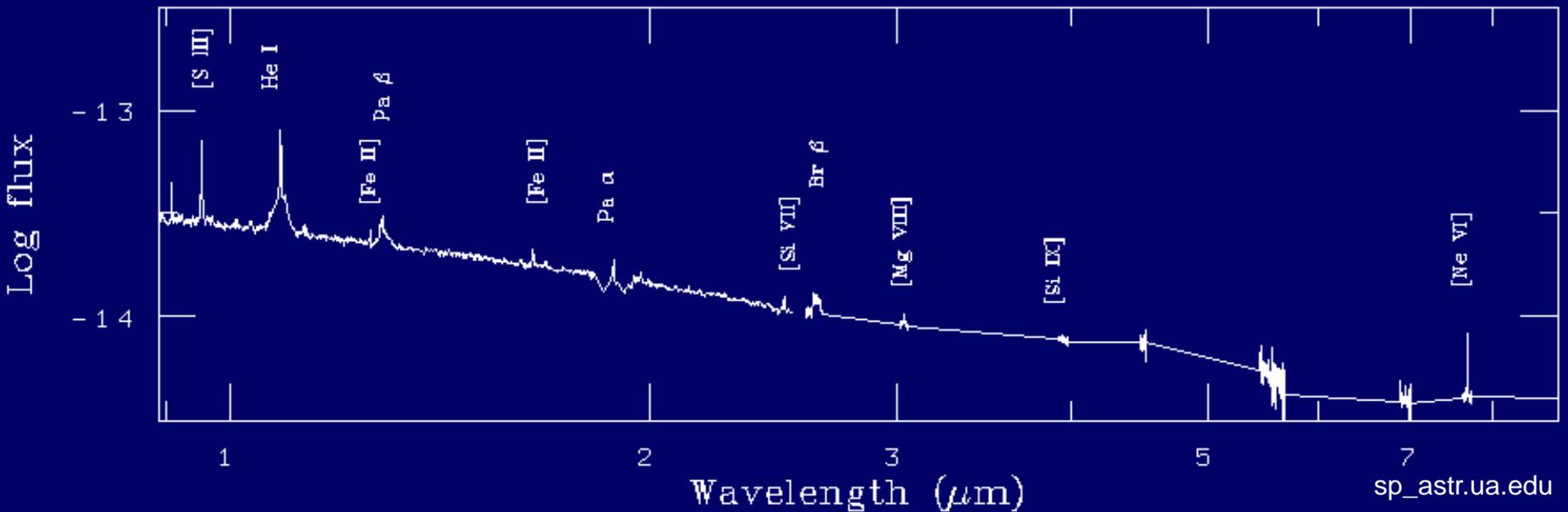
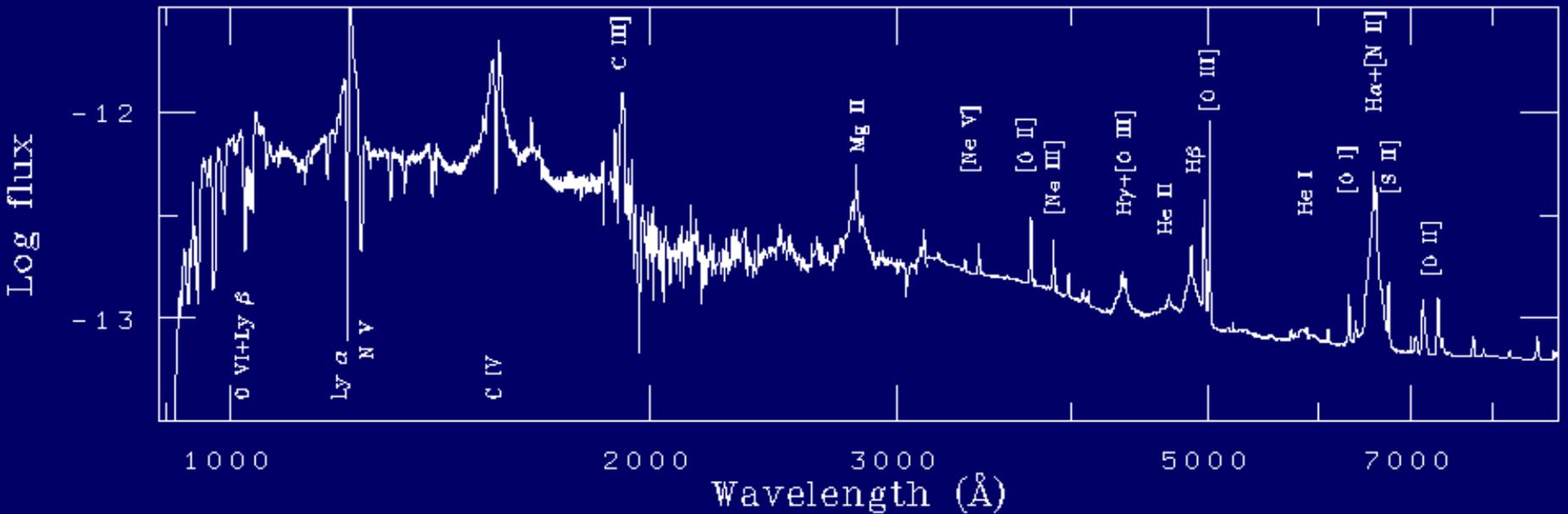
Eine Typische Seyfert 1 Galaxie: NGC 4151



- Typ: SBa
- Entf.: 16,5 Mpc
- Inklination $\sim 21^\circ$
- $z = 0,003262$
- $m = 10,4$

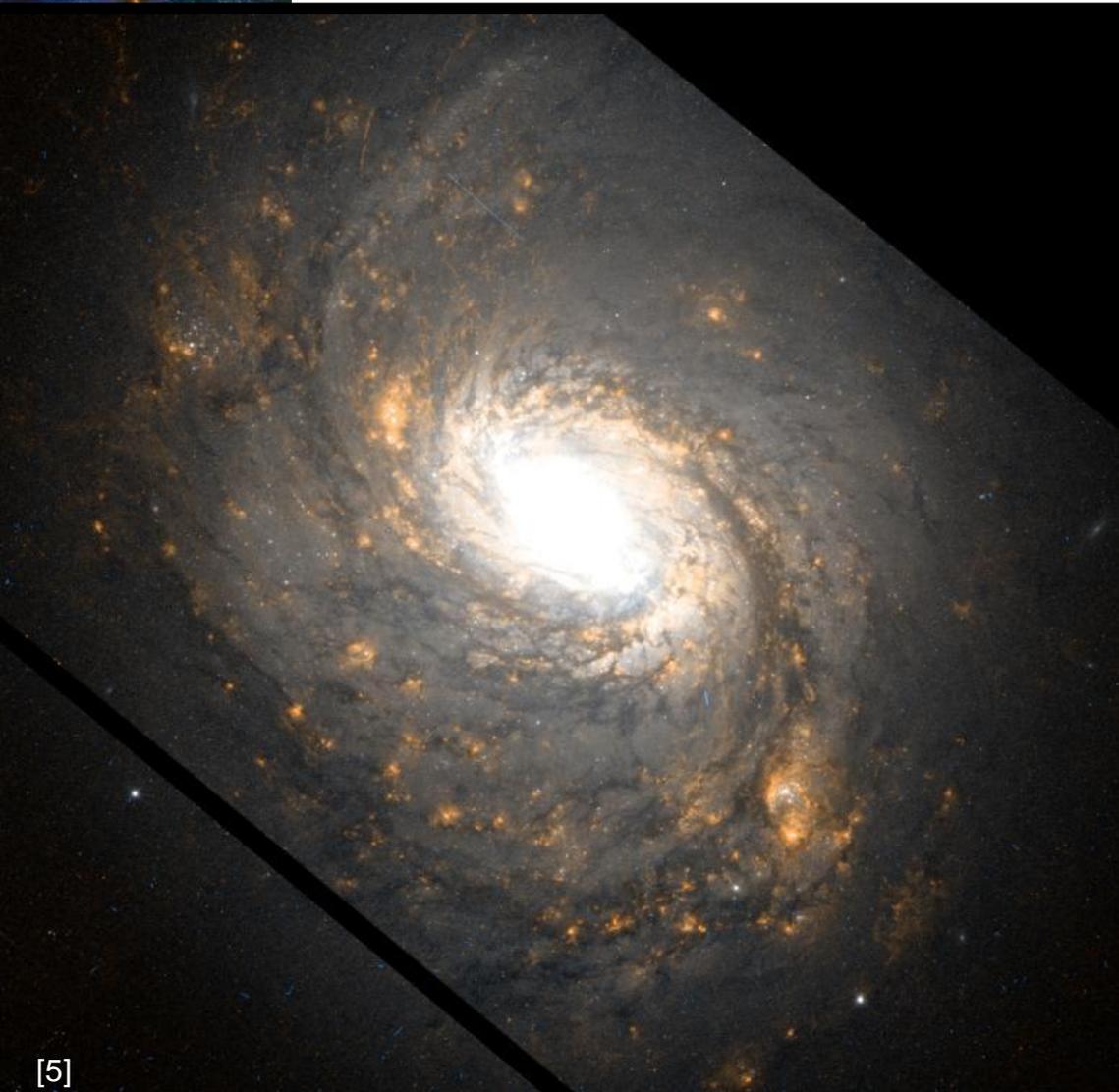


Das Spektrum von NGC 4151





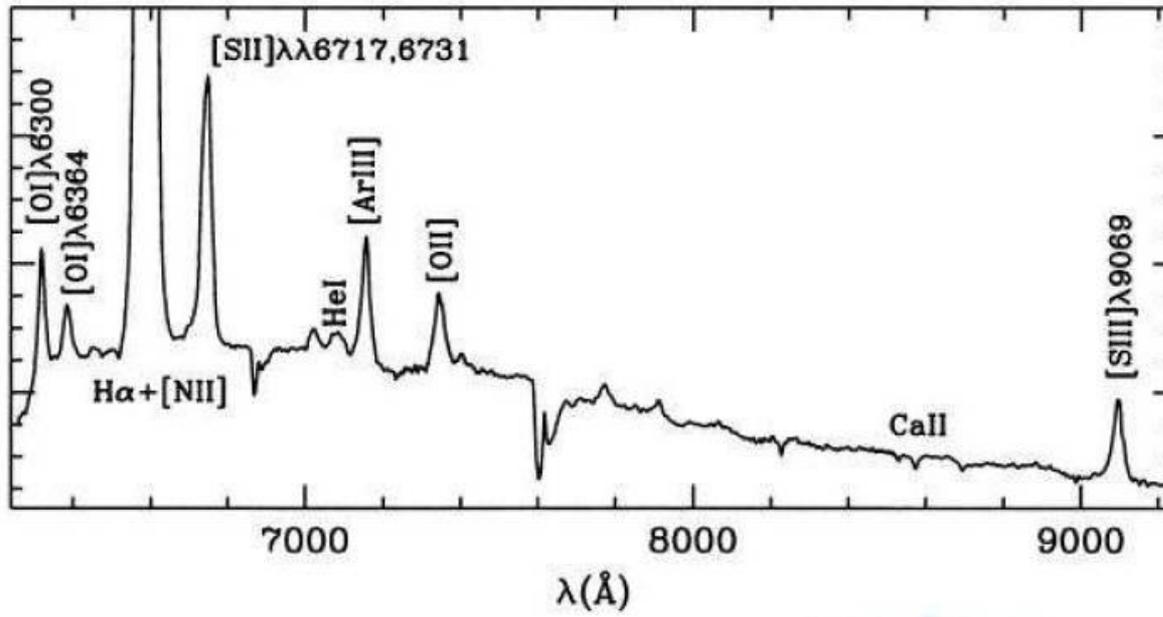
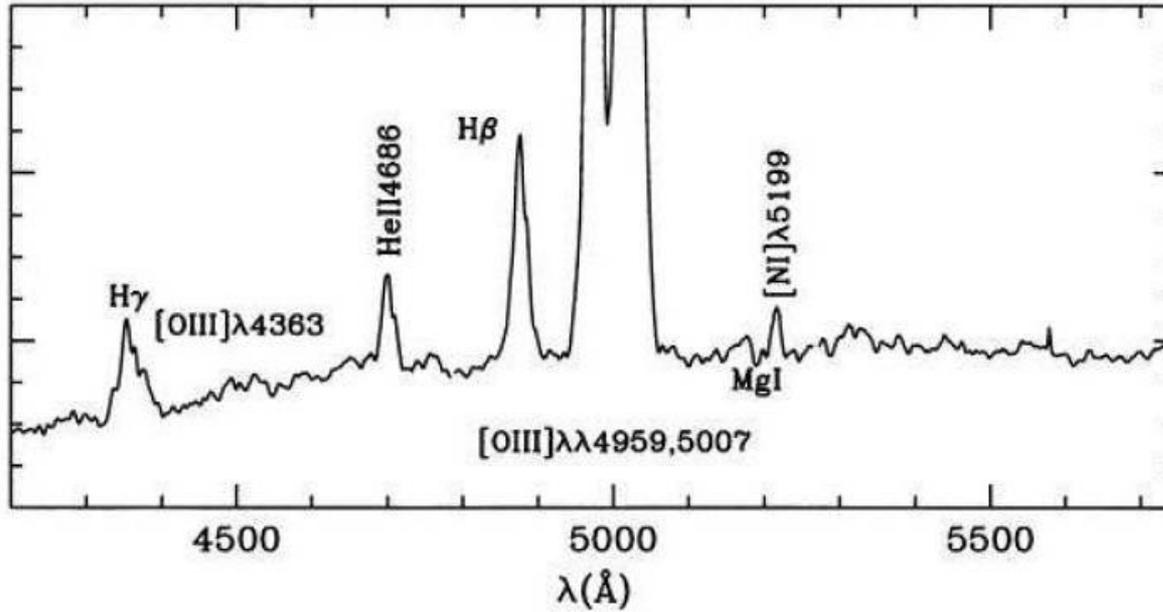
Eine Typische Seyfert 2 Galaxie: NGC 1068



- Typ: Sb
- Entf.: $\sim 14,4$ MPc
- Inkl.: $\sim 51^\circ$
- Masse $\sim 10^{12} M_\odot$
- $v_r \sim 1100$ km/s
- Vis. Hell. $m=8,9$
- Auch M77 und Radioquelle 3C 71
- $D_z \sim 36,8$ kPc
- $M_z \sim 27 \cdot 10^9 M_\odot$

[5]

Das Spektrum von NGC 1068





Die breiten Emissionslinien

Thermische Verbreiterung:
(Δv entspr. **FWHM**)

$$T \cdot k_B \approx \frac{(\Delta v)^2}{2} \approx 1 \text{ MeV}$$
$$T \approx 10^{10} \text{ K}$$

- Temperatur zu hoch für Emissionslinien
(Gas vollständig ionisiert)
- e^+ und e^- Paar Erzeugung bzw. Vernichtung
→ 511 keV Annihilations Linie wäre sichtbar



Interpretation als Dopplerverbreiterung
mit $v \sim 1-10000 \text{ km/s}$



Die zentrale Maschine

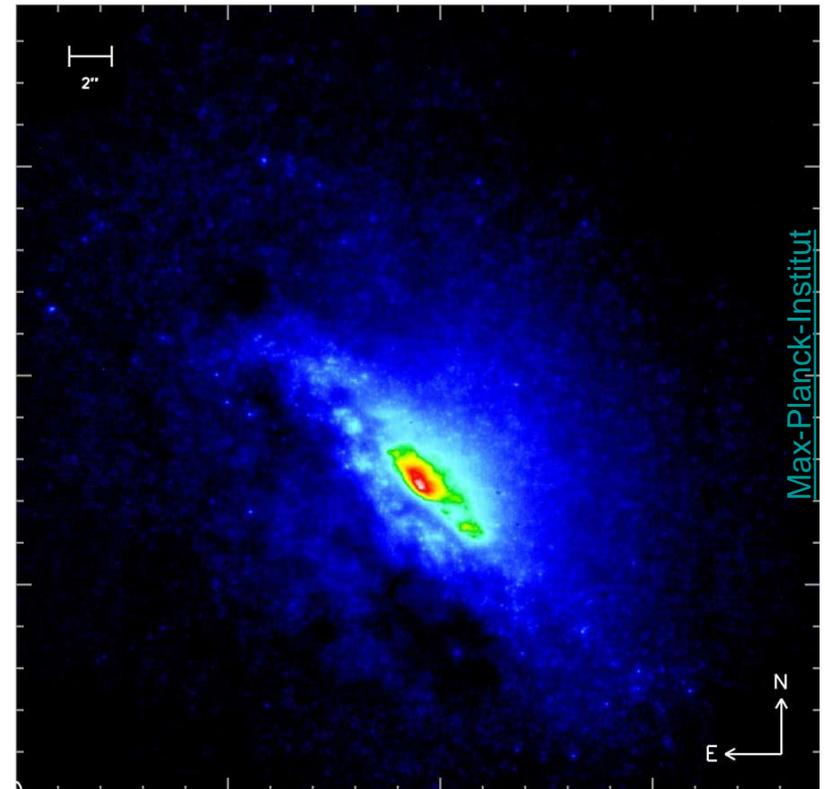
Emittierendes Gas gravitativ gebunden

$$\frac{GM}{r} \approx v^2$$

Mit $v \sim 10^3$ km/s und $r \leq 100$ pc

$$M > 10^{10} \left(\frac{r}{100\text{pc}} \right) M_{\text{Sonne}}$$

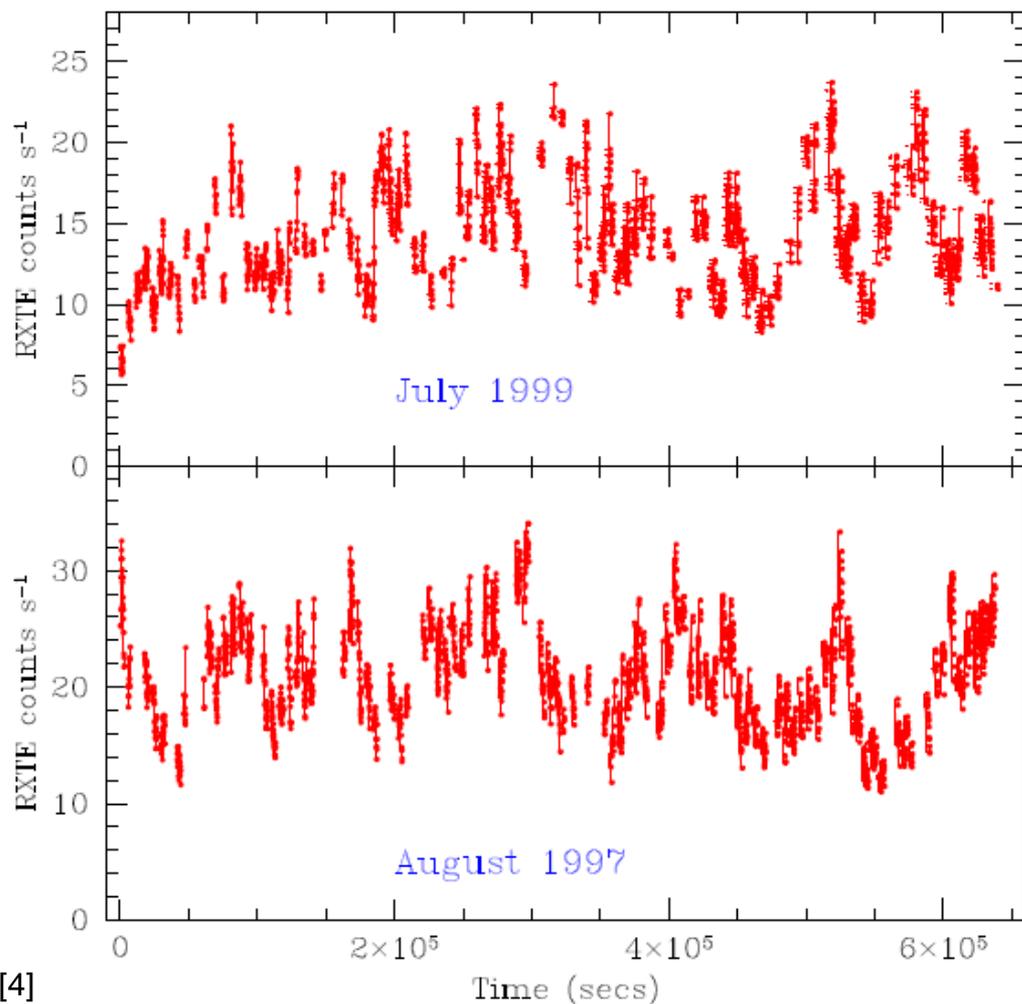
→ SMBH als Energiequelle



NGC 4945 Röntgenaufnahme



Die Variabilität der AGN



Manche AGN variieren um 50% in Tagen

Variierende Gebiete müssen in kausalem Zusammenhang stehen



Abschätzung: Emittierendes Gebiet nicht grösser als Lichttage (AE)



[4]



Das Super Massive Black Hole

$$E = \varepsilon mc^2$$

Einzige Alternative: Kernfusion ($\varepsilon = 0.8\%$)

Aber: r_s der Fusionsasche wäre größer als emittierendes Gebiet



Akkretion von Masse

(Einzige effizientere Energiequelle mit $\varepsilon = 6\%$ für nicht rotierendes SL
und $\varepsilon = 29\%$ für SL mit maximalem Drehimpuls)

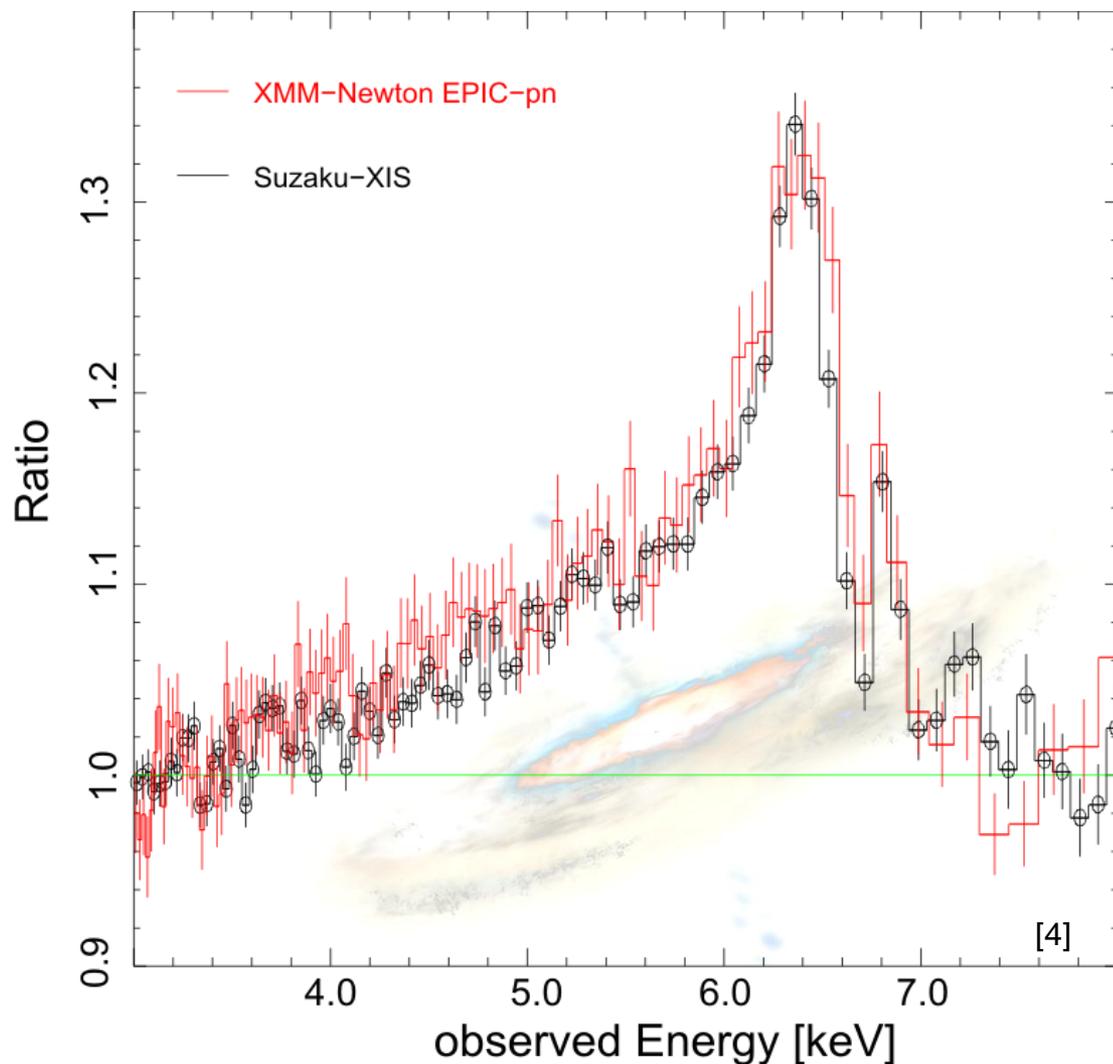


Relativistische Eisenlinie

Entstehung von
Röntgenstrahlung in
unmittelbarer Nähe des SL

Röntgenfluoreszenz von Fe

$\text{FeK}\alpha$ bei 6.35 keV im
Röntgenbereich

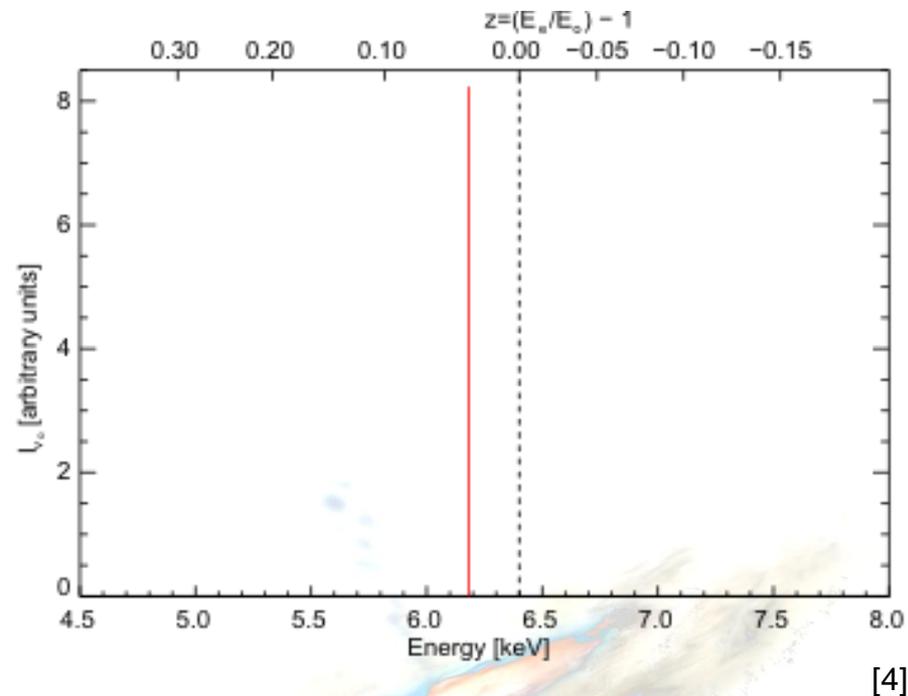
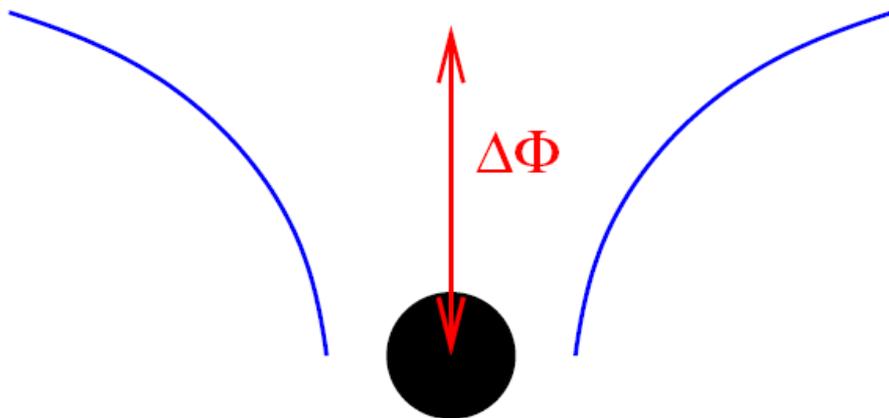




Relativistische Eisenlinie

Entstehung von charakteristischem Profil durch

- gravitative Rotverschiebung

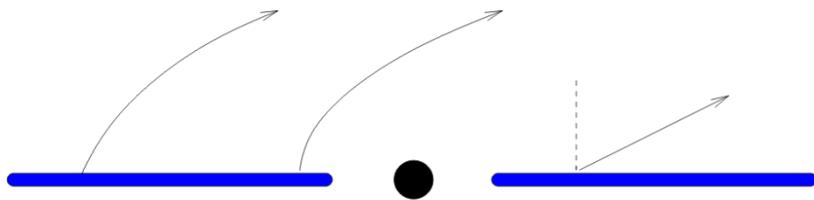
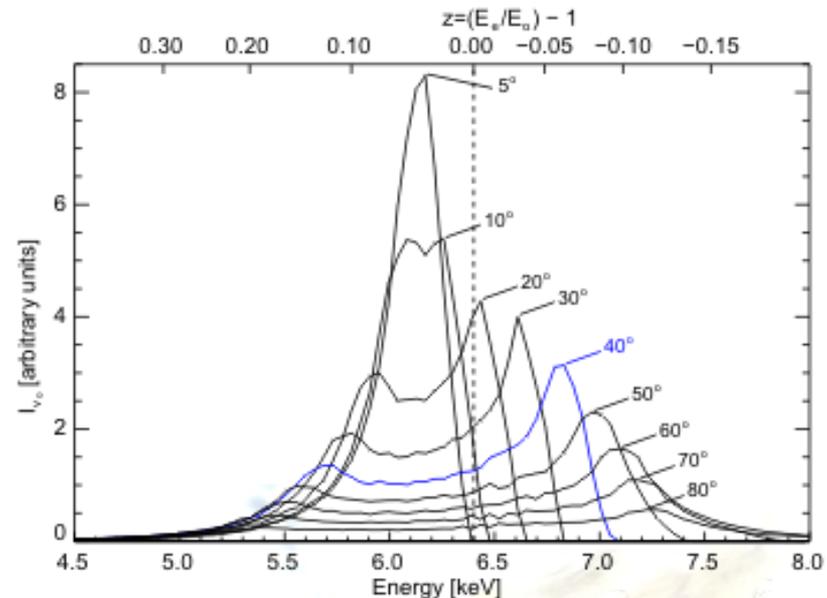




Relativistische Eisenlinie

Entstehung von charakteristischem Profil durch

- grav. Rotverschiebung
- „light bending
- rel. Dopplereffekt



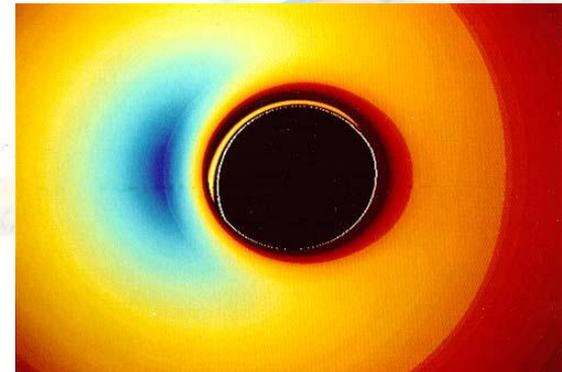
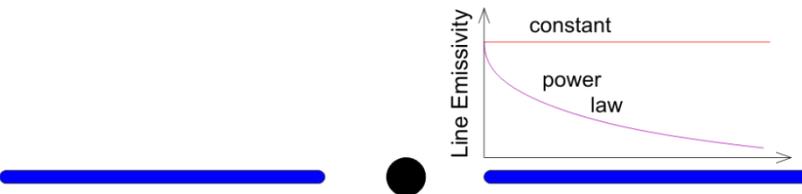
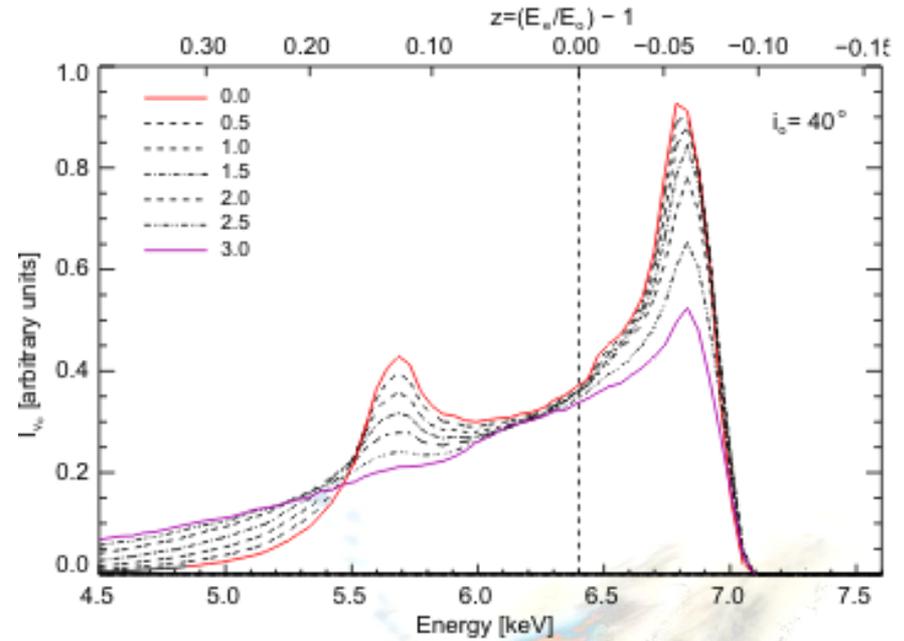
[4]



Relativistische Eisenlinie

Entstehung von charakteristischem Profil durch

- grav. Rotverschiebung
- „light bending
- rel. Dopplereffekt
- rel. beaming
- emissivity profile



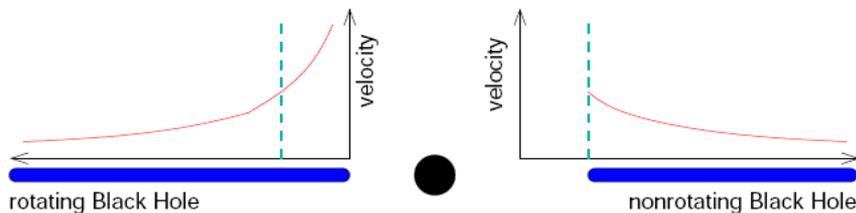
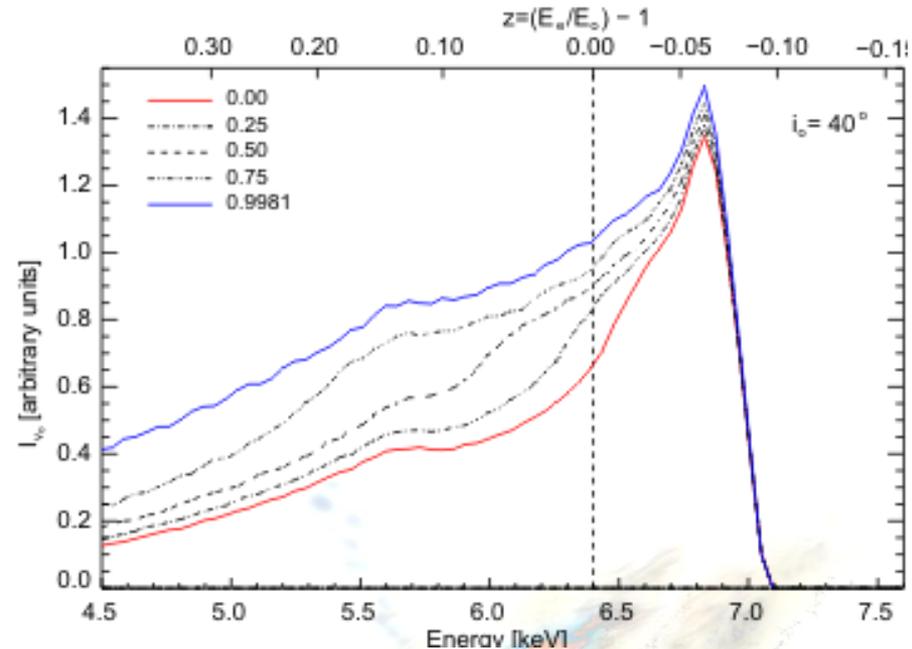
[4]



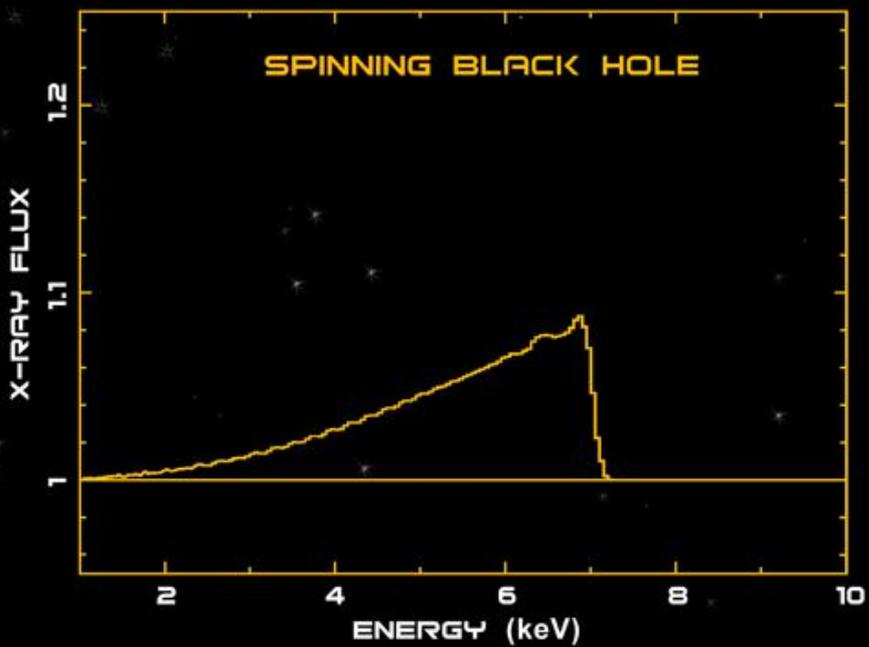
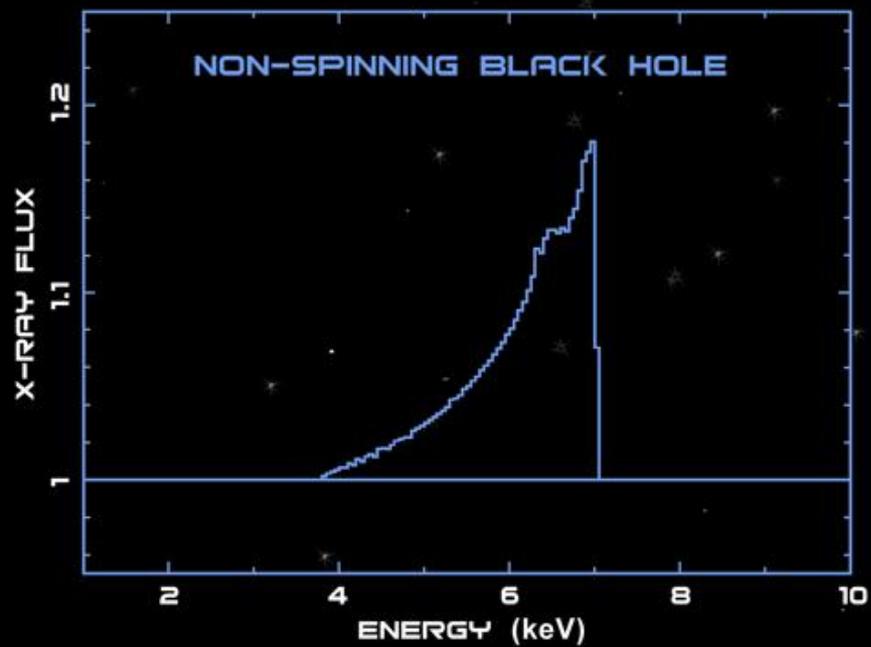
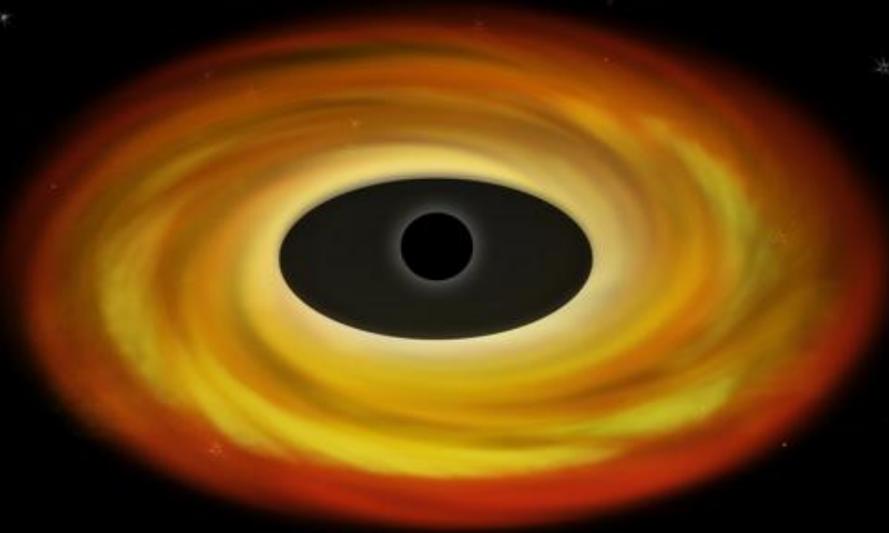
Relativistische Eisenlinie

Entstehung von charakteristischem Profil durch

- gravitative Rotverschiebung
- rel. beaming
- „light bending
- rel. Dopplereffekt
- emissivity profile
- Drehimpuls des SL



[4]





Masse des SMBH

$$F_{rad} < F_{grav}$$

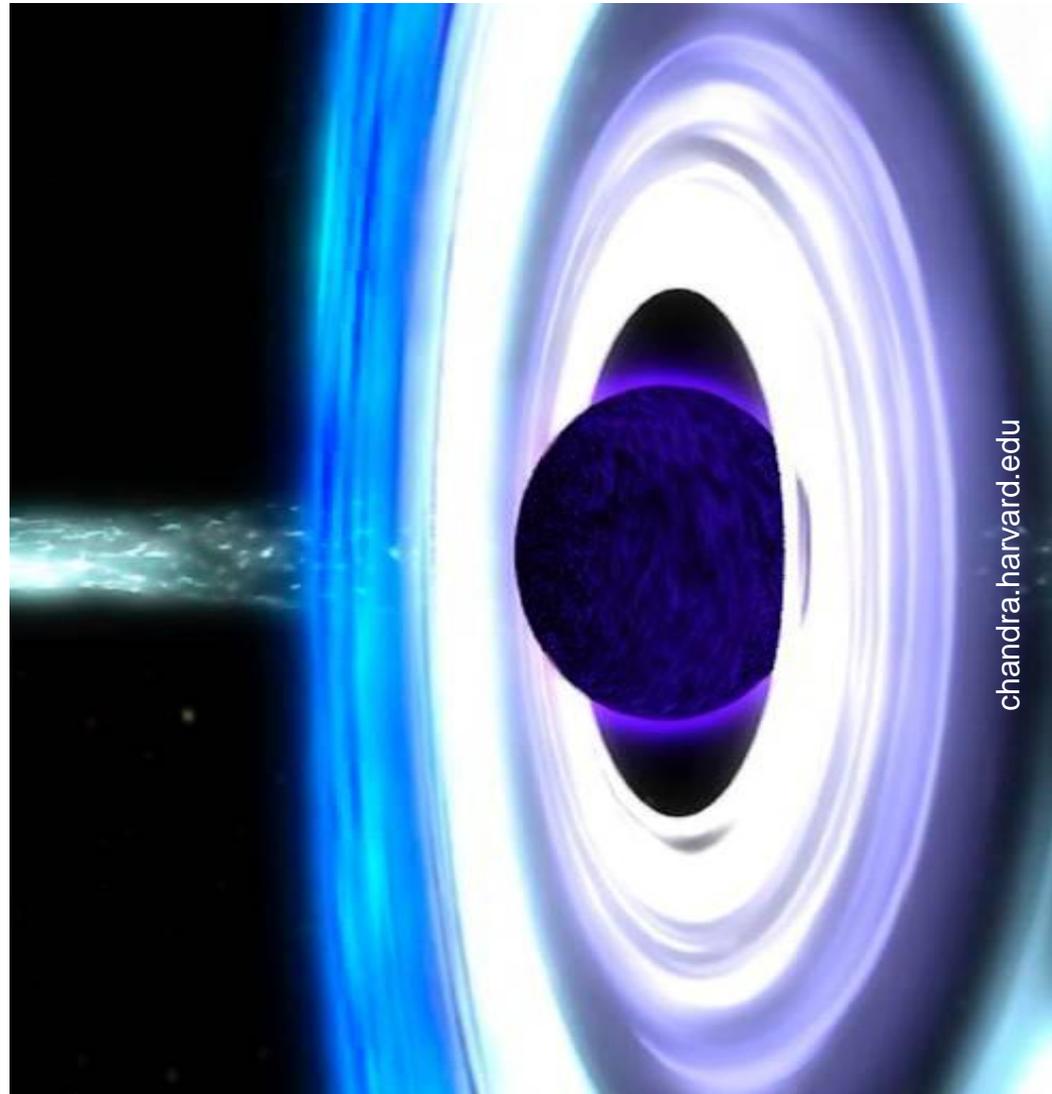
$$\frac{\sigma_T L}{4\pi r^2 c} < \frac{GM_{SL} m_p}{r^2}$$

$$L < L_{edd} = \frac{4\pi G m_p c}{\sigma_T} M_{SL}$$

$$M_{SL} > M_{edd} = \frac{\sigma_T}{4\pi G m_p c} L$$

$$\approx 8 \cdot 10^7 \left(\frac{L}{10^{46} \text{ erg/s}} \right) M_{Sonne}$$

σ_T Thomsonsche Wirkungsquerschnitt

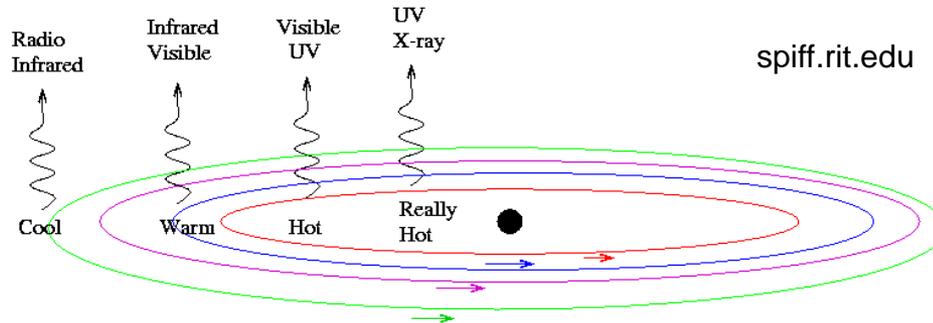


chandra.harvard.edu



Die Akkretionsscheibe

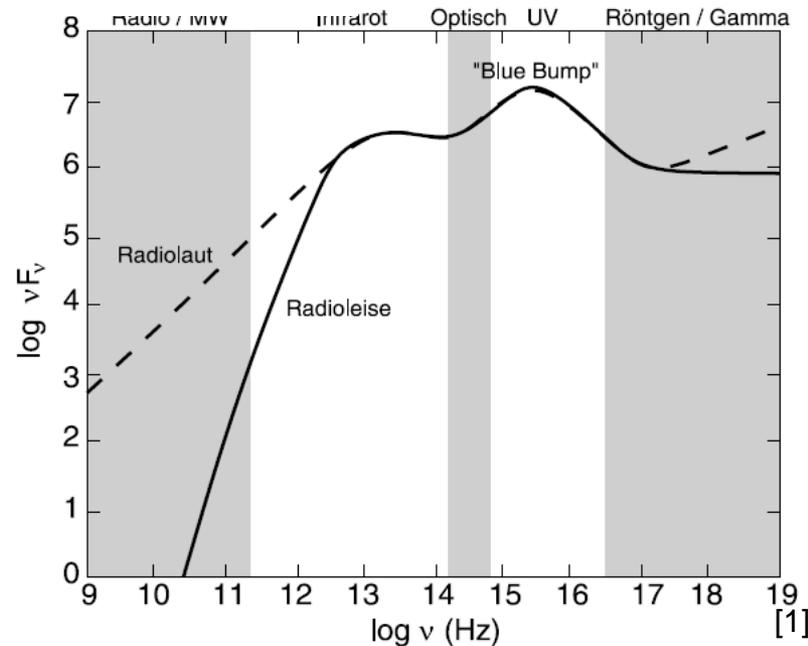
Ausbildung einer differentiellen Akkretionsscheibe



$$T(r) = \left(\frac{3c^6 \dot{m}}{64\pi\sigma_{SB}G^2 M_{SL}^2} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{r}{r_s} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

→ Spektrum mit Maximum im UV Bereich

T_{\max} wegen $T \propto M^{-1} \ll$ als bei Stellarem SL





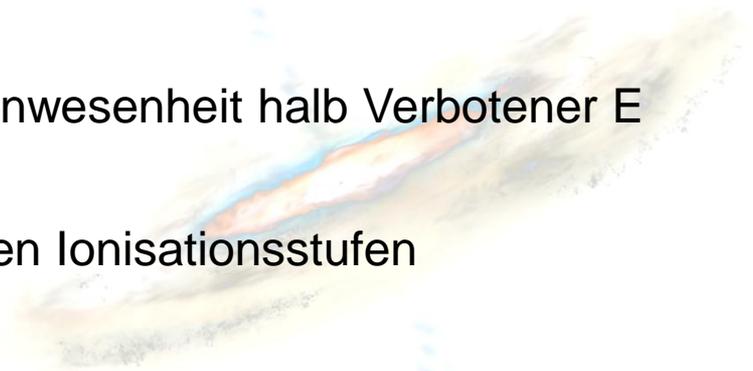
Die Broad Line Region

Linienbreiten $\sim 5000 \text{ km/s} \sim c/60$

$$v_{rot} \approx \sqrt{\frac{GM_{SL}}{r}} = \frac{c}{\sqrt{2}} \left(\frac{r}{r_s}\right)^{-\frac{1}{2}}$$
$$\left(\frac{r}{r_s}\right) = 1000$$

Abschätzung

- der Dichte aus Abwesenheit Verbotener und Anwesenheit halb Verbotener E Linien: $n_e \sim 3 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$
 - der Temperatur aus Ermittlung der vorhandenen Ionisationsstufen (Photoionisationsmodelle) $T \sim 20000 \text{ K}$
 - des Gas Volumens aus Anzahl der Photonen pro Volumen $V_{\text{gas}} \ll V_{\text{BLR}}$
- in Wolken konzentriert

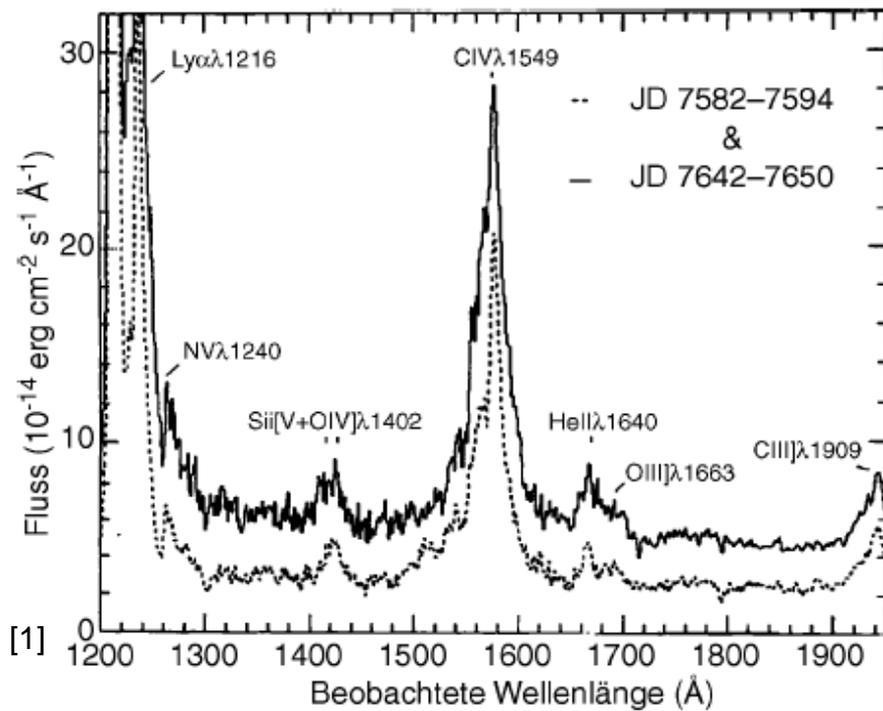




Reverberation Mapping

Nur bei Stark Variierenden AGN

Untersch. Lichtlaufzeit $\Delta t \sim r/c$



UV-Spektr NGC 5548 zu zwei Epochen

→ Linienfluss variiert Zeitversetzt

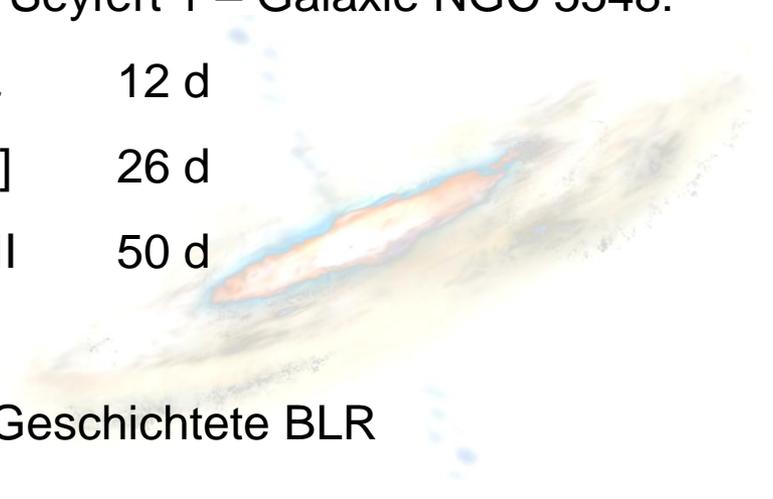
Für Seyfert 1 – Galaxie NGC 5548:

Ly α 12 d

CIII] 26 d

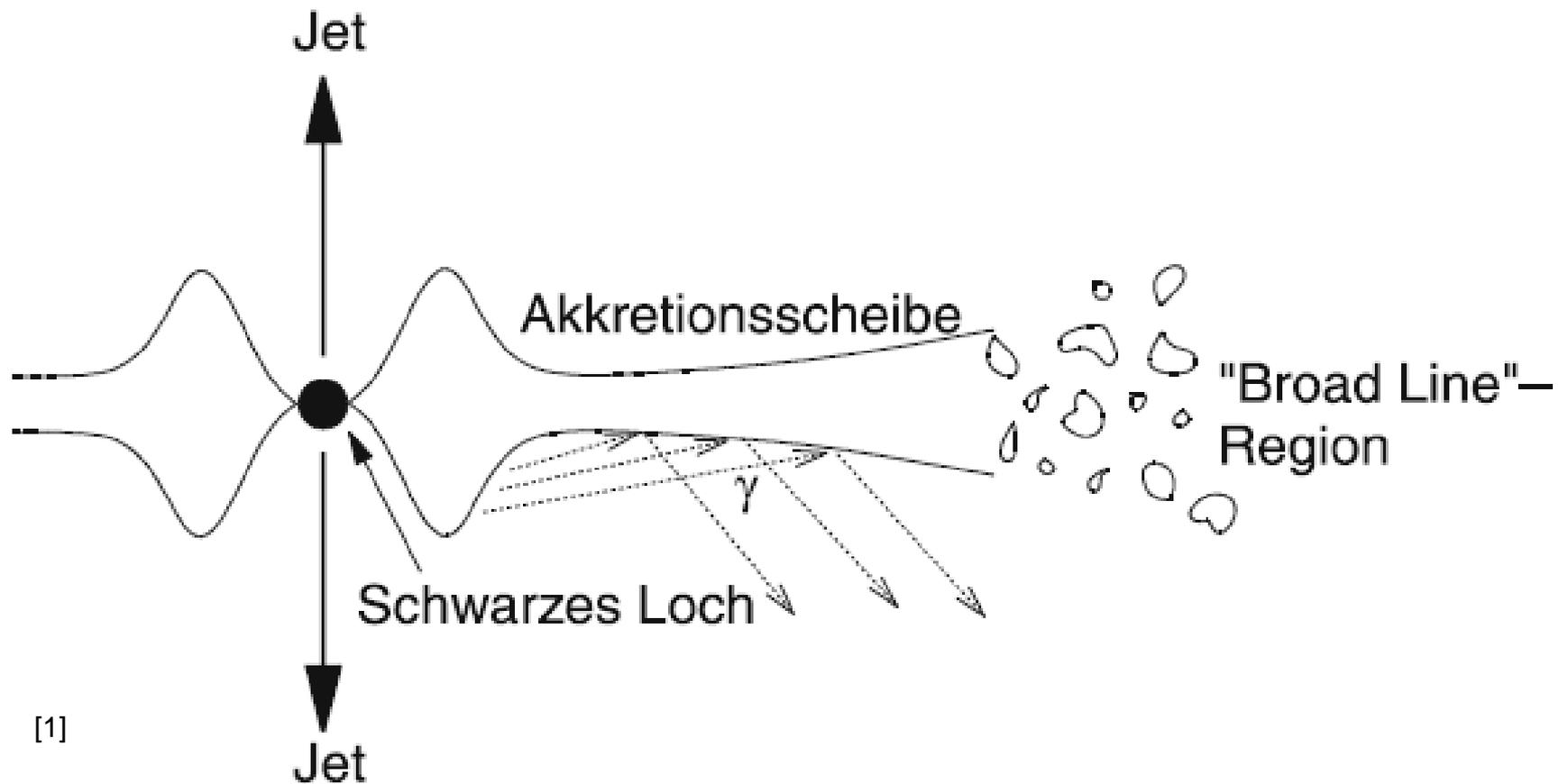
MgII 50 d

→ Geschichtete BLR





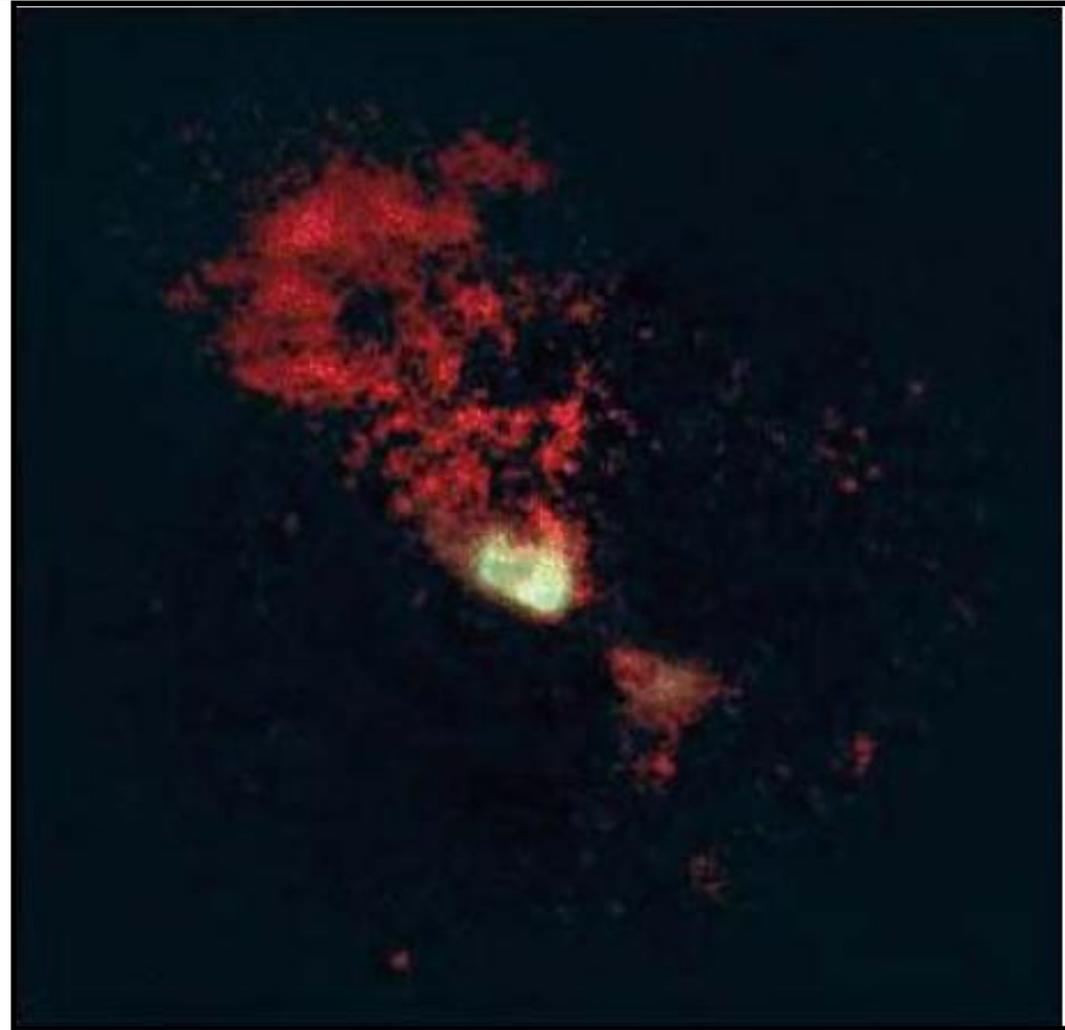
Der innere Parsec





Narrow Line Region (NLR)

- Linienbreite ~ 500 km/s
- $r \sim 100$ pc \rightarrow kein Reverberation Mapping
- Verbotene [OIII] am stärksten $\rightarrow \rho_{\text{BLR}} \gg \rho_{\text{NLR}} \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$
- Temperatur ~ 16000 K
- Füllfaktor 10^{-2}
- Aber: Für nahe AGN räumlich auflösbar
- Kegelförmiges Aussehen

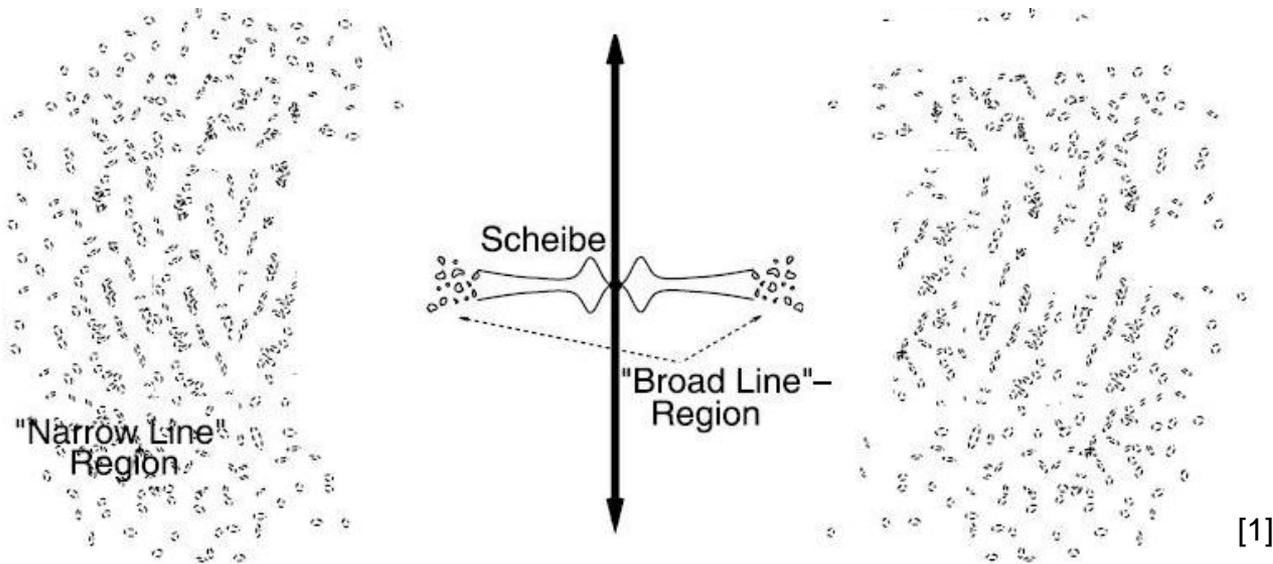


NLR der Seyfert 1 Galaxie NGC 5728

[1]



Vereinheitlichung von Seyfert Typ I und II



Akkretionsscheibe

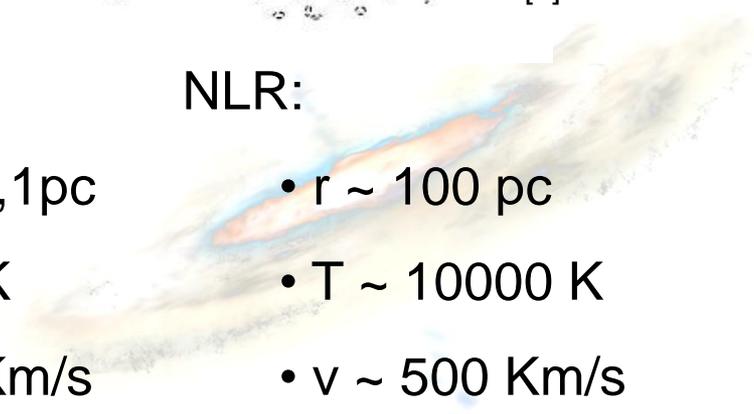
- $r \sim 10^{-3}$ pc
- $T \sim 6 \times 10^6$ K
- v bis $0.3 c$

BLR:

- $r \sim 0,01 - 0,1$ pc
- $T \sim 20000$ K
- $v \sim 10000$ Km/s

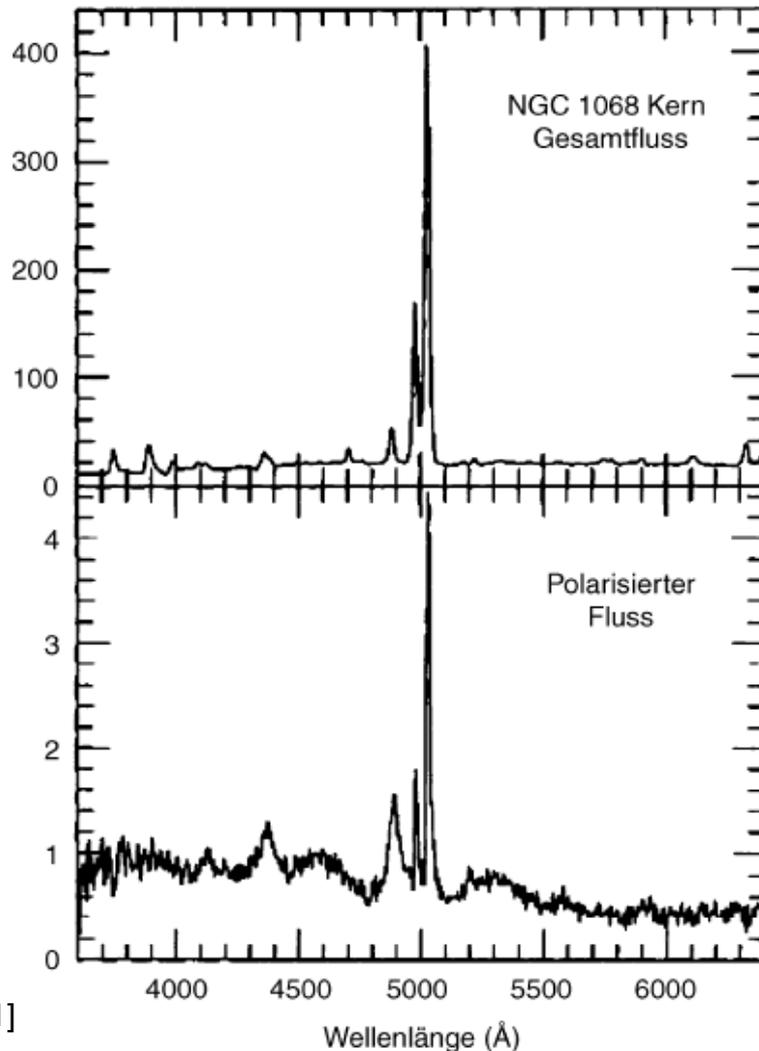
NLR:

- $r \sim 100$ pc
- $T \sim 10000$ K
- $v \sim 500$ Km/s





Vereinheitlichung von Seyfert Typ I und II

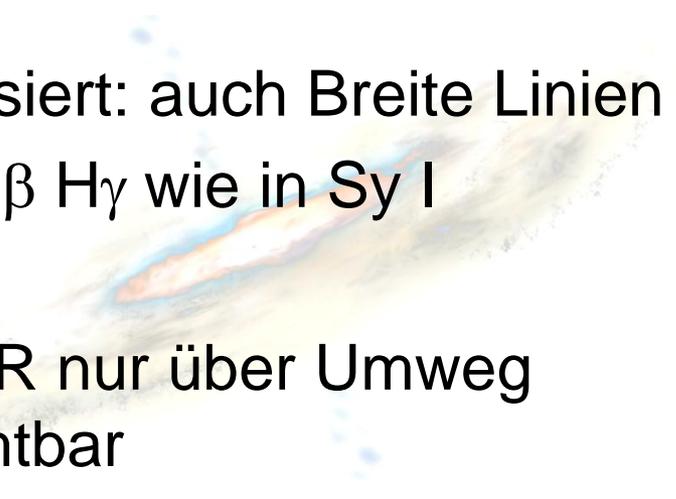


Spektrum von Sy II NGC 1068

Unpolarisiert: schmale Linien
([OIII])

Polarisiert: auch Breite Linien
z.B. H β H γ wie in Sy I

→ BLR nur über Umweg
sichtbar

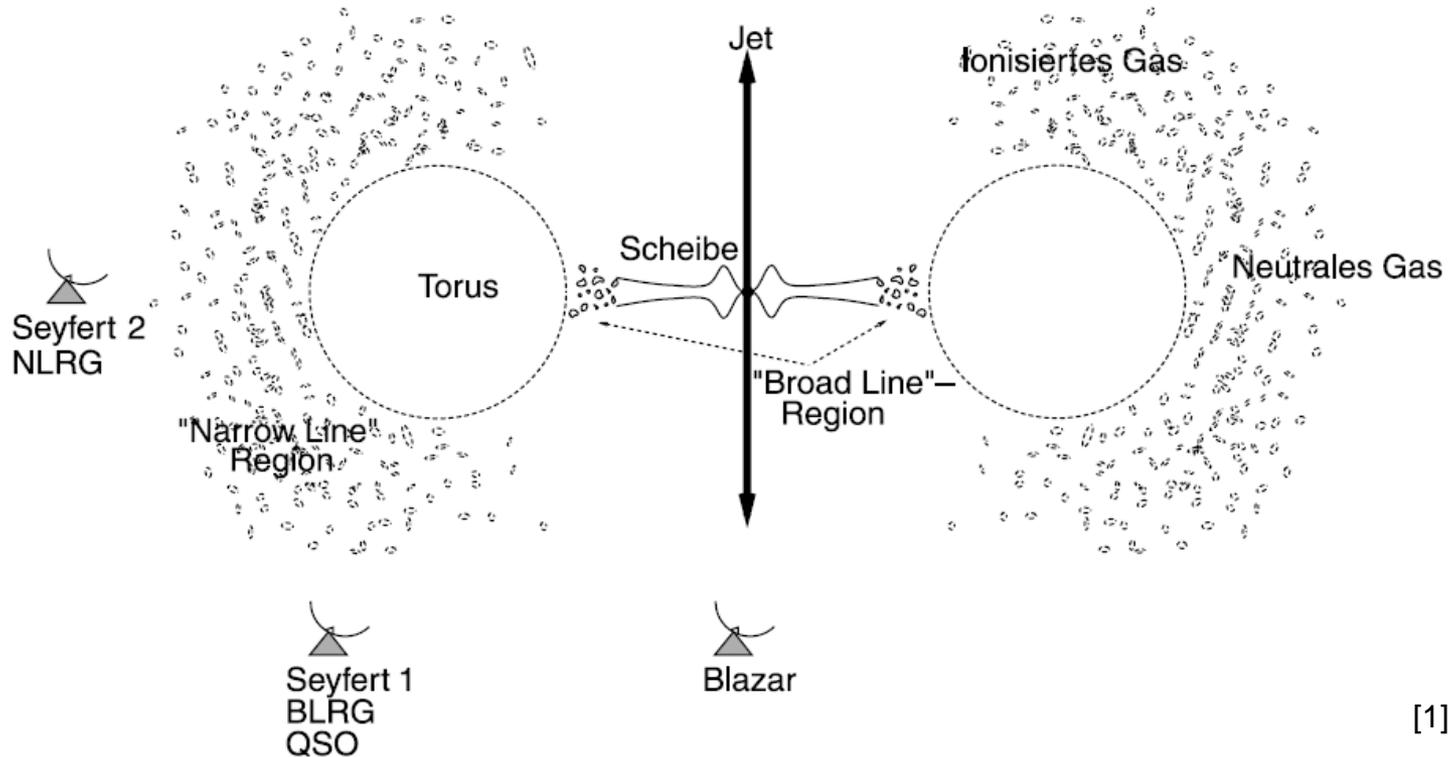


[1]



Der Torus

) |



[1]

Annahme: optisch dicker Staubtorus

$r \sim 1$ – einige 10 pc

Torus bedeckt ca. $2/3$ des Raumwinkels



Ausblick Radiolaute AGNs

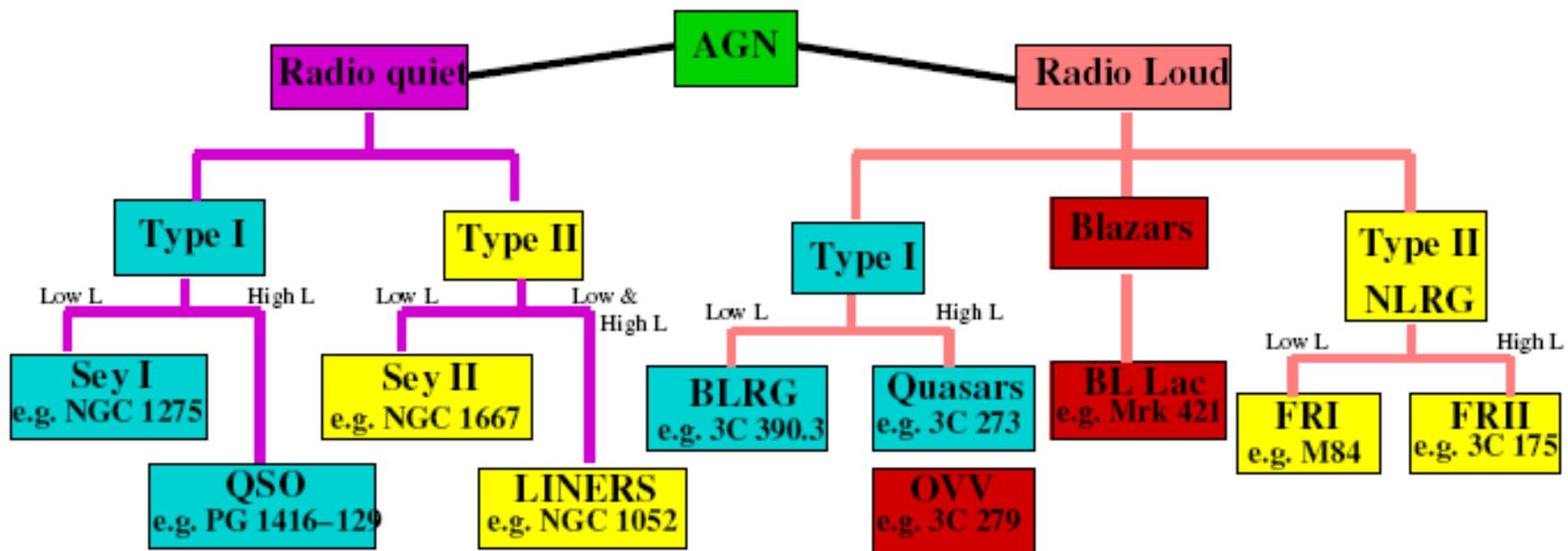


Abbildung 2.1: AGN Klassifikation (aus: Benlloch-Garcia 2004)



Quellen

- [1] Schneider, Peter „Einführung in die Extragalaktische Astronomie und Kosmologie“ 2006
- [2] Giedke, Kolja „Das Maranofeld mit XMM Newton
- [3] Hölzl, Johannes Hölzl “Relativistische Eisenlinien” 2008
- [4] Wilms, Jörn “Vorlesung: Galaxies and Cosmology” 2009
- [5] Wikipedia

