

WS 2004/05

# Hochauflösende Radiobeobachtungen aktiver Galaxienkerne

Silke Britzen

MPIfR, Bonn



Max-Planck-Institut  
für  
Radioastronomie

**Jede 2. Woche!**

**Termine:**

**05.11.2004**

**Im Internet auf:**

**19.11.2004**

**<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/staff/sbritzen>**

**03.12.2004**

**pdf-Version der Vorlesung im Internet**

**17.12.2004**

**14.01.2005**

**Meine e-mail:**

**28.01.2005**

**[sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de](mailto:sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de)**

**11.02.2005**

**Heute: Jets in Simulationen**

**Variabilität**

# Überblick: Wintersemester 2004/05

## ■ Astrophysik aktiver Galaxienkerne

### ■ Einführung und Überblick

- Aktive Galaxienkerne
- Was heißt „aktiv“?
- Welche Arten gibt es – der Zoo, wichtigste Merkmale
- AGN Radio-Durchmusterungen

### ■ Schwarze Löcher:

- Das Standardmodell: Schwarzes Loch + Akkretionsscheibe + Jet

### ■ Das Jet-Phänomen

- Jets von pc- zu kpc-Skalen
- Scheinbar überlichtschnelle Bewegungen
- Krümmungen & Präzession
- Jetsimulationen

### ■ Variabilität

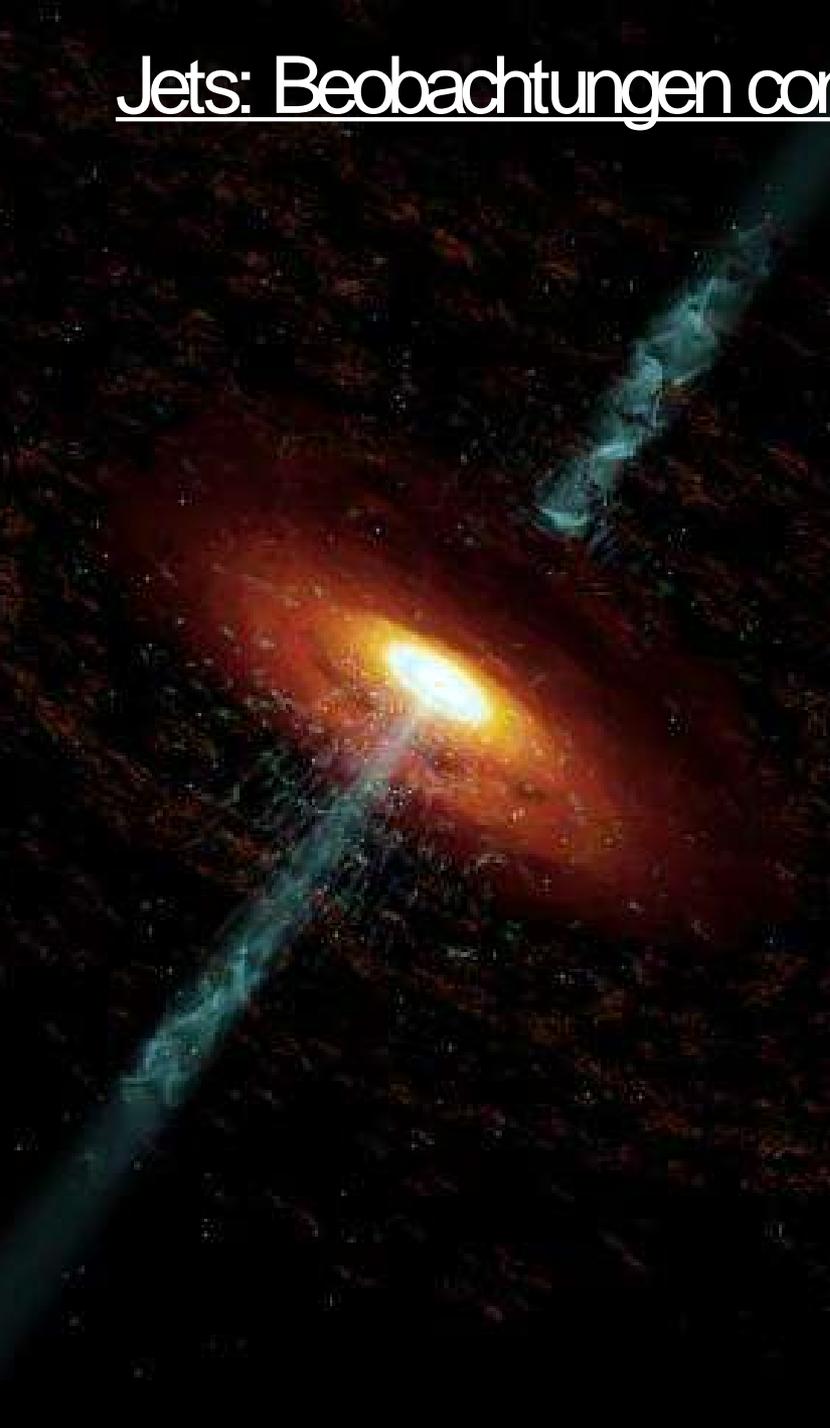
- Überblick: Zeitskalen & Wellenlängen
- Theoretische Modelle

# Überblick: Wintersemester 2004/05

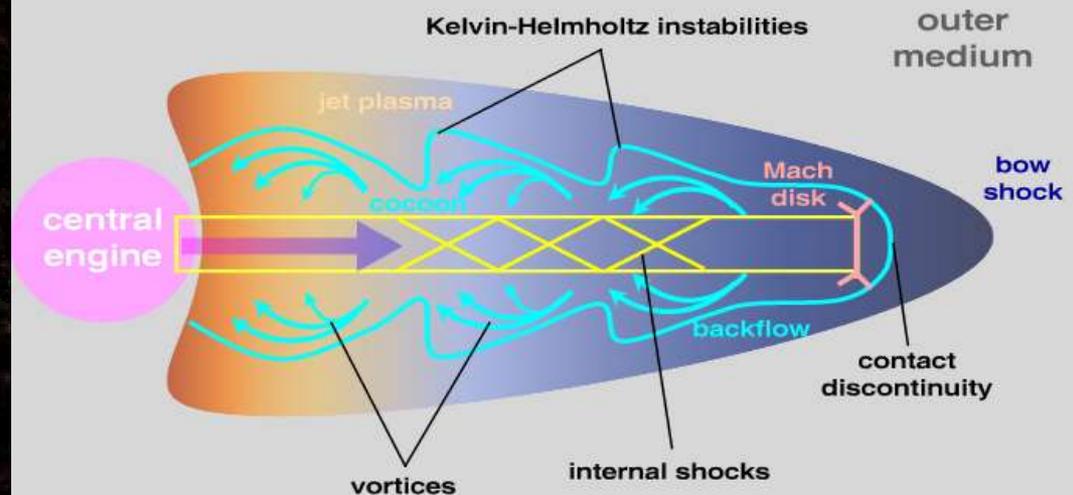
## ■ Astrophysik aktiver Galaxienkerne

- Kosmologische Evolution der AGN – Hierarchisches Modell
- Unsere Milchstraße und die Möglichkeit eines Schwarzen Lochs im Zentrum
- Vereinheitlichungstheorien
- Kosmologie mit Aktiven Galaxienkernen
- Offene Fragen der Erforschung aktiver Galaxienkerne

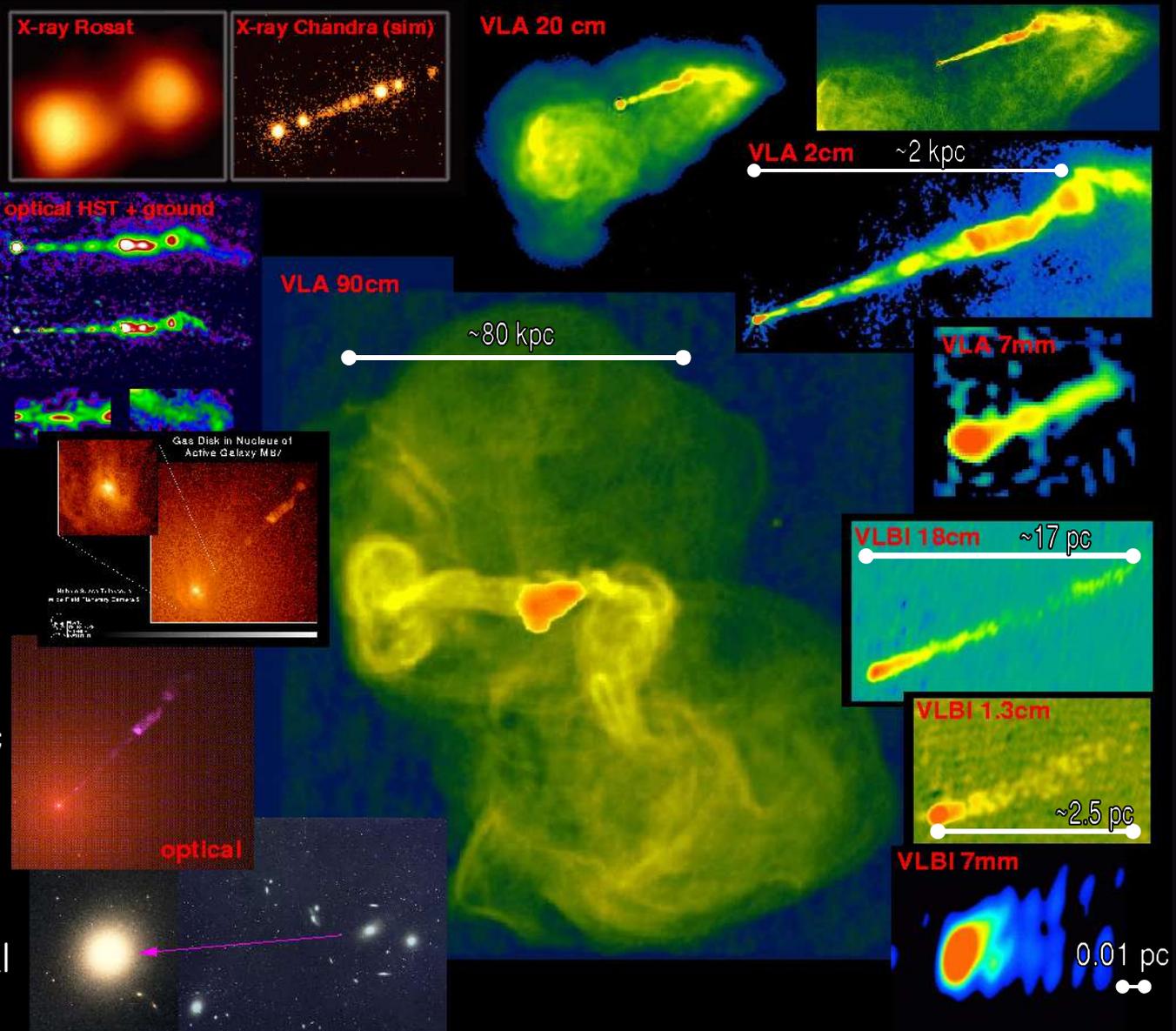
# Jets: Beobachtungen contra Simulationen



## Jet propagation



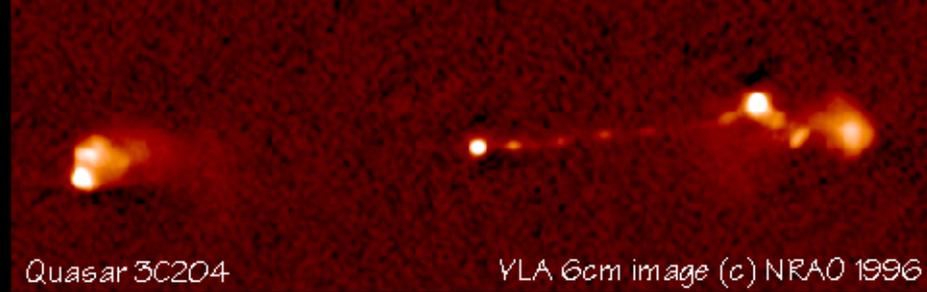
# M87 (Virgo A) - From half a million light years to 0.1 light years



distance from Earth: 17 Mpc

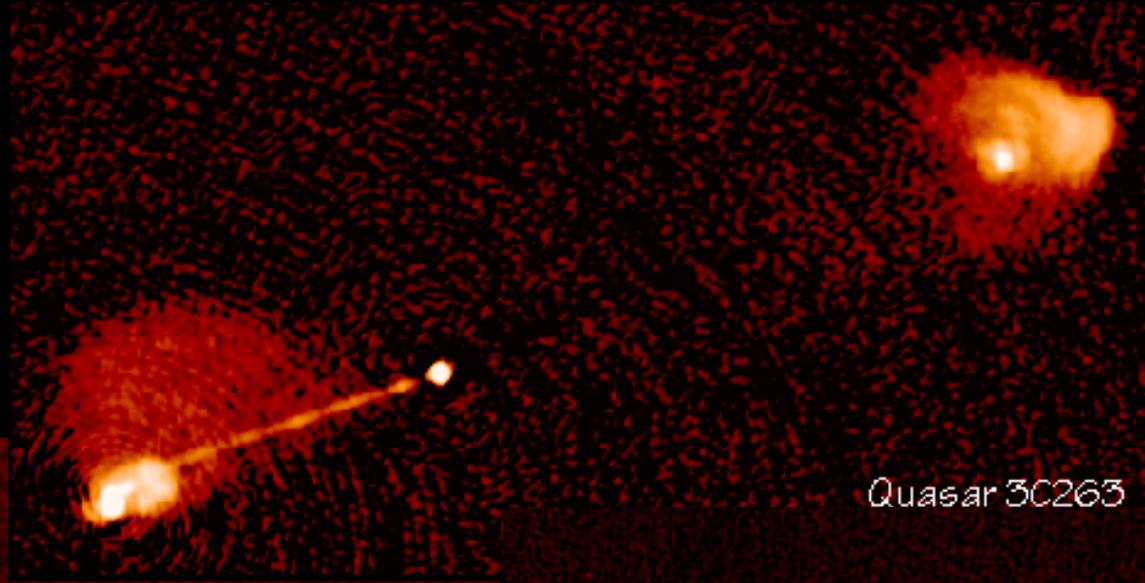
Virgo Cluster

# Quasars

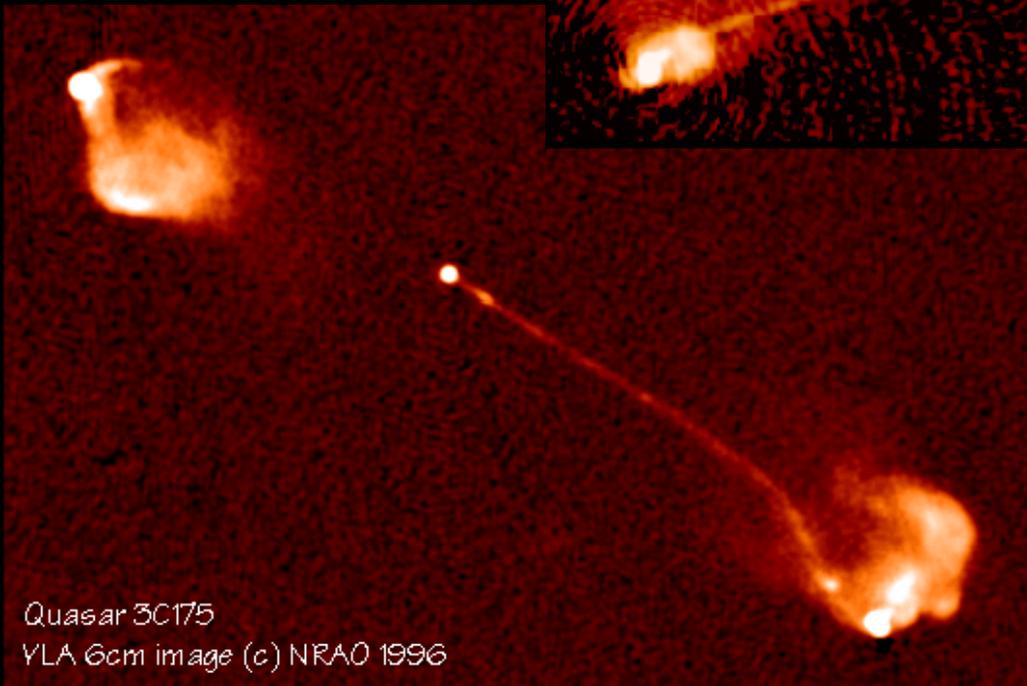


Quasar 3C204

VLA 6cm image (c) NRAO 1996

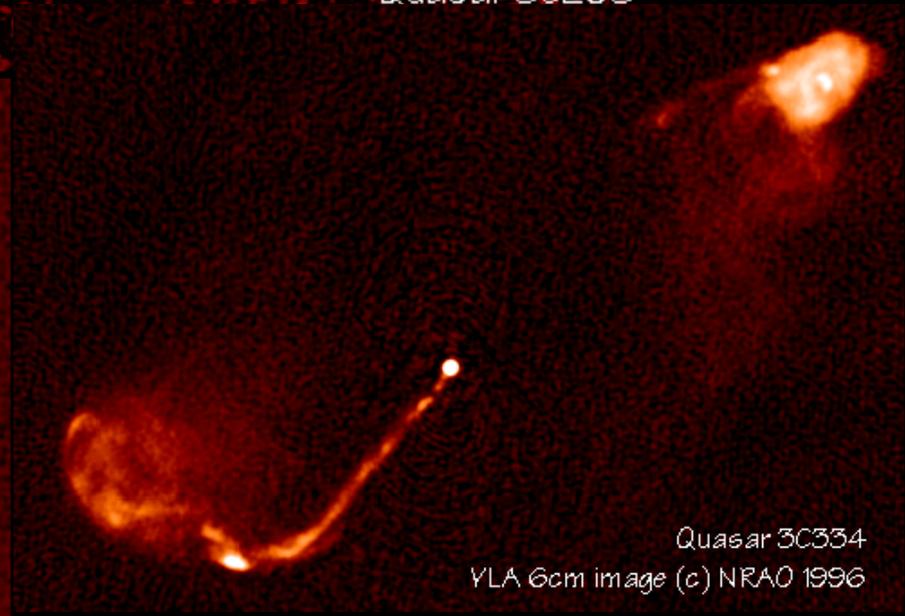


Quasar 3C265



Quasar 3C175

VLA 6cm image (c) NRAO 1996



Quasar 3C334

VLA 6cm image (c) NRAO 1996

# Jet - Simulationen

- Basierend auf Beobachtungen: überschallschnelles Jet/Akkretions-Paradigma kann als Grundlage dienen zur Behandlung sowohl extragalaktischer Quellen (Blazare), als auch der galaktischen relativistischen Quellen, stellarer Jets und von Gamma-ray bursts
- Theorie: Numerische Techniken für die Lösung zeitabhängiger dreidimensionaler partiellen Differentialgleichungen verfeinert, größere Rechenkapazitäten, echte Labor-Experimente möglich

# Kurze Wiederholung

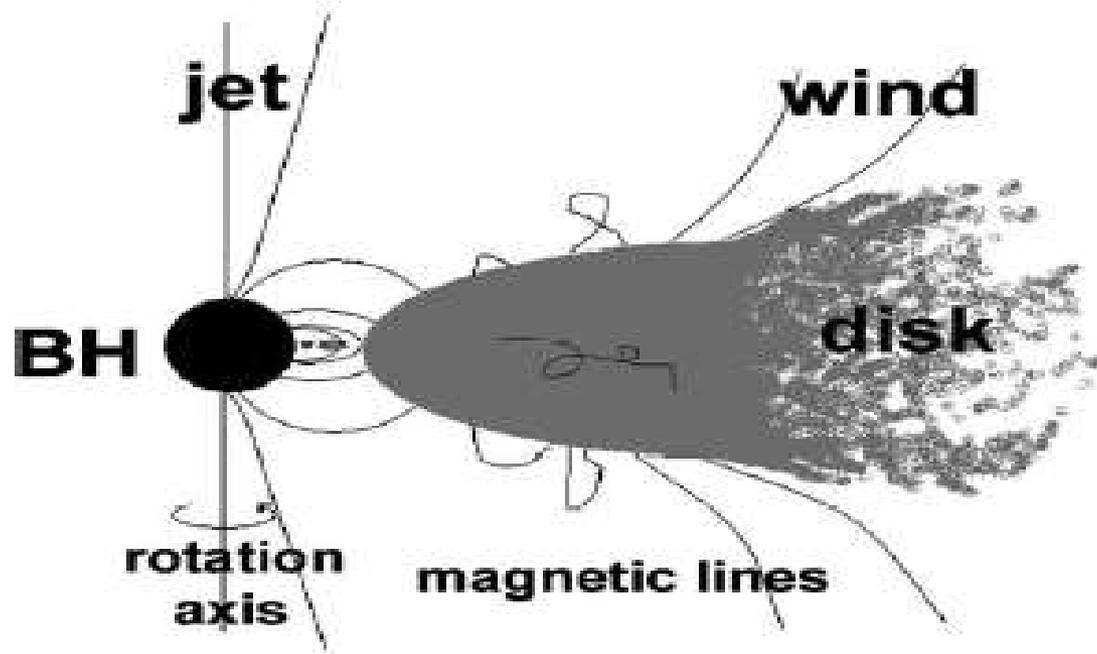
- Jets in AGN entstehen nahe massereichen Objekten ( $10^8$  Sonnenmassen).
- Jets werden in großen Entfernungen zum Ursprungsort beobachtet – erscheinen über die gesamte Strecke kollimiert
- Die Aktivität der Blazare deutet auf relativistische Ströme hin
- Akkretionsscheiben sind bisher nur in einigen Fällen detektiert – Akkretion ist allerdings der einzig mögliche Mechanismus um die benötigte Strahlungserzeugung über einen weiten Spektralbereich zu erklären
- Jet & Scheibe: wichtigste Elemente

# Kurze Wiederholung

- Jet & Scheibe => 2 Parameter: Leistung des Jets und Winkel zur Sichtlinie
  - Starke Jets: räumen große Regionen um den zentralen Kern, Scheiben ermöglichen größere Öffnungsschacht, Scheibenemission geringer, Großteil der AGN Energie wird in großen Entfernungen von der zentralen Quellen abgegeben
  - Schwache Jets: schmaler Öffnungsschacht in der Scheibe, Großteil der Energie wird in der Nähe des Kerns abgeführt, Scheibe ist leuchtkräftiger und blockiert den direkten Blick auf den Kern selber
- SIMULATIONEN: Entstehung der Jets, Bestimmung ihrer Leistung und Energie Dissipation in verschiedenen Entfernungen vom Kern

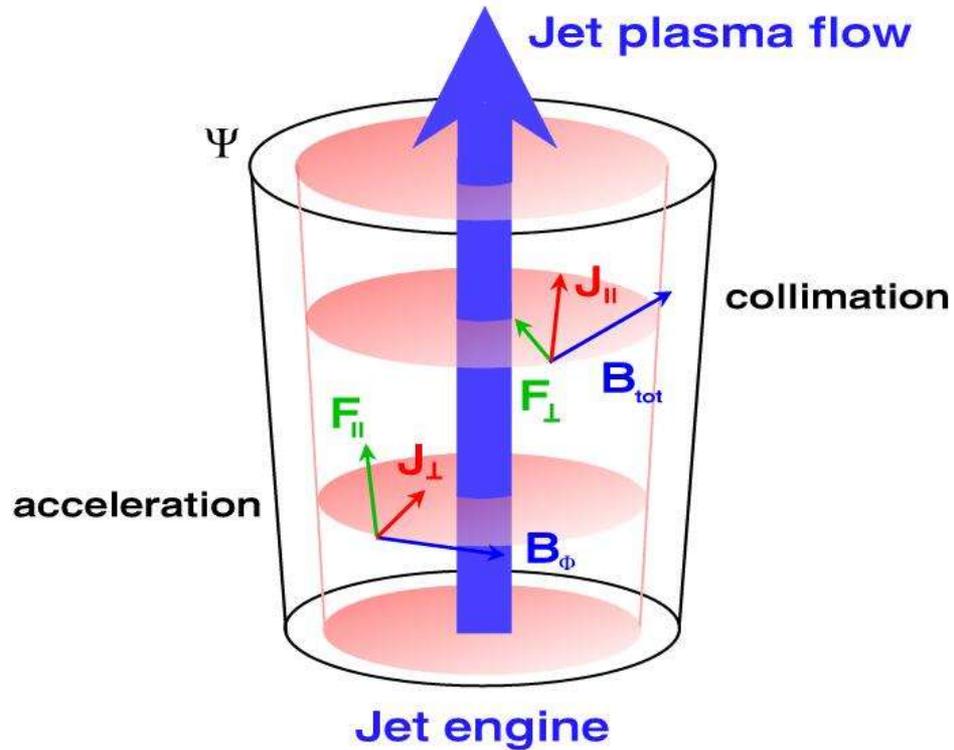
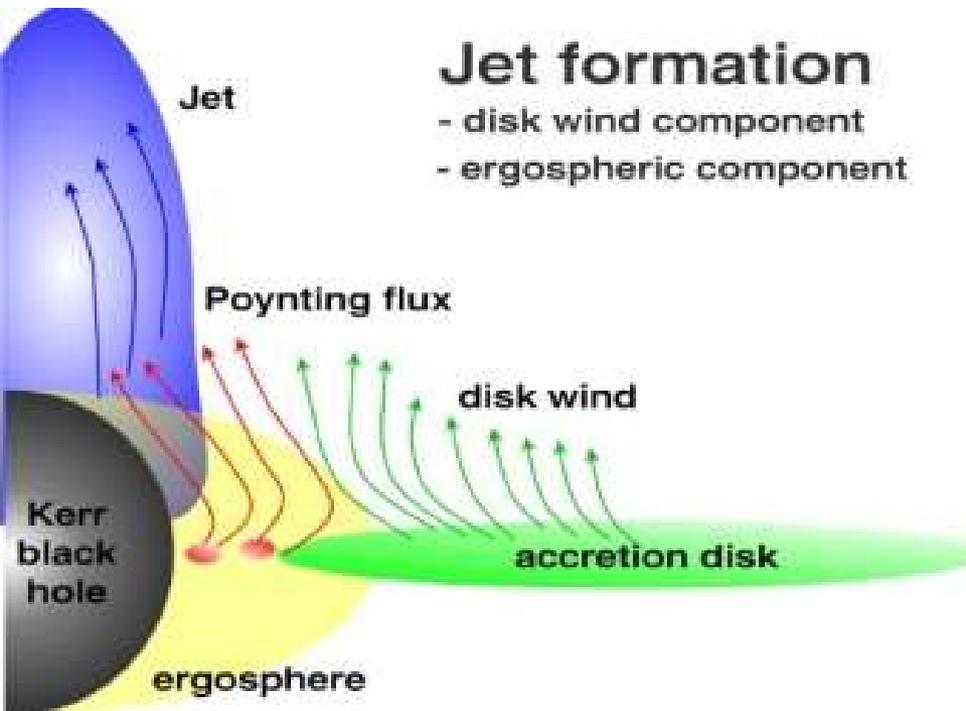
# Jet-Simulationen: Die Zutaten

## AGN JET MODELING: SETTING THE STAGE



*Figure 1.* The jet-disk scenario.

# Bildung der Jets



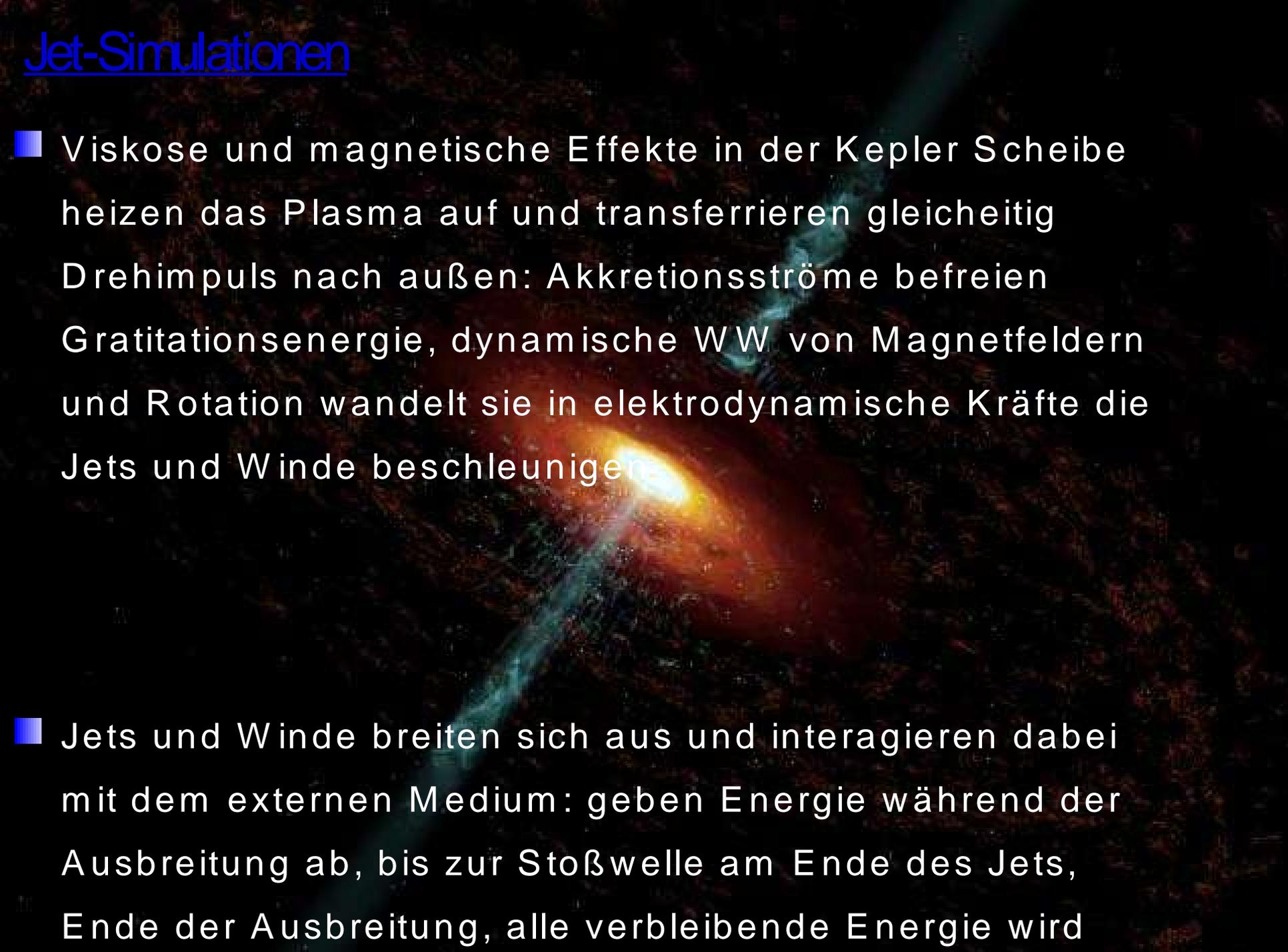
**J** current density

$\Psi$  magnetic flux surface

**B** magnetic field

**F** Lorentz force

## Jet-Simulationen

- 
- Viskose und magnetische Effekte in der Kepler Scheibe heizen das Plasma auf und transferieren gleichzeitig Drehimpuls nach außen: Akkretionsströme befreien Gravitationsenergie, dynamische WW von Magnetfeldern und Rotation wandelt sie in elektrodynamische Kräfte die Jets und Winde beschleunigen.
  - Jets und Winde breiten sich aus und interagieren dabei mit dem externen Medium: geben Energie während der Ausbreitung ab, bis zur Stoßwelle am Ende des Jets, Ende der Ausbreitung, alle verbleibende Energie wird

## Jet-Simulationen

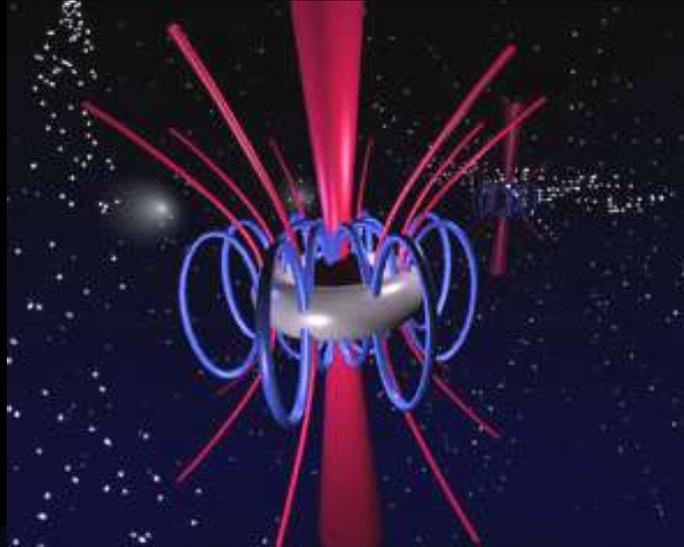
- Aufgabe der Jet-Simulationen: Konsistenz und Stabilität des skizzierten Szenarios zu testen, insbesondere, der detaillierten physikalischen WW der verschiedenen Elemente
- Problem: Komplexität des makroskopischen Problems + die mikrophysik involviert ist kaum bekannt: Viskosität, Widerstand, Ladungsverteilung, Ströme, etc.

Wahrscheinlich: Ströme haben große Reynolds Zahl und sind ladungsneutral

- Zusammensetzung der Ströme: Elektron-Proton, Elektron-Positron Plasma + Poynting Fluß aus dem Magnetfeld

# Wie werden Jets erzeugt?

# Die Verbindung zwischen Jet und Schwarzen Loch : ????



# Jet-Entstehung (Launching Jets)

## ■ Eigentlich nur 2 Möglichkeiten:

- 1) Elektromagnetisches Modell: Strom wird entlang der Rotationsachse gebildet
- 2) MHD-Modell: Wind wird von der Oberfläche der Akkretionsscheibe weggetrieben und kollimiert entlang eines azimuthalen Feldes

## ■ 1) Elektrodynamische Erzeugung

- Lovelace (1976) und Blandford (1976), extrahiert Gravitations- und Rotations-Energie aus der Scheibe mittels elektromagnetischer Spannungen



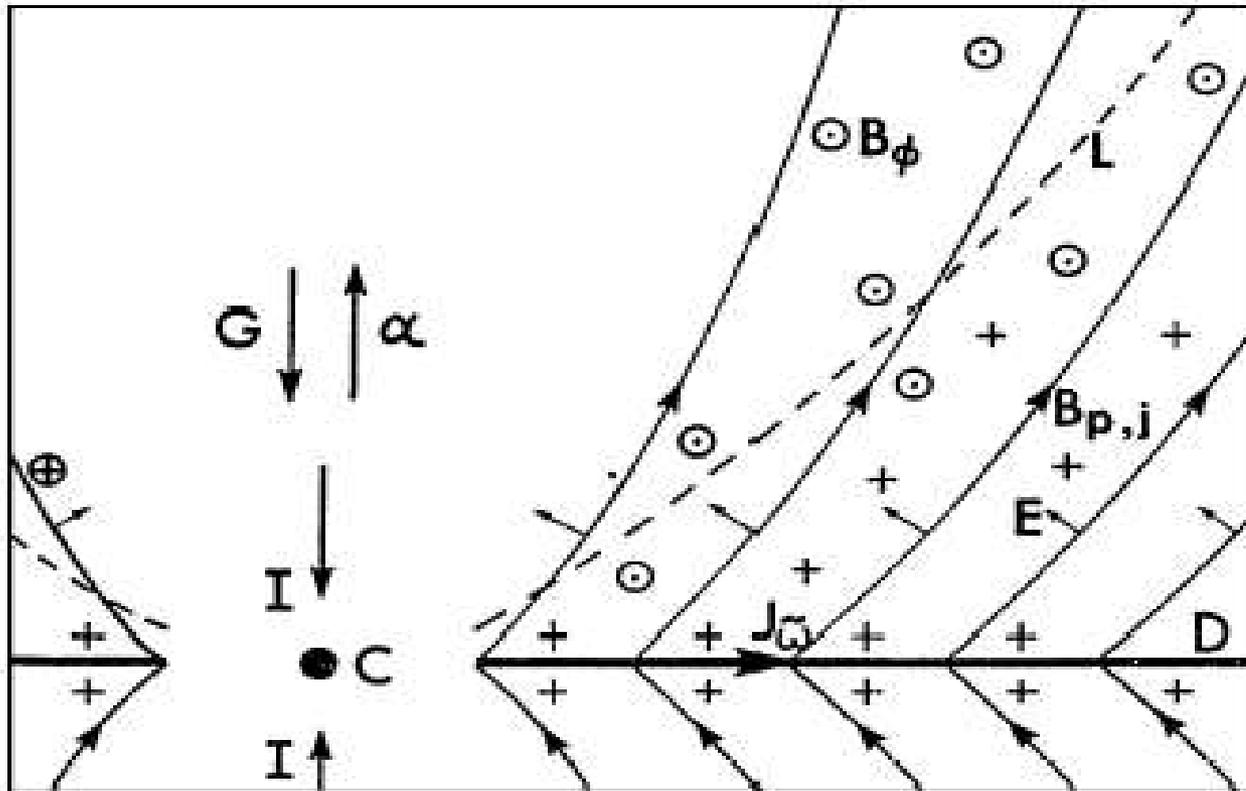


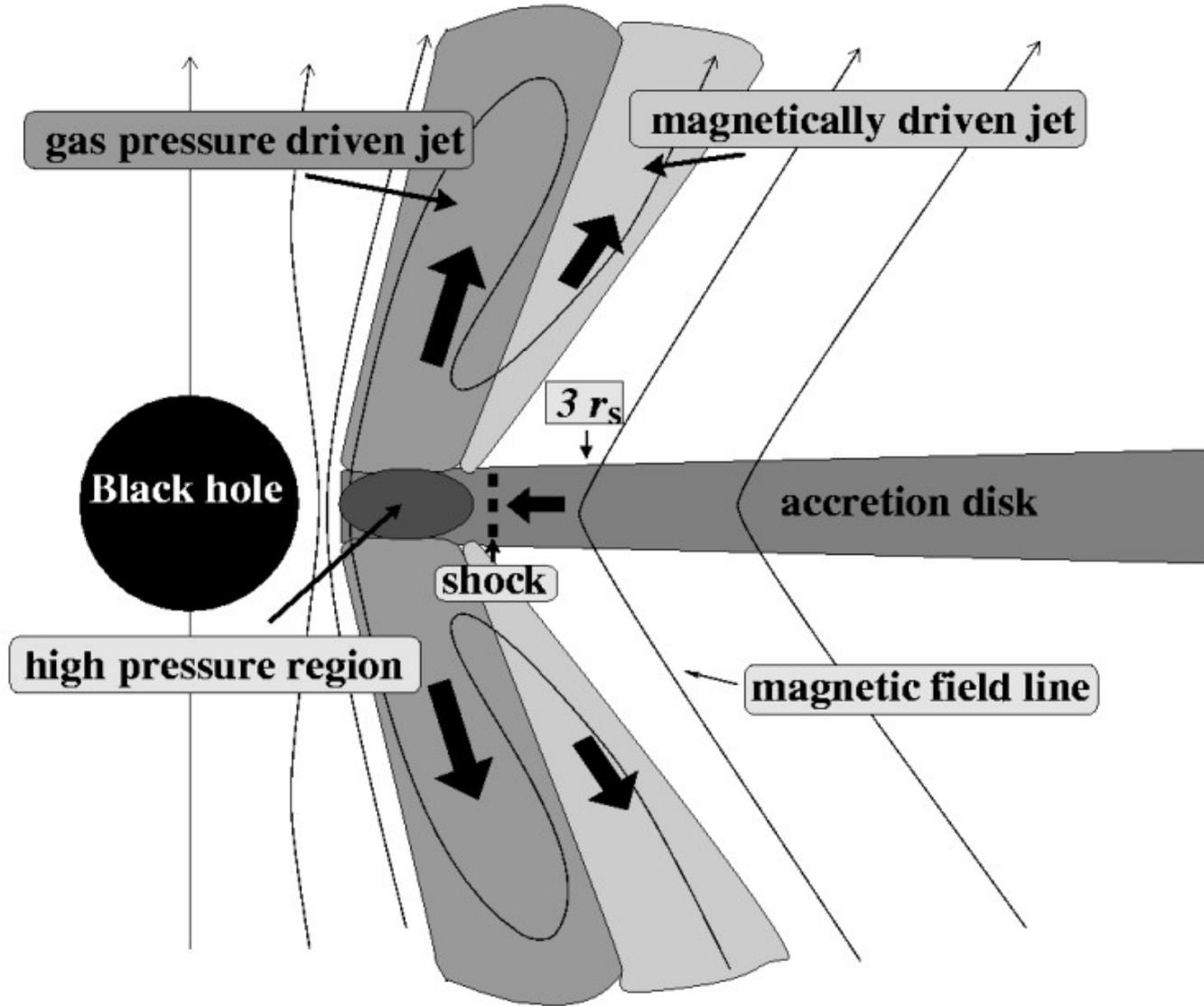
Figure 2. Electrodynamical acceleration of jets (Blandford, 1976).

- **2) Magneto hydrodynamische Jet-Produktion:**

- **Magnetfelder von entscheidender Bedeutung:**

Blandford & Payne (1982); konsistent mit Polarisationsbeobachtungen und Erklärungen für Kontinuum (Synchrotron Selbst Compton) -> noch schwieriger !! kann simultan die Erzeugung relativistischer Geschwindigkeiten, schmale Jets, etc. Erklären

- Einführung in MHD Jet Produktion: Spruit, H.C. 1996, in Evolutionary Processes in Binary Stars, eds R.A.M.J. Wijers, M.B. Davies, C.A. Tout (Dordrecht: Kluwer), S. 249
- Modelle zur Produktion der Jets: Wiita, P.J. 1991, in Beams and Jets in Astrophysics, ed. P.A. Hughes (Cambridge: CUP), S. 379
- Camenzind et al.



# Numerische Simulationen

# Numerische Simulationen

## ■ Wichtigste Parameter/Probleme:

- künstliche Viskosität (grid size)
- Turbulente Strukturen, Stoßwellen unterschiedlich von Code zu Code
- Verschiedene Zeitskalen auf denen sich dynamischen und diffusive Prozesse entwickeln
- .....

# Die Ausbreitung des Jets, das Jetende

# Die Ausbreitung des Jets

■ Wie kann der Jet stabil bleiben, obwohl sich Instabilitäten in ihm ausbreiten?

■ 2 verschiedene Ansätze:

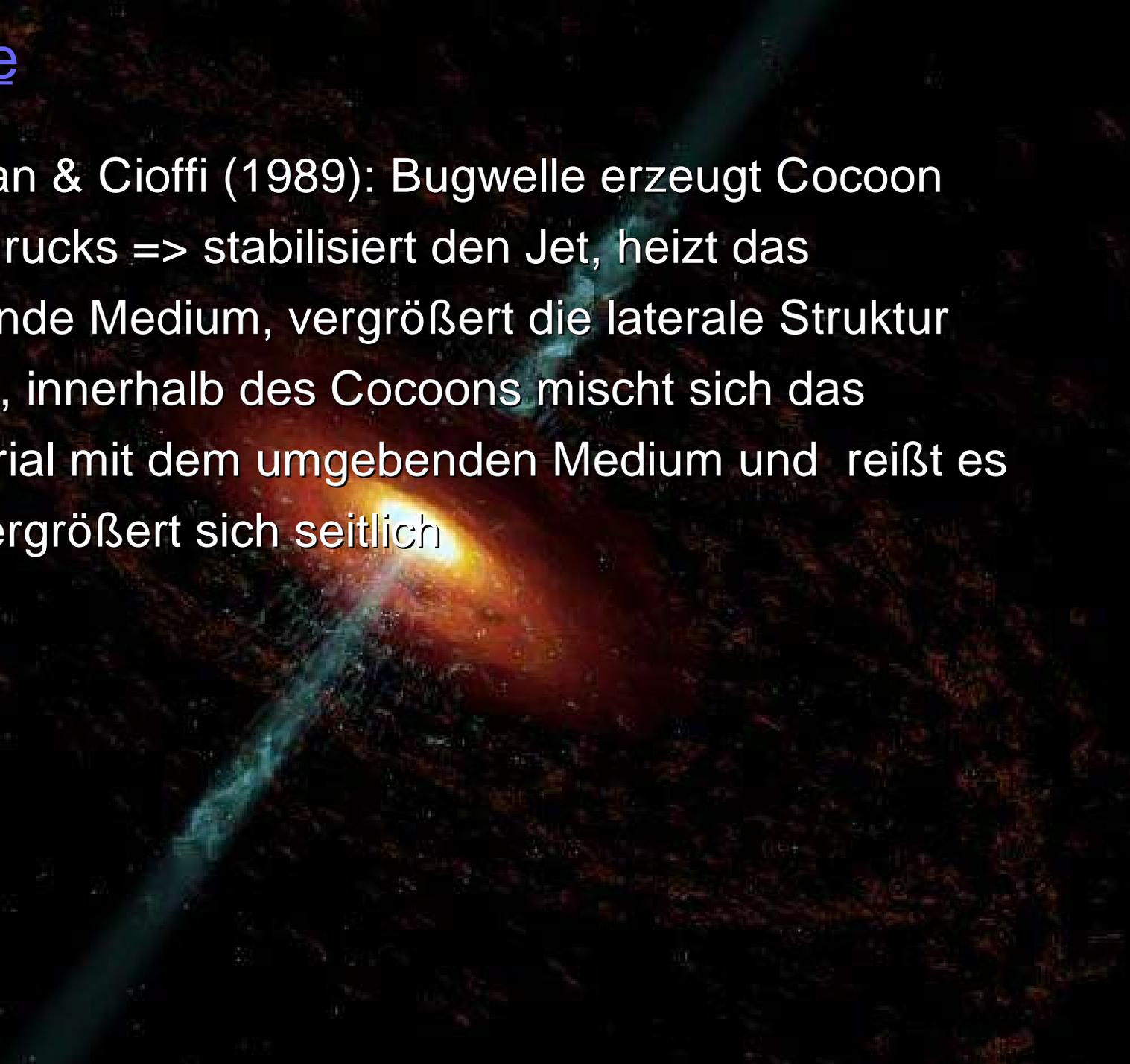
- Unendliche Jets: ermöglichen die Untersuchung der Entwicklung von lokalen Instabilitäten, Resultat: Kelvin-Helmholtz-Instabilitäten zerstören sehr schnell die Jets, Vergleichsmöglichkeiten mit beobachteten Knoten und wiggles

Endliche Jets: WW mit externem Medium kann Bedingung für self-confinement bilden, Bugwelle=> Cocoon=> Instabilitäten werden verringert

■ Beobachtung: Jets werden langsamer zwischen Beschleunigungsphase und großskaliger Struktur, numerische Simulationen zeigen normalerweise keine Abbremsung

## Das Jet-Ende

- Begelman & Cioffi (1989): Bugwelle erzeugt Cocoon hohen Drucks => stabilisiert den Jet, heizt das umgebende Medium, vergrößert die laterale Struktur des Jets, innerhalb des Cocoons mischt sich das Jetmaterial mit dem umgebenden Medium und reißt es mit -> vergrößert sich seitlich



Flußdichte-Variabilität:

Verschiedene Formen, entlang des elektromagnetischen  
Spektrums

# Literature

## ■ Articles:

- *Parsec-Scale Jets in Extragalactic Radio Sources*, J.A. Zensus, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1997. 35: 607-36
- *Intraday Variability in Quasars and BL Lac Objects*, Wagner, S.J. & Witzel, A., *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1995. 33: 163
- *Variability of Active Galactic Nuclei*, M.-H. Ulrich, L. Maraschi, C.M. Urry, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1997. 35: 445-502
- *Homepage A. Müller*, <http://www.lsw.uni-heidelberg.de/users/amueller/>

# Variabilität - Optisch

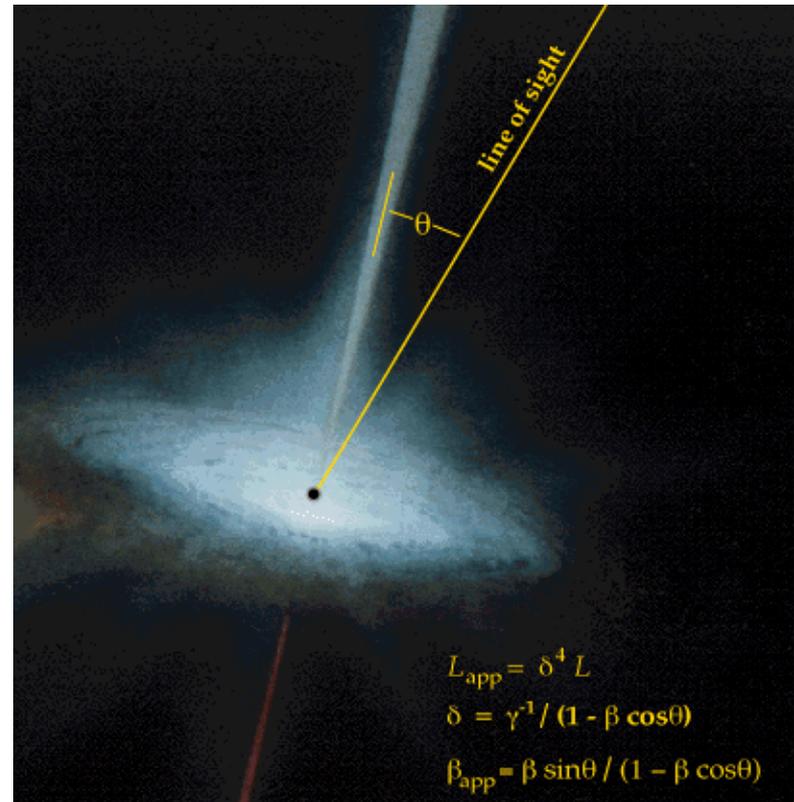
- Eine der ersten Beobachtungen von Quasaren überhaupt: optische Strahlung ist variabel (Zeitskala  $< 1$  Jahr)
- Ashbrook (1942): Variabilität auf Zeitskalen von einem Tag BL Lac
- Matthews & Sandage (1963) berechnen die Größen der Regionen  $\rightarrow$  kleiner als 1 Lichtwoche  $\rightarrow$  hohe Energiedichten  $\rightarrow$  kann nicht stellaren Ursprungs sein !!!  
Synchrotron Strahlung
- "intraday variations" in 3C279

# Variabilität - Radio

- Sholomitskii (1965) und Dent (1965) finden Intensitäts Variationen in extragalaktischen Objekten
- Hoyle et al. (1966): Variabilität impliziert hohe Photonendichten -> Compton Streuung relativistischer Elektronen an Photonen sollte zu katastrophaler Kühlung und hohen (nicht beobachteten) Röntgenflüssen führen

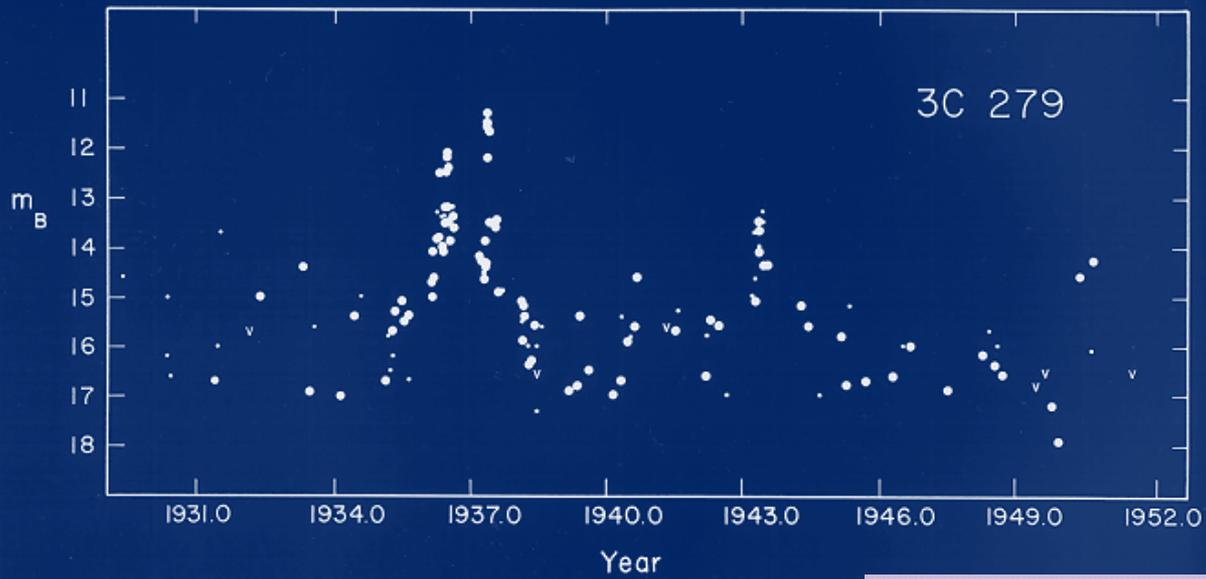
# Variabilität – Problem mit der Strahlungstemperatur!

- Ausweg aus dem Dilemma: nach Rees (1966) kann die relativistische Verstärkung anisotrope Emission verursachen, resultierender Doppler factor  $D$  reduziert die beobachtete Strahlungstemperatur um einen Faktor  $D^{-3}$
- => *Vorhersage scheinbar überlichtschneller Bewegungen! VLBI Beobachtungen: kompakte Regionen weisen relativistische Bewegungen auf*
- *Löst auch Problem der niedrigen Röntgenflüsse und hohen Gamma-Strahlung; aber: Radio IDV BENÖTIGT  $D=60-70$  um die beobachteten Strahlungstemperaturen zu erklären => scheinbare Geschw. zu langsam*

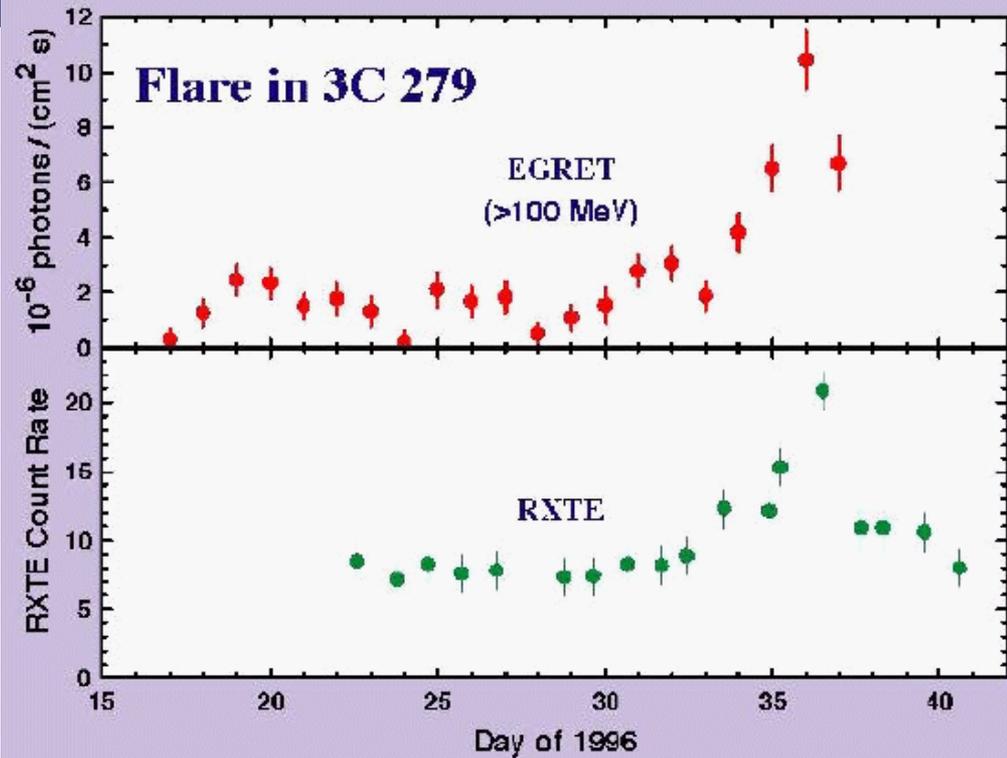


# Flußdichte-Variabilität

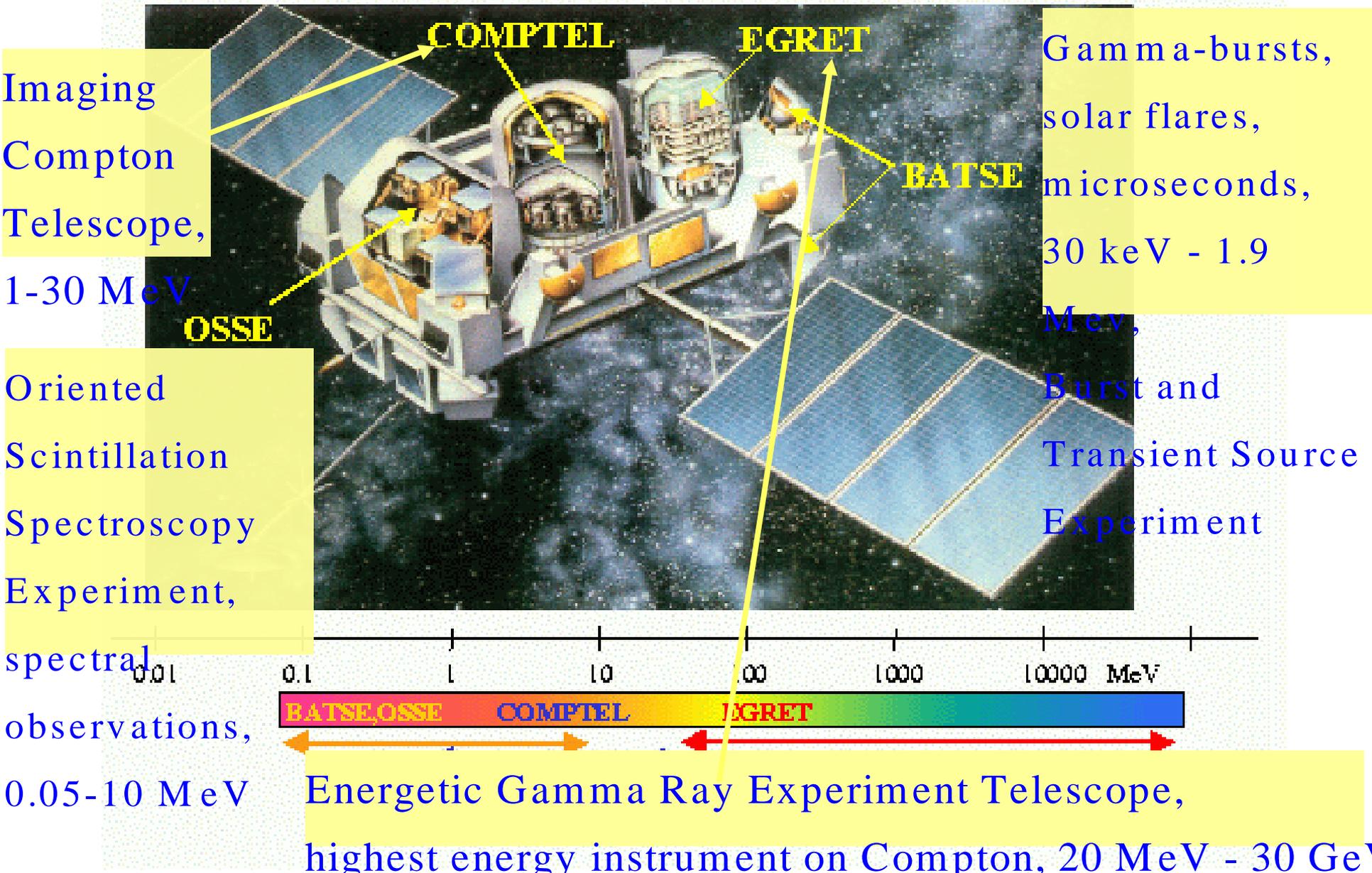
- Blazare weisen schnellste und höchste Amplituden der Variabilität auf
- Extreme Variabilität + schwache spektrale Linien=Kontinuum emittiert von einem relativistischen Jet unter gerigem Winkel zur Sichtlinie, Strahlung ist sehr stark verstärkt durch radiation *relativistic beaming* (Blandford & Rees 1978); Nachgewiesen in VLBI Beobachtungen: scheinbare überlichtschnelle Bewegungen sind die Regel!!



Historische Beobachtungen!  
 Harvard Survey plates, Eachus & Liller



# Compton Gamma-Ray Observatory (1991-2000)



Imaging  
Compton  
Telescope,  
1-30 MeV

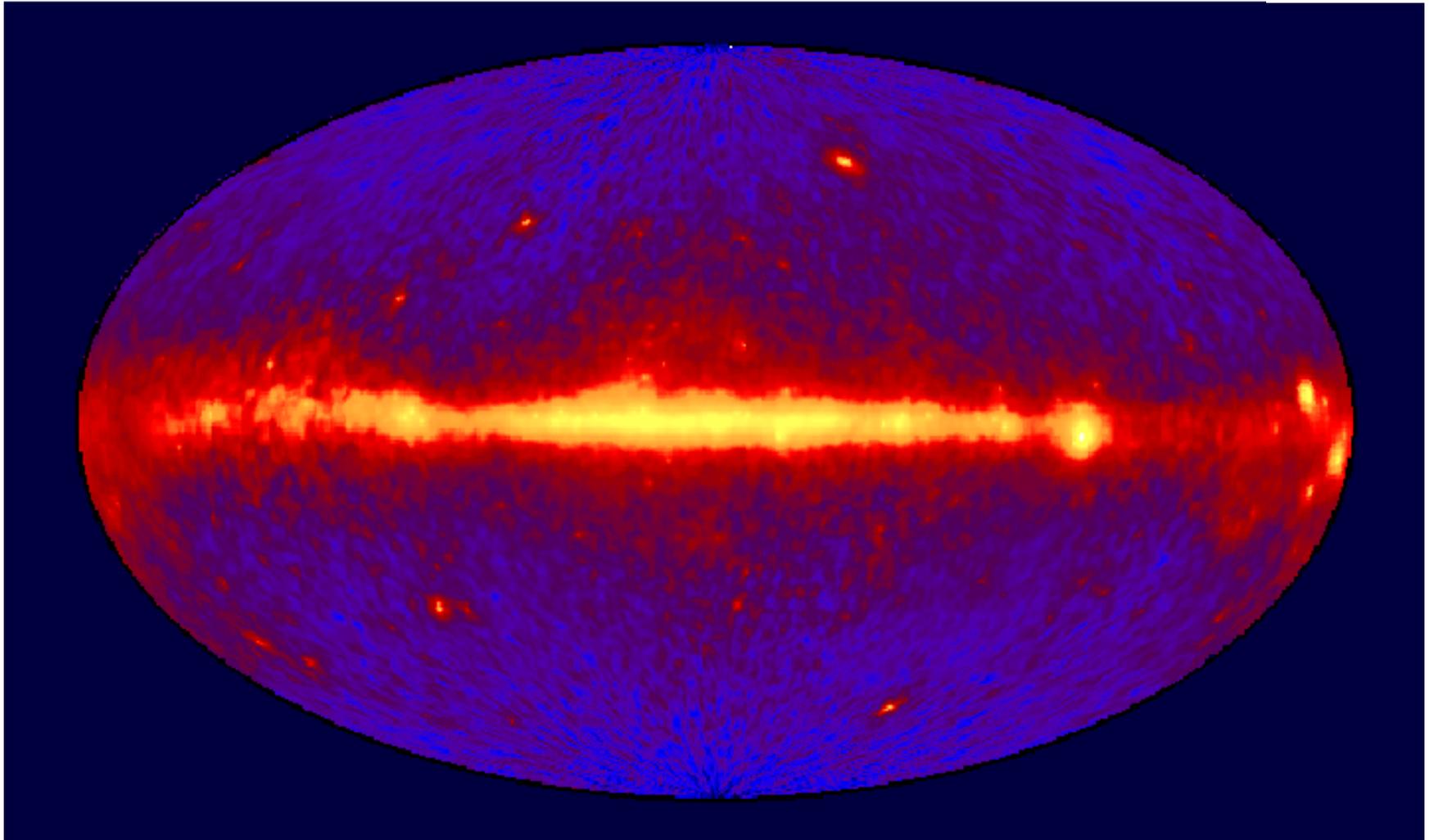
Oriented  
Scintillation  
Spectroscopy  
Experiment,  
spectral

observations,  
0.05-10 MeV

Energetic Gamma Ray Experiment Telescope,  
highest energy instrument on Compton, 20 MeV - 30 GeV

Gamma-bursts,  
solar flares,  
microseconds,  
30 keV - 1.9  
MeV,  
Burst and  
Transient Source  
Experiment

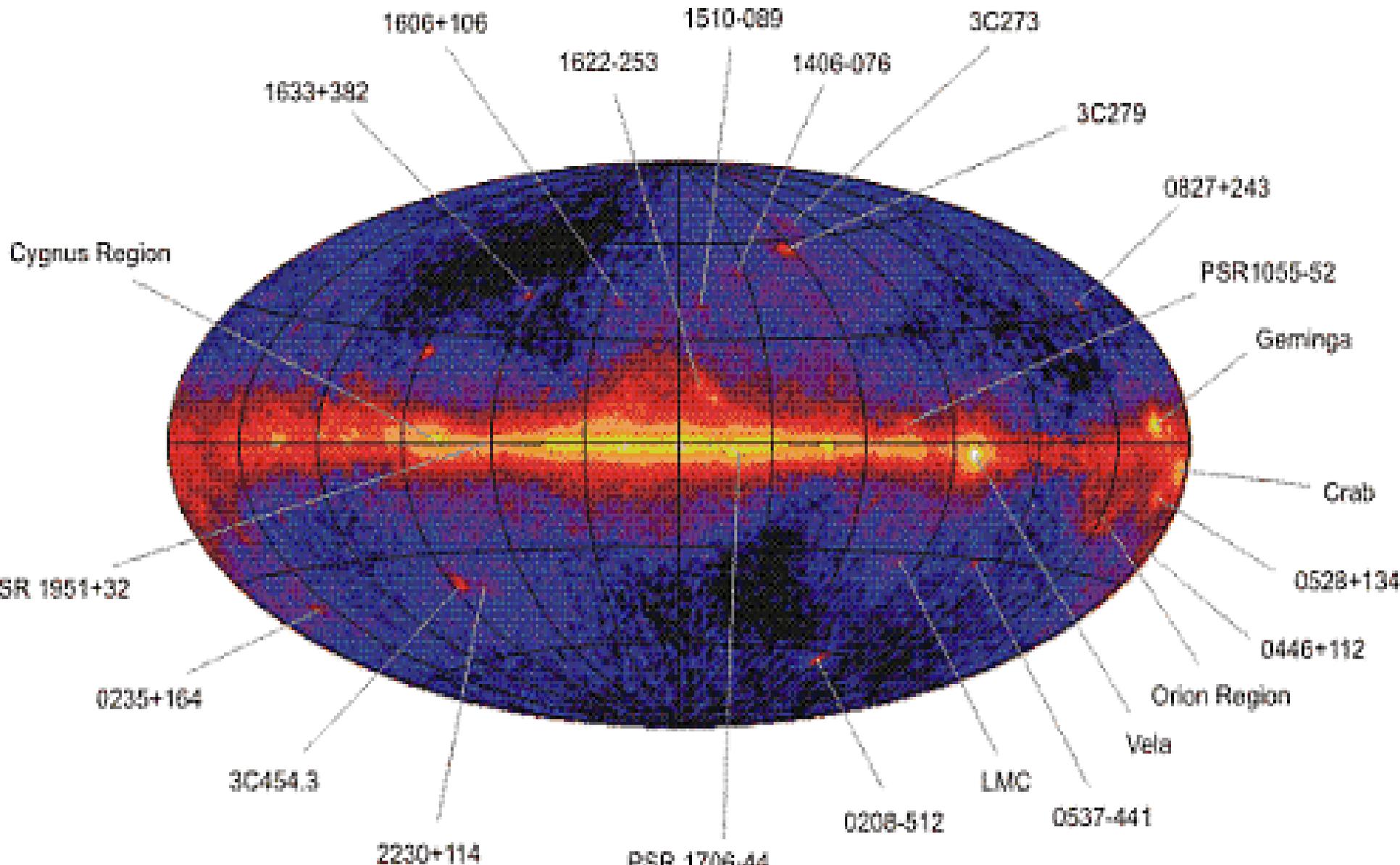
## EGRET All-Sky Gamma Ray Survey Above 100 MeV

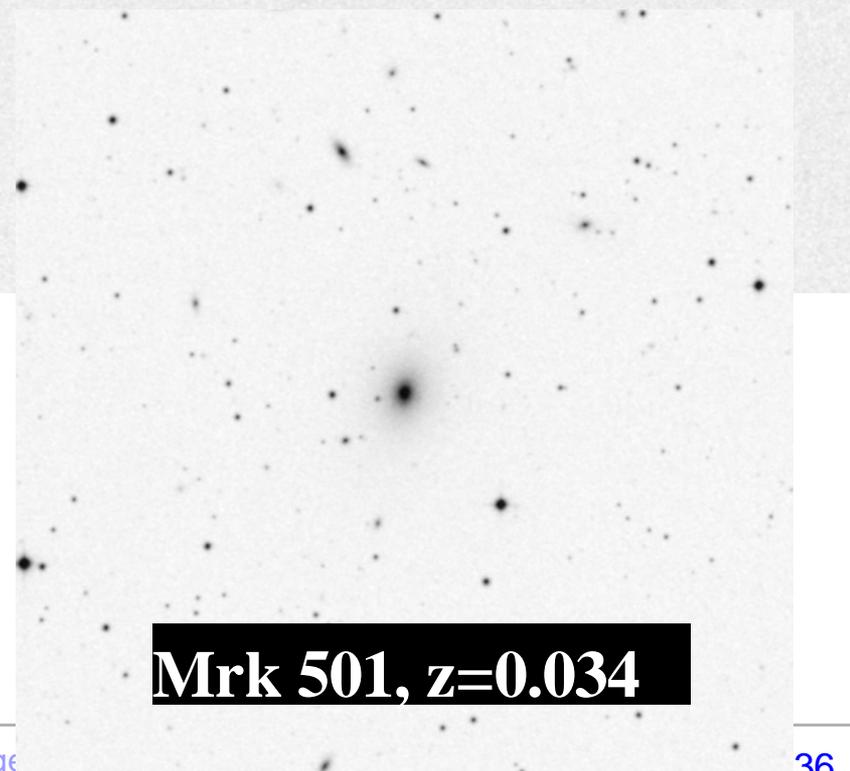
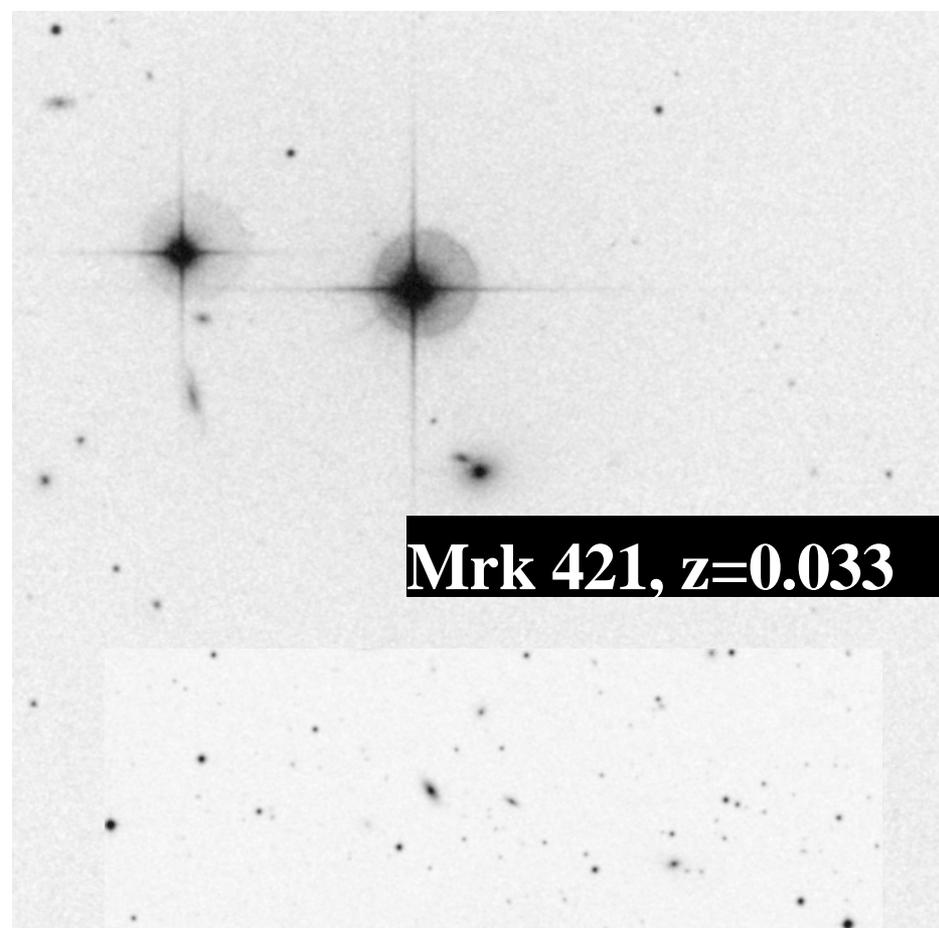
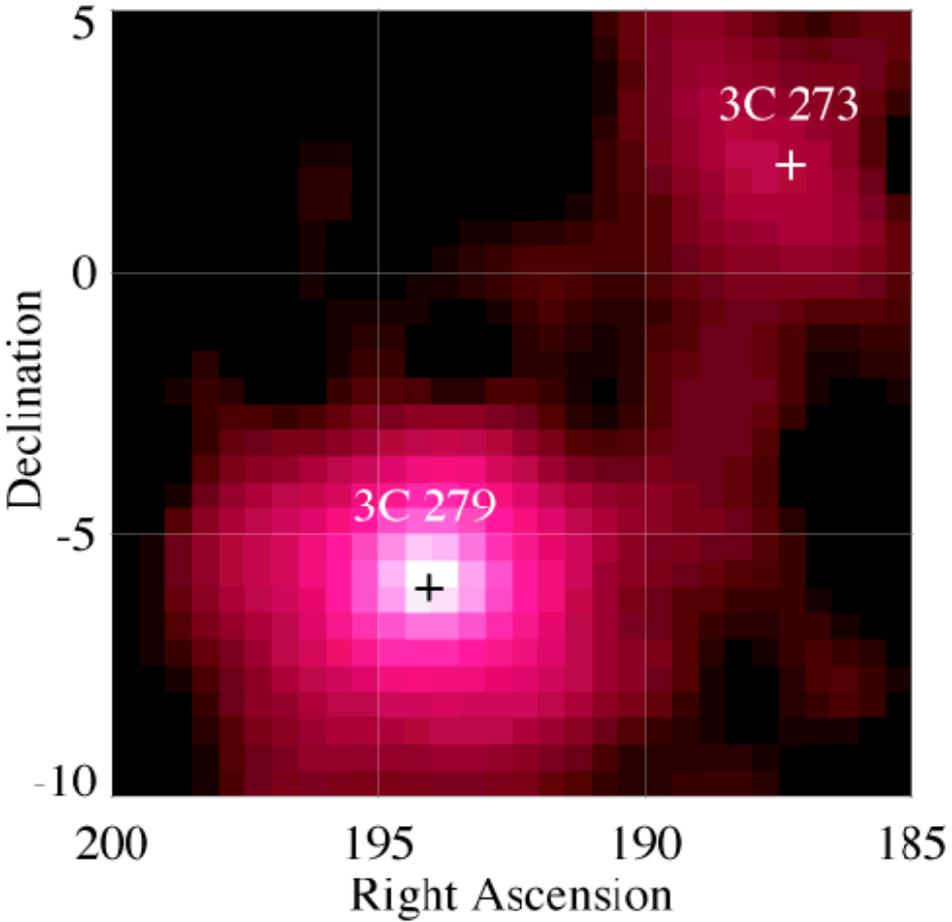


# EGRET

Skymap  $E > 100$  MeV

Phase 1 - 4





# INTEGRAL: Den Gamma-Strahlungs Hintergrund auflösen



hochenergetische Gammas

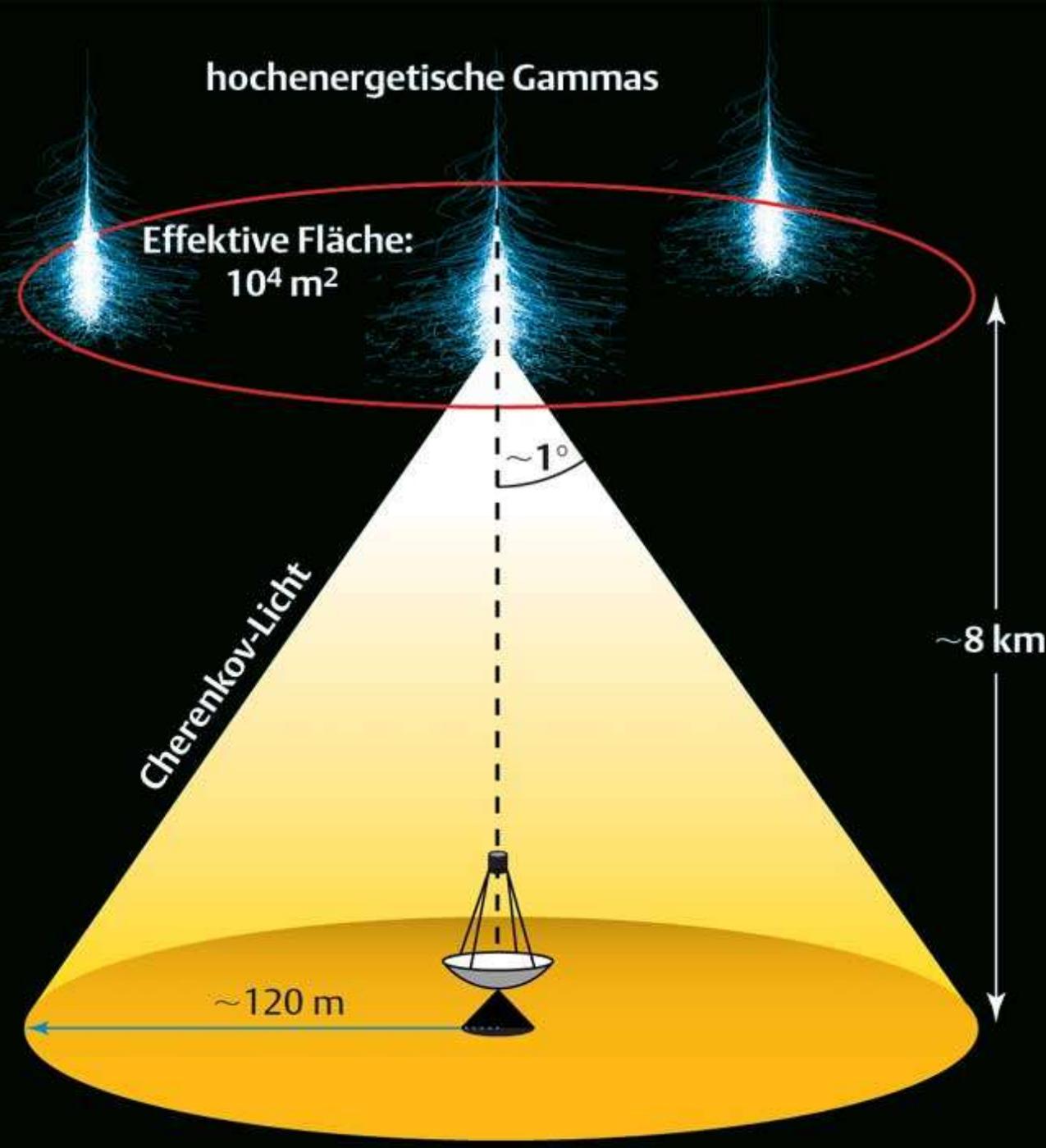
Effektive Fläche:  
 $10^4 \text{ m}^2$

$\sim 1^\circ$

Cherenkov-Licht

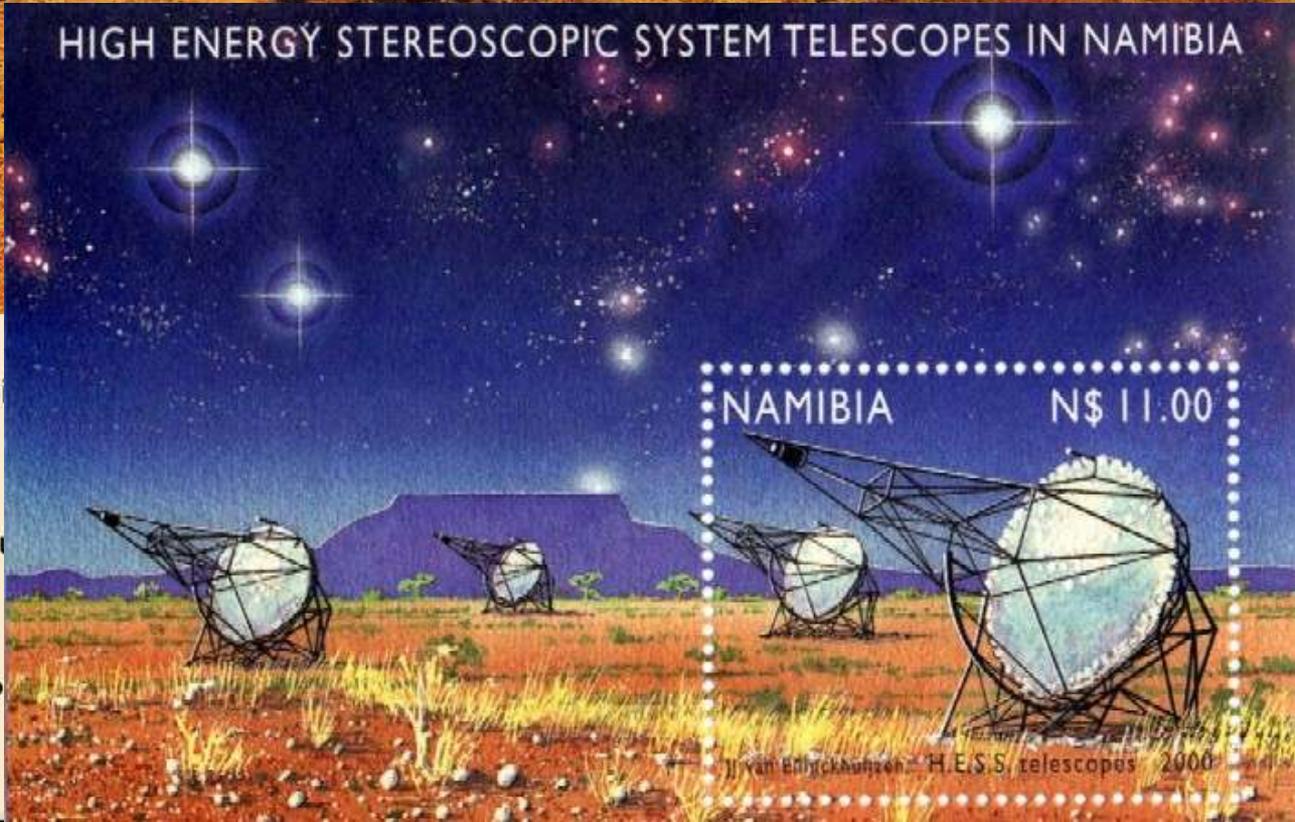
$\sim 8 \text{ km}$

$\sim 120 \text{ m}$





## HIGH ENERGY STEREOSCOPIC SYSTEM TELESCOPES IN NAMIBIA



NAMIBIA

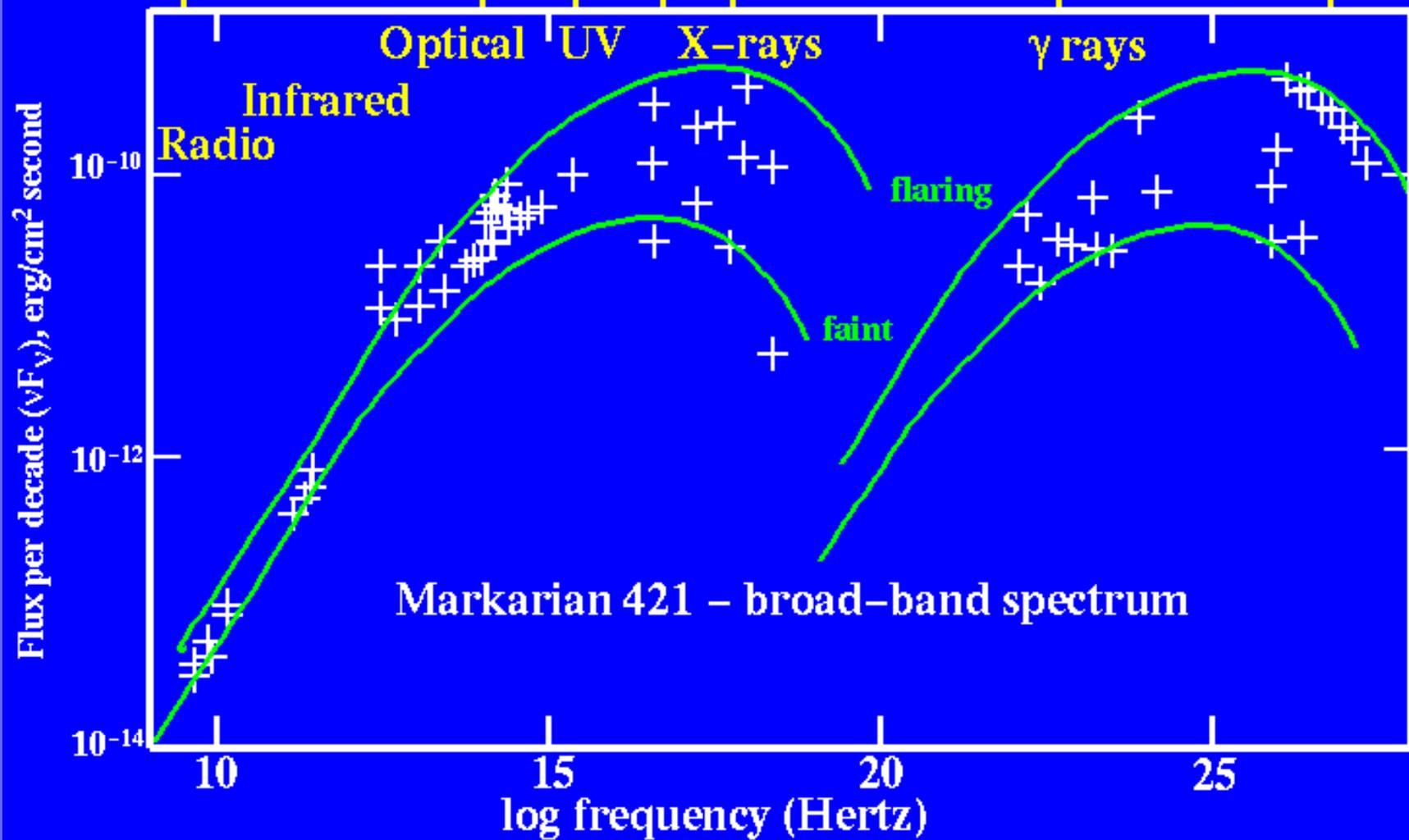
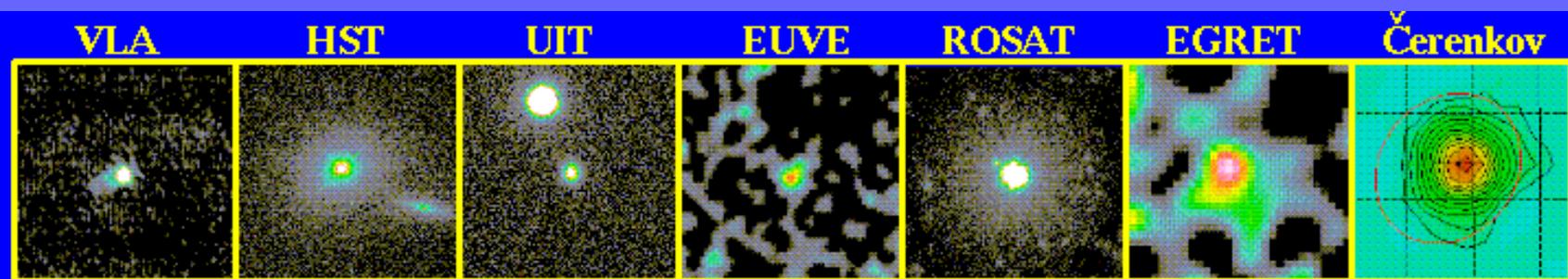
N\$ 11.00

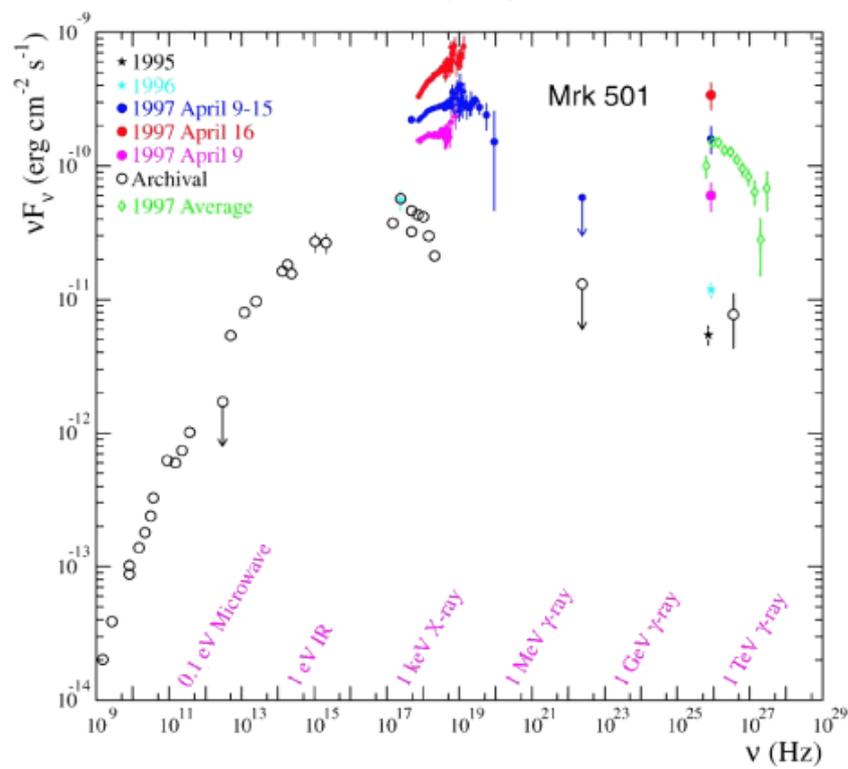
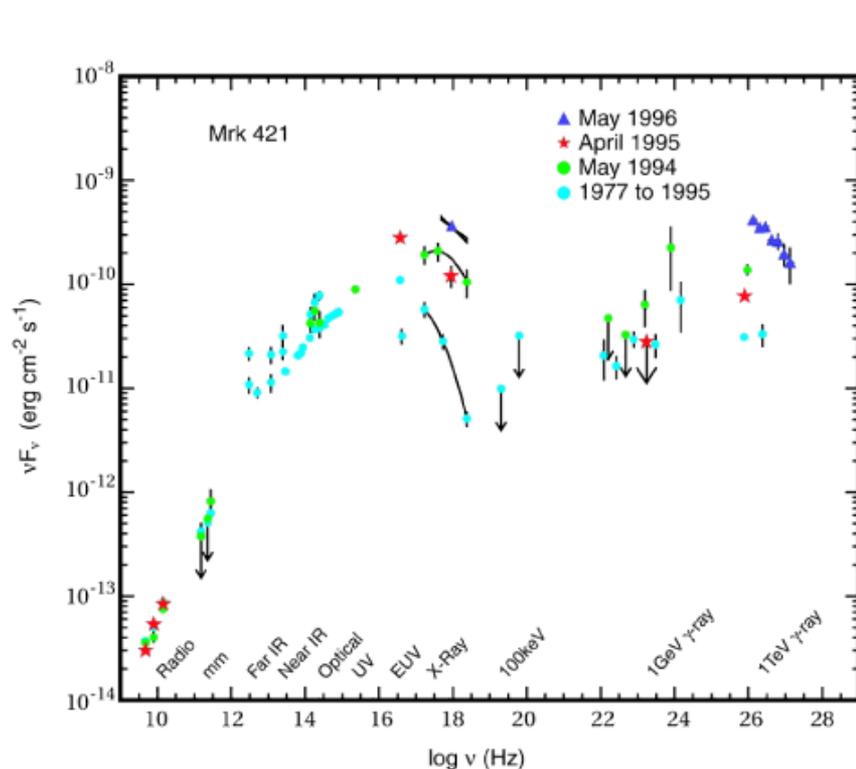
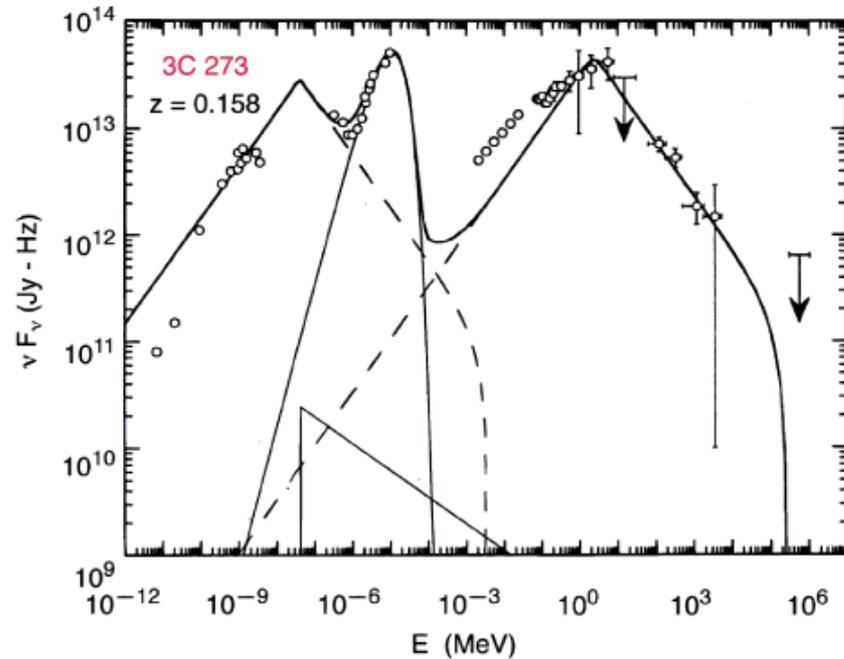
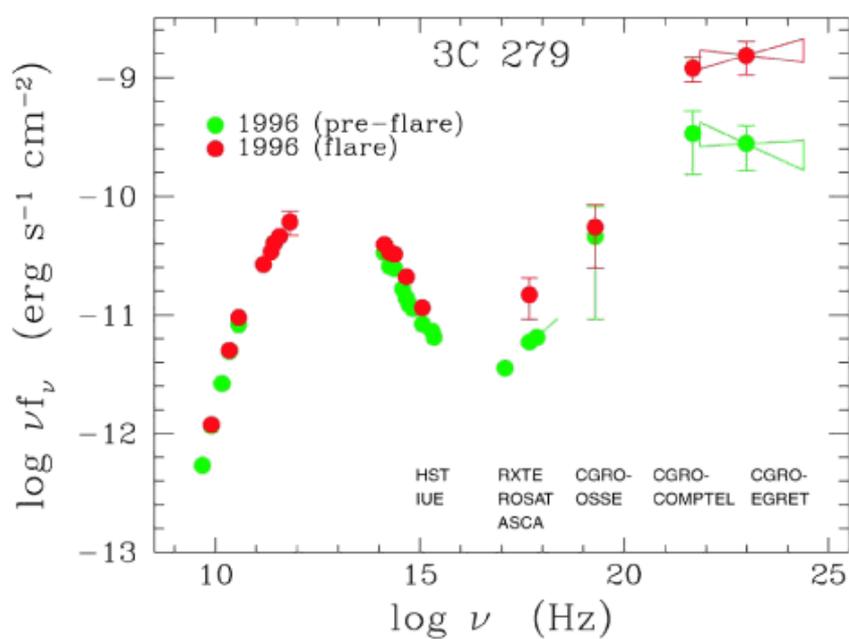
J. van Blijckhuizen - H.E.S.S. telescopes - 2000

# Gamma-ray Variability

- Viele Blazare (66 EGRET, Hartman et al.) emittieren eine enorm große Strahlungsleistung in schnell variablen GeV Gamma Strahlung (2. Peak in der spektralen Energieverteilung)
- Alle stark variabel auf einer Zeitskala von Monaten, Tagen oder sogar kürzeren Zeitskalen
- 1) müssen relativistisch verstärkt sein
- 2) die mittlere abgestrahlte Leistung im Gamma-Bereich ist vergleichbar der insgesamt abgestrahlten Leistung
- 3) vermutlicher Ursprung: Compton Streuung von niederenergetischen Photonen durch dieselben relativistischen Elektronen, die die niederfrequente Komponente erzeugen

**Die meisten Blazare variieren substantiell auf sehr kurzen Zeitskalen (Stunden bis Tage)  
Vom Optischen bis zum Gamma-Bereich**





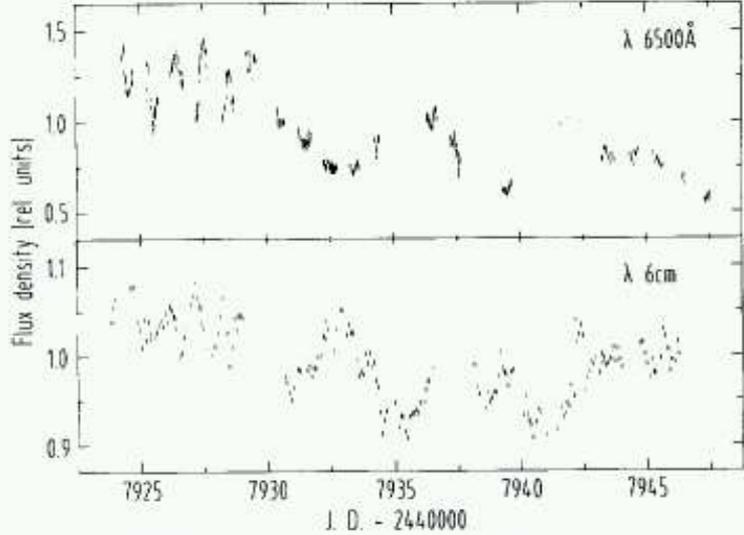
# Flußdichte-Variabilität

## ■ Radio-laute AGN, Kontinuum Variabilität

- Variabilitätsstudien sind von besonderer Bedeutung, da sie Regionen auflösen (Kernnähe), die nicht mal den existierenden Interferometern zugänglich sind
- **Wichtig: Zeitskalen, spektrale Änderungen, Korrelationen und Verzögerungen zwischen den Variationen** in verschiedener Komponenten => wichtige Informationen über die Natur und den Ort der Erzeugung der verschiedenen Strahlungskomponenten und der WW zwischen ihnen

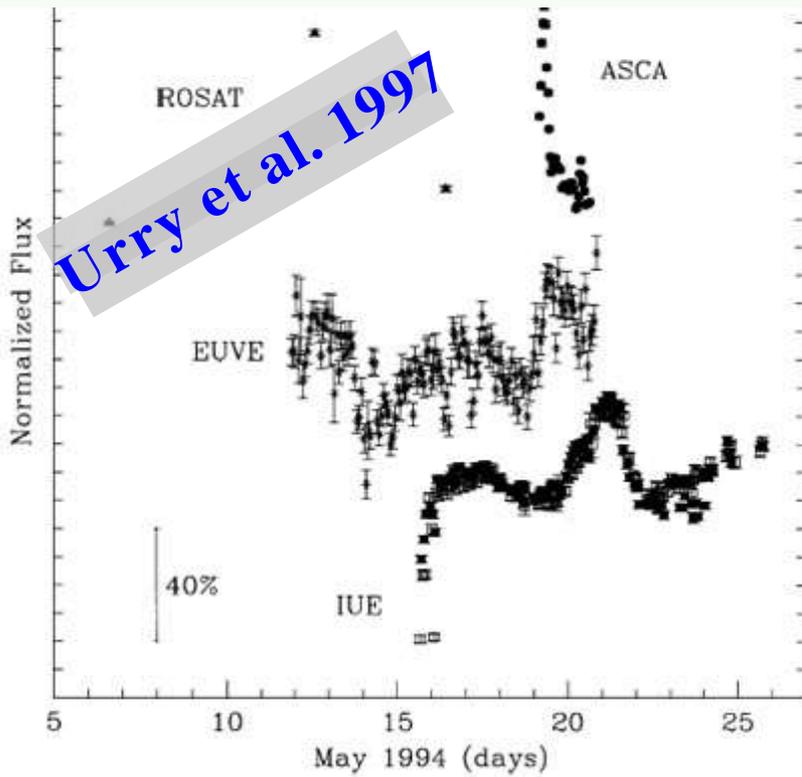
# Variabilität

- optical/radio correlation in 0716+714 (Wagner & Witzel 1995)
- optical/UV PKS 2155-304 (Edelson et al. 1991)
- UV/X-ray: PKS 2155-304 (Brinkmann et al. 1994)
- optical/Gamma: PKS 1406-076 (Wagner et al. 1995)



Quirrenbach et al., 1991, ApJ 372, 71

Fig. 3.—Optical (top) and radio (bottom) light curves of the BL Lac object PKS 1406-076. The optical flux density is normalized to the mean value as set to 1, and fractional deviations from the mean are plotted on the y-axis.



Urry et al. 1997

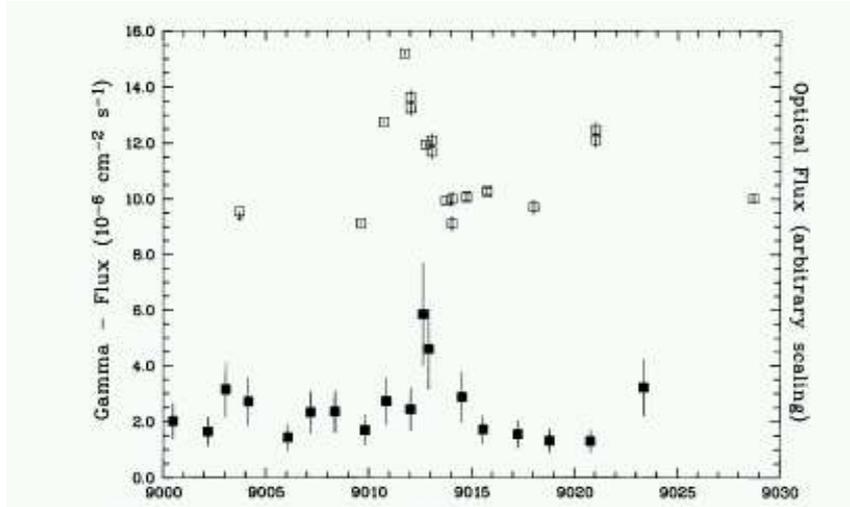


FIG. 4.—Comparison of differential light curves in the optical and gamma-ray regimes. Here the gamma-ray data are shown with a grouping of 10 counts each. The optical intensity (open symbols) has an arbitrary scaling.

Wagner et al. 1995, ApJ 454, L97

# Multiwavelength studies

## ■ RADIO-OPTICAL:

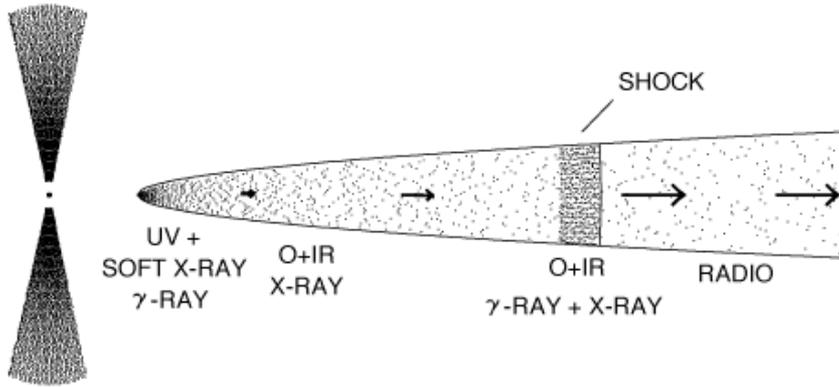
- Optische Emission ist schwach korreliert mit der Radio Emissionoptical (ca. 1 Jahr zwischen den Komponenten); Ausbrüche breiten sich typischerweise von kurzen zu langen Wellenlängen hin aus: IR-optischen Strahlung, bei sub-mm und cm-Wellenlängen: physikalisch verknüpft : sich ausbreitende Stoßwelle, adiabatische Expansion
- Auf sehr kurzen Zeitskalen (intraday; IDV): Radio & optische Variabilität korreliert (ohne Verzögerung) für nur eine einzige Quelle (bisher) (0716+714)

## ■ mm-X ray:

- Korrelation
- X-rays korrelieren mit hochfrequentem Radiofluß

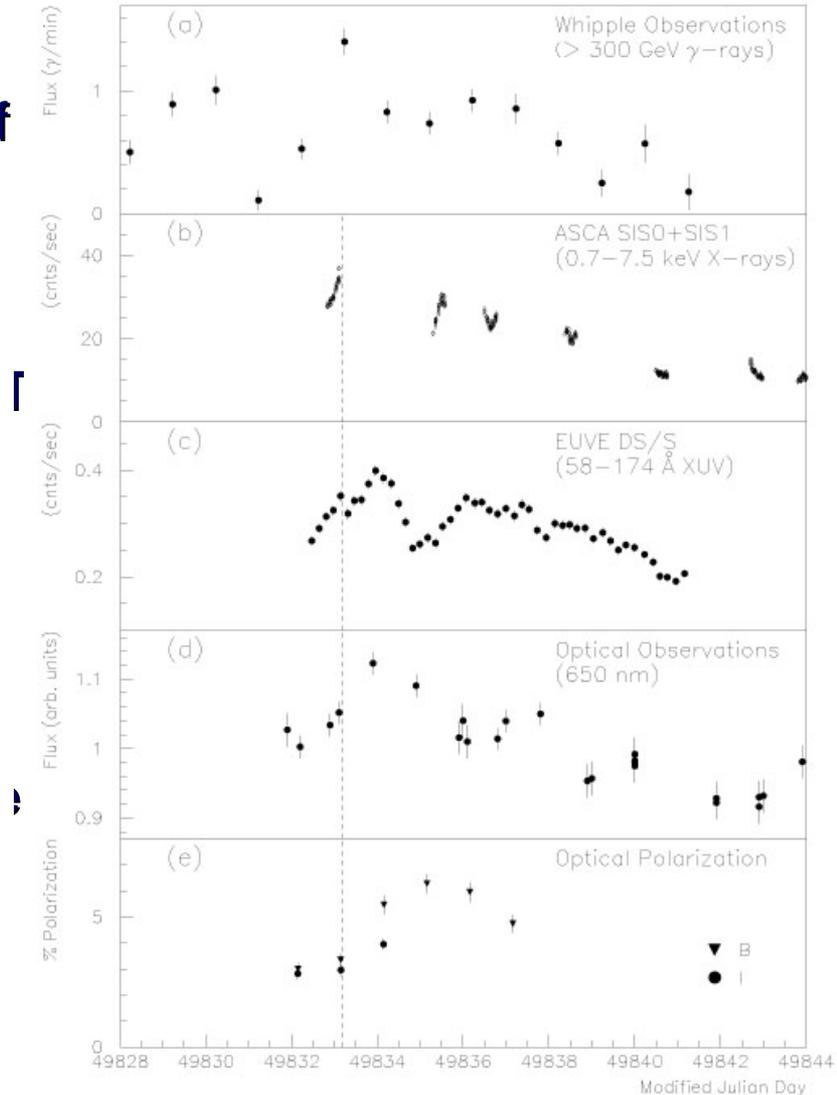
## ■ OPTICAL-GAMMA ray:

- Optische-UV Flüsse korrelieren mit Gamma-Fluß



es of

- bildet sich ein Schock, sieht man zunächst die Röntgen-Emission, dann Anstieg im mm-submm Teil des Spektrums, und letztlich einen Abfall bei der submm-Radio-Emission
- Gamma-Strahlung durch Invers-Compton Streuung an Elektronen im Jet:
  - in-Jet Szenario: Synchrotron-Selbst-Compton (SSC)
  - externes Jet Szenario: Photonen aus der Umgebung (Akkretionsscheibe)

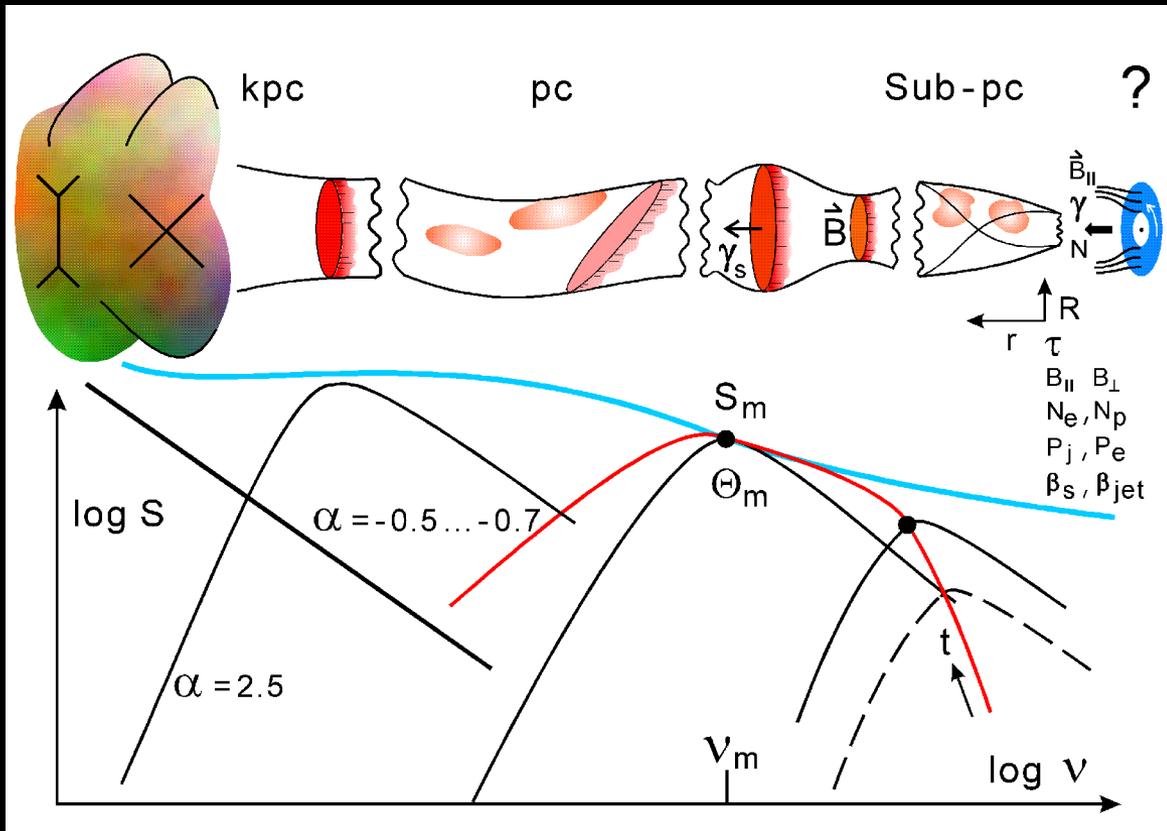


# Die Beziehung zwischen Variabilität und Komponentenausstößen

in blazars, broad-band flux-density outbursts and the appearance of new jet components are closely linked.

at short (mm-) wavelengths, the flares appear most pronounced and the new jet components can be detected in the direct vicinity of their place of creation.

a detailed study of outburst-ejection relations, including the kinematical, polarimetric and spectral evolution of the ejecta, will give insight of how jets are made.



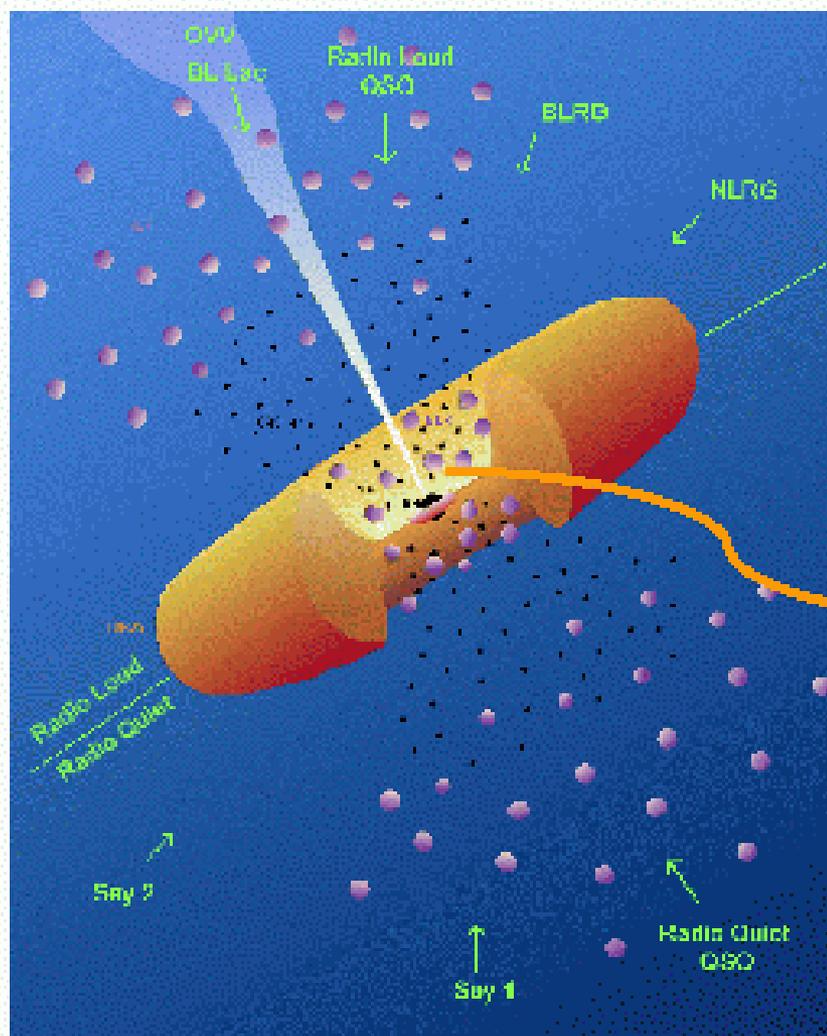
copyright Krichbaum@MPIfR

# Theoretical interpretation

- Die spektrale Evolution von Jetkomponenten kann modelliert werden als Verstärkung in der lokalen Radio-Emission verursacht durch Stoßwellen, die sich entlang des relativistischen Jets ausbreiten. Die Teilchendichte und Magnetfeld verringern sich nach außen hin; diese Modelle erklären sowohl die Entwicklung der totalen Flußdichte als auch die Polarisationsvariabilität (z. Bsp., Marscher & Gear 1985)!
- Variationen der höchsten Synchrotron und Invers Compton Frequenzen sind quasisimultan: benötigen einen schnellen Beschleunigungsprozeß bei dem hochenergetische Teilchen injiziert (erschwert durch diffuse Stoßbeschleunigung, Teilchenbeschleunigung durch el. Feld?)
- Niederenergetische Komponente: Synchrotron Emission; hochenergetische Komponente: inverse Compton Emission von derselben Population an relativistischen Elektronen; Problem: Gamma-Strahlung stellt wichtige Komponente der Blazar-Emission dar, wie wird sie produziert? Unklar!!

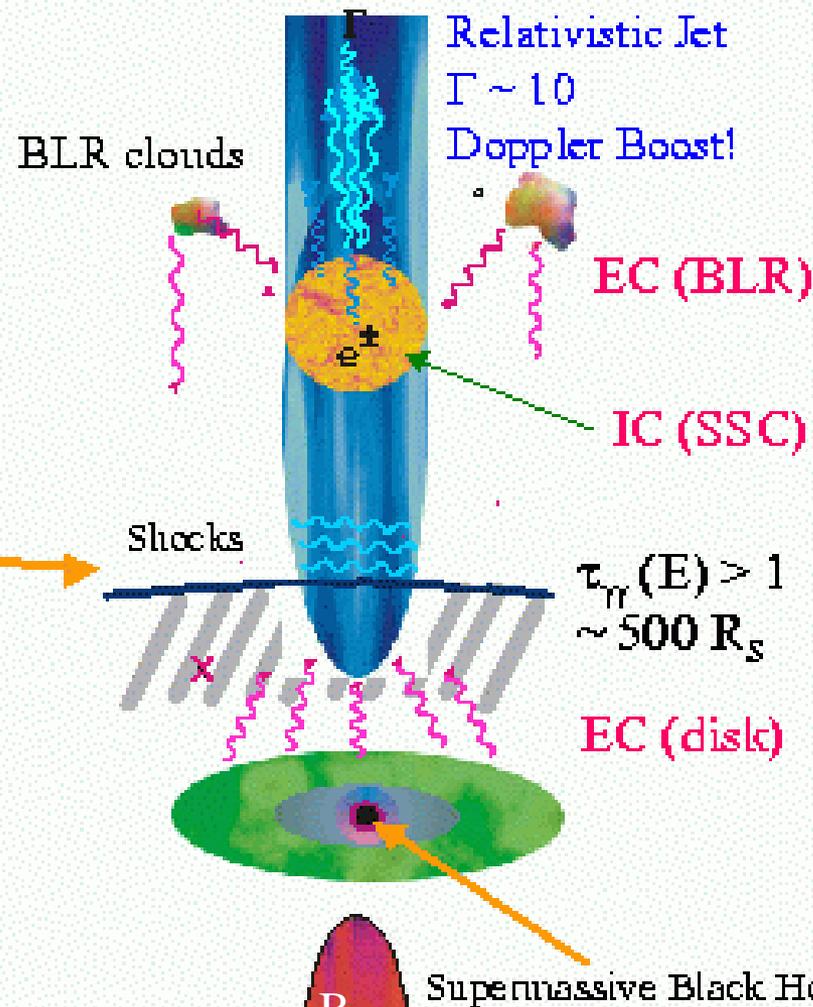
# Where does the radiation come from?

## AGN Modell:



## Synchrotron & Inverse Compton

(Bremsstrahlung & Annihilation)



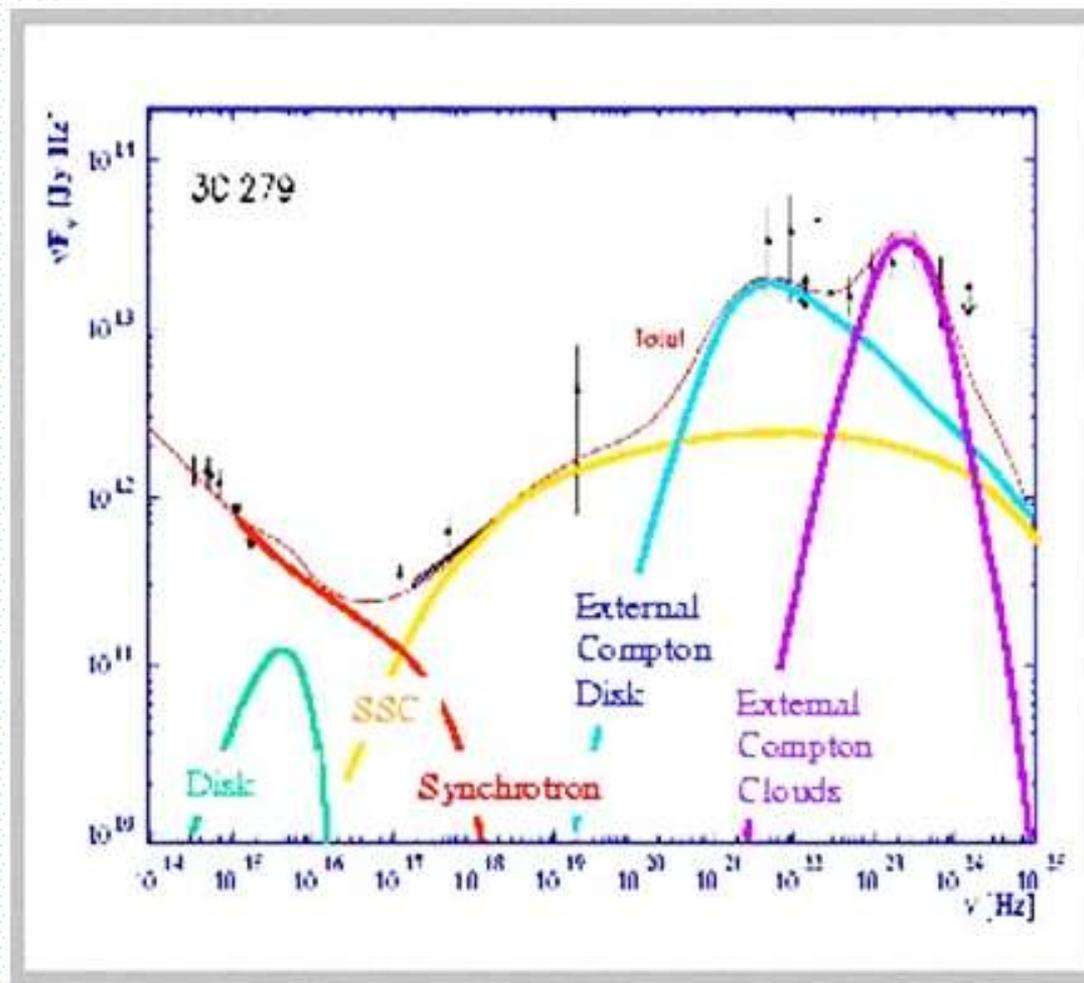
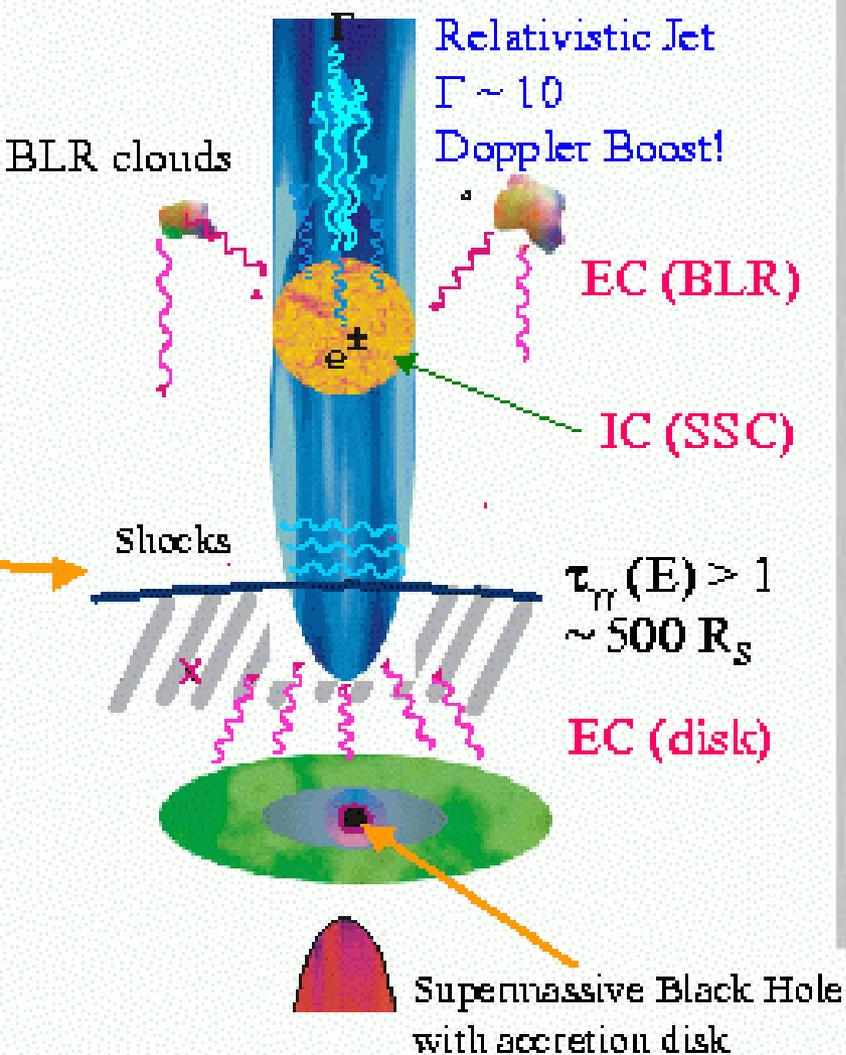
Supermassive Black Hole  
with accretion disk

*Boettcher et al.*

# Where does the radiation come from?

Synchrotron & Inverse Compton

(Bremsstrahlung & Annihilation)



Boettcher et al.

Extreme Variabilität im Radiobereich:

Intraday Variability (IDV)

# The Compton Catastrophe: Grenze $10^{12}$ K

sehr schnell nach Entdeckung der Quasare machten die beobachteten schnellen Flußdichte-Variationen Probleme :

For the observed variability to be coherent over the source, the source has to be small, the light travel time can not be smaller than the time scale of the variability =>

thus, very high photon energy densities are required in these sources; in the case of synchrotron radiation as dominant emission mechanism this should lead to Inverse Compton Scattering of the Synchrotron photons by the relativistic electrons =>

this should dominate the electron energy losses => largest fraction of the radiation should be detected at much smaller wavelengths than the synchrotron radiation itself =>

**extremely strong X-ray radiation predicted but not observed!!!**

# Variabilität - Beispiel

- Eine Quelle bei einer Rotverschiebung  $z=1$  und Variabilitätszeitskala von 50 Stunden  $\rightarrow$  intrinsische Zeitskala ( $t_{\text{Quelle}} = t_{\text{Beob}} / [1+z]$ ) **25 Stunden** und Größe von  **$3 \times 10^{15}$  cm** ( $10^{-4}$  mas)
- VLBI-Beobachtungen dagegen ergeben: Auflösung von 1 mas and 0.05 mas at 5 and 90 GHz: **8.6 und 0.4 pc bei  $z=1$**

IDV RESULTS (published)

source	$\lambda$	$\theta$	L	$T_b$	$\delta$	comments
	cm	mas	pc	K	Doppler	
0917+62	6,	0.06	200	$6 \times 10^{12}$	6	Isotropy
	11,20	0.11, 0.2				assumed
0405-38	3.8	0.03	30	$2 \times 10^{13}$	20	4:1
J1819+38	6	0.1	12	$5 \times 10^{11}$	$\sim 1$	6:1
		0.9	4			
1257-33	3.8, 6	0.02-0.04	10-15	$4 \times 10^{12}$ - $2 \times 10^{13}$	4 - 20	An- isotropy

# Compton Catastrophe – Grenze für die Strahlungstemperatur

- Wichtig: kompakte Quelle kann dieses Limit für kurze Zeit übersteigen, z.B. Während eines kurzen Radio-Strahlungsausbruchs (häufig beobachtet)
- “transient phenomena” auf der Zeitskala der Elektronen Energie Verluste
- aber: die beobachtete schnelle Variabilität einer kompakten Radioquelle ist Hinweis auf eine kleine Emissionsregion und die dann berechnete Strahlungstemperatur übersteigt die “erlaubten”  $10^{12}$  K (Kellermann & Pauliny-Toth 1969) während eines dieser “flares” (Marscher et al. 1979)

Intrinsisch

?

Extrinsisch

?

Ursprung  
von IDV

## Intrinsischer Ursprung der Variabilität?

- Sollten diese gestreuten Photonen signifikant zur optischen Leuchtkraft einer kompakten Quelle z.Bsp. beitragen (z.Bsp., ein Quasar), dann sollte die optische Strahlung dieselben Polarisations-eigenschaften wie die Radio-Emission zeigen! (Baylis, Schmid, Lüscher 1967)

und

- Die Variationen der optischen Flüsse sollten korreliert sein mit den Variationen die im Radio-Bereich beobachtet werden!

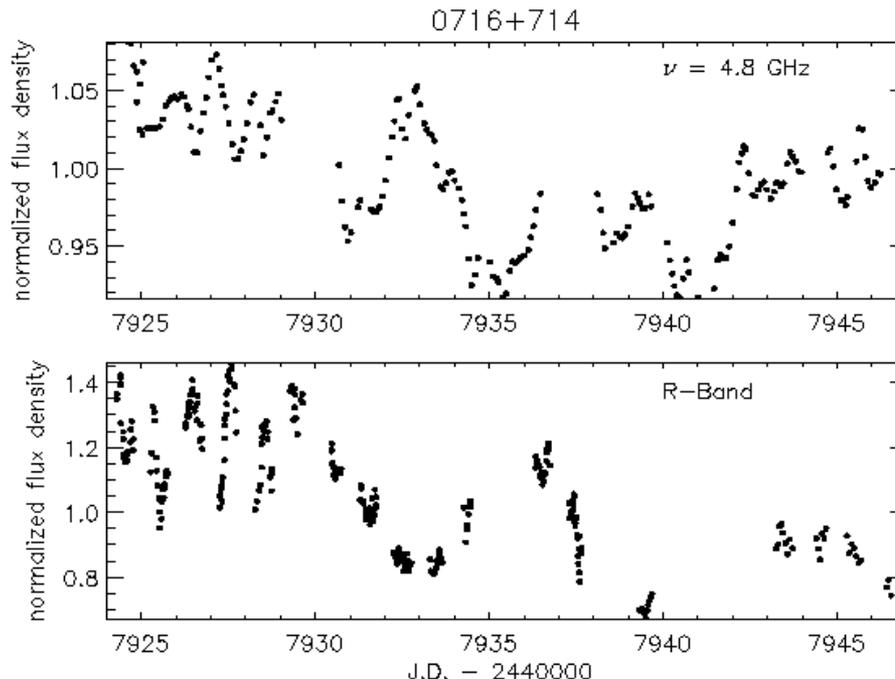
# Intrinsisch? Schnelle Radio Flußdichte Variationen in

## Correlated 0716+714: Intraday Variability (IDV)

Radio-

optical  
Variability  
=>

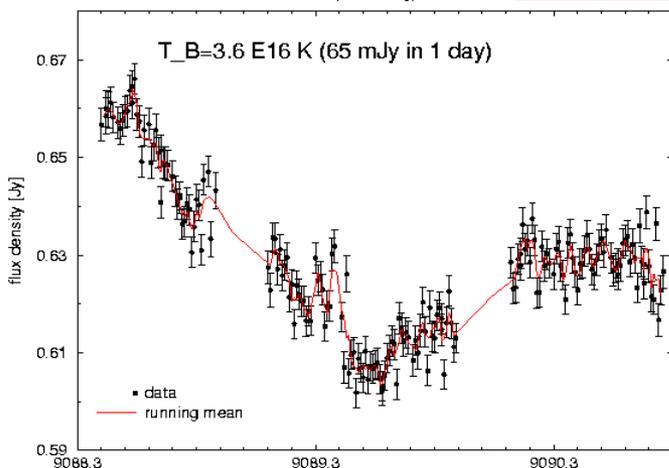
Intrinsic  
origin?



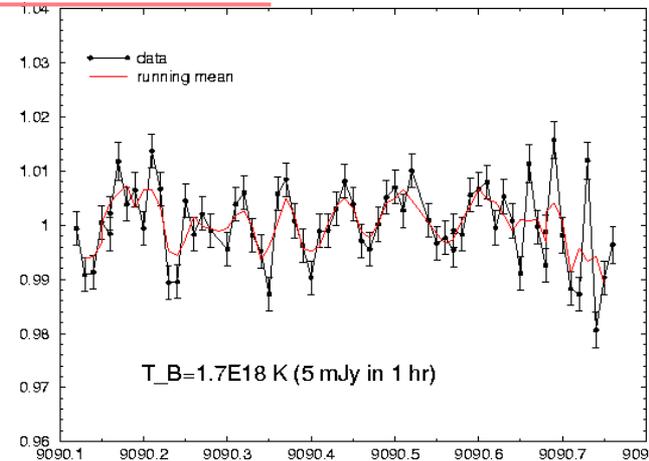
Wagner & Witzel  
ARA&A 1995

0716+71, April 1993  
(Effelsberg)

Slow mode



Fast mode 0716+71, April 1993  
(S<sub>6cm</sub>=0.63 Jy)



# Mögliche Lösungen des Problems der extremen Strahlungstemperaturen

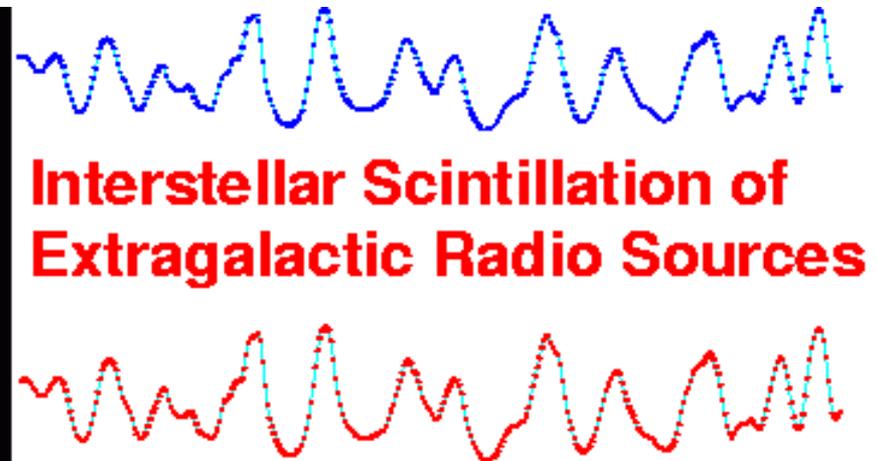
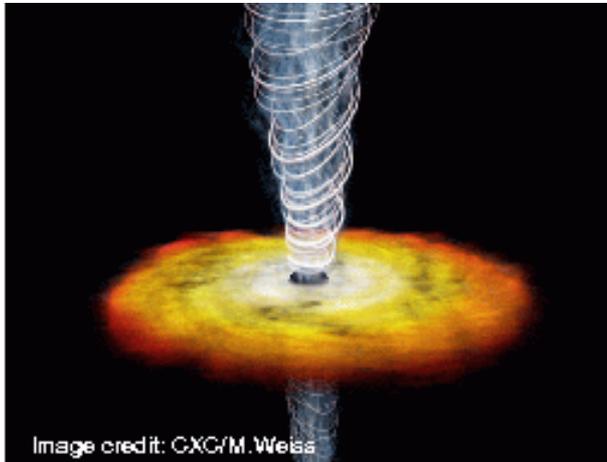
## ■ Extrinsische Effekte

- Mikrolinsen (Chang & Refsdal (1979), aber: hoher duty-cycle, immer aktive, Sterne können sich nicht so schnell bewegen (relativistisch)
- Interstellare Scintillation, frequenzabhängig; Fluktuationen im streuenden ISM  $\lambda^{-2.2}$  ; kann nicht die optische Variabilität erklären; jedes kompakte Objekt muß RISS zeigen

## ■ Intrinsische Effekte

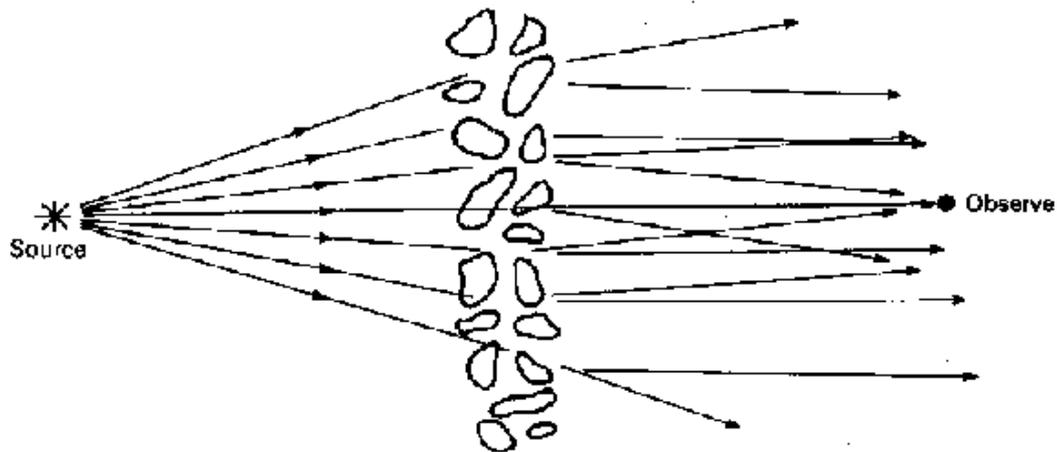
- Stoßwellen in Jets
- Modifikationen der Geometrie
- Strahlungsmechanismen: kohärente Prozesse
- Kompakte Jets
- Wird die Variabilität in der Scheibe erzeugt?

# Extrinsischer Ursprung: Intraday Variability (IDV)

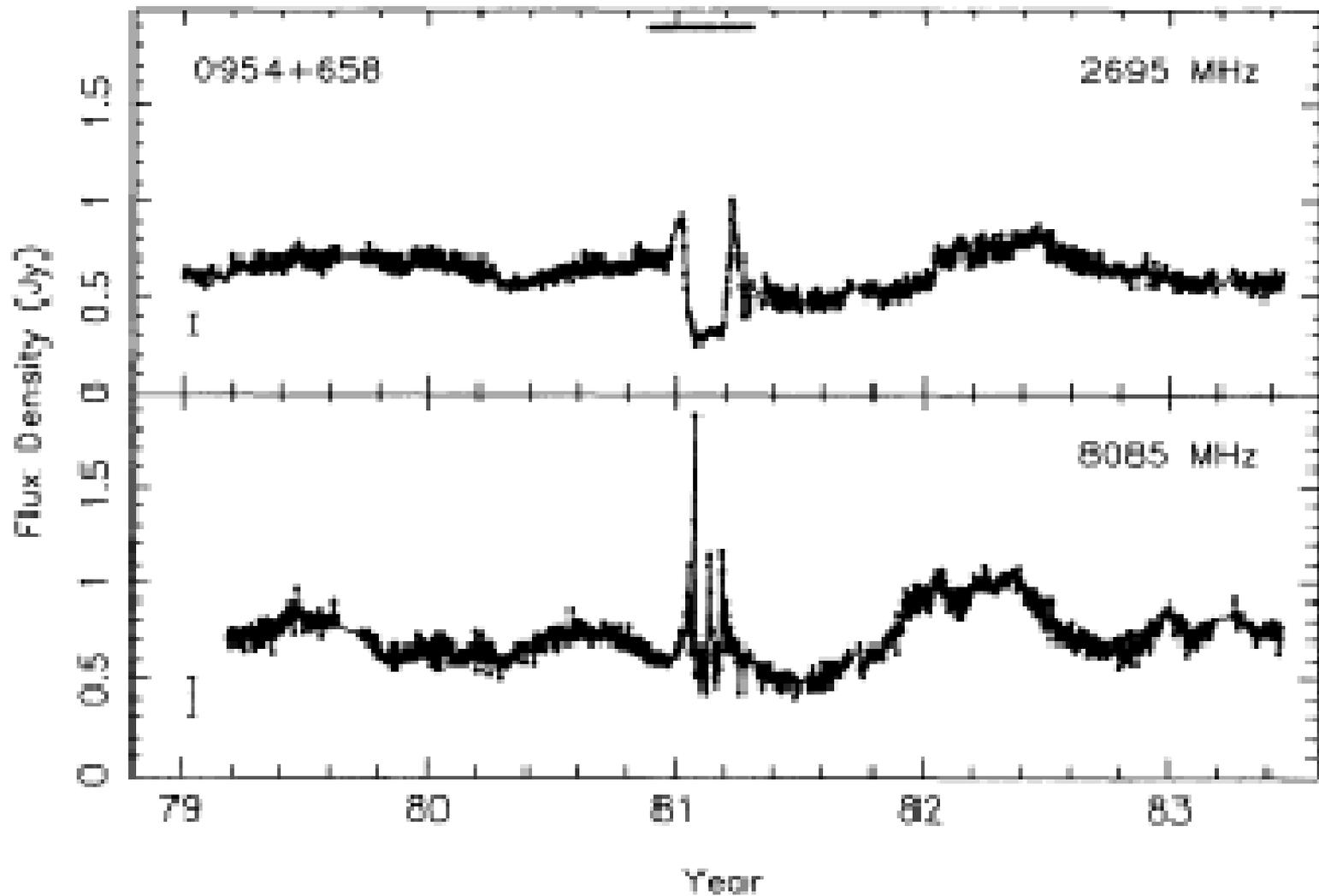


# Variabilität – Extrinsische Mechanismen

- Außerhalb der Quelle: Streuung durch gravitationelle Ablenkung (Mikro-Linsen); Dichte-Inhomogenitäten der Elektronen im interstellaren Medium erzeugen refraktive und diffraktive Effekte=> **Bildverbreiterung und scheinbare Variabilität (Shapirovszkaya 1978; Rickett 1990)**

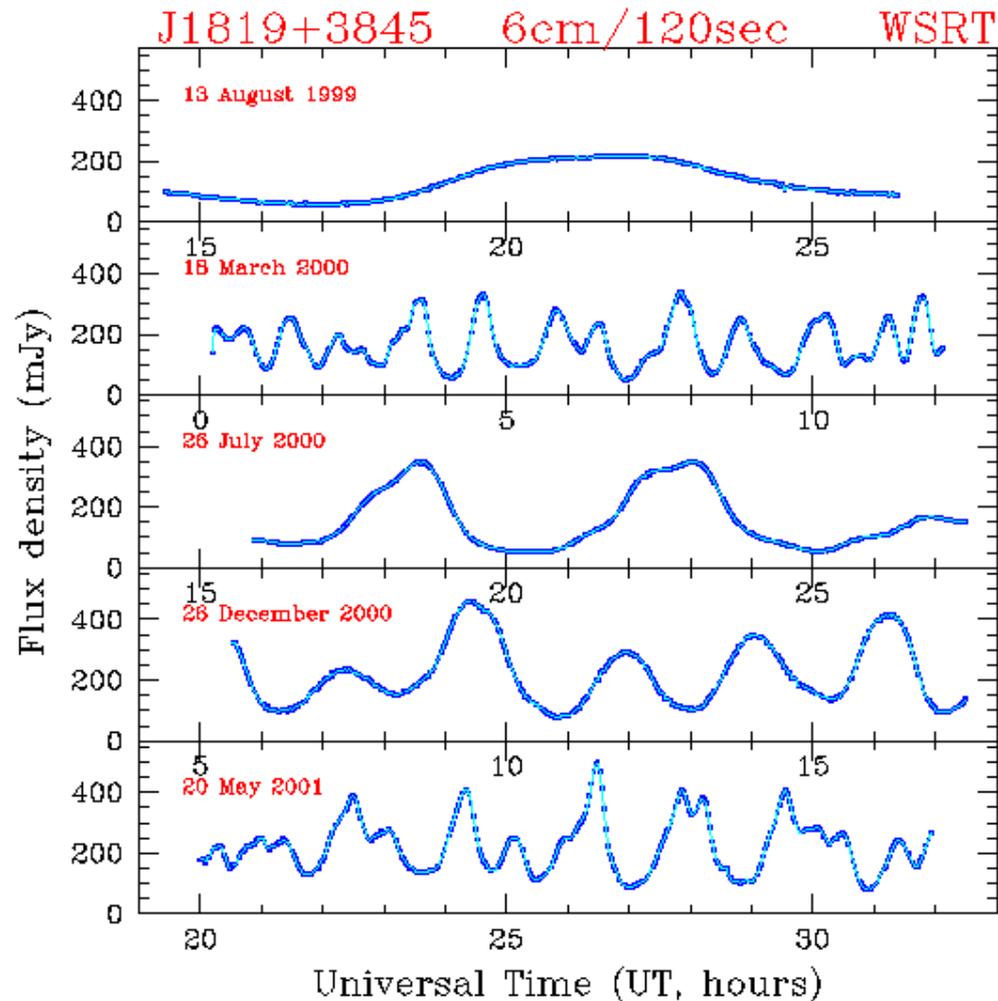


# Extreme scattering events (ESE)



Fiedler et al. 1994

# J1819+3845 through the seasons (1999/2001)



# Binary Black hole Systems in AGN

*How to detect these BBHS?*

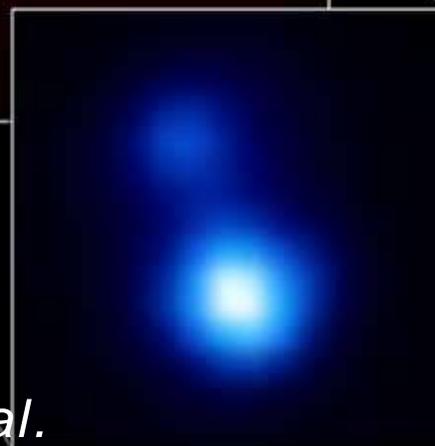
1. *pc- scale radio jets: curved jet structures, helicity*

2. *Light curves: periodic flaring*

*=> some examples ..*

*„Chandra makes first positive I.D. of active Binary Black hole“*

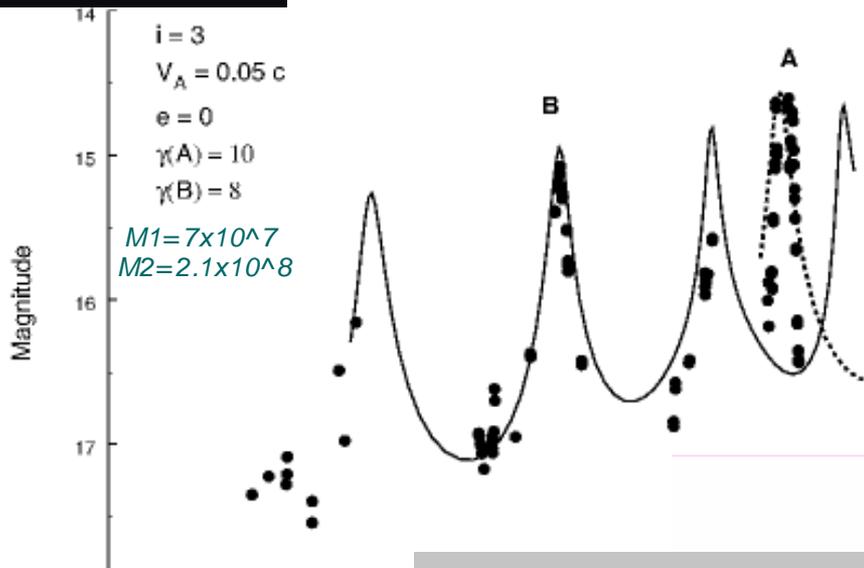
*NASA/ CXC/ MPE/ S. Komossa et al.*



# Optical Flux-density flaring unravels Binary Black holes

**PKS 0420-014**

Optical Light Curve

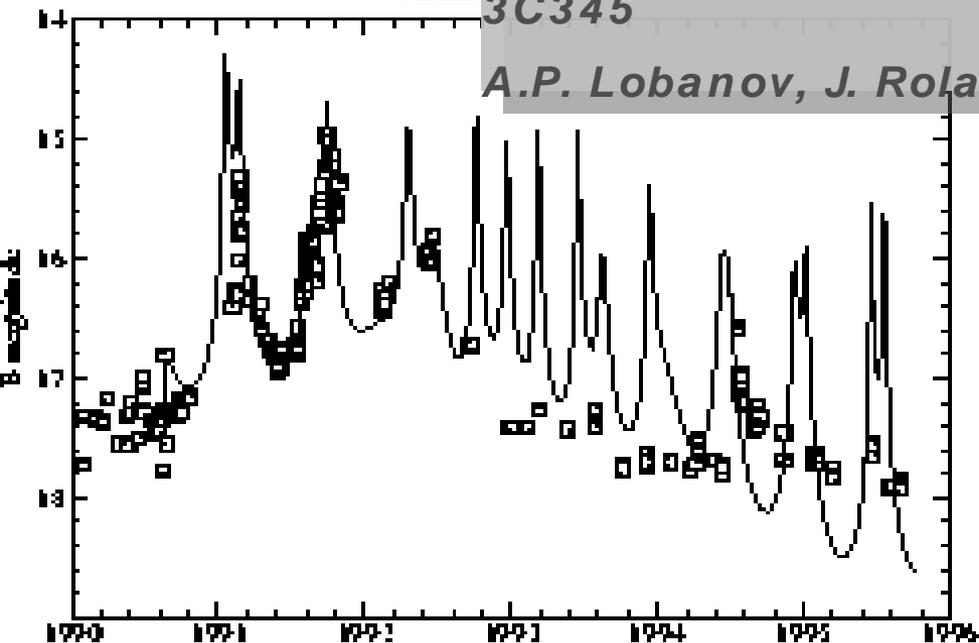


*PKS 0420-014:*  
*Britzen, et al., 2001,*  
*A&A 374, 748*

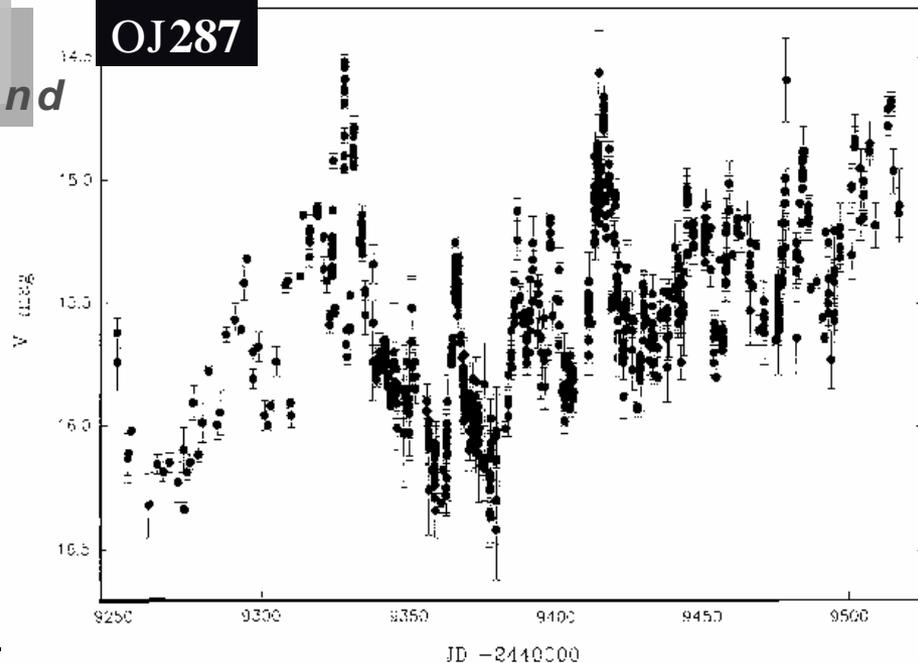
*OJ287: The Rosetta*  
*Stone of Blazars*  
*e.g., Takalo 1994,*  
*Abraham 2000, A&A 355, 9*

**3C345**

*A.P. Lobanov, J. Roland*



**OJ287**



# Vorlesung am 17.12.2004

Galaxienentwicklung – hierarchisches Modell –

Wechselwirkung & Aktivität

Galaxies *NGC 2207* and *IC 2163*



# Literatur & mehr ....

## ■ Books:

- *Active galactic nuclei*, 1990, R.D. Blandford, 20th SAAS-FEE lectures
- *An Introduction to Active Galactic Nuclei*, Bradley M. Peterson
- *Active Galactic Nuclei: From the Central Black Hole to the Galactic Environment*, Julian H. Krolik
- *Quasars and Active Galactic Nuclei : An Introduction* Ajit Kembhavi & Jayant V. Narlikar

# Literatur & mehr ....

## ■ Internet:

- *Homepage von A. Müller, LSW:*

[www.lsw.uni-heidelberg.de/users/amueller](http://www.lsw.uni-heidelberg.de/users/amueller)

## ■ Articles:

- *Modeling Extragalactic Jets*, A. Ferrari, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1998. 36: 359-98
- *Parsec-Scale Jets in Extragalactic Radio Sources*, J.A. Zensus, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1997. 35: 607-36
- *Theory of Extragalactic Radio Sources*, Begelman, M.C., R.D. Blandford, & M.J. Rees, 1984, *Revs. Modern Physics* **56**, 255