

# Neueste Ergebnisse aus Beobachtungen von 54 Aktiven Galaktischen Kernen mit den HEGRA-Cherenkov-Teleskopen

## Überblick

---

- Die HEGRA Cherenkov Teleskope
  - Datenanalyse
  - HEGRA Beobachtungen
  - Ergebnisse
  - Zusammenfassung & Ausblick
- 

DPG Aachen, März 2003

Martin Tluczykont für die HEGRA Kollaboration

Institut für Experimentalphysik

Universität Hamburg

# Das HEGRExperiment

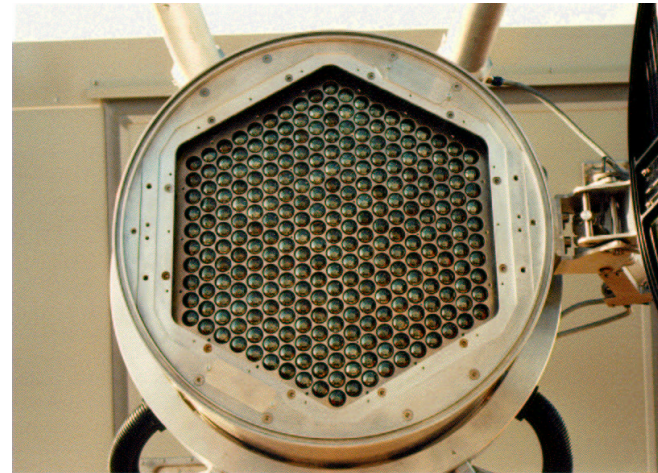
## Standort:

- Observatorio del Roque de los Muchachos, La Palma
- 2200m über N.N.
- TeV  $\gamma$ -Astronomie mit 6 CTs

## Das Cherenkov-Teleskop-System:

- Stereoskopisches System aus 5 Teleskopen
- Energieschwelle  $\geq 500$  GeV
- Winkelauflösung  $\leq 0.1$  deg
- Energieauflösung 10-20 %

CT2 vor der Nacht, wartend



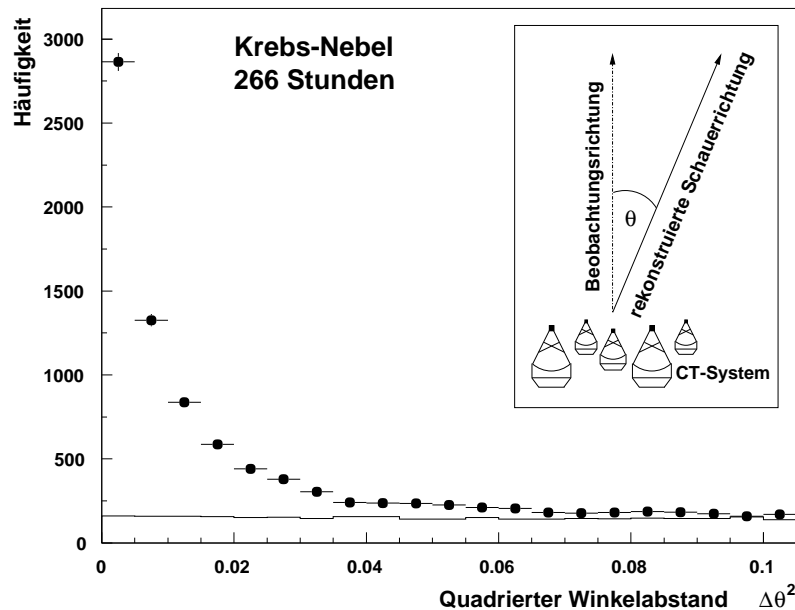
# Stereoskopische Rekonstruktion & Analyse

Rekonstruktion für jedes Ereignis:

- Einfallsrichtung des Primärteilchens  $\theta$
- Auftreffpunkt des Schauerkerne
- mscw: mittlere skalierte Bildbreite
- Energie

Schnitte:

- $\gamma$ -Hadron-Separation (mscw)
- Winkelabstand  $\Delta\theta$ :



Analyseergebnisse:

- Signifikanzen  $S$  und  $\langle S \rangle$  für konstante Emission
- Signifikanzen  $S_{\text{Prahl}}$  und  $S_{\text{Kol}}$  für ausbruchartiges Verhalten
- integraler Flußwert / obere Flußgrenze

## Datenanalyse: Signifikanzberechnung

Verallgemeinerte Li&Ma Signifikanz für unabhängige Beobachtungen mit unterschiedlichen alpha-Faktoren  $\alpha_i$ :

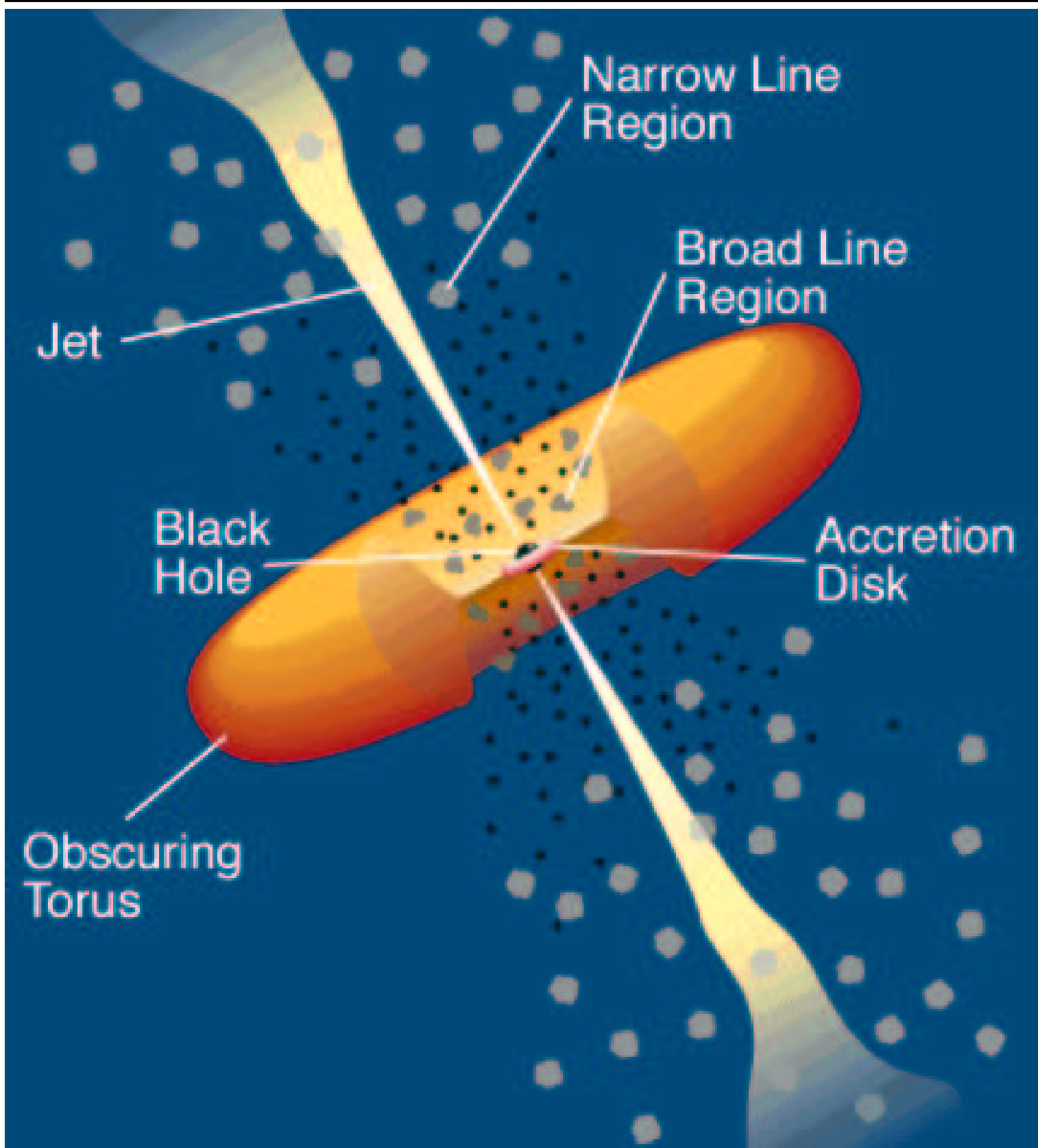
$$S = \sqrt{2} \times \left[ \sum_i \text{Non}_i \ln \left( \frac{\sum_i \text{Non}_i}{\sum_i \frac{\alpha_i}{1+\alpha_i} (\text{Non}_i + \text{Noff}_i)} \right) + \sum_i \text{Noff}_i \ln \left( \frac{\sum_i \text{Noff}_i}{\sum_i \frac{1}{1+\alpha_i} (\text{Non}_i + \text{Noff}_i)} \right) \right]^{1/2}$$

Glättung der Signifikanz:

- Variation der optimalen Schnitte:  $\pm 1/2$  Binbreite
  - $\text{mscw}_k = \{1.075, 1.1, 1.125\}$
  - $\Delta\theta_n^2 = \{0.011, 0.012, 0.013\}$
- Mittelung über Signifikanzen  $S_{kn}$

$$\langle S \rangle = \frac{1}{9} \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^3 S_{kn}$$

## Das Standardmodell der AGNs



## Datensatz, Teil 1

1997 – 2002

Objekt	RA (hh mm ss)	DEC (dd mm ss)	Rotverschiebung	Objekttyp	Beobachtungszeit (Stunden)
1ES 0647+250	06 50 46.6	+25 03 00	—	BL-Lac	6.0
MG 0509+0541	05 09 26.0	+05 41 35	—	BL-Lac	18.7
<b>M87</b>	<b>12 30 49.4</b>	<b>+12 23 28</b>	<b>0.004</b>	<b>FR II</b>	<b>72.3</b>
NGC 315	00 57 48.9	+30 21 08	0.016	FR II	11.3
NGC 1275	03 19 48.2	+41 30 42	0.018	Sy+Clstr	86.7
H 1722+119	17 25 04.5	+11 52 15	0.018	BL-Lac	5.0
PKS 2201+04	22 04 17.7	+04 40 03	0.028	S1	18.3
V Zw 331	03 13 57.0	+41 15 37	0.029	BL-Lac	4.3
NGC1054	02 42 15.0	+18 13 00	0.032	G *	60.3
3C 120	04 33 12.0	+05 21 15	0.033	FR	25.7
NGC 4151	12 10 32.7	+39 24 19	0.033	Sy	7.0
UGC01651	02 09 38.5	+35 47 51	0.037	G *	14.3
UGC03927	07 37 30.0	+59 41 03	0.041	FR II	6.3
<b>1ES 2344+514</b>	<b>23 47 04.9</b>	<b>+51 42 17</b>	<b>0.044</b>	<b>BL-Lac</b>	<b>49.3</b>
Mkn0180	11 36 26.4	+70 09 27	0.046	BL-Lac	9.7
<b>1ES 1959+650</b>	<b>19 59 59.9</b>	<b>+65 08 54</b>	<b>0.047</b>	<b>BL-Lac</b>	<b>163.6</b>
3C 371.0	18 06 50.7	+69 49 28	0.050	BL-Lac	6.0
B2 0402+37	04 05 49.3	+38 03 32	0.055	Sy	6.7
I Zw 187	17 28 18.6	+50 13 10	0.055	BL-Lac	18.3
Cyg-A (3C 405.0)	19 59 28.5	+40 44 02	0.057	FR II	60.0
1ES 2321+419	23 23 52.5	+42 10 55	0.059	BL-Lac	22.3
3C 192.0	08 05 35.0	+24 09 50	0.060	S2	3.0
4C+31.04	01 19 35.0	+32 10 50	0.060	FR	4.0
<b>BL Lacertae</b>	<b>22 02 43.3</b>	<b>+42 16 40</b>	<b>0.069</b>	<b>BL-Lac</b>	<b>29.0</b>
1ES 1741+196	17 43 57.8	+19 35 09	0.083	BL-Lac	11.7
4C+01.13	05 13 52.5	+01 57 10	0.084	QSO	7.7
PKS 2155-304	21 58 52.0	-30 13 32	0.116	BL-Lac	2.7

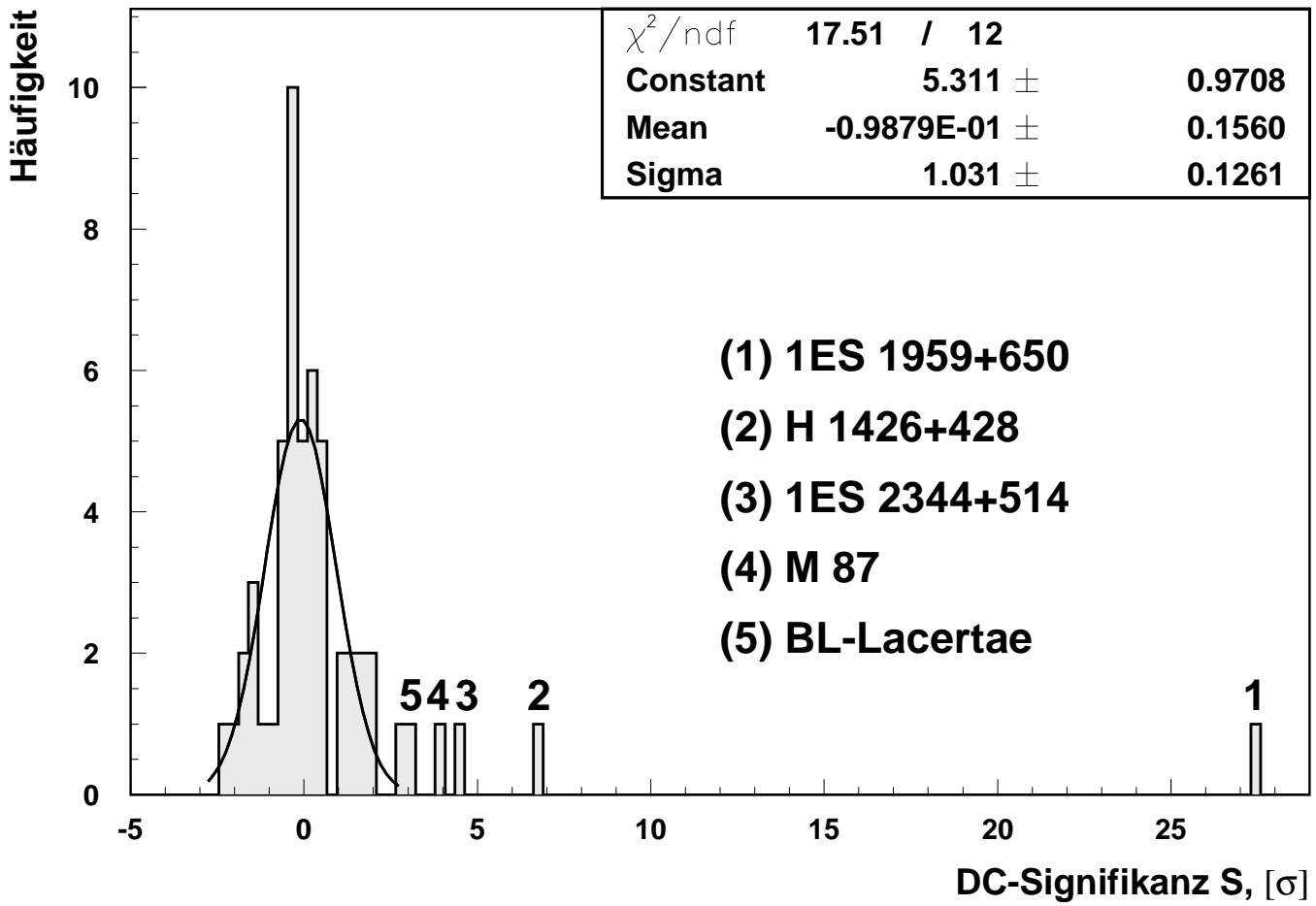
## Datensatz, Teil 2

Objekt	RA (hh mm ss)	DEC (dd mm ss)	Rotverschiebung	Objekttyp	Beobachtungszeit (Stunden)
1ES 1118+424	11 20 48.1	+42 12 12	0.124	BL-Lac	2.0
1ES 0145+13.8	01 48 29.8	+14 02 19	0.125	BL-Lac	4.0
EXO0706.1+5913	07 10 30.1	+59 08 20	0.125	BL-Lac	34.0
<b>H 1426+428</b>	<b>14 28 32.5</b>	<b>+42 40 25</b>	<b>0.129</b>	<b>BL-Lac</b>	<b>258.5</b>
3C197.1	08 21 32.6	+47 02 46	0.130	FR	15.7
1ES 1212+078	12 15 11.2	+07 32 02	0.136	BL-Lac	2.7
1ES 0806+524	08 09 49.2	+52 18 58	0.138	BL-Lac	2.0
1ES 0229+200	02 32 48.7	+20 17 17	0.139	BL-Lac	3.3
RBS 0958	11 17 06.3	+20 14 06	0.139	BL-Lac	4.0
1ES 1255+244	12 57 32.0	+24 12 39	0.140	BL-Lac	7.0
MS1019.0+5139	10 22 11.0	+51 24 00	0.141	QSO	17.7
1ES 0323+022	03 26 13.9	+02 25 14	0.147	BL-Lac	15.0
OQ 530	14 19 46.6	+54 23 14	0.152	BL-Lac	9.7
3C 273.0	12 29 06.7	+02 03 08	0.158	QSO	13.3
1ES 1440+122	14 42 48.4	+12 00 39	0.162	BL-Lac	13.0
PKS 0829+046	08 31 48.9	+04 29 39	0.180	BL-Lac	19.3
PG 1218+304	12 21 22.0	+30 10 37	0.182	BL-Lac	4.3
1ES 0347-121	03 49 23.0	-11 59 26	0.185	BL-Lac	2.3
1ES 0927+500	09 30 37.6	+49 50 24	0.186	BL-Lac	14.0
PKS 2254+074	22 57 17.3	+07 43 12	0.190	BL-Lac	15.7
MS0317.0+1834	03 19 51.9	+18 45 35	0.190	BL-Lac	3.0
1ES 1011+496	10 15 04.2	+49 26 00	0.200	BL-Lac	2.0
1ES 0120+340	01 23 08.9	+34 20 50	0.272	BL-Lac	16.3
2E 0414+0057	04 16 52.5	+01 05 23	0.287	BL-Lac	4.7
S5 0716+714	07 21 53.4	+71 20 36	0.300	BL-Lac	2.0
3C 066A	02 22 39.6	+43 02 07	0.444	BL-Lac	1.3
PKS 0219-164	02 22 01.0	-16 15 16	0.698	BL-Lac	1.7

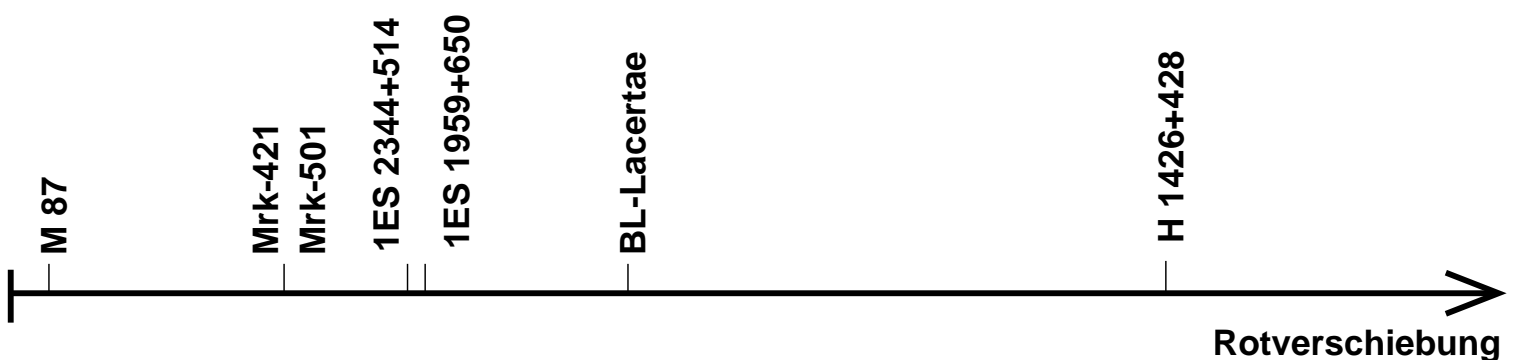
- 37 BL-Lac-Objekte
- 7 Radiogalaxien
- 5 Seyfert-Galaxien
- 3 Quasare
- 2 Galaxien

Beobachtungszeit > 1 Jahr HEGRA-Datennahme

# Ergebnisse: Signifikanzen



	Name	Typ	z	<b>S</b>	<S>	S <sub>Kol</sub>	S <sub>Prahl</sub>
(1)	1ES 1959+650	BL-Lac	.047	<b>27.5</b>	27.0	19.8	16.5
(2)	H 1426+428	BL-Lac	.129	<b>6.4</b>	6.6	0.5	0.1
(3)	1ES 2344+514	BL-Lac	.044	<b>4.4</b>	4.0	1.3	0.3
(4)	M87	Radio-G.	.004	<b>4.1</b>	3.5	-1.7	0.6
(5)	BL-Lacertae	BL-Lac	.069	<b>3.0</b>	3.0	0.6	0.7



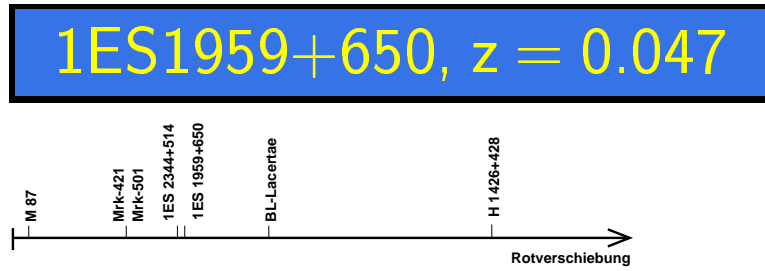
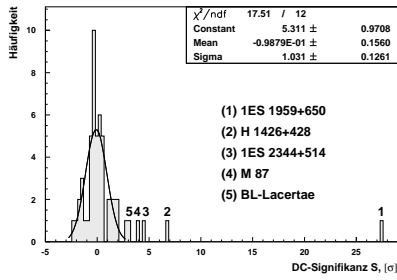


## Obere Flußgrenzen, Teil 1

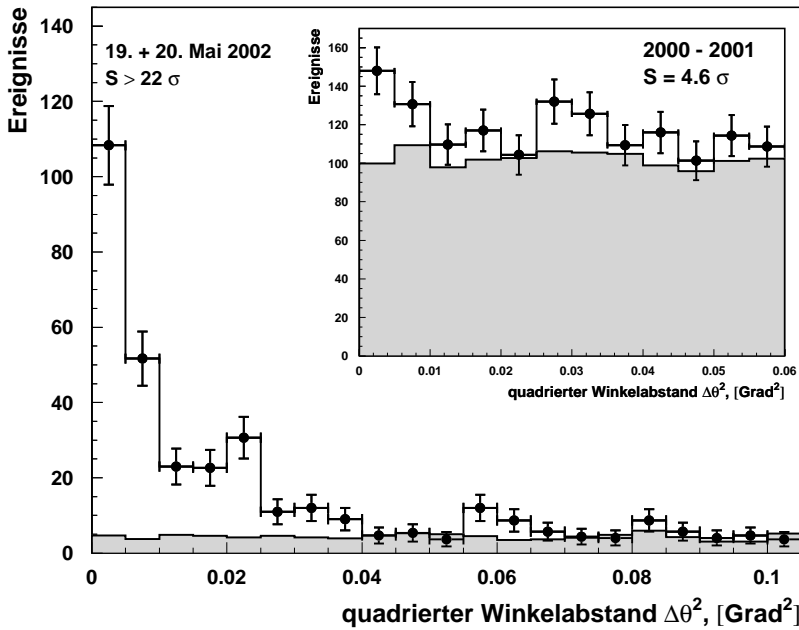
Objekt	Beobachtungszeit (Stunden)	$E_{thr}$ (TeV)	$F_{OG}^{99\%}(E > E_{thr})$	$\Phi_{OG}^{99\%}(E > E_{thr})$
1ES 0647+250	6.0	0.7	0.06	1.90
MG 0509+0541	18.7	0.8	0.07	1.60
<b>M87</b>	<b>72.3</b>	<b>0.7</b>		
NGC 315	11.3	0.7	0.04	1.30
NGC 1275	86.7	0.7	0.02	0.50
H 1722+119	5.0	0.7	0.17	4.70
PKS 2201+04	18.3	0.8	0.04	1.00
V Zw 331	4.3	0.7	0.08	2.40
NGC1054	60.3	0.7	0.02	0.50
3C 120	25.7	0.8	0.03	0.80
NGC 4151	7.0	0.7	0.06	2.00
UGC01651	14.3	0.7	0.06	2.00
UGC03927	6.3	1.0	0.06	1.10
1ES 2344+514	49.3	0.8		
Mkn0180	9.7	1.6	0.09	0.70
<b>1ES 1959+650</b>	<b>117.3</b>	<b>1.4</b>		
3C 371.0	6.0	1.6	0.11	0.90
B2 0402+37	6.7	0.7	0.04	1.40
I Zw 187	18.3	0.8	0.06	1.50
Cyg-A (3C 405.0)	60.0	0.8	0.03	0.80
1ES 2321+419	22.3	0.7	0.04	1.00
3C 192.0	3.0	0.8	0.15	3.60
4C+31.04	4.0	0.6	0.06	2.10
<b>BL Lacertae</b>	<b>29.0</b>	<b>0.8</b>	<b>0.06</b>	<b>1.50</b>
1ES 1741+196	11.7	0.8	0.06	1.50
4C+01.13	7.7	0.9	0.11	2.30
PKS 2155-304	2.7	5.0	0.09	0.10

## Obere Flußbreiten, Teil 2

Objekt	Beobachtungszeit (Stunden)	$E_{thr}$ (TeV)	$F_{OG}^{99\%}(E > E_{thr})$	$\Phi_{OG}^{99\%}(E > E_{thr})$
PKS 2155-304	2.7	5.0	0.09	0.10
1ES 1118+424	2.0	0.8	0.23	5.30
1ES 0145+13.8	4.0	0.7	0.02	0.70
EXO0706.1+5913	34.0	1.0	0.04	0.80
<b>H 1426+428</b>	<b>308.0</b>	<b>0.7</b>		
3C197.1	15.7	0.8	0.04	0.90
1ES 1212+078	2.7	0.8	0.13	3.20
1ES 0806+524	2.0	1.0	0.15	2.50
1ES 0229+200	3.3	0.8	0.09	2.30
RBS 0958	4.0	0.7	0.19	6.00
1ES 1255+244	7.0	0.8	0.09	2.10
MS1019.0+5139	17.7	0.8	0.06	1.60
1ES 0323+022	15.0	0.9	0.03	0.60
OQ 530	9.7	1.1	0.09	1.35
3C 273.0	13.3	1.1	0.08	1.10
1ES 1440+122	13.0	0.8	0.07	1.80
PKS 0829+046	19.3	0.9	0.04	0.90
PG 1218+304	4.3	0.7	0.08	2.40
1ES 0347-121	2.3	1.6	0.31	2.50
1ES 0927+500	14.0	0.8	0.04	1.10
PKS 2254+074	15.7	0.7	0.03	0.90
MS0317.0+1834	3.0	0.7	0.06	2.10
1ES 1011+496	2.0	0.9	0.11	2.40
1ES 0120+340	16.3	0.7	0.03	0.90
2E 0414+0057	4.7	0.9	0.08	1.70
S5 0716+714	2.0	1.7	0.27	2.50
3C 066A	1.3	0.7	0.11	3.50
PKS 0219-164	1.7	2.0	0.06	0.35

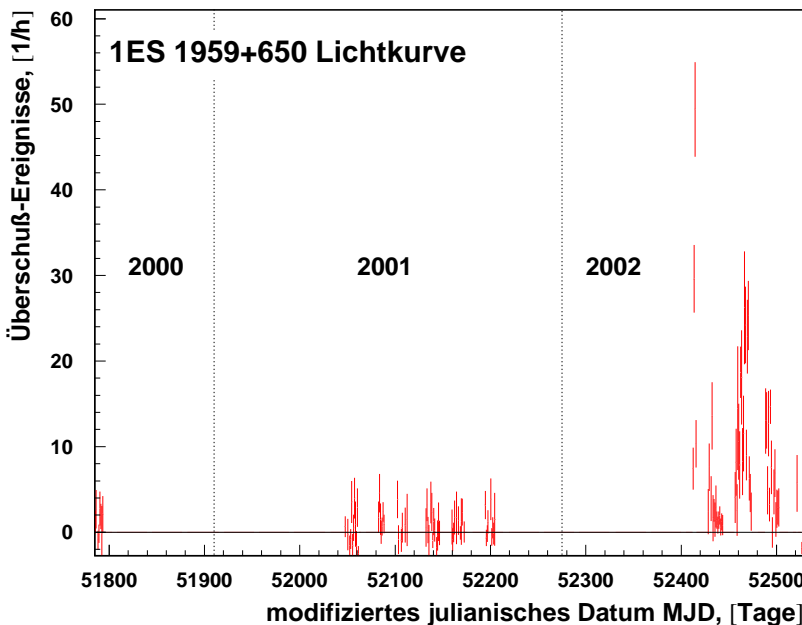


**1ES 1959+650 HEGRA-Daten**



erste Beobachtung ( $3.9\sigma$ ):  
7-Telescope-Array 1999

HEGRA Detektion 2001  
 → ICRC 2001  
 → HEAD meeting 2002

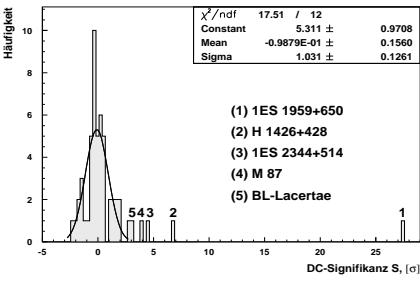


starker Ausbruch  
Mai 2002

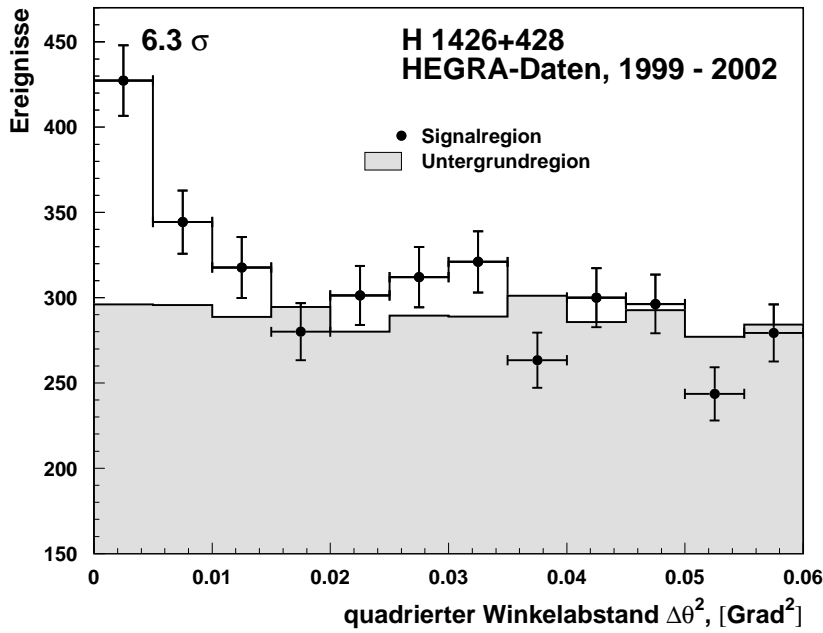
Detektionen durch  
Whipple, HEGRA, CAT

CT1: Vortrag N. Tonello

4. etablierter TeV-Blazar auf der Nordhalbkugel  
 Veröffentlichung bei A&A



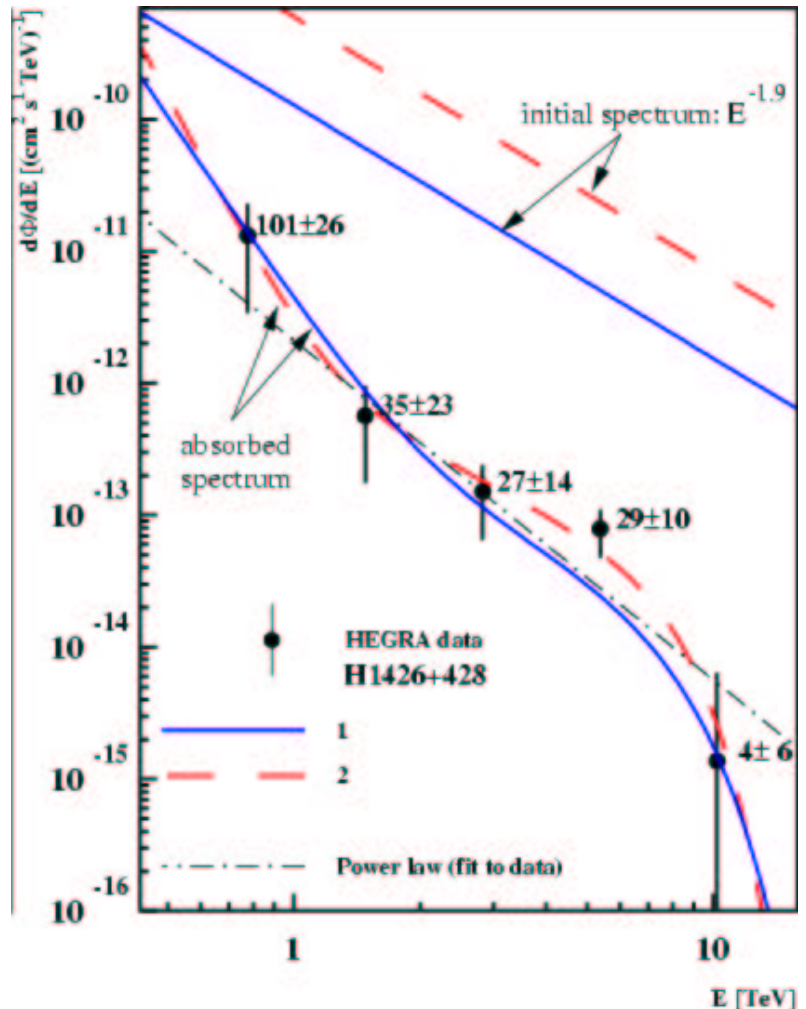
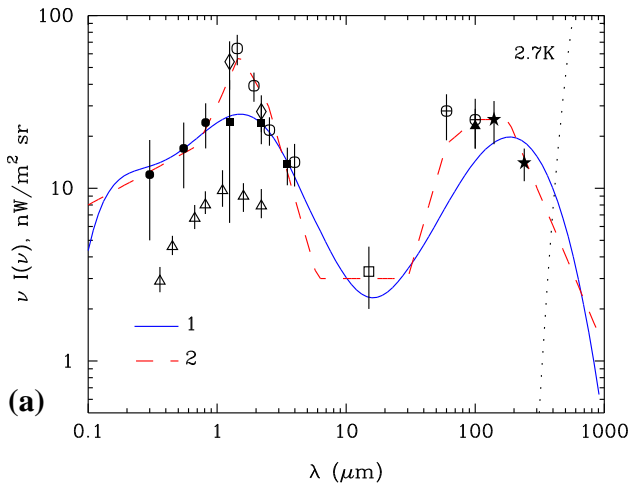
# H 1426+428, z = 0.129



etablierte Quelle  
(Whipple, HEGRA, CAT)

$z=0.129$

- Entfernteste TeV- $\gamma$ -Quelle
- höchster intrinsischer Fluß

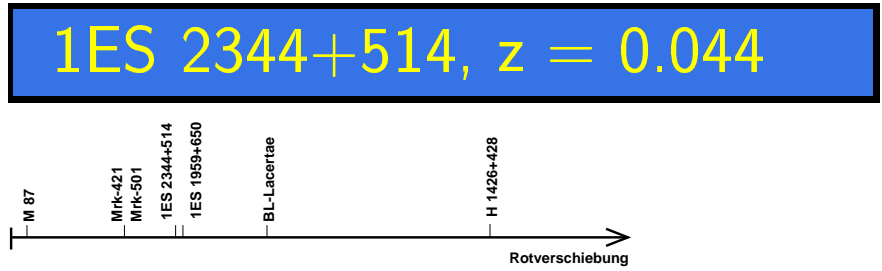
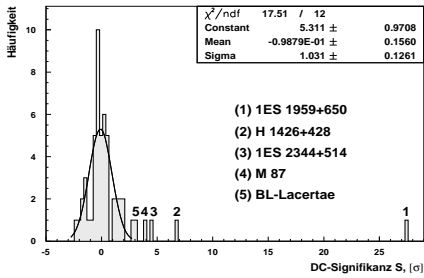


• EHL-Absorption

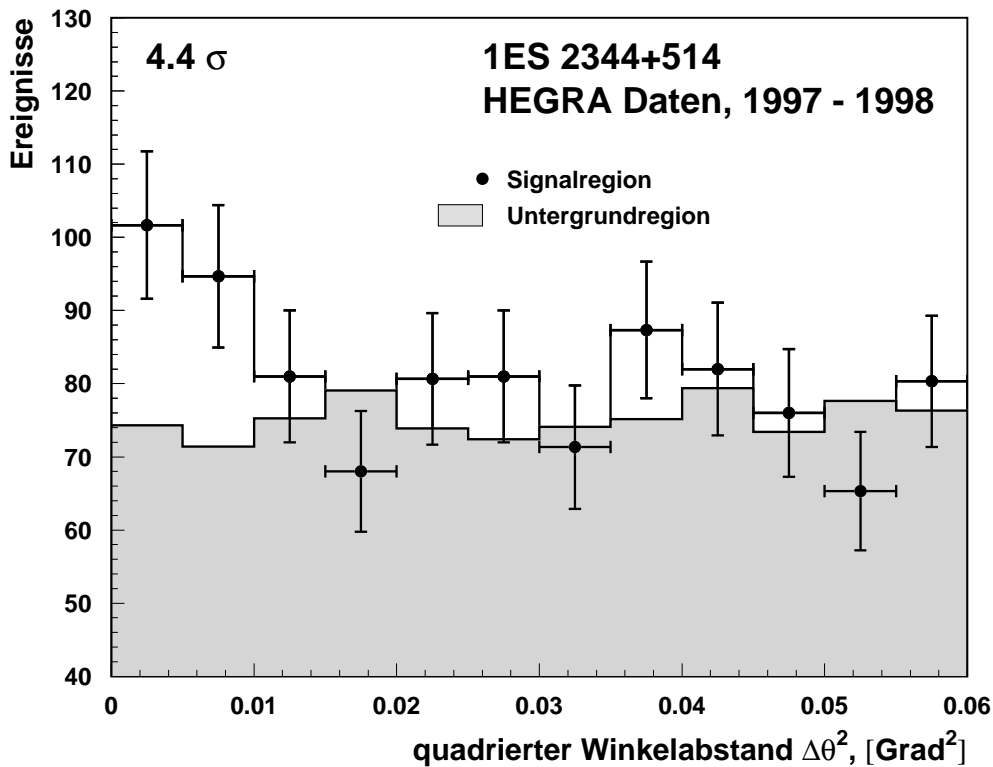


• Signatur im TeV-Spektrum

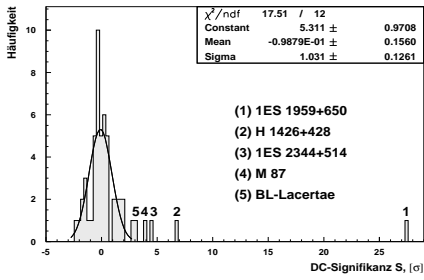
• Vortrag: D. Mazine



- extreme synchrotron blazar
- erste Beobachtung: Whipple, (1998, 1 Nacht mit  $6 \sigma$ )



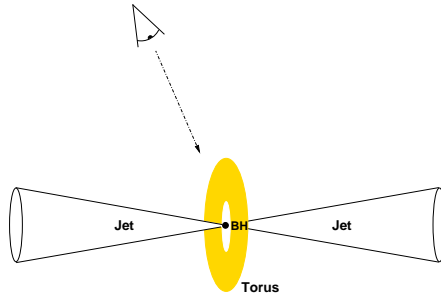
- $S = 4.4 \sigma$
- $\Phi(E > 0.8 \text{ TeV}) < 1.1 \times 10^{-12} \text{ Photonen cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Keine Variabilität in den HEGRA-Daten



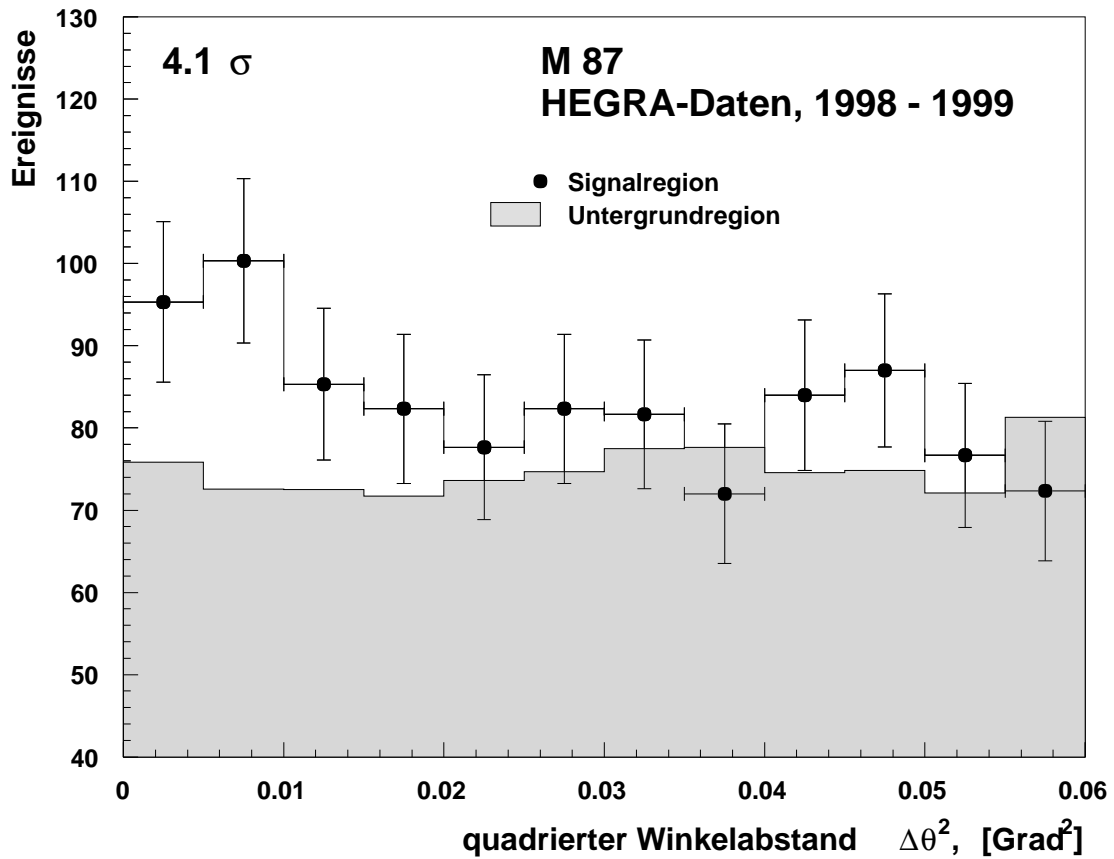
M87, z = 0.0043



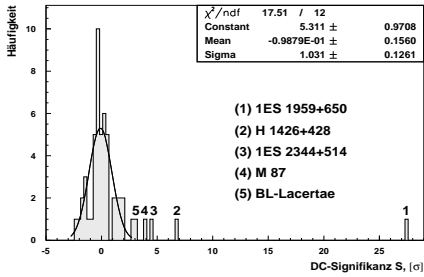
● Radiogalaxie !



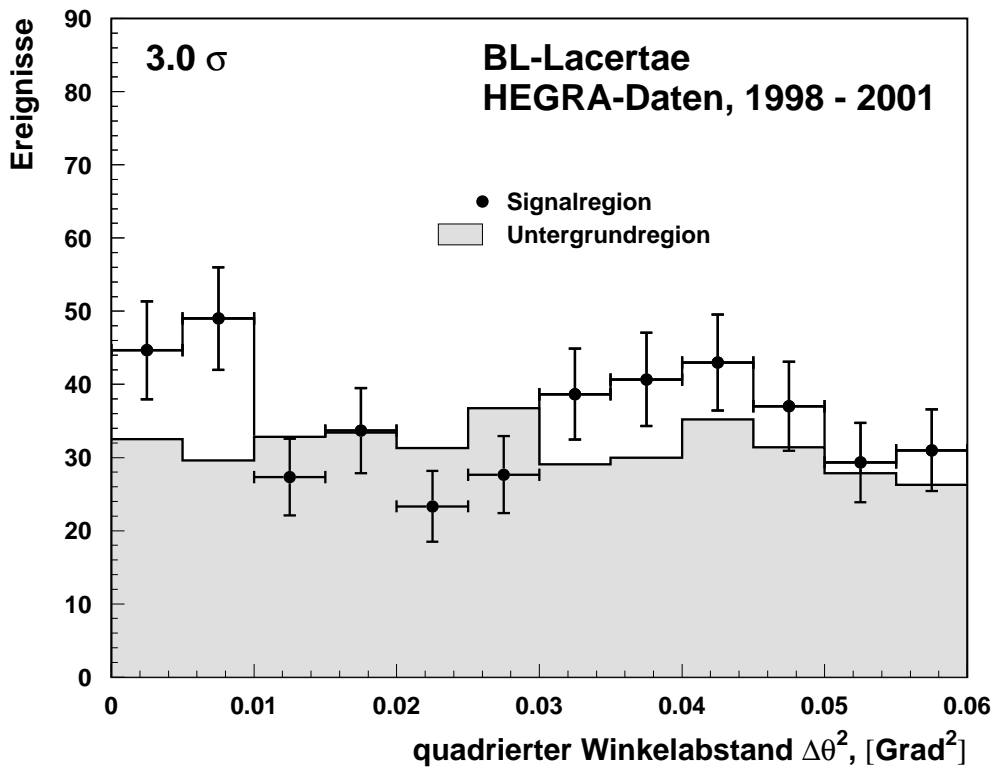
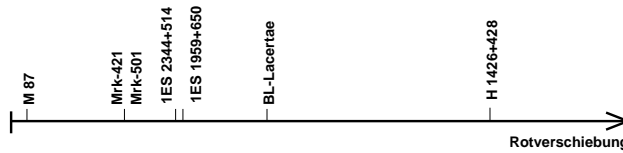
- seit langem vermuteter UHECR-Beschleunigungsort
- Kandidat für Neutralino-Annihilationssignal



- $S = 4.1 \sigma$
- $\Phi(E > 0.7 \text{ TeV}) = 0.9 \times 10^{-12} \text{ Photonen cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- keine Variabilität in HEGRA-Daten
- Vortrag: N. Götting



BL-Lac,  $z = 0.069$



- 27 Stunden Beobachtungszeit (1998 - 2001)
- 3.0  $\sigma$
- $\Phi^{99\%}(E > 0.8 \text{ TeV}) < 1.4 \times 10^{-12} \text{ Photonen cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

## Zusammenfassung und Ausblick

- Analyse des HEGRA-Datensatzes aus 54 Aktiven Galaktischen Kernen abgeschlossen
  - 2 Detektionen (außer Mrk-421 & Mrk-501):

1ES 1959+650	$> 20 \sigma$	Ausbruch 05/2002
H 1426+428	$6.3 \sigma$	
  - 2 Kandidaten:
    - 1ES 2344+514  $4.4 \sigma$
    - M 87  $4.1 \sigma$  Radiogalaxie
- mögliche indirekte Einschränkung des Hintergrundlichts
- erste Radiogalaxie im TeV-Bereich
- gute Aussichten für die nächste Generation

