

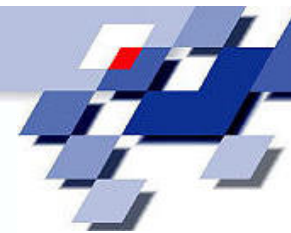
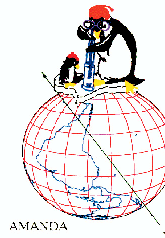
# Suche nach Neutrino-Punktquellen mit dem AMANDA-Detektor unter Verwendung der Source-Stacking-Methode

**Andreas Groß**

UNIVERSITÄT DORTMUND

**Fachbereich Physik**

**AMANDA Gruppe**



Schule für Astroteilchenphysik  
Oktober 2004



## Motivation

- AMANDA Neutrino-teleskop hat **atmosphärisches Neutrino-spektrum** erfolgreich bis ca 100 TeV gemessen
- Suche nach **extragalaktischen Neutrinos** bis jetzt erfolglos (Punktquellen und diffuse Analyse)
- **Generische Quellklassen** können durch additives Signal der stärksten Quellen am leichtesten nachgewiesen werden

## Die Source-Stacking Methode

- **Standardmethode** in  $\gamma$ - und optischer Astronomie
- Suche nach aufsummiertem Signal: **Addition von Signal und Hintergrund** für mehrere Quellen eines Typs
- Ziel: Nachweis von **generischen Quellen**, wenn einzelne Quellen (geringfügig) unter Nachweisschwelle
- **Optimierung der Quellenanzahl** notwendig, erfordert **Annahmen über Quellstärke**

## AGN als interessante Neutrinoquelle

- Zentrum: Supermassives Schwarzes Loch

$$M_{BH} = 10^6 - 10^{10} M_{\odot}$$

- Hohe Akkretionsrate:  $0.1 - 100 M_{\odot} a^{-1}$

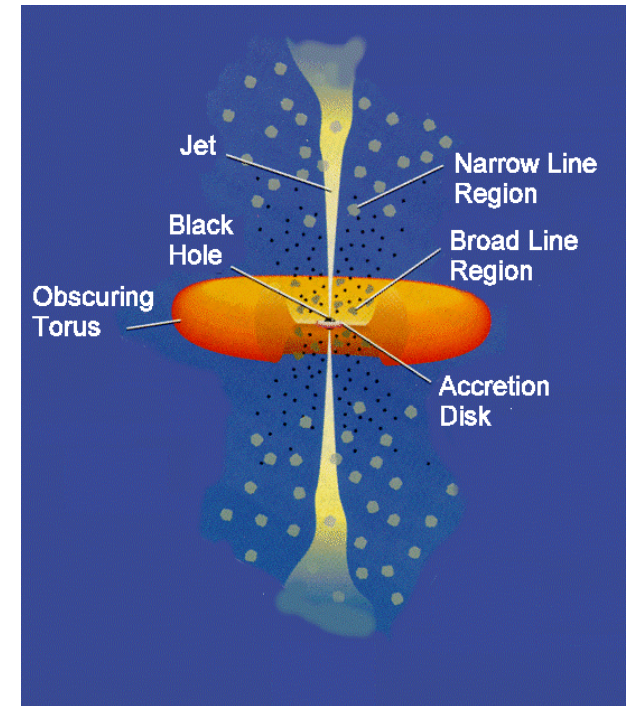
Materie bildet Akkretionsscheibe

- Stärkste Quellen im Universum

- Kandidaten für Quellen der UHE kosmischen Strahlung

- Photonenspektrum umfaßt 20 Größenordnungen

- Axialsymmetrische Quellen: Unterschiedliche Erscheinung durch **intrinsische Unterschiede** und **Beobachtungseffekte**



# AGN

Radio loud, elliptical (~10%)

Radio quiet, spiral (~90%)

Jet gets stuck in matter

100 kpc scale jet

Optically strong

Optically weak

$L > 10^{26.5} \text{ W/Hz}$   
178

$L < 10^{26.5} \text{ W/Hz}$   
178

broad lines

broad lines

narrow lines

Radio weak Quasar

RIQ

Seyfert I

Seyfert II

GPS/CSS

Radio Quasar

FSRQ

SSRQ

FR-II  
Radio galaxy

BL LAC

FR-I  
Radio gal.

HBL

LBL

Blazars

**HBL: High energy cutoff BL Lac**  
**LBL: Low energy cutoff BL Lac**  
**FSRQ: Flat Spectrum Radio Quasar**  
**SSRQ: Steep Spectrum Radio Quasar**  
**RIQ: Radio Intermediate Quasar**  
**GPS: GHz peaked Sources/ CSS: Compact steep spectrum**

- Host galaxy
- Luminosity
- Inclination angle
- Selection criteria

O'Dea sample

Possible selection criteria for neutrino loud blazars:  
 IR loud (IRAS 60  $\mu$ )  
 keV loud (ROSAT, HEAO-A)  
 GeV loud (EGRET)  
 TeV loud (HEGRA, WHIPPLE)

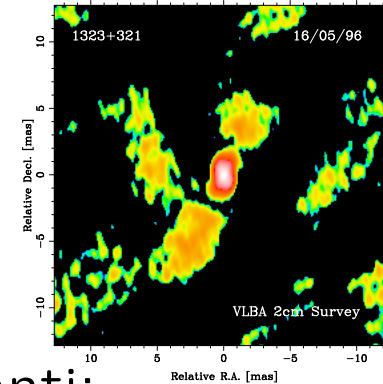
3CRR catalogue

## Auswahl von Blazaren

- Kleiner Inklinationswinkel: Emission aus **Jet** wird relativistisch **geboostet** und wird dominant
- Jet emittiert optisch dicke Synchrotronstrahlung mit **flachem Spektrum** in Radiowellenlängen ( $F_\nu \propto \nu^\alpha, \alpha > -0.5$ )
- **Hoher Radiofluss** auf der Erde:  $F_{5GHz} > 0.8$  Jy (Vollständigkeitsgrenze der benutzten Kataloge)
- Hoher Radiofluss nach Abstandskorrektur:  $F_{5GHz}^{z=0.1} > 1.5$  Jy (Minimale intrinsische Stärke der Quellen)
- Nur **extragalaktische Quellen**:  $|b| > 10^\circ$

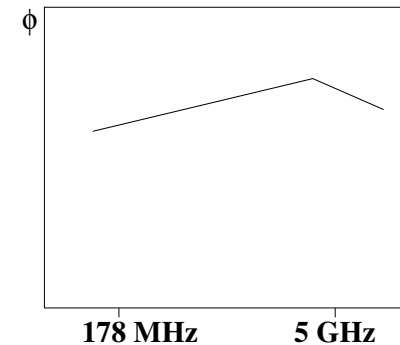
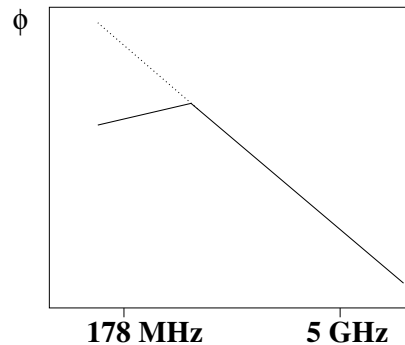
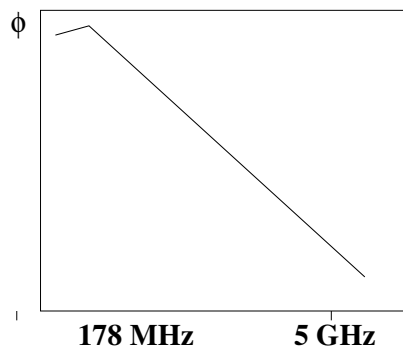
## Auswahl von CSS und GPS

- **Kompakte Objekte:** Jet bleibt in dichter Materie stecken: Target für  $\pi$  Produktion
- **Junger Zustand** von AGN?
- Kontinuierlicher Übergang GPS  $\rightarrow$  CSS



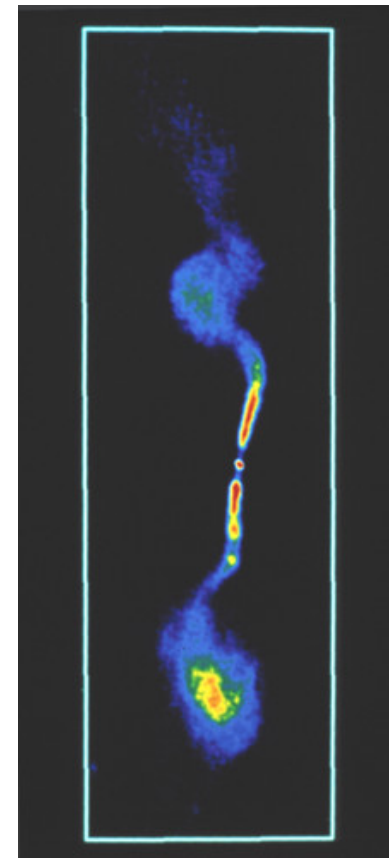
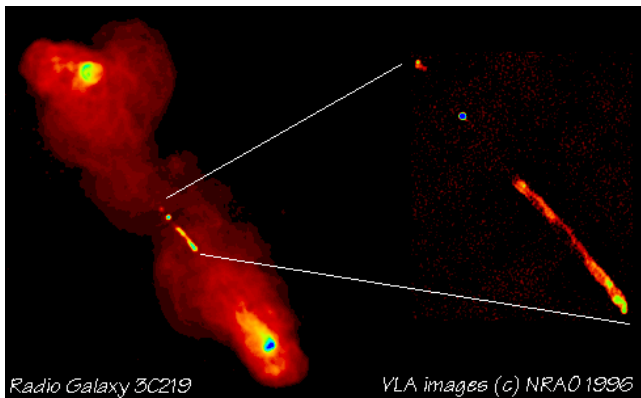
Analog zur Auswahl von O'Dea/Stanghellini/Fanti:

- **Maximum im Radiofluss** zwischen 100 MHz und 6 GHz, steiles Spektrum bei höheren Frequenzen
- Hoher Radiofluss der steilen Komponente und hoher abstandskorrigierter Fluss
- Wähle **extragalaktische Quellen** aus:  $|b| > 10^\circ$



## Auswahl von FR-I und FR-II Radiogalaxien

- Hoher Radiofluss,  $F_{178} > 10 \text{ Jy}$
- Steiles Radiospektrum: Radiolobes dominieren
- Luminosität entscheidet Klassifizierung:  
 $P_{178} < 2.5 \cdot 10^{26} \text{ W/Hz}$ : FR-I  
 $P_{178} > 2.5 \cdot 10^{26} \text{ W/Hz}$ : FR-II  
Info über Rotverschiebung erforderlich!
- Extragalaktische Quellen:  $|b| > 10^\circ$





## Auswahl von radio-schwachen Quasaren

- Sternartige Objekte mit Überschuss an UV Strahlung,  
 $U - B < -0.44$  mag
- Benutze den Bright Quasar Survey mit blauer Magnitudo  
 $B < 16.16$  mag
- Vermeide Auswahl galaktischer Quellen, hier  $|b| > 30^\circ$



## Neutrinoherstellung

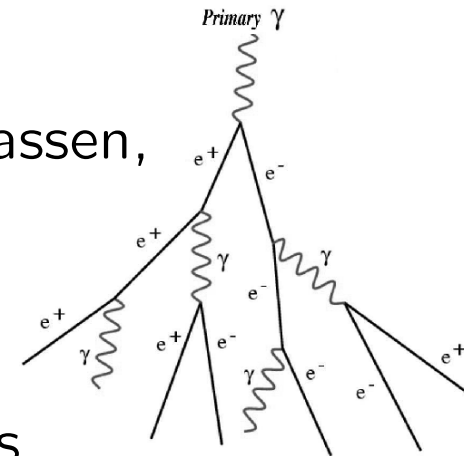
Neutrinoherstellung: **Fermibeschleunigung** von  $p^+$ ,  
 $pp$  und  $p\gamma$  WW  $\rightarrow \pi^\pm, \pi^0$  (ähnliche Anzahl)

Beschleunigung in **Jet** (wahrscheinlicher) oder **Scheibe** möglich.

Zerfall:  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ ,  $\pi^\pm \rightarrow 3\nu$  (alle Flavours)

**Optische Tiefe**: Neutrinos können Quelle verlassen,  
Photonen lösen Kaskaden aus,  
entkommen mit niedrigerer Energie.

**Gesamtenergie** in Photonen und Neutrinos aus  
 $\pi$ -Zerfall bleibt **korreliert**, nicht das Spektrum



## Auswahl von Quellen anhand von Hypothesen an das Signal

**Blazare:** Test für anisotrope **Neutrino**produktion im Jet

- **Optische Tiefe** des Jets unbekannt, Wert bestimmt Energiebereich des mit dem Neutrinofluss verbundenen Photonflusses
- Für bestimmte optische Tiefe: Hohe **Neutrino**produktion verbunden mit Überschuss in **Photonfluss** bei bestimmter unbekannter Frequenz
- Phänomenologie: Starke nicht-thermische Photonenemission von vielen Blazaren bei verschiedenen Frequenzen beobachtet, z.B. in TeV, GeV, keV oder IR, hadronische Produktion möglich.

**Hypothese:** Der Fluss in einem dieser Energiebereiche kann das Produkt von Pionenzerfall (+Kaskaden) sein. Dann ist der Neutrinofluss proportional zum Photonfluss bei dieser Frequenz.

## Auswahl von Quellen anhand von Hypothesen an das Signal

Nicht-Blazar Quellen: Test für **isotrope Neutrinoproduktion**

Folge analoger Strategie wie bei Blazaren, aber

- **Thermische Komponente** des Spektrums größer
- **Keine hochenergetische Strahlung** detektiert (GeV, TeV) außer von 2 nahen Quellen (M87, Cen A)

Daher: Weniger Hypothesen

## Die Optimierung der Quellenanzahl

Annahmen für  $S$  und  $BG$  erforderlich:

$S \propto F_\gamma$  (bei Auswahlfrequenz),  $BG$  flach.

**Signalnormierung:** Wähle  $S=1, 2$  oder  $3 \nu$  für die stärkste Quelle im Jahr 2000 (verträglich mit vorheriger Punktquellenanalyse).

2 Prozeduren:

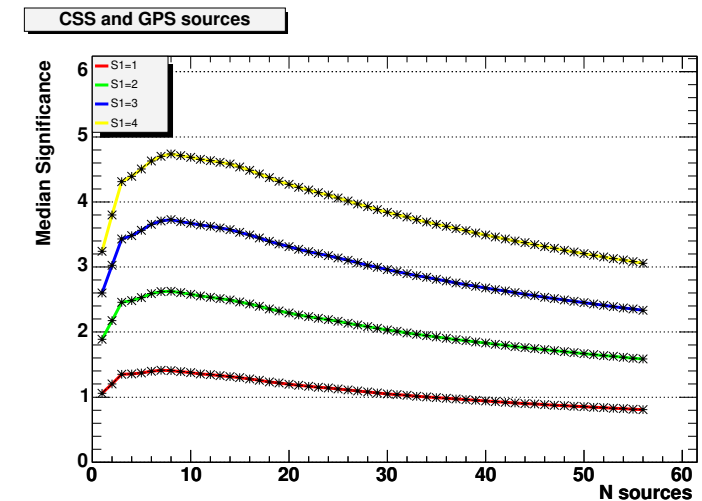
1. Wähle eine **Schwelle**, z.B.  $3\sigma$  und **optimiere die Wahrscheinlichkeit** für Beobachtung mit mindestens dieser Signifikanz
2. Optimiere die **Signifikanz**, die mit einer **festen Wahrscheinlichkeit von 50%** erreicht wird

Die Resultate der Prozeduren stimmen innerhalb der Unsicherheiten überein.

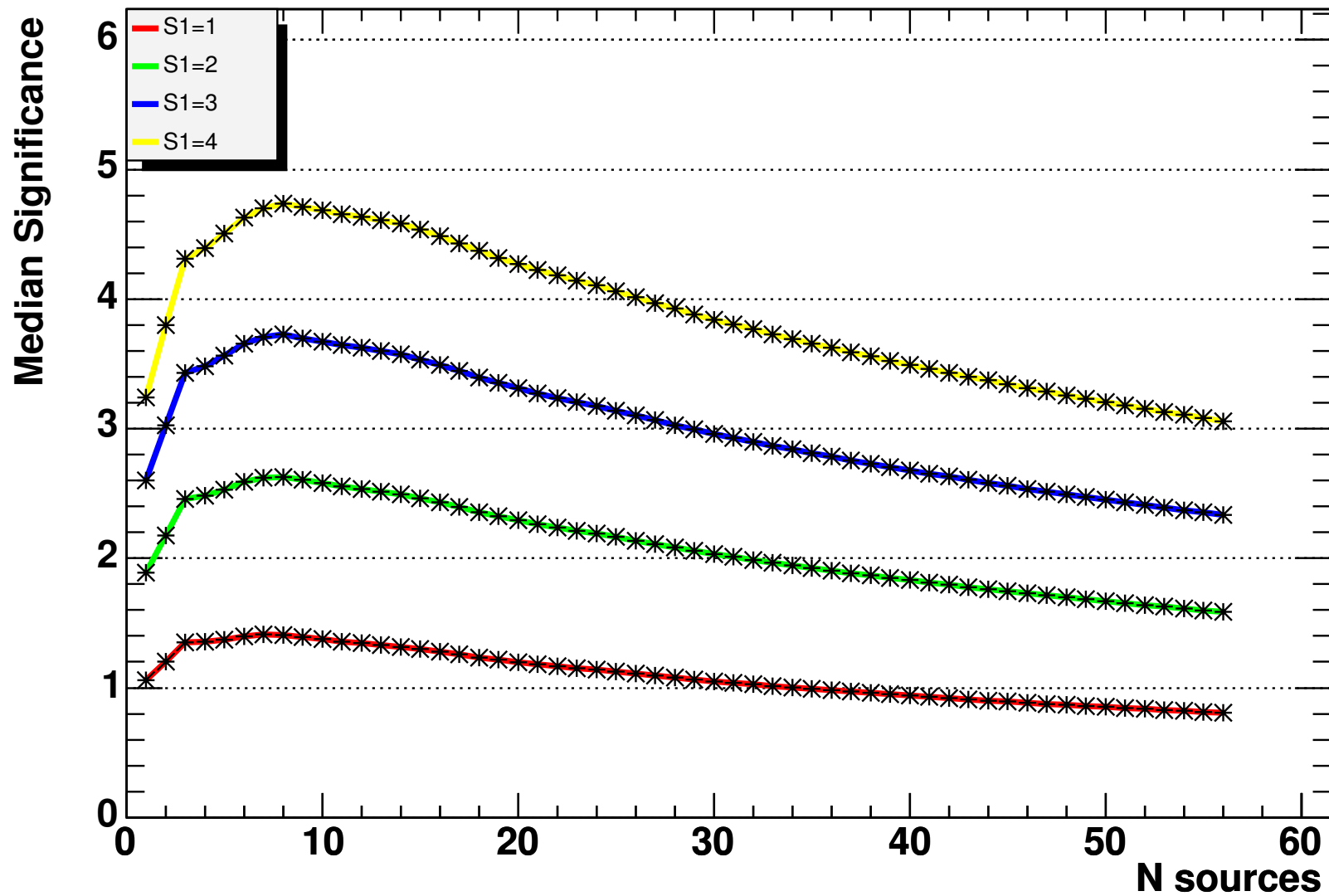
## Die Optimierung am Beispiel von CSS/GPS

Evaluieren den **Median der Signifikanz** einer Beobachtung unter den Annahmen an Signal und Rauschen für unterschiedliche Quellenzahl:

1. Berechne den **Median**  $n_{50\%}$  der zu beobachtenden Anzahl der Neutrinos unter **Signalhypothese** mit Poissonstatistik
2. Werte die **Wahrscheinlichkeit** aus, mindestens  $n_{50\%}$  unter der Annahme von **ausschließlich Hintergrund-ergebnissen** zu beobachten
3. Reskaliere die Wahrscheinlichkeit in eine **Signifikanz in Standardabweichungen**



# CSS and GPS sources



## Die Ergebnisse der Optimierung für AGN

Quellklasse	$N_{src}^{MS}$	$N_{src}^{DP}$	Bingröße [deg..]
GeV Blazare	$8 \pm 1$	$9 \pm 1$	$2.8 \pm 0.2$
unidentifizierte GeV Quellen	$22 \pm 5$	$20 \pm 5$	$2.6 \pm 0.2$
IR Blazare (IRAS)	$11_{-1}^{+0}$	$11_{-1}^{+0}$	$2.8 \pm 0.2$
keV Blazare (HEAO-A)	$3 \pm 0$	$3 \pm 0$	$2.9 \pm 0.2$
keV Blazare (ROSAT)	$8 \pm 1$	$9 \pm 1$	$2.8 \pm 0.2$
TeV Blazare	$5^*$	$5^*$	$2.8 \pm 0.2$
GPS und CSS	$8 \pm 1$	$8 \pm 2$	$2.8 \pm 0.2$
FR-I Radiogalaxien	$1 \pm 0$	$1 \pm 0$	$3.7 \pm 0.2$
FR-I ohne M 87	$20_{-5}^{+3}$	$19 \pm 4$	$2.6 \pm 0.2$
FR-II Radiogalaxien	122	$17_{-5}^{+105^{**}}$	$2.6 \pm 0.2^{***}$
Radio-schwache Quasare	$11_{-3}^{+1}$	$11_{-3}^{+1}$	$2.8 \pm 0.2$

\*: Alle Quellen ohne Optimierung selektiert.

\*\* : Nur ein Sattelpunkt. Die Wahrscheinlichkeit steigt wieder, wenn alle Quellen selektiert werden ( $\rightarrow$  Diffuse Analyse).

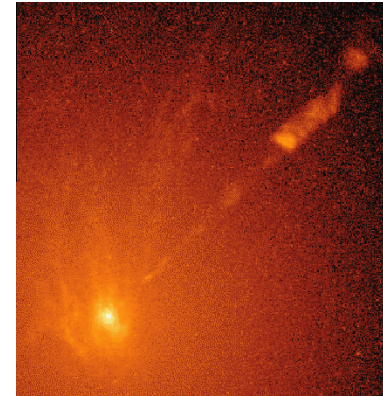
\*\*\*: Bingröße evaluiert für 17 Quellen.



## Ergebnis der Optimierung für FR-I und FR-II Galaxien

FR-I und FR-II: Kein optimales stacking sample gefunden

- FR-I Galaxien werden von der **lokalen Quelle M 87** dominiert  
Resultat: Standard Punktquellenanalyse sensitiver



- Es gibt **sehr viele** FR-II Galaxien mit **ähnlichen Flüssen**  
Resultat: Diffuse Analyse sensitiver.

Strategie: Analysiere **bestemögliche Stacking Auswahl**: FR-I Galaxien

ohne M87 (M87 könnte keine typische FR-I Galaxis sein: TeV Emission, kleiner Beobachtungswinkel) und FR-II Galaxien bis zum Sattelpunkt in der Sensitivität bei 17 Quellen.

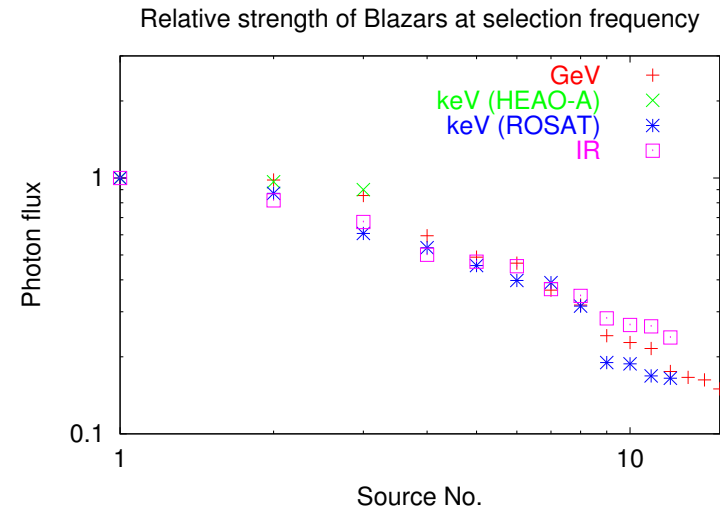
# Optimale Quellenanzahl und Potenzgesetz der Quellstärke

Fluss der N-ten Quelle:

Potenzgesetz  $F_N \propto N^\alpha$  (s. Plot)

Untersuche Abhängigkeit

optimale Samplegröße  $\longleftrightarrow$  Index  $\alpha$

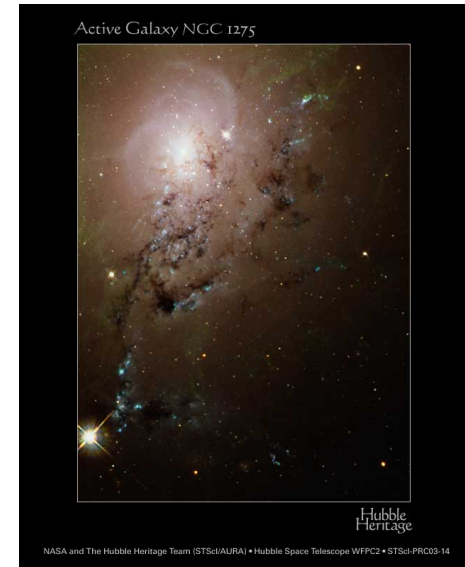


Ergebnis:

- $\alpha < -2$ : Nur **stärkste Quelle** trägt signifikant bei
- $-2 < \alpha < -0.6$ : **Stacking sinnvoll**, Sensitivität höher
- $\alpha > -0.6$ : Hinzufügen immer weiterer Quellen erhöht Sensitivität immer weiter  $\longrightarrow$  **Diffuse Analyse**

## Nahegelegene AGN-Quellkandidaten

- **Luminosität** vergleichsweise gering, aber hoher Fluss durch **Abstandseffekt**
- Keine generischen Quellen, **individuelle Eigenschaften** wichtig
- Schnitt auf Luminosität entfernt diese Quellen aus generischen Quell-Listen
- Prominenter Vertreter: **NGC 1275** (Ohne Lumi-Cut wäre es in 3 Listen)



Standard-Punktquellenanalyse für diese Quellen sinnvoller als Stacking!

## Galaktische Quellklassen

- Mikroquasare (Jet-Disk-Systeme um stellares schwarzes Loch oder Neutronenstern)
- Pulsare, Plerions (Pulsar in Nebel)
- Supernova Überreste (SNR)
- Magnetare

## Stacking bei galaktischen Quellklassen?

Problem: Wenige Quellen der einzelnen Klassen.

Mikroquasare: Viele **individuelle Eigenschaften** (u.a. Zeitverhalten: Permanente, periodische oder vorübergehende Quellen)

Plerions: Nur 3 Quellen, **dominiert vom Crab**

Zeitabhängige Analyse teilweise eine Alternative,  
Stacking evtl. auf Südhimmel sinnvoll (galaktisches Zentrum!)

## Zusammenfassung

- Source-Stacking kann die **Sensitivität verbessern**, erfordert aber sinnvolle Annahmen über die Quellstärke, also eine zu testende **theoretische Hypothese**
- AGN: Für die meisten Quellklassen optimale Anzahl im Bereich von 10 – 20 Quellen. Die **Bingröße** (zirkuläre Bins) konnte zu **2.6 – 2.9°** bestimmt werden.
- Für vergleichsweise **nahegelegene AGN**, sowie für **galaktische Quellen** keine optimale Stackingauswahl gefunden: **Individuelle Quellen** sind **dominant**.