

# Radioleise Aktive Galaxien

Seyfert Galaxien

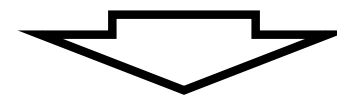




# „normale“ Galaxien



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



Erwartetes Spektrum:  
Superposition aller  
Sternspektren  
4000 – 20000 Angström

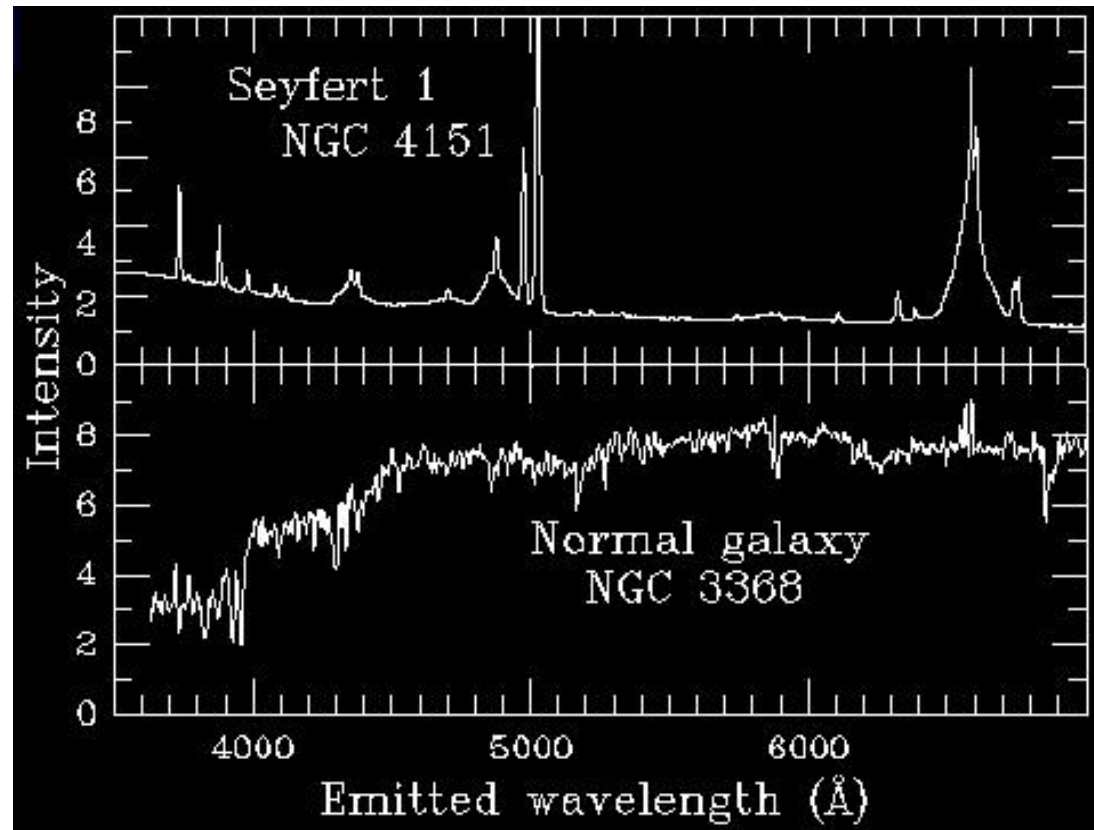
Inaktive Galaxie Andromeda Nebel (M31)



# 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?
$L/L_{\odot}$	$< 10^4$	$10^6 - 10^8$	$10^8 - 10^{11}$	$10^{11} - 10^{14}$	$10^{11} - 10^{14}$
$M_{BH}/M_{\odot}$	$2.6 \times 10^6$	$3 \times 10^9$	$10^6 - 10^9$	$10^6 - 10^9$	$10^6 - 10^9$
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

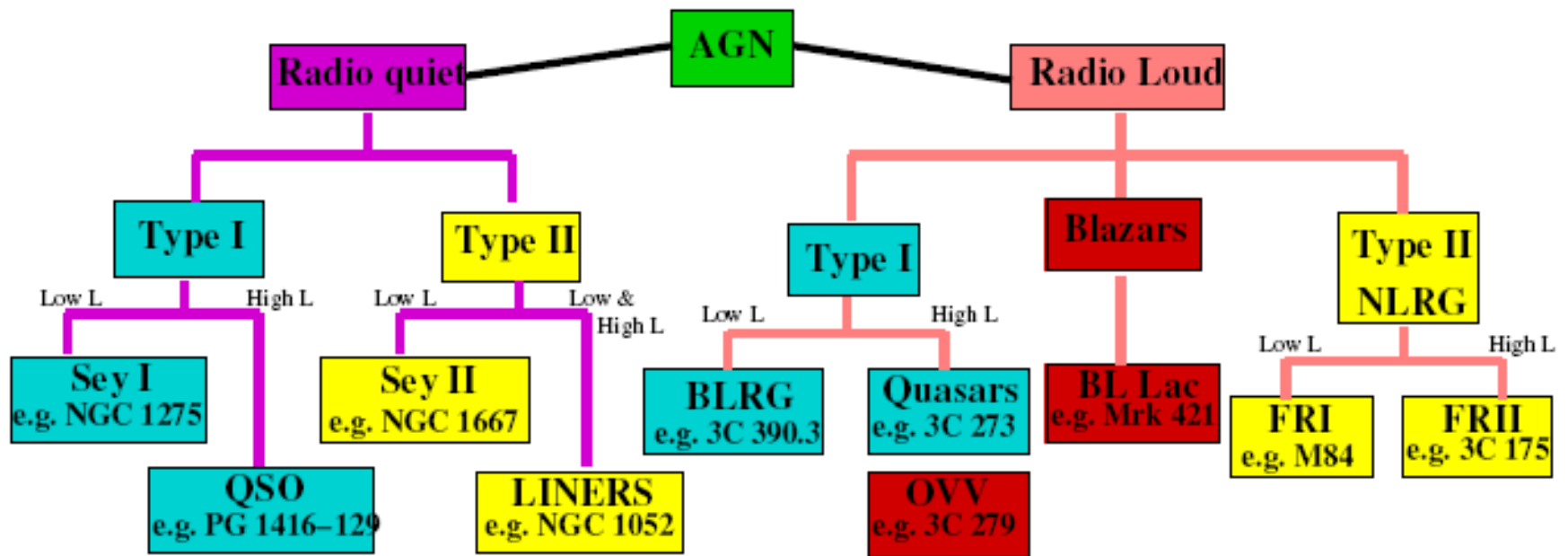


Abbildung 2.1: AGN Klassifikation (aus: Benlloch-Garcia 2004)

[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“)



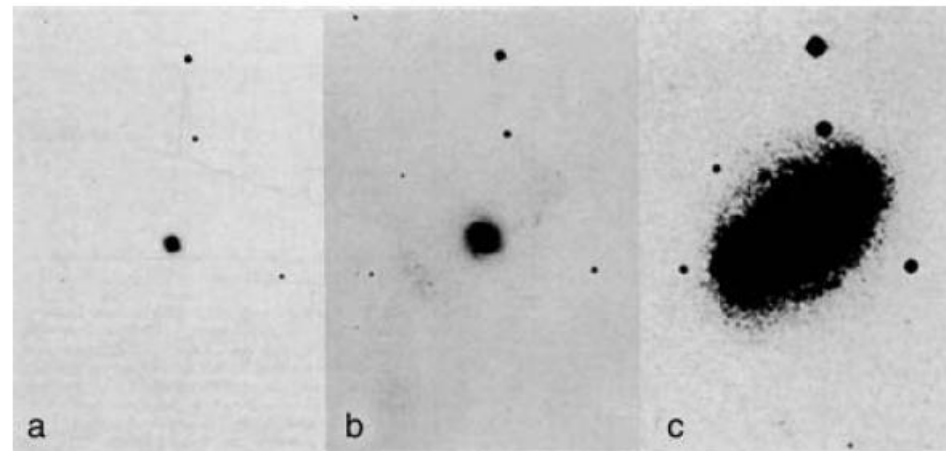
Carl Seyfert

[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

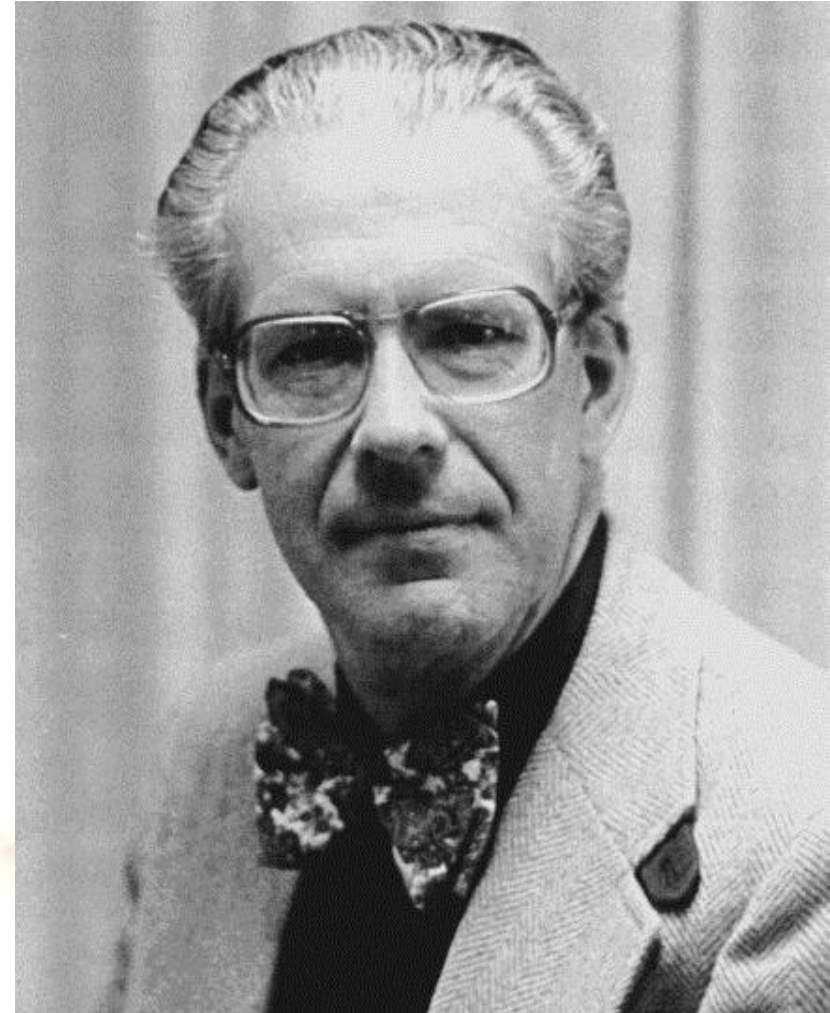
- Dasselbe gelang Maarten Schmidt mit 3C273. Zuordnung der Balmer Serie mit für damals extrem hohem  $z=0.158$ .
  - Entfernung: 500 Mpc/h
  - Abs. Leuchtkr.  $M_b = -25.3 + \log h$
  - 100 mal heller als normale Galaxie

Identifizierung sehr vieler Radioquellen mit optischen Quellen

(mit deutlich höheren  $z$ )

→ QUASAR

(QuasiStellarRadioSource)

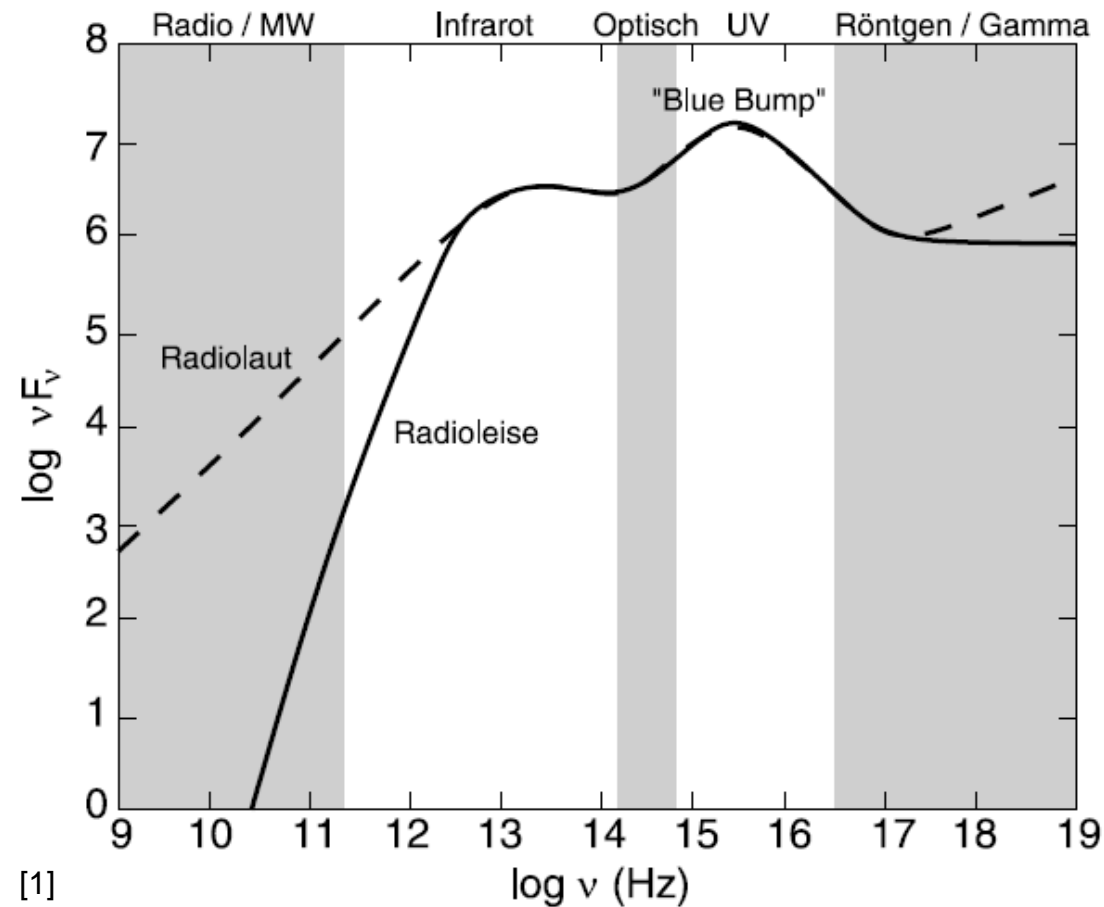


Maarten Schmidt

[phys-astro.sonoma.edu](http://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



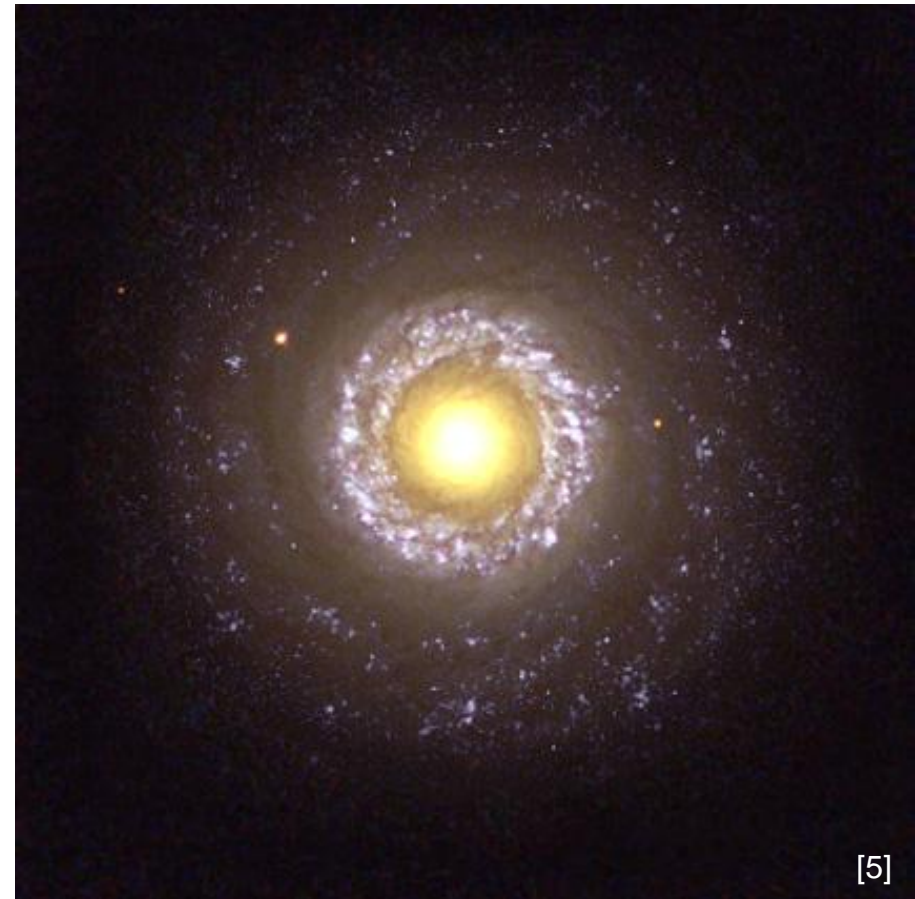
[1]



# Seyfert Galaxien

Häufiger Vertreter der Radioleisen Aktiven Galaxien:

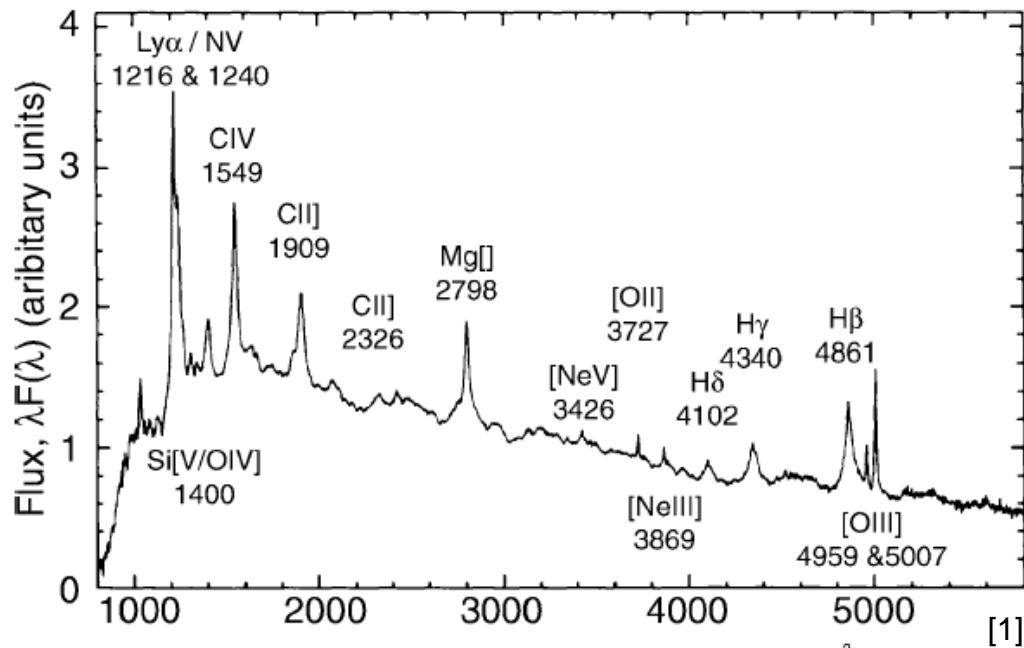
- Spiral Galaxien mit Leuchtkraft  $\sim 10^{44}$  erg/s
- extrem helle Flächenhelligkeit im Kern
- Spektrum mit Emissionslinien sehr hoher Anregung.
  - Photonen junger Sterne haben zu wenig Energie für Ionisation dieser Atome
- sehr breite Linien.  $\Delta v \sim 8500$  km/s
- Unterteilung in Typ I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



NGC7742 „Spiegeleigalaxie“



# Anm.: Verbotene und Erlaubte Emissionslinien



Übergangs-  
wahrscheinlichkeit

Lebensdauer

Erlaubt CIV

Hoch

$\sim 10^{-8}$ s

Verboten [NeV]

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

$\sim 1$  s

Halbverboten CII]

$\sim 10^{-6}$



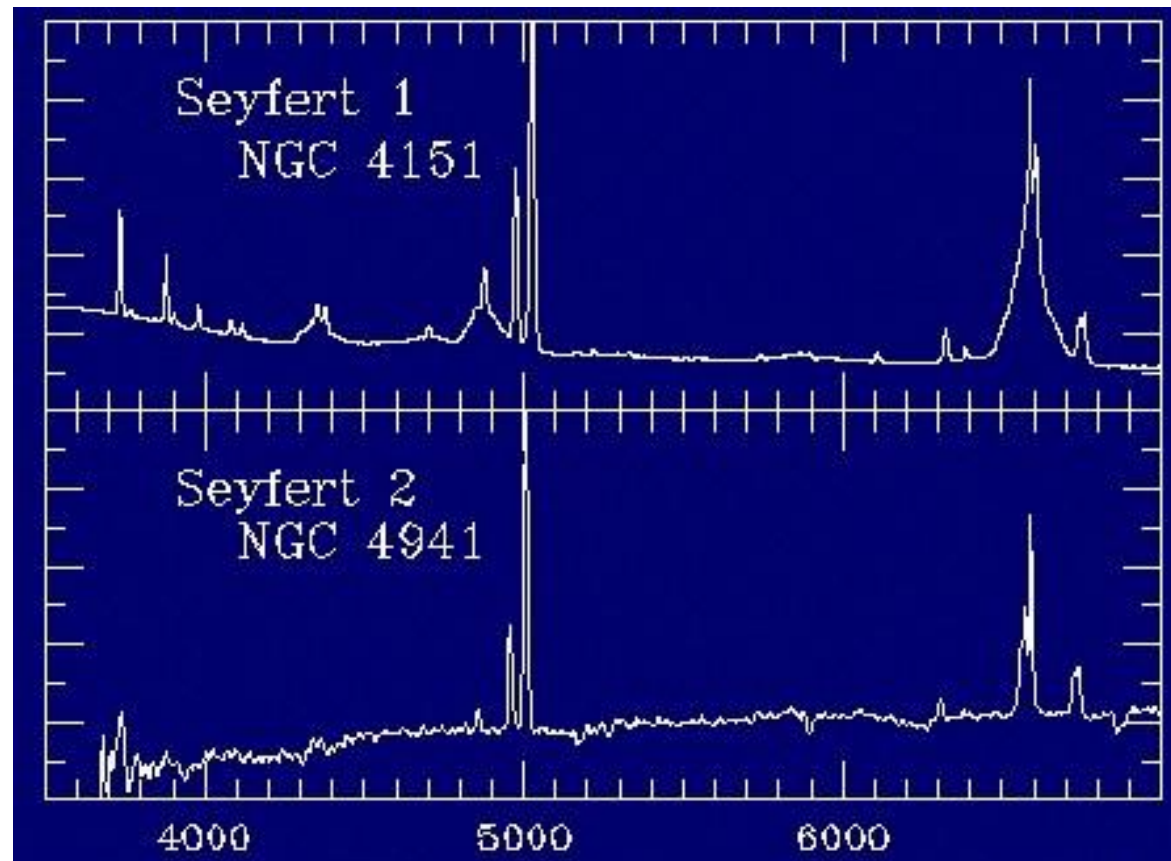
# Seyfert Typ I und Typ II

## Seyfert Typ I:

- Breite Erlaubte (H $\alpha$ , H $\beta$ , H $\gamma$ , sowie einige Metalle..
- schmale Verbotene Linien (z.B. [OIII])

## Seyfert Typ II

- Keine breiten Linien
- Schmale Verbotene und Erlaubte Linien



spiff.rit.edu

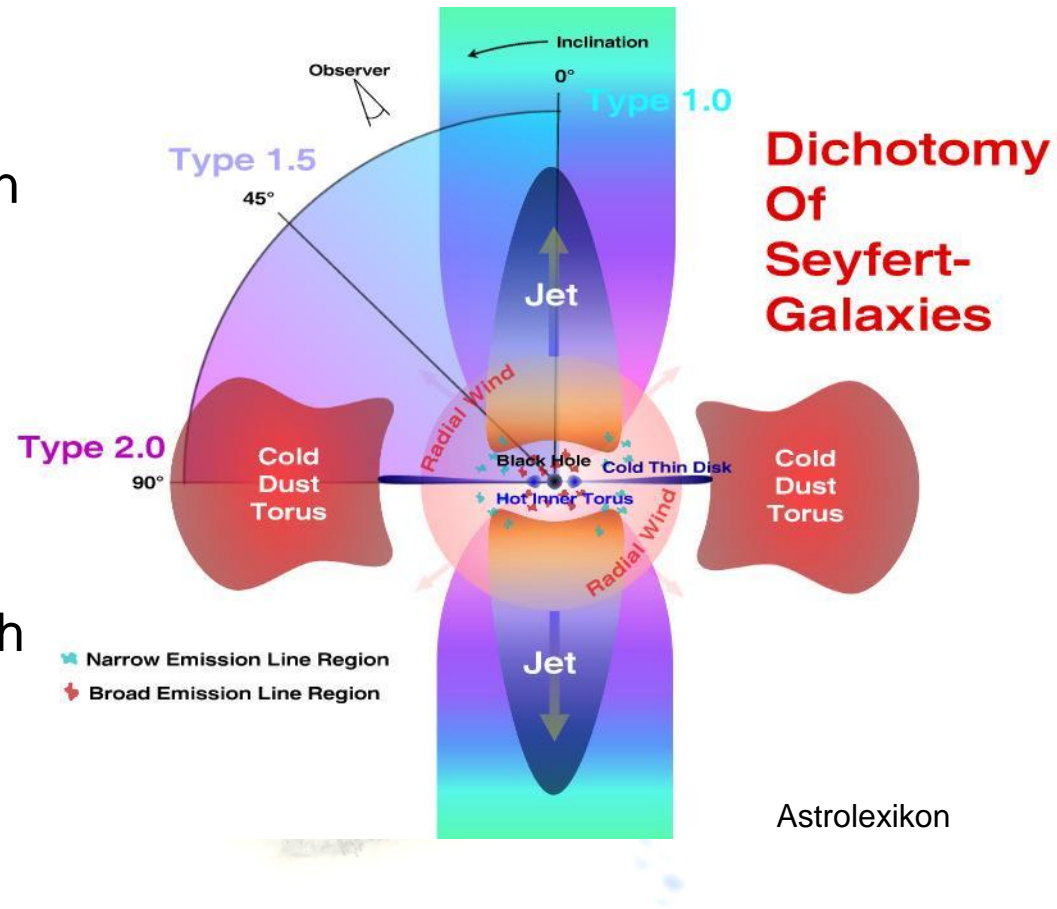


# Die Zwischenstufen

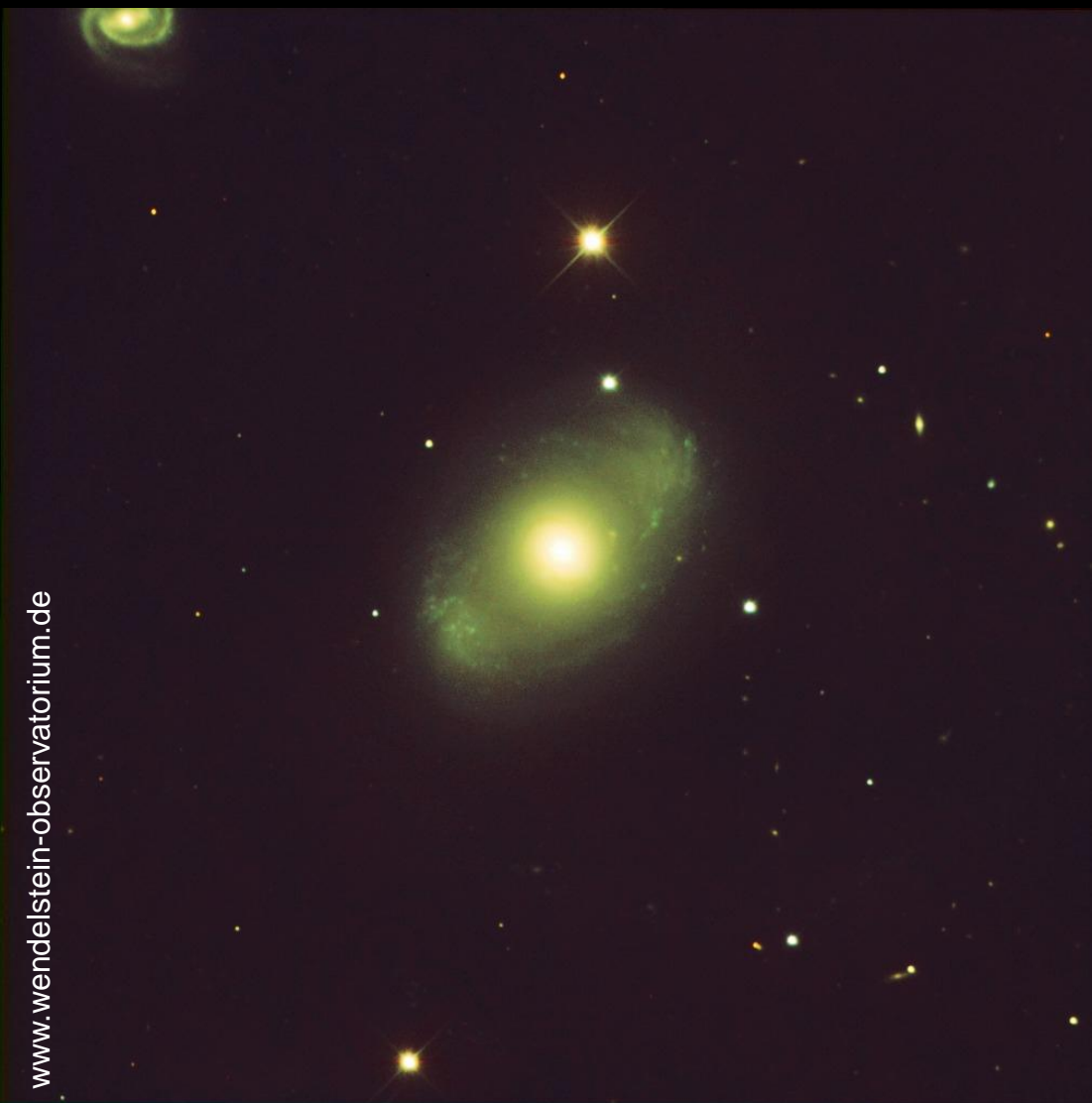
Typ 1.5: Superposition aus breiten und schmalen Linien

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

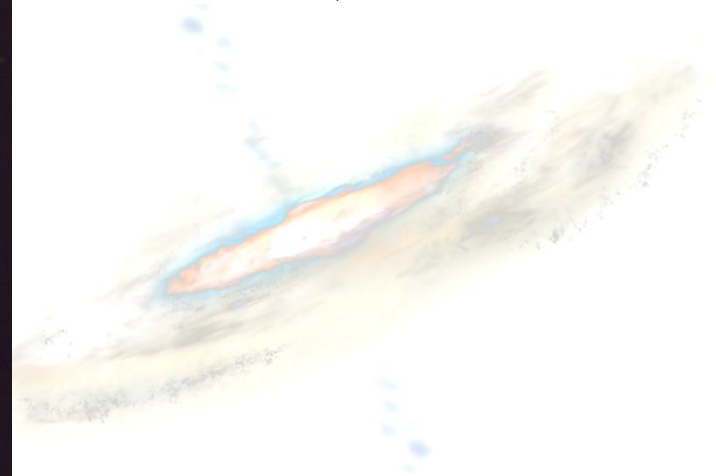
Typ 1.9: schwache breite bei  $H\alpha$   
keine breiten bei  $H\beta$



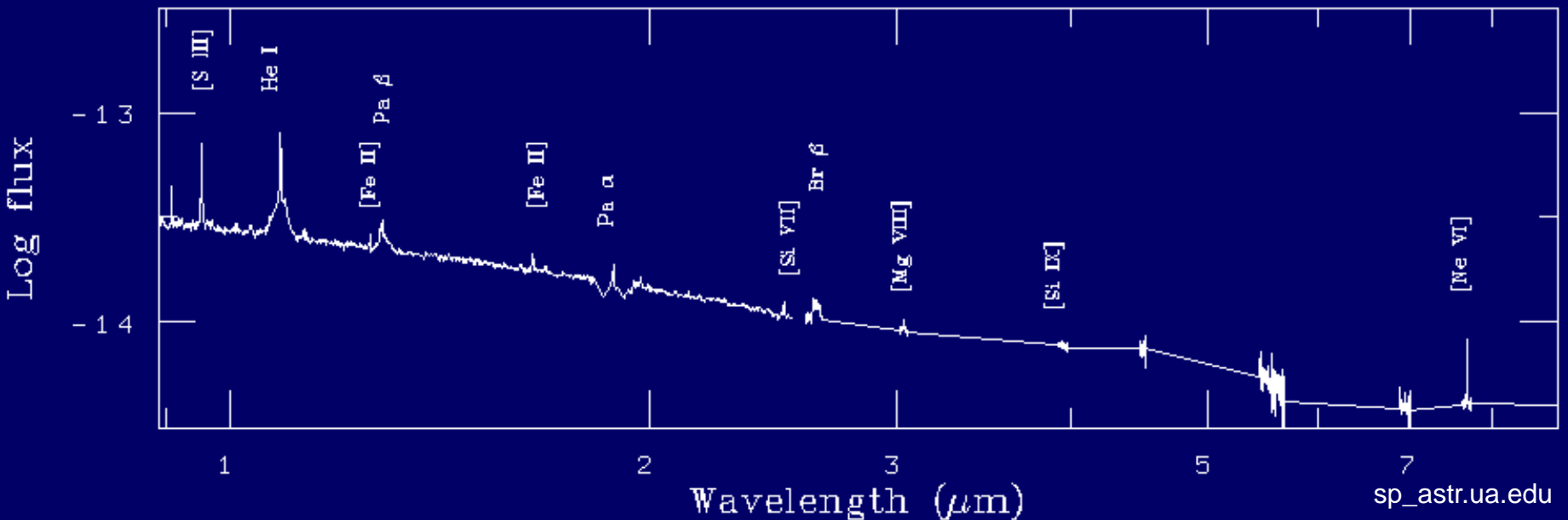
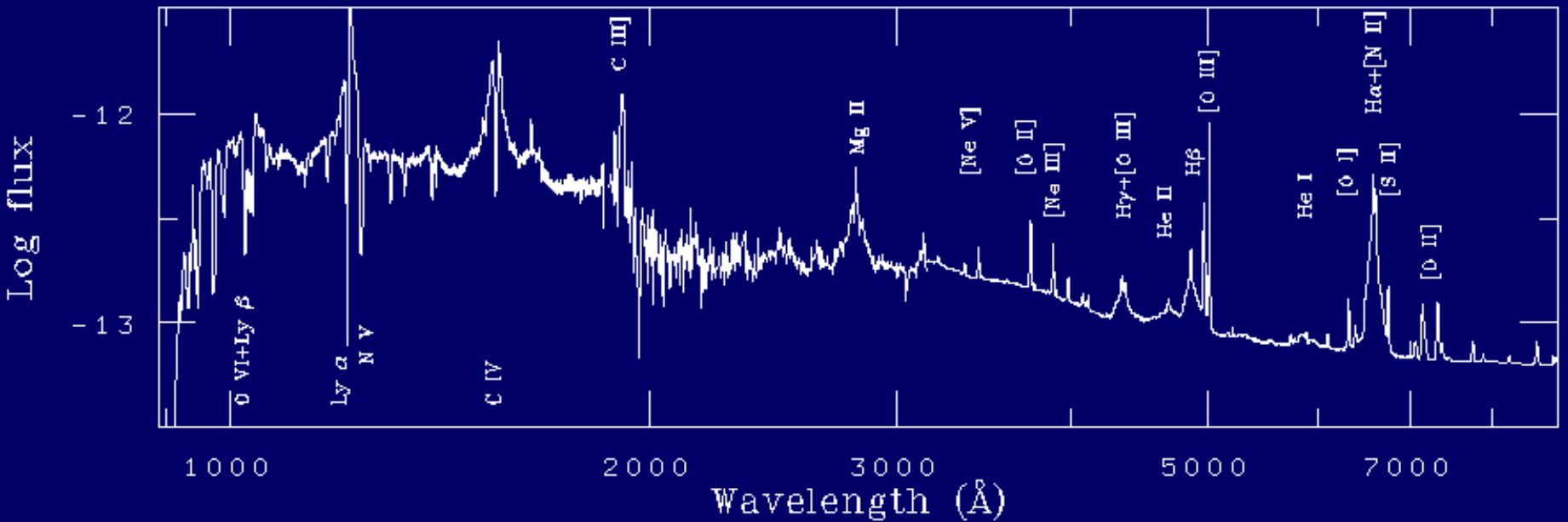
# Eine Typische Seyfert 1 Galaxie: NGC 4151



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



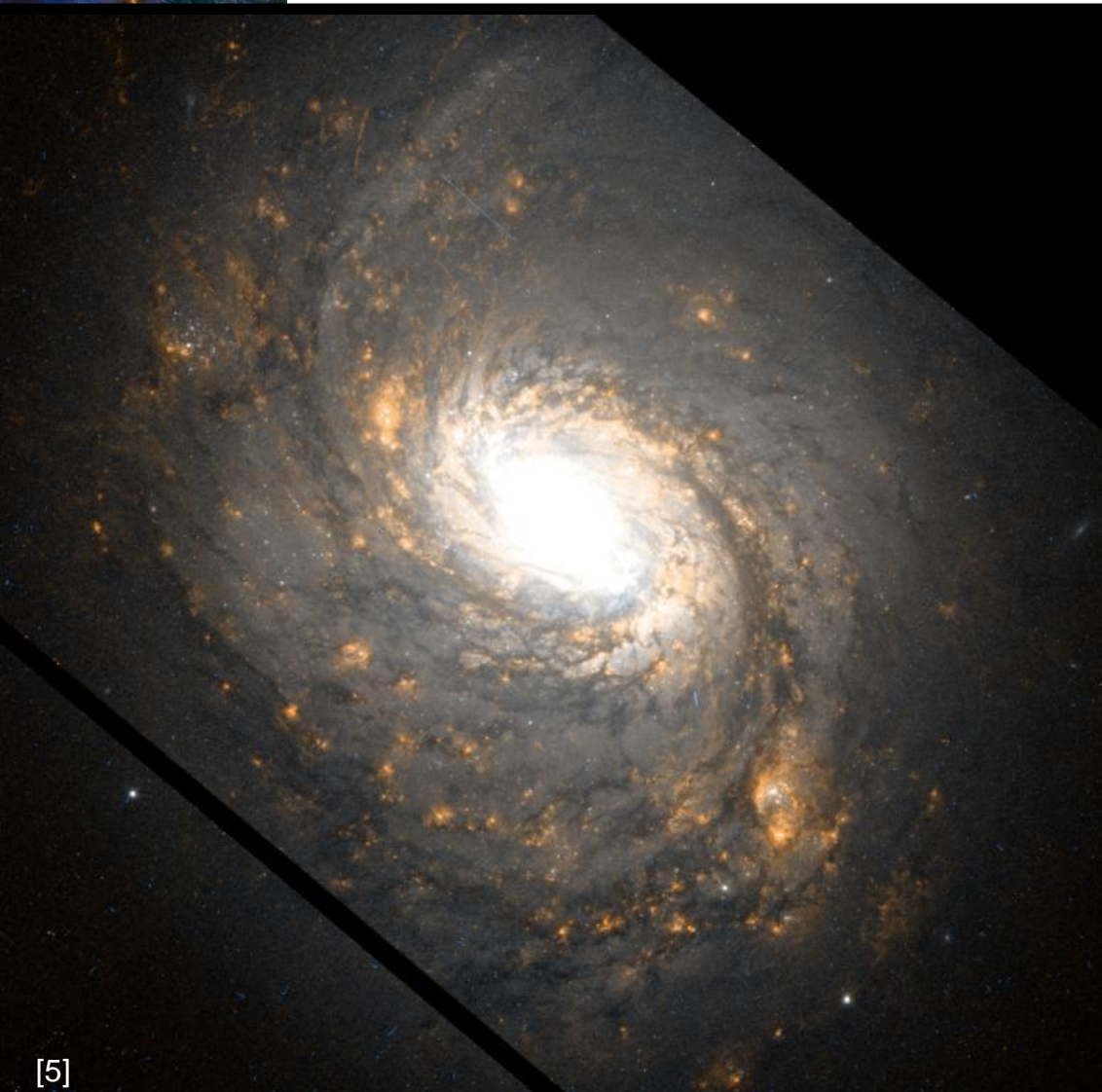
# Das Spektrum von NGC 4151







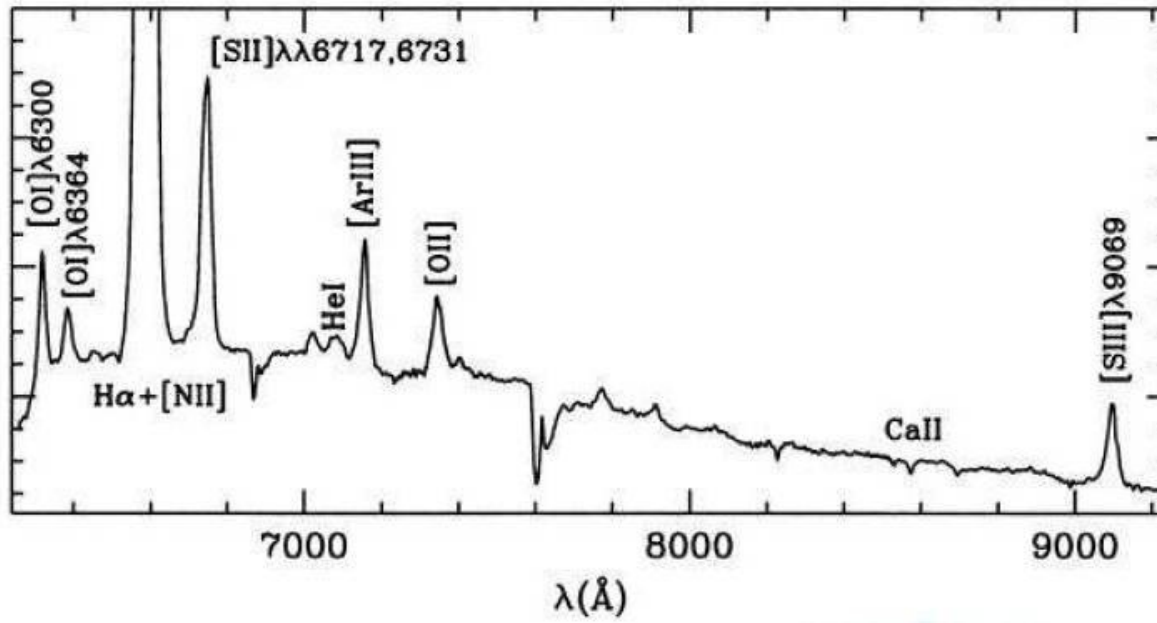
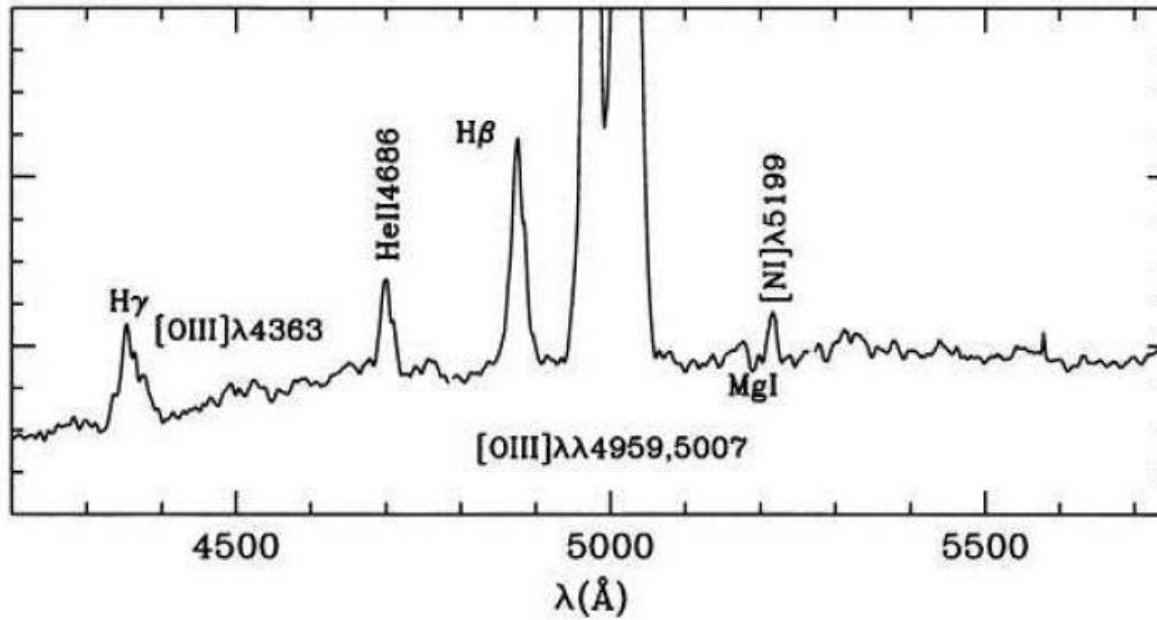
# Eine Typische Seyfert 2 Galaxie: NGC 1068



- 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:  
( $\Delta v$  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

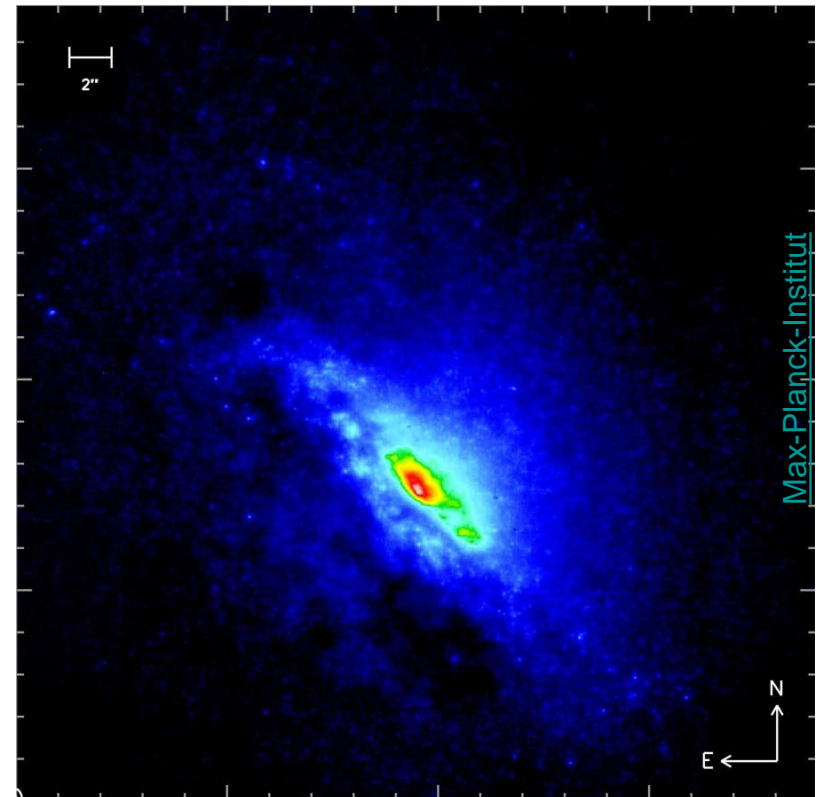
Emittierendes Gas gravitativ gebunden

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

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

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

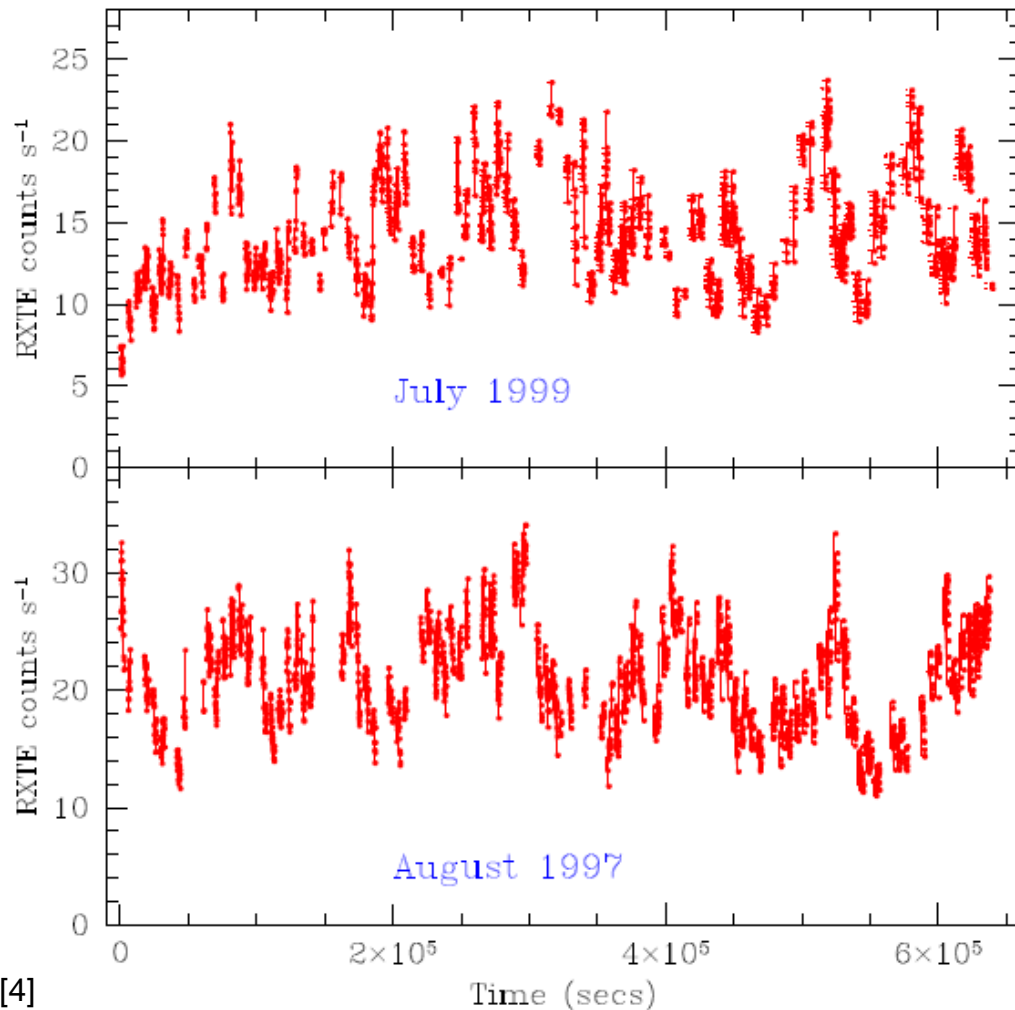
→ SMBH als Energiequelle



NGC 4945 Röntgenaufnahme



# Die Variabilität der AGN



Manche AGN variieren um 50% in Tagen

Variierende Gebiete müssen in kausalem Zusammenhang stehen



Abschätzung: Emitierendes 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)

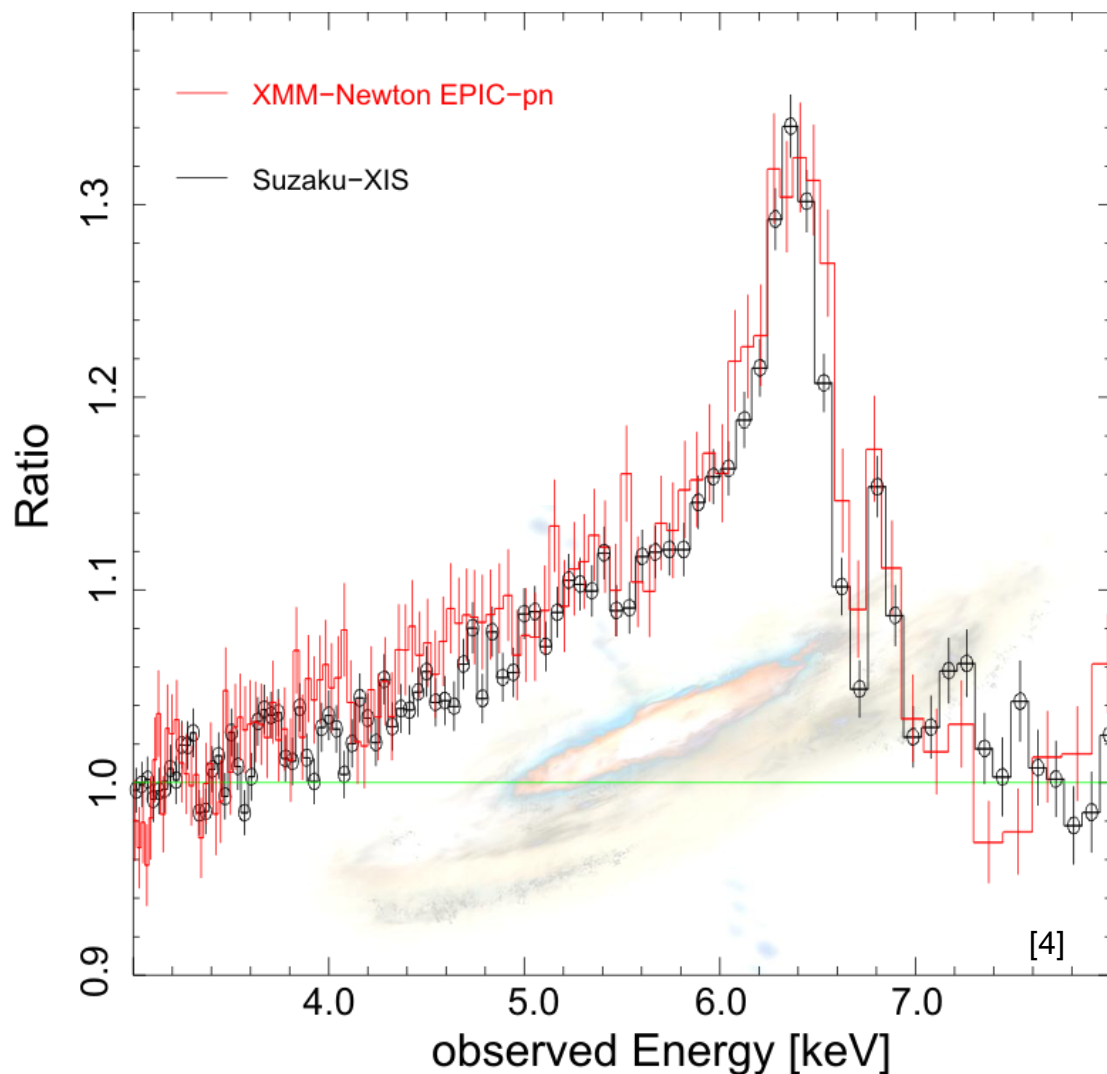


# Relativistische Eisenlinie

Entstehung von  
Röntgenstrahlung in  
unmittelbarer Nähe des SL

Röntgenfluoreszenz von Fe

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

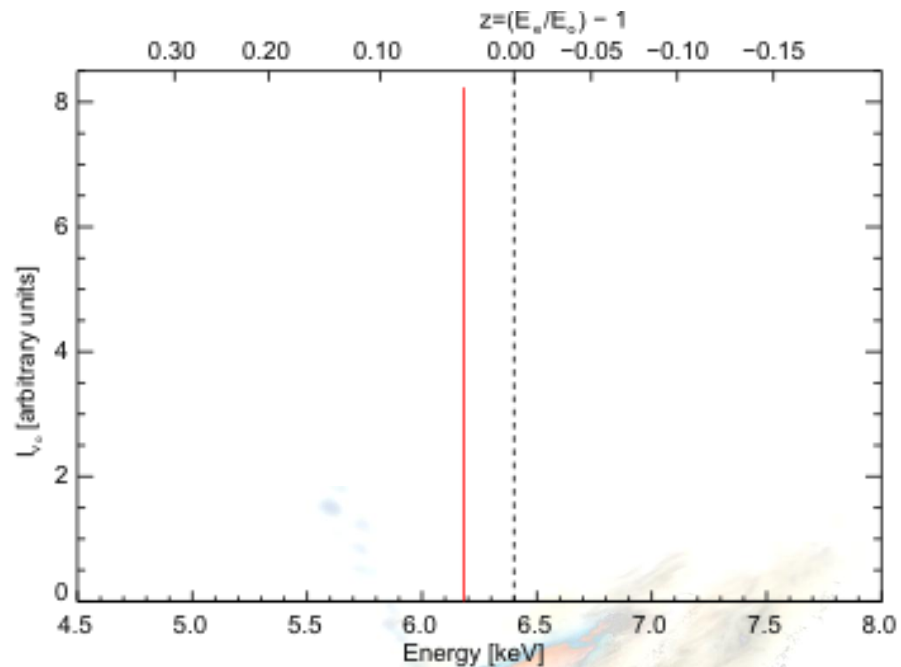
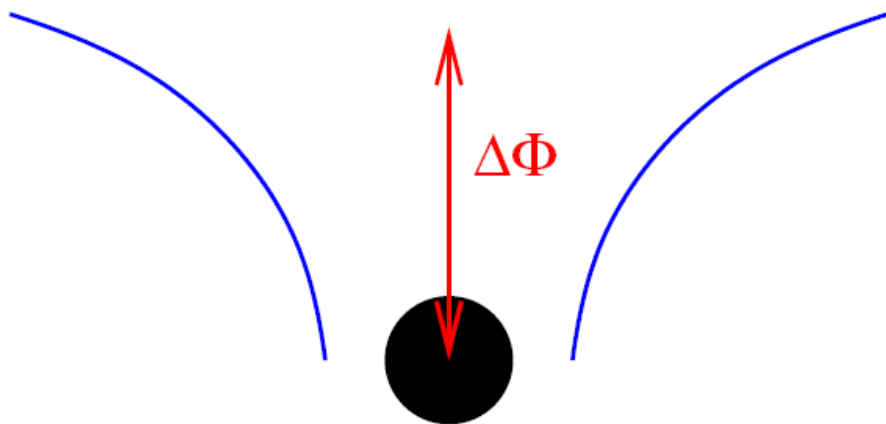




# Relativistische Eisenlinie

Entstehung von charakteristischem Profil durch

- gravitative Rotverschiebung



[4]

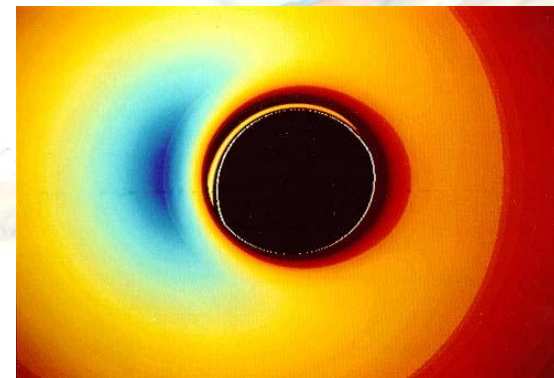
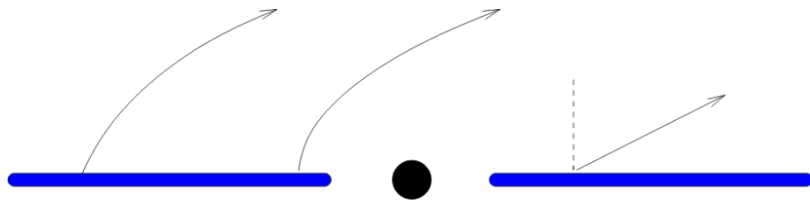
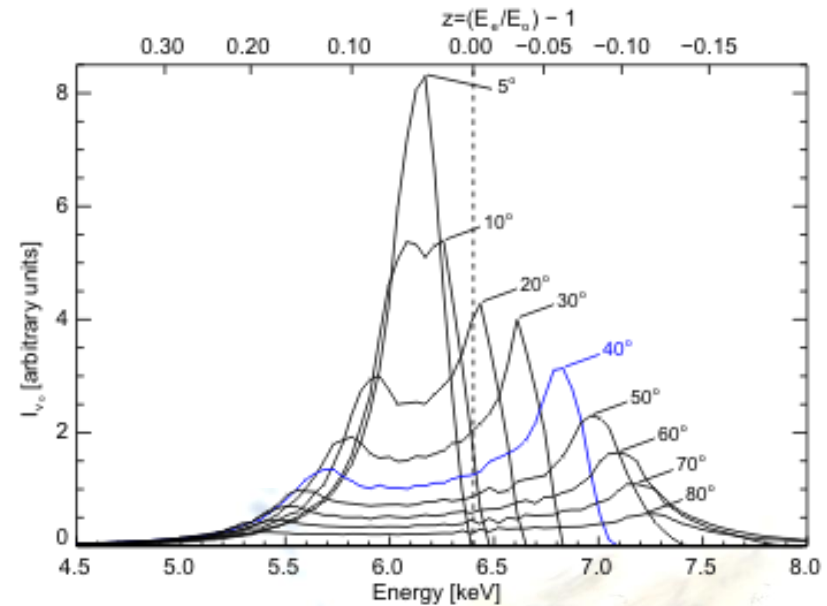




# Relativistische Eisenlinie

Entstehung von charakteristischem Profil durch

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



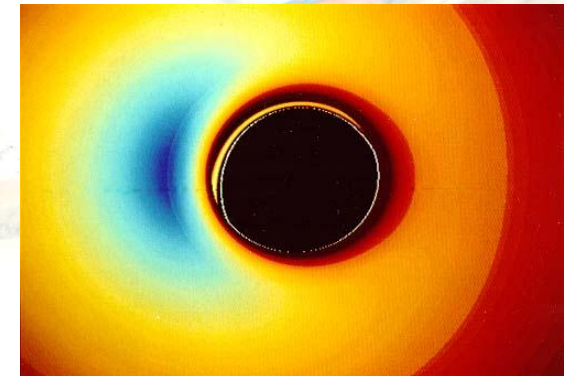
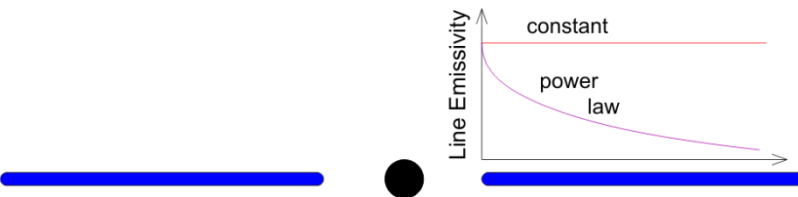
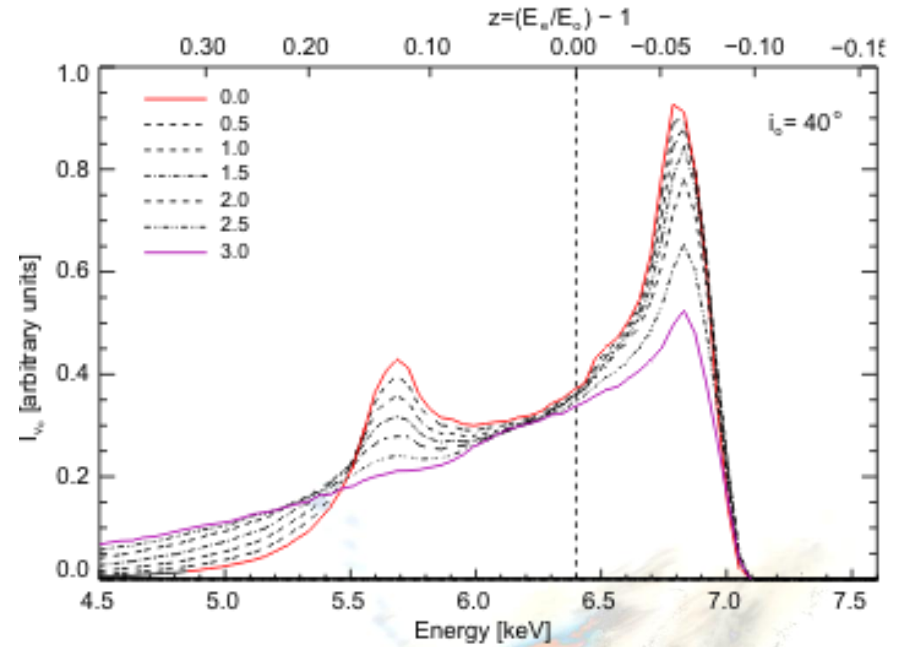
[4]



# Relativistische Eisenlinie

Entstehung von charakteristischem Profil durch

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



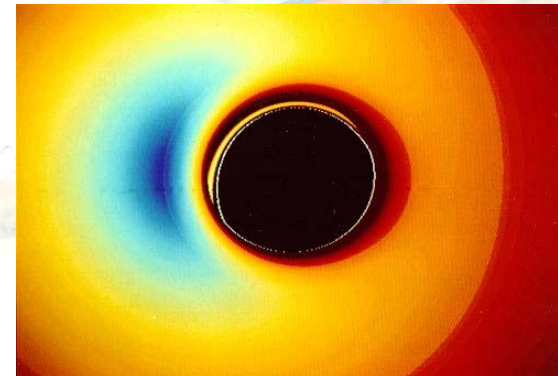
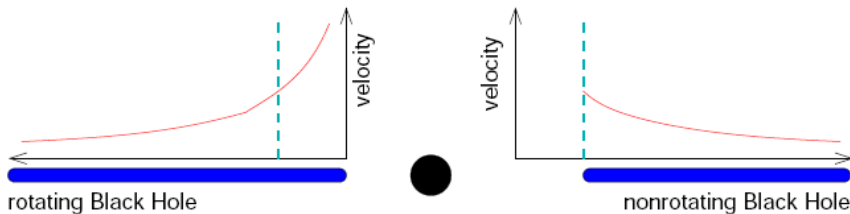
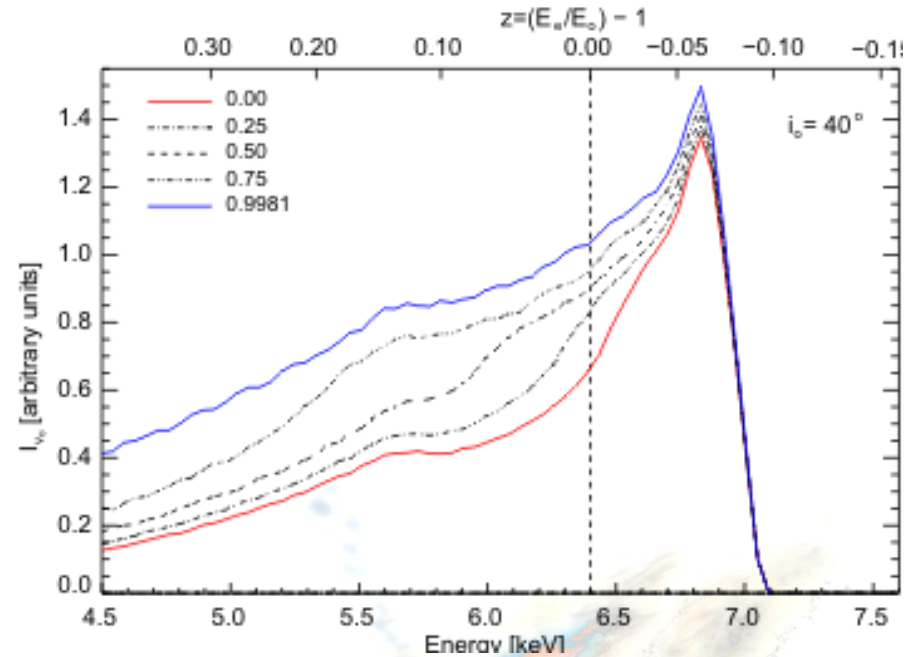
[4]



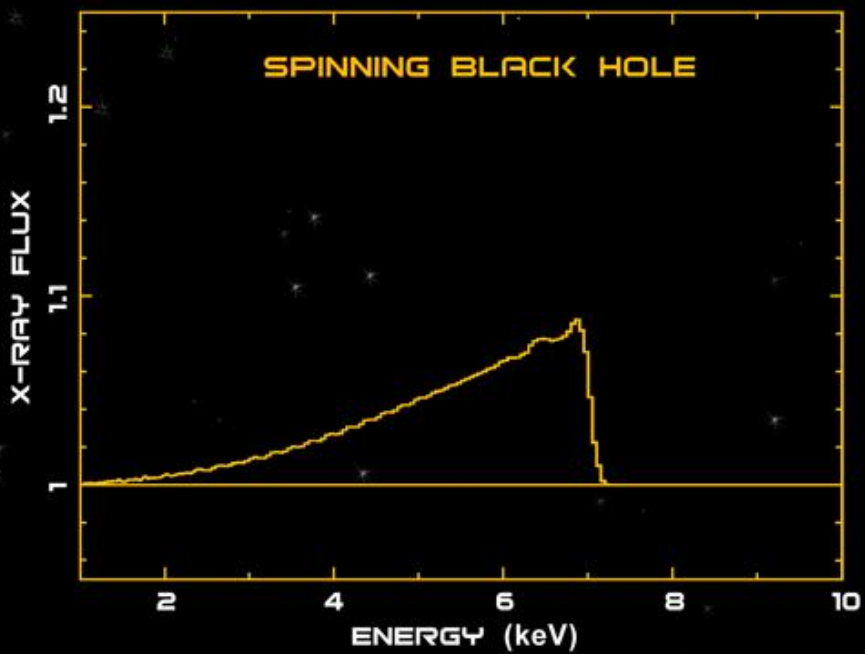
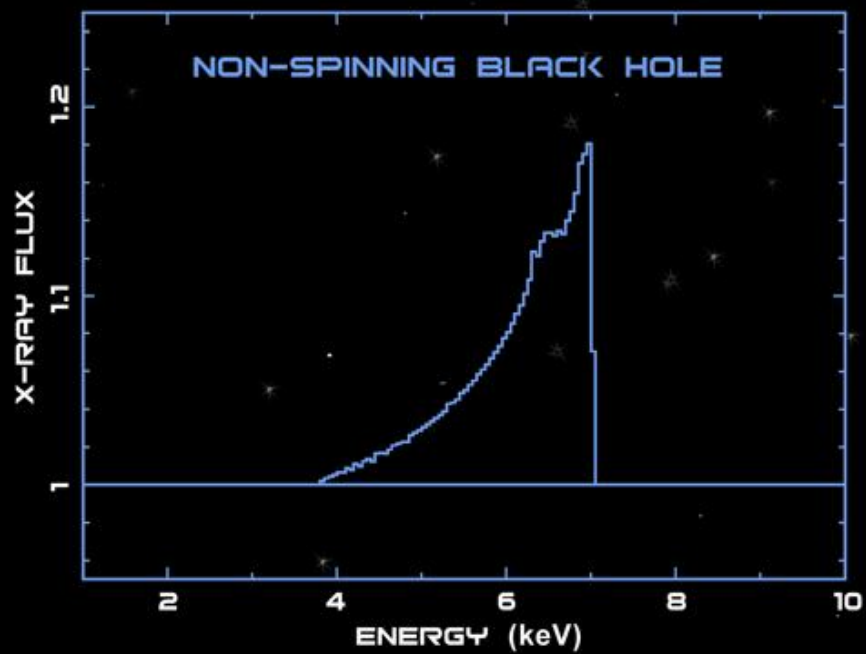
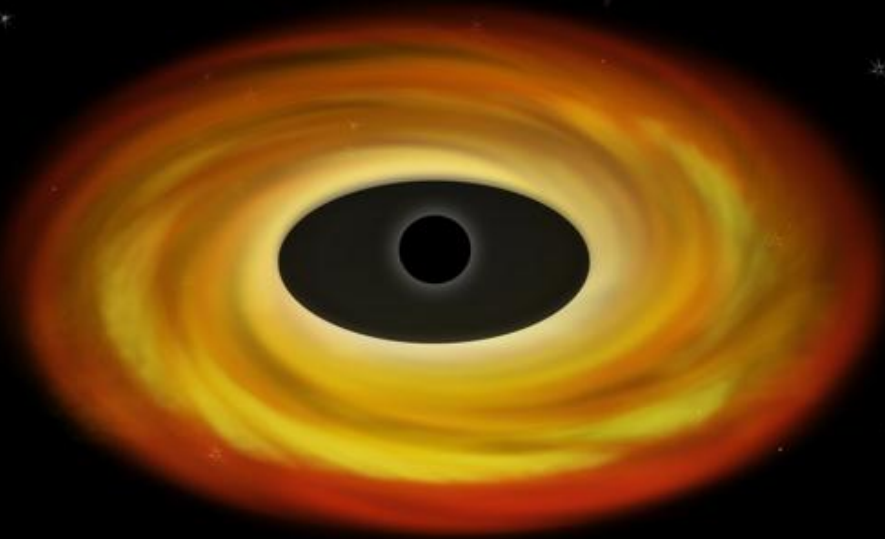
# Relativistische Eisenlinie

Entstehung von charakteristischem Profil durch

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



[4]





# Masse des SMBH

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

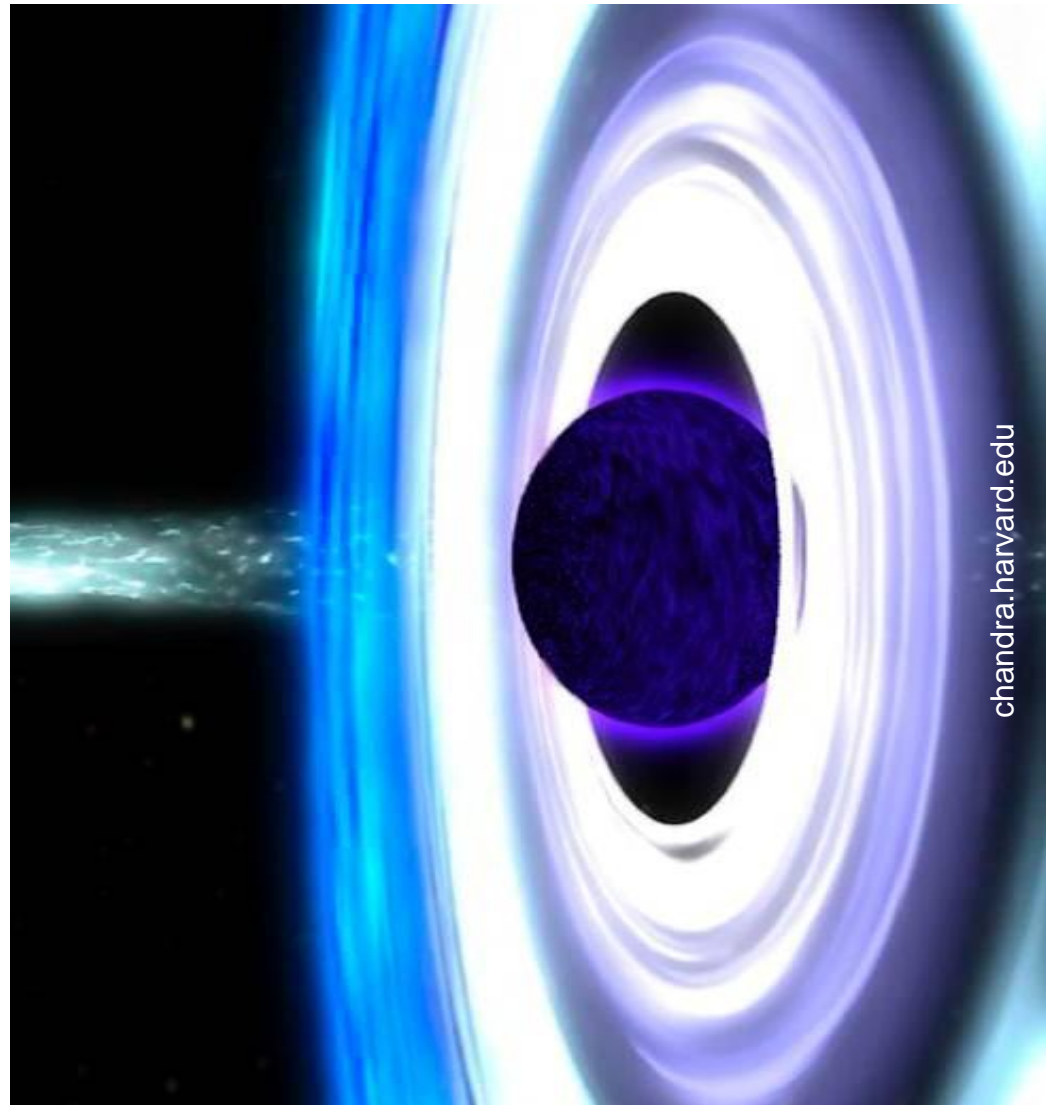
$$\frac{\sigma_T L}{4\pi r^2 c} < \frac{GM_{SL} m_p}{r^2}$$

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

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

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

$\sigma_T$  Thomsonsche Wirkungsquerschnitt

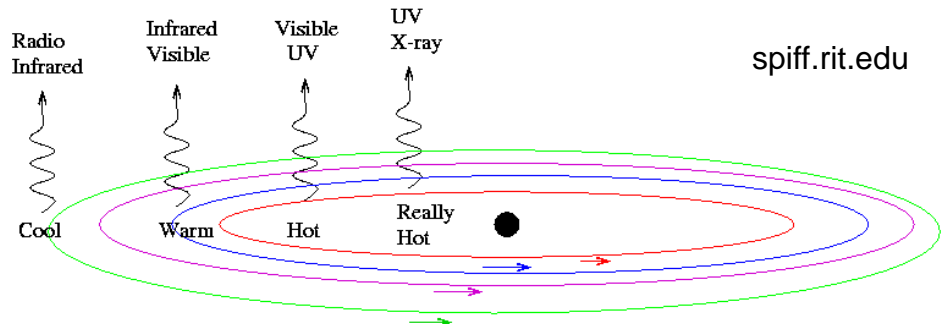


chandra.harvard.edu



# Die Akkretionsscheibe

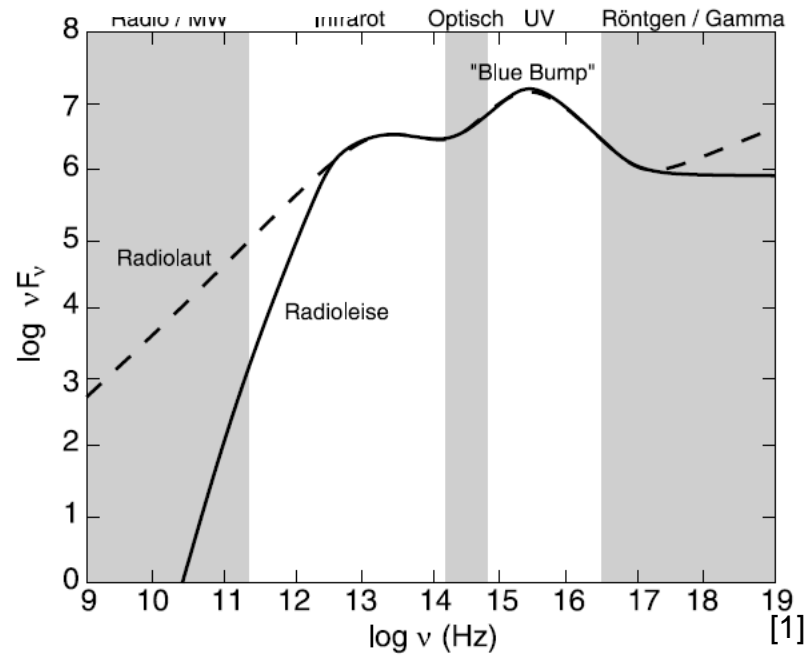
Ausbildung einer differentiellen Akkretionsscheibe



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

→ Spektrum mit Maximum im UV Bereich

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





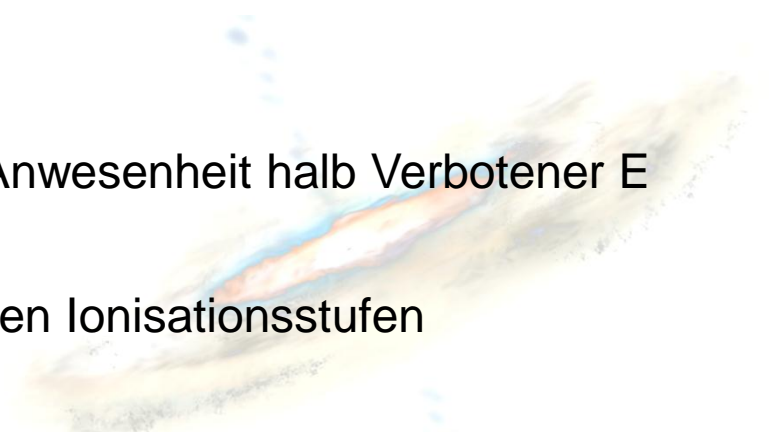
# Die Broad Line Region

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

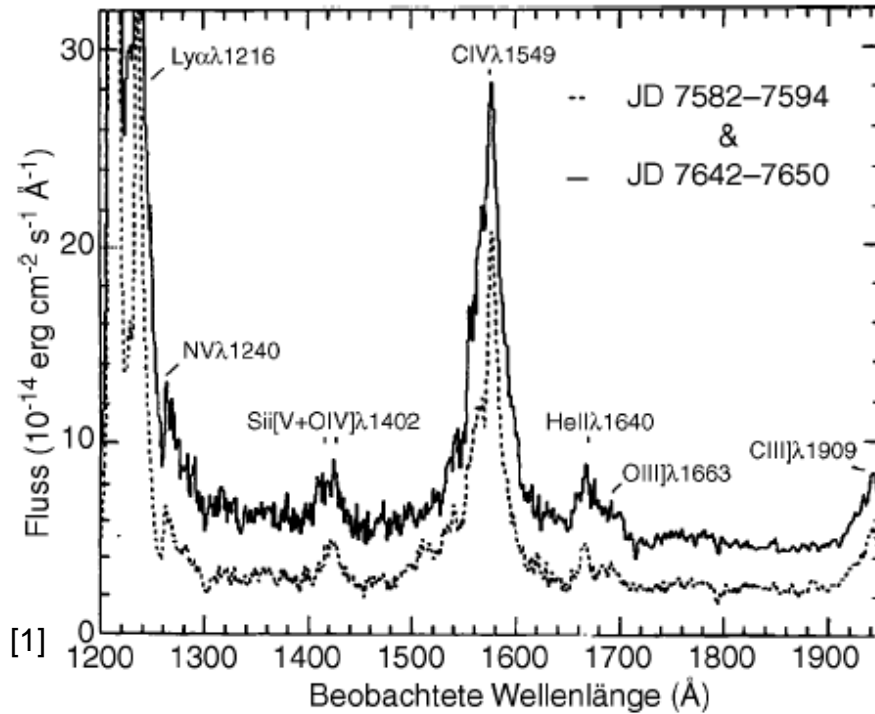




# Reverberation Mapping

Nur bei Stark Variierenden AGN

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



UV-Spektr NGC 5548 zu zwei Epochen

→ Linienfluss variiert Zeitversetzt

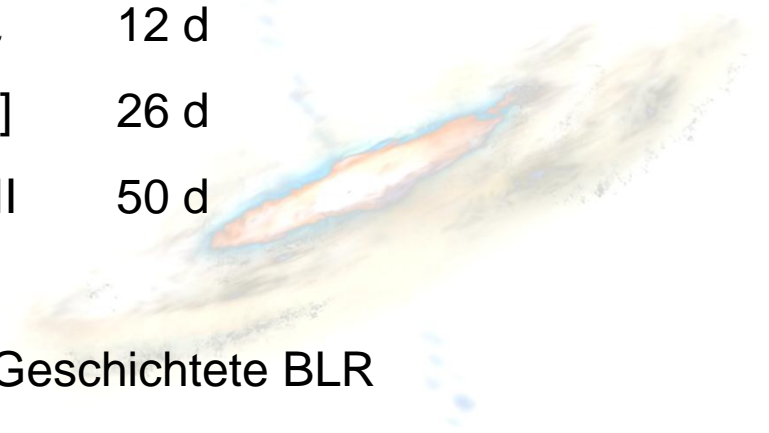
Für Seyfert 1 – Galaxie NGC 5548:

Ly $\alpha$  12 d

CIII] 26 d

MgII 50 d

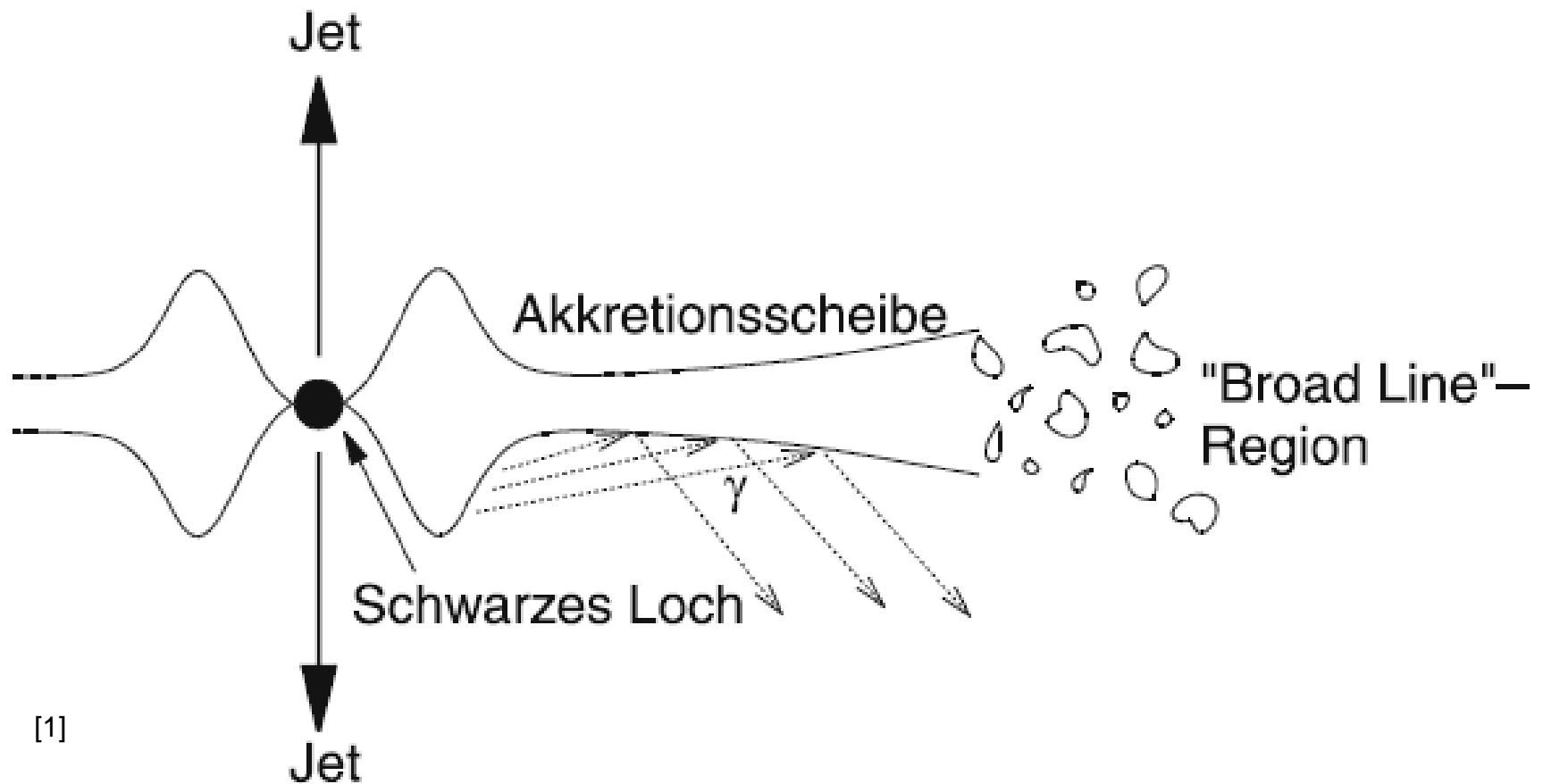
→ Geschichtete BLR







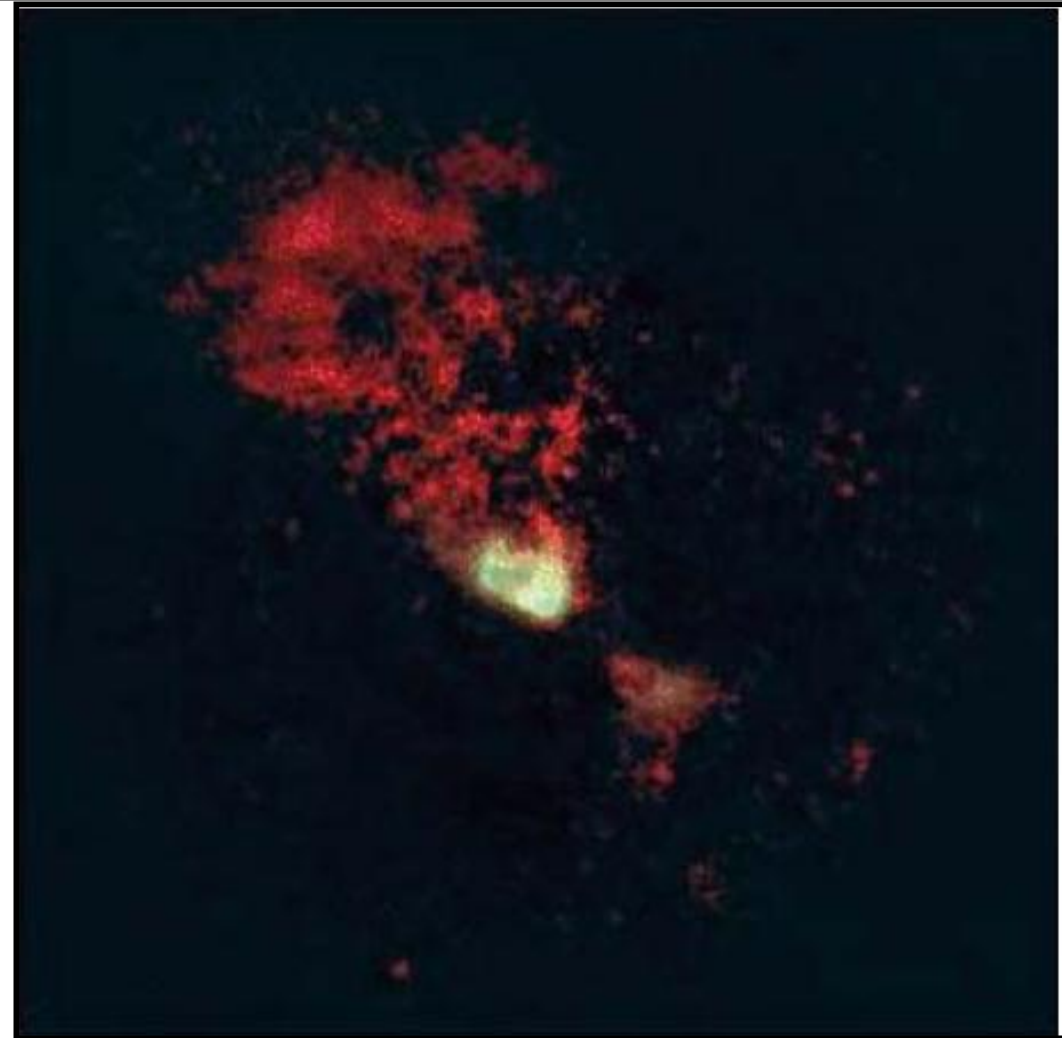
# Der innere Parsec





# Narrow Line Region (NLR)

- Linienbreite  $\sim 500$  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  $\sim 16000$  K
- Füllfaktor  $10^{-2}$
- Aber: Für nahe AGN räumlich auflösbar
- Kegelförmiges Aussehen

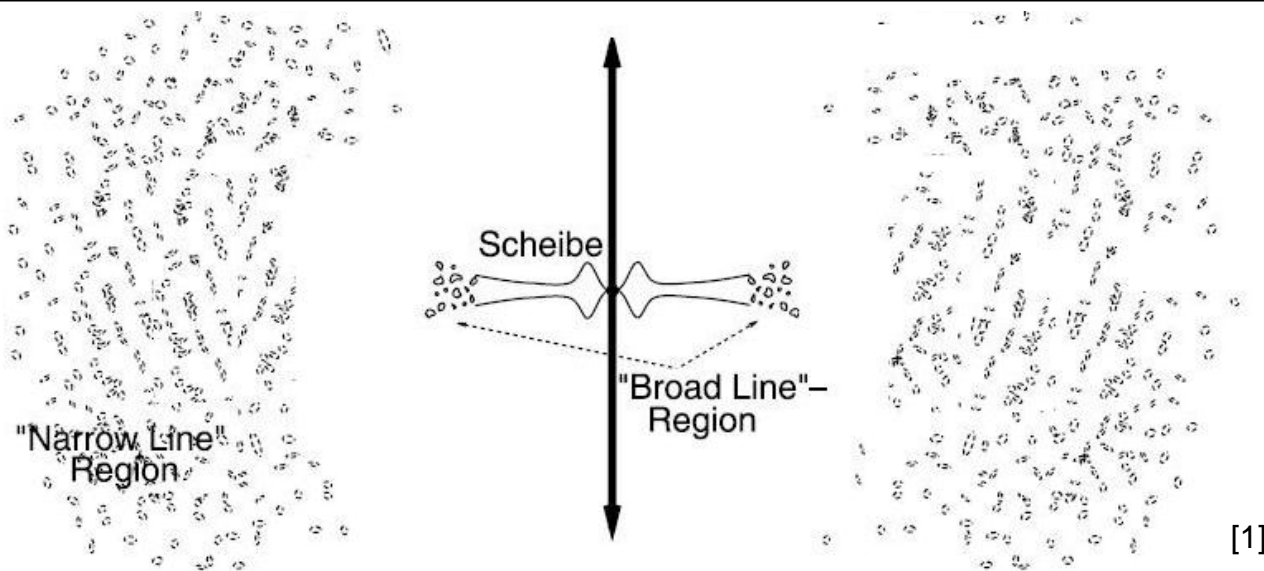


NLR der Seyfert 1 Galaxie NGC 5728

[1]



# Vereinheitlichung von Seyfert Typ I und II



## Akkretionsscheibe

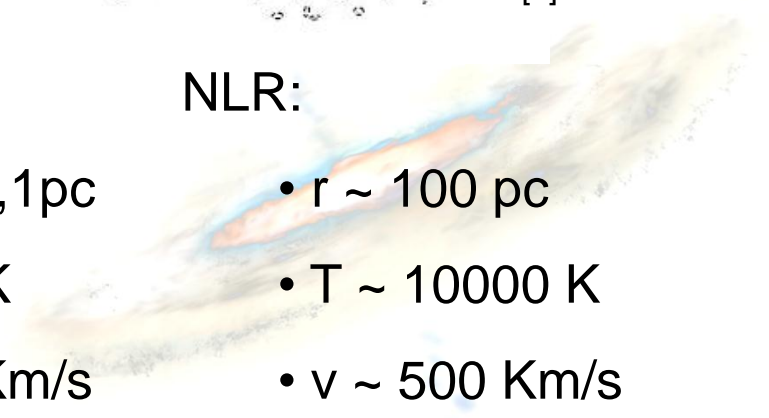
- $r \sim 10^{-3}$  pc
- $T \sim 6 \times 10^6$  K
- $v$  bis  $0.3 c$

## BLR:

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

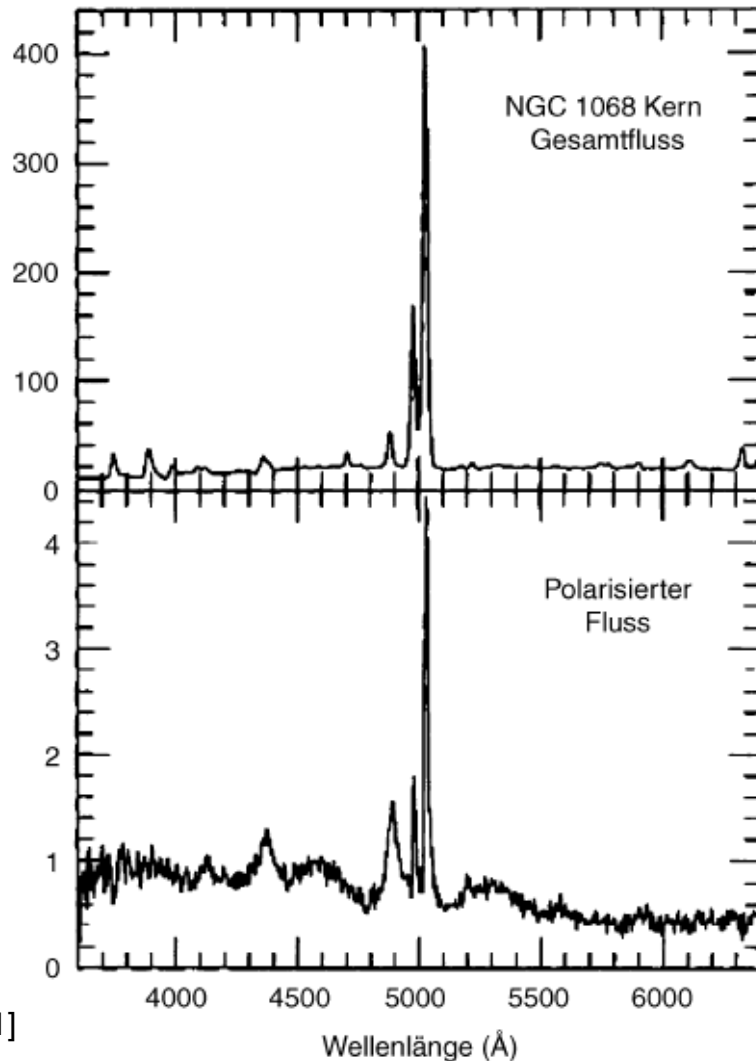
## NLR:

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





# Vereinheitlichung von Seyfert Typ I und II

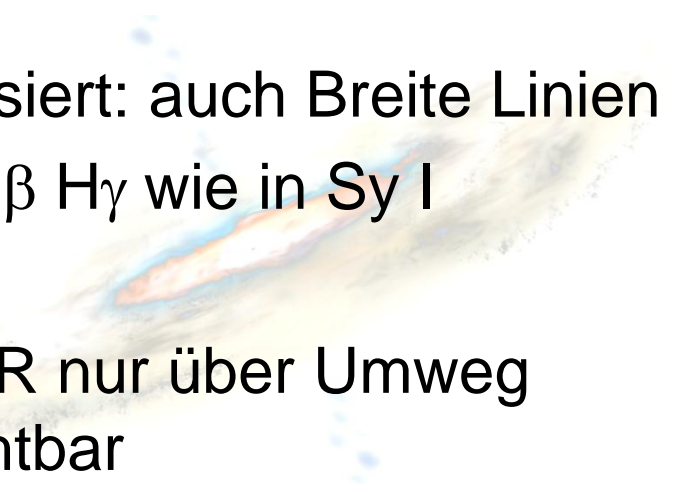


Spektrum von Sy II NGC 1068

Unpolarisiert: schmale Linien  
([OIII])

Polarisiert: auch Breite Linien  
z.B. H $\beta$  H $\gamma$  wie in Sy I

→ BLR nur über Umweg  
sichtbar

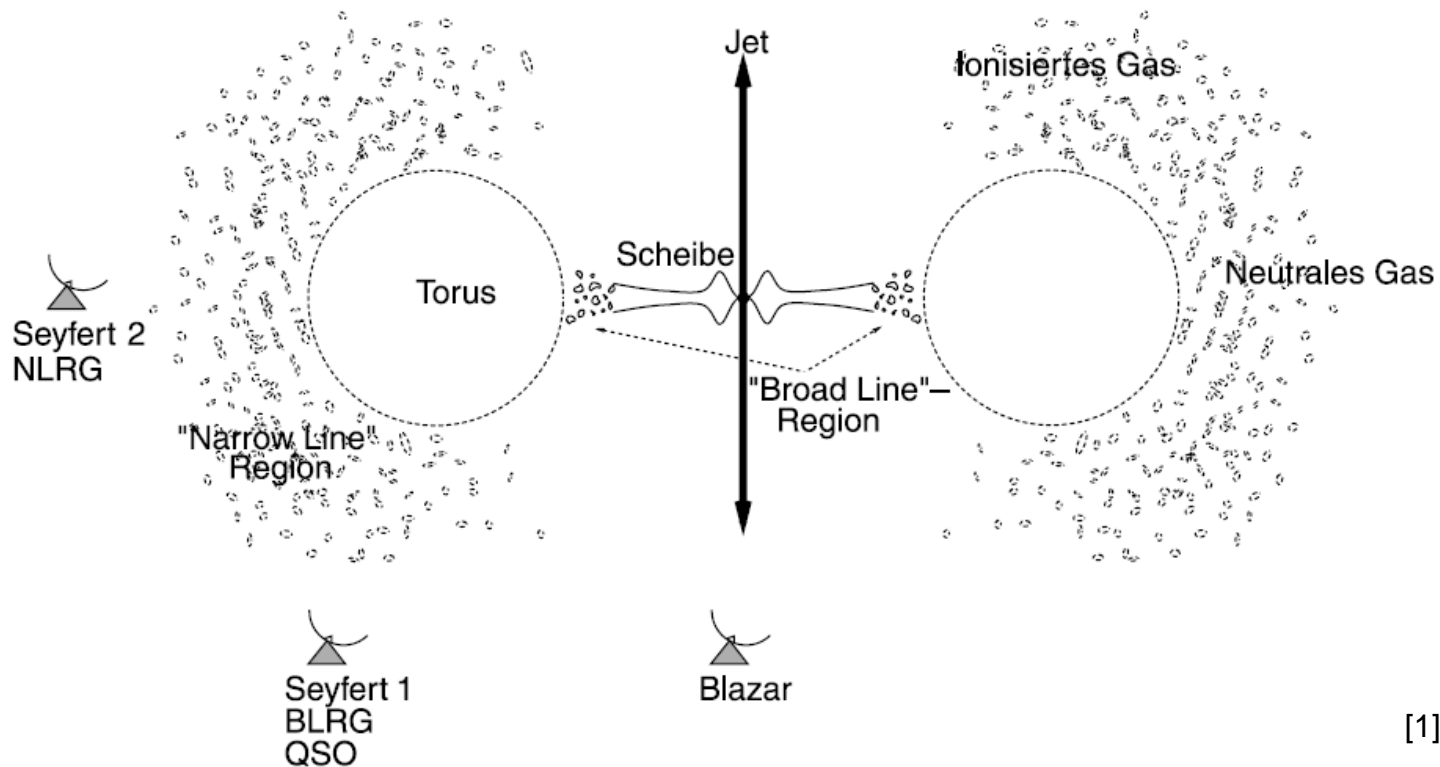


[1]



# Der Torus

) |



[1]

Annahme: optisch dicker Staubtorus

$r \sim 1$  – einige 10 pc

Torus bedeckt ca.  $2/3$  des Raumwinkels





# Ausblick Radiolaute AGNs

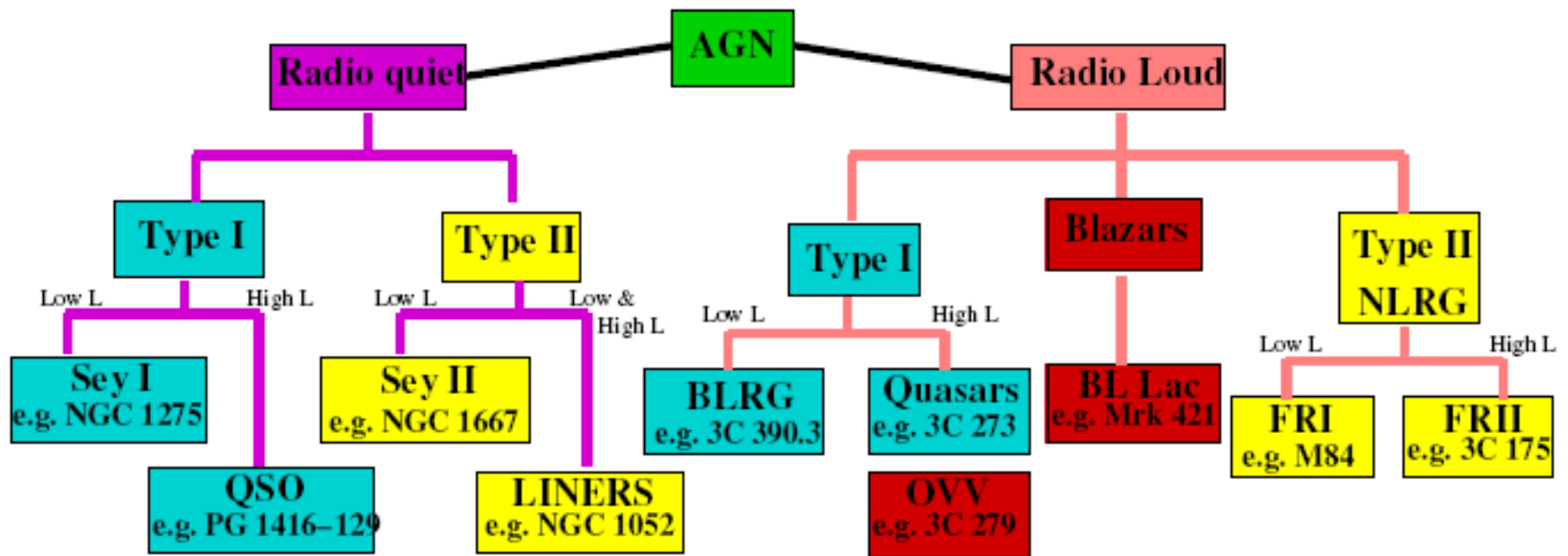


Abbildung 2.1: AGN Klassifikation (aus: Benlloch-Garcia 2004)



# 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

