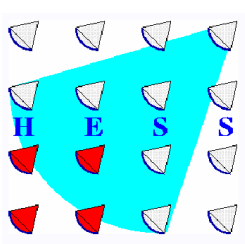




MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



bmb+f - Förderschwerpunkt

Astro-Teilchenphysik

Großgeräte der physikalischen  
Grundlagenforschung

# Algorithmen zur Gamma-Hadron- Separation mit den H.E.S.S.-Teleskopen



- *Gliederung*

- Die kosmische Strahlung
- Das H.E.S.S.-Experiment
- $\gamma$ -Hadron-Separation
- Random Forest
- Zusammenfassung und Ausblick

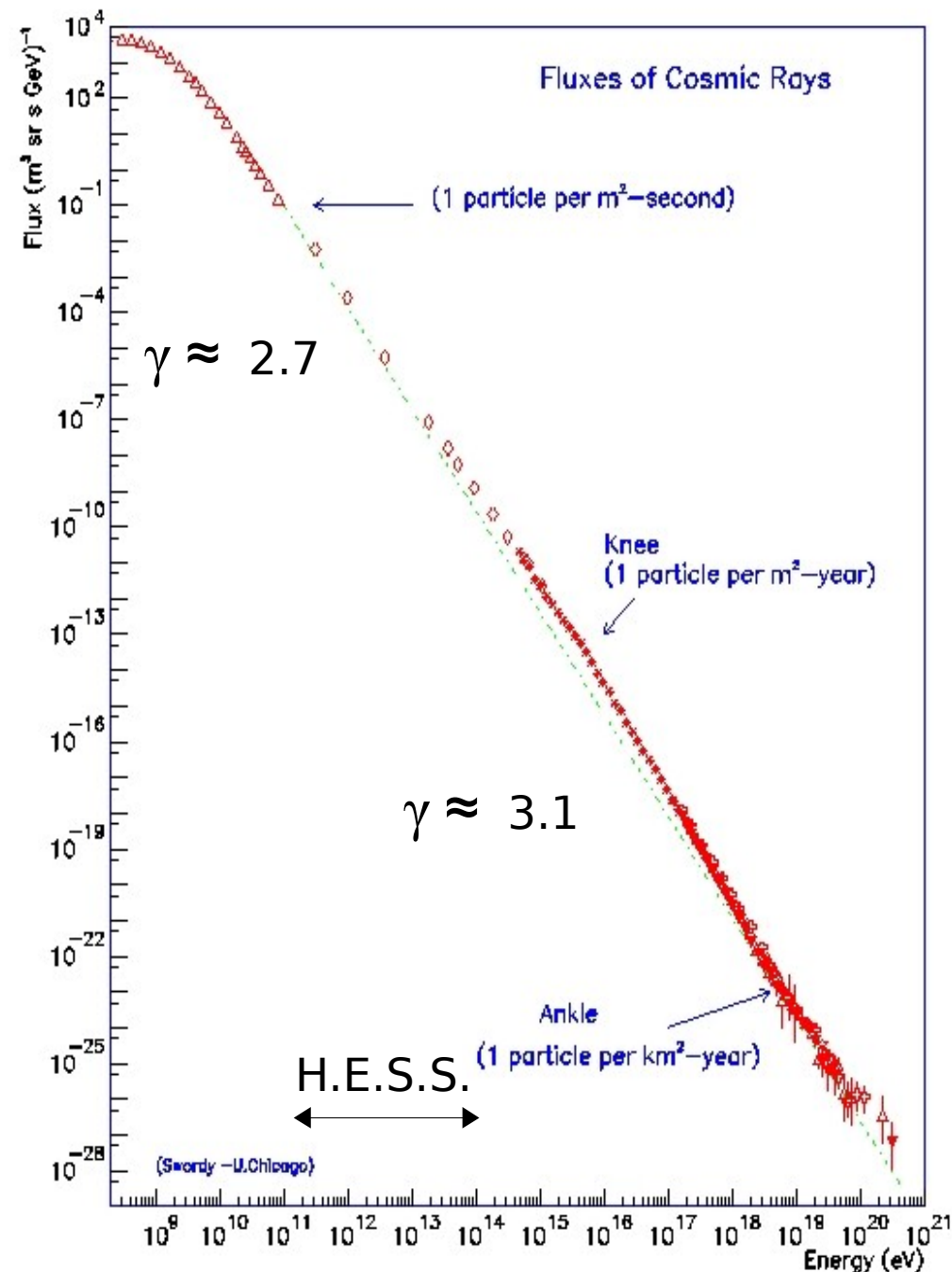


# Die kosmische Strahlung

- 1912 von Victor Hess entdeckt (Nobelpreis 1936)
- Zusammensetzung:
  - ( $\approx 98\%$ ) Atomkerne und
  - ( $\approx 2\%$ ) Elektronen
- Isotrop treffen  $\approx 1000$  Teilchen pro  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  auf die Erdatmosphäre

Energiespektrum folgt Potenzgesetz:

$$\Phi \sim E^{-\gamma}$$



# Das H.E.S.S.-Experiment

## - Eigenschaften -

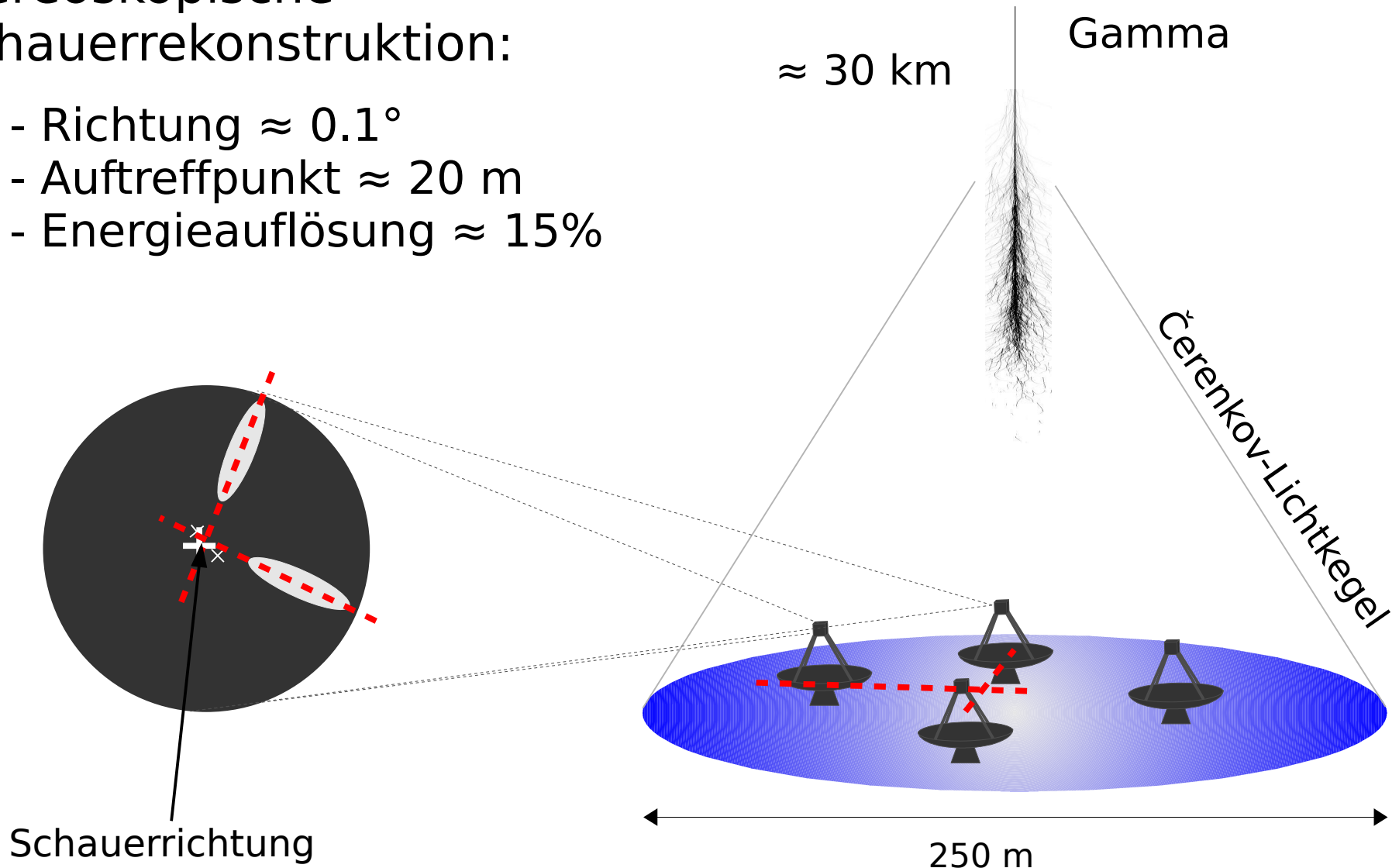
- 4 abbildende Čerenkov-Teleskope:
  - seit 2004 in Namibia mit allen vier Teleskopen in Betrieb
  - 107m<sup>2</sup> Spiegelfläche
  - Kamera besteht aus 960 Pixeln a 0.16°
  - effektive Nachweisfläche von  $\approx 10^5$  m<sup>2</sup>
  - Beobachtungen im Bereich von 100GeV – 100TeV
  - 25h Beobachtung um 1% Krebsnebel mit  $5\sigma$  zu messen



# Das H.E.S.S.-Experiment

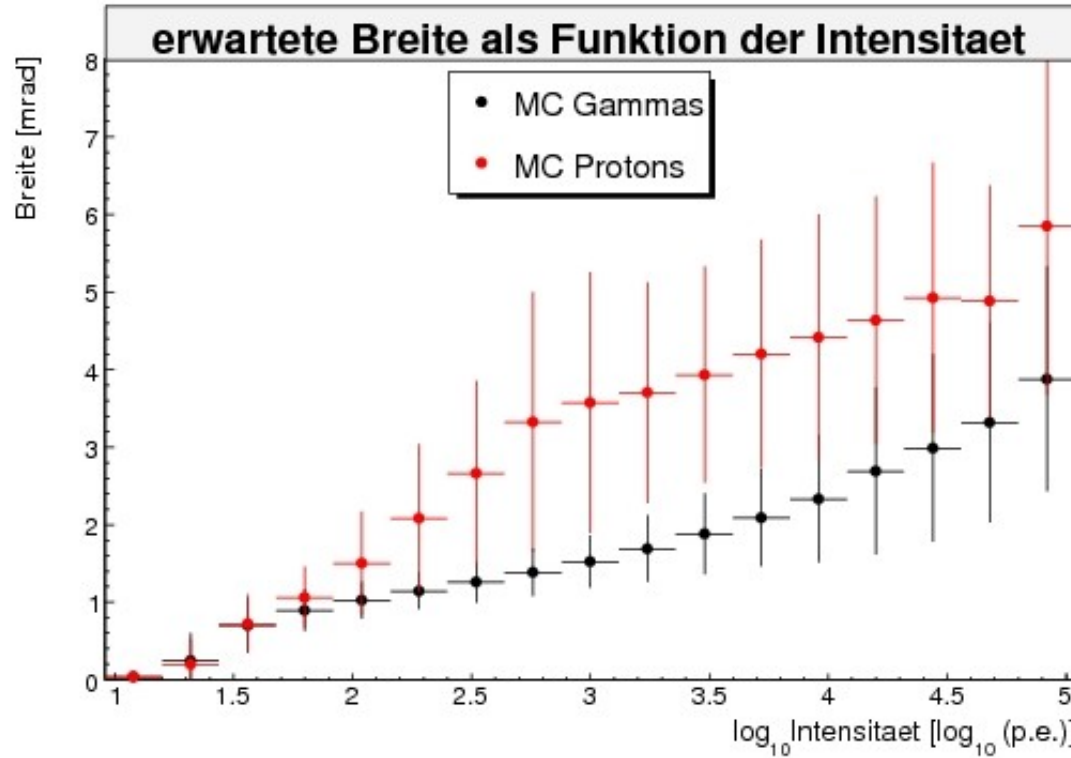
## - abbildende Čerenkov-Technik -

- stereoskopische Schauerrekonstruktion:
  - Richtung  $\approx 0.1^\circ$
  - Auftreffpunkt  $\approx 20$  m
  - Energieauflösung  $\approx 15\%$

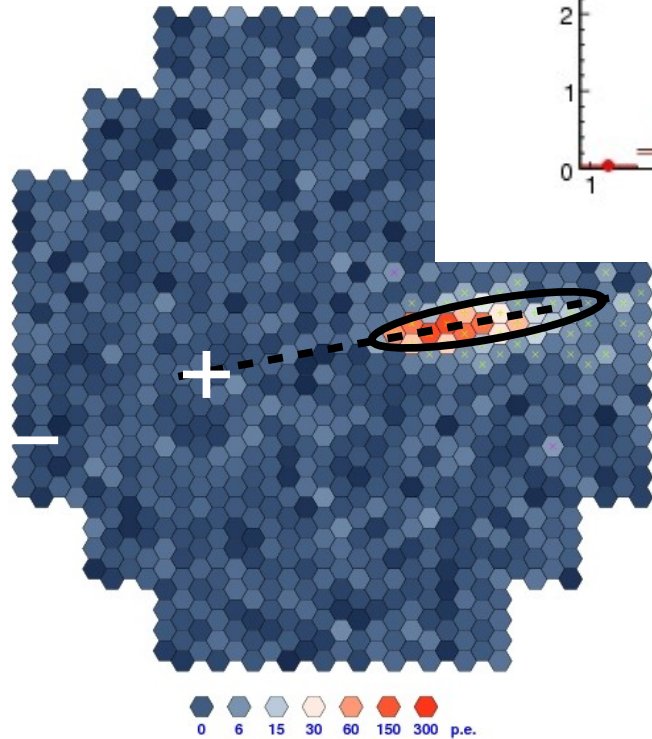


# $\gamma$ -Hadron Separation

- Die H.E.S.S.-Standardanalyse -

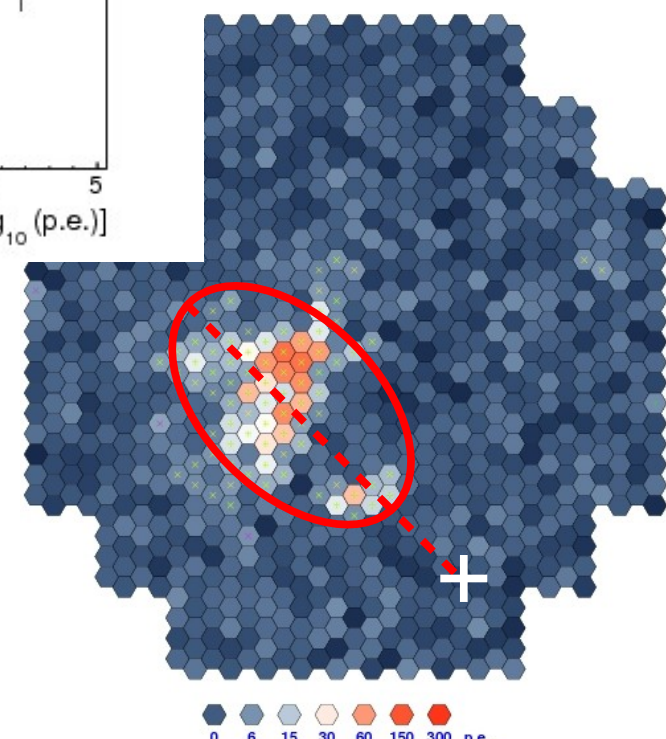


**Gamma**



Gamma mit  $E = 1$  TeV bei einer Distanz von 116 m

**Proton**



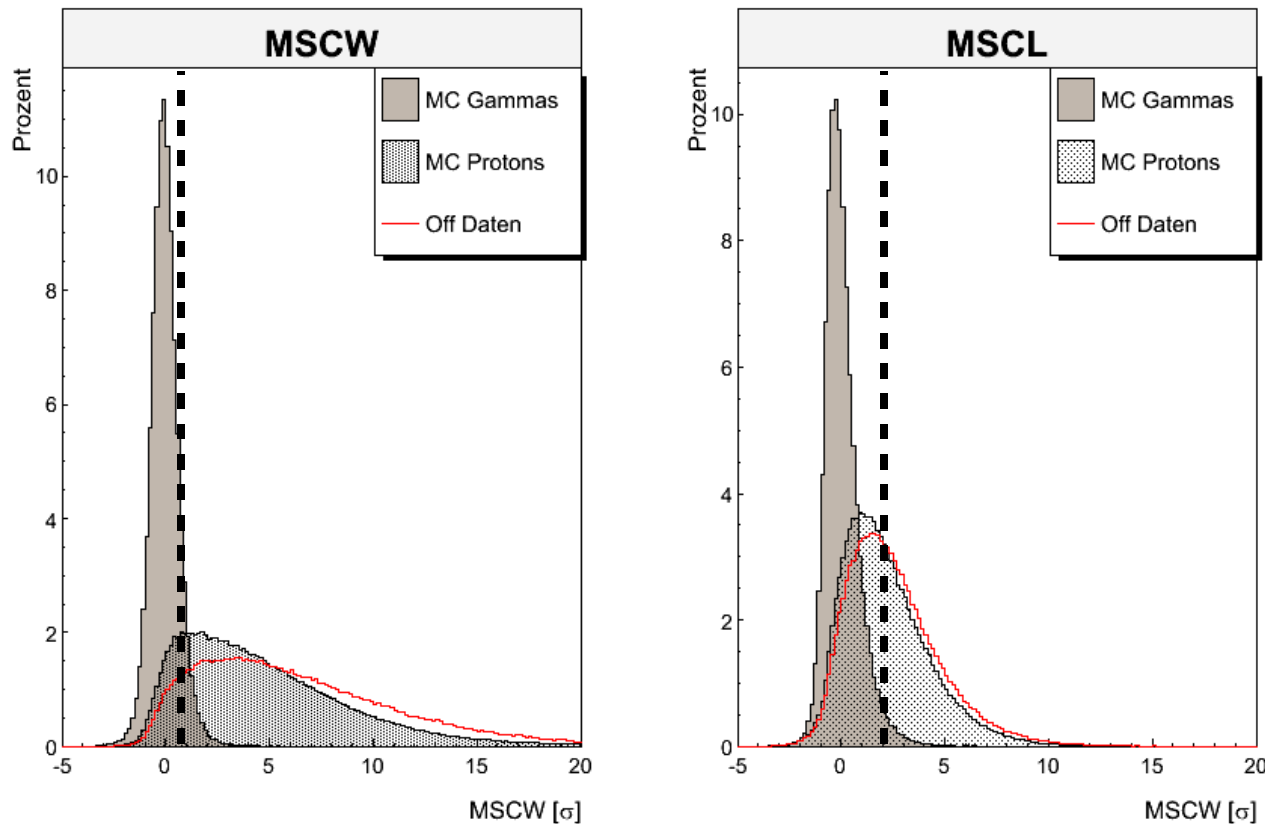
Proton mit  $E = 2.3$  TeV bei einer Distanz von 58 m

- Breite der Bilder ist am besten zur Trennung geeignet
- zusätzlich noch die Länge

# $\gamma$ -Hadron Separation

## - Die H.E.S.S.-Standardanalyse -

- Vergleiche die gemessene Breite/Länge der Bilder mit dem Erwartungswert für ein Gamma
- Miss die Abweichung in Einheiten von  $\sigma$  (MeanScaledWidth und MeanScaledLength)
- Suche die besten Schnitte für bestimmte Quelltypen



“Box-Cuts”

# $\gamma$ -Hadron Separation

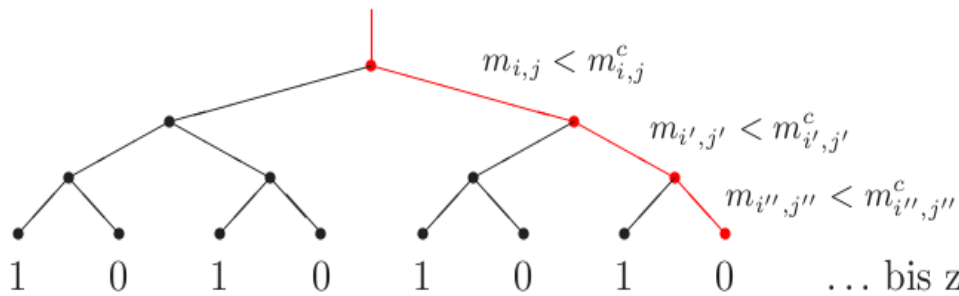
## - Random Forests -

- Random Forests[1]:
  - Entscheidungsbäume, die mit Signal- und Untergrundereignissen trainiert werden

### • Arbeitsweise

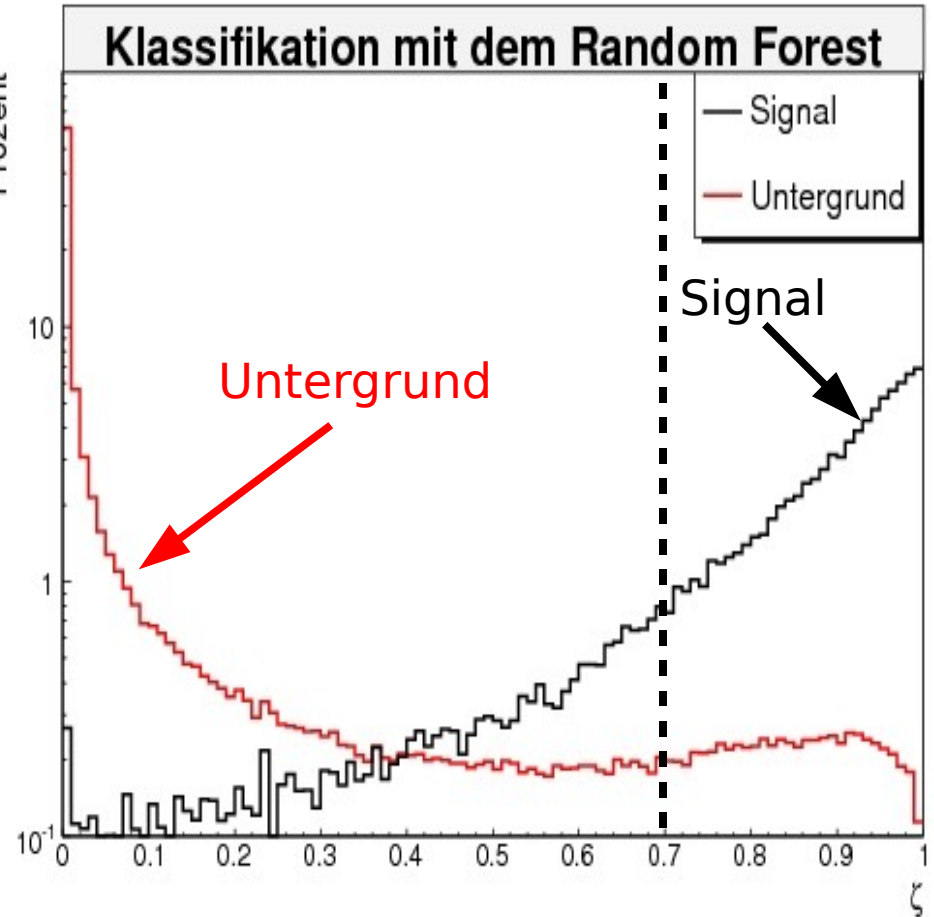
z.B. MSCW

Ereignis mit Parameter-Satz  $M = (m_1, \dots, m_6)$



⋮ bis zu 5000 Knoten

$$\Rightarrow \zeta = 1/n \sum_i \zeta_i$$



Wähle  $\zeta > 0.7$  als Schnitt

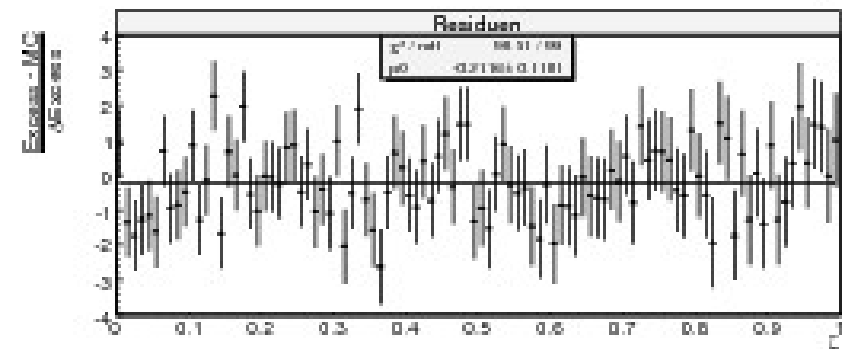
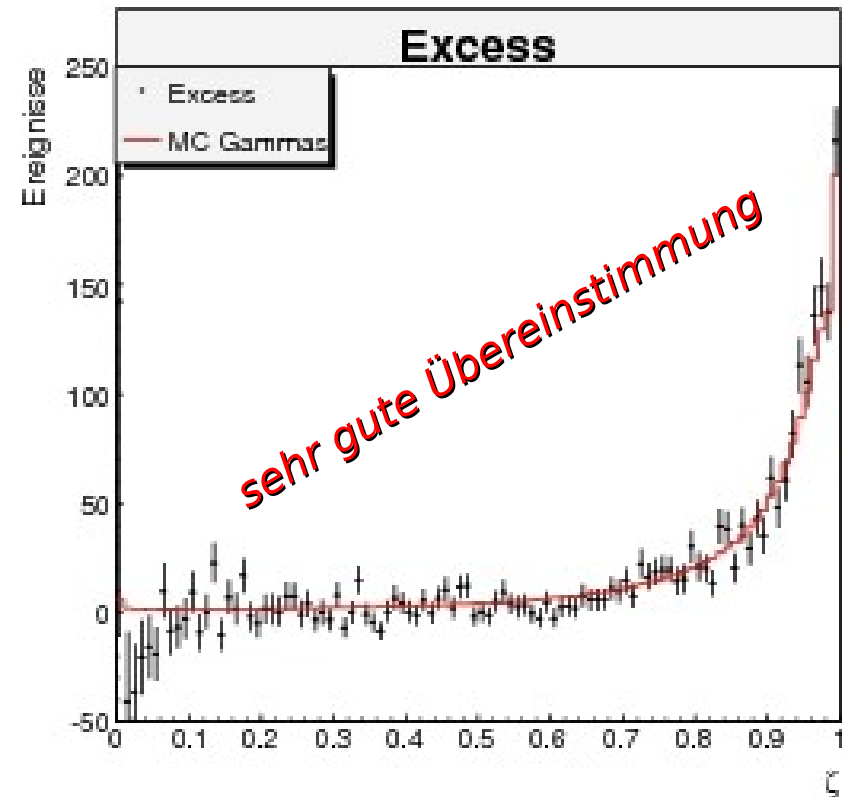
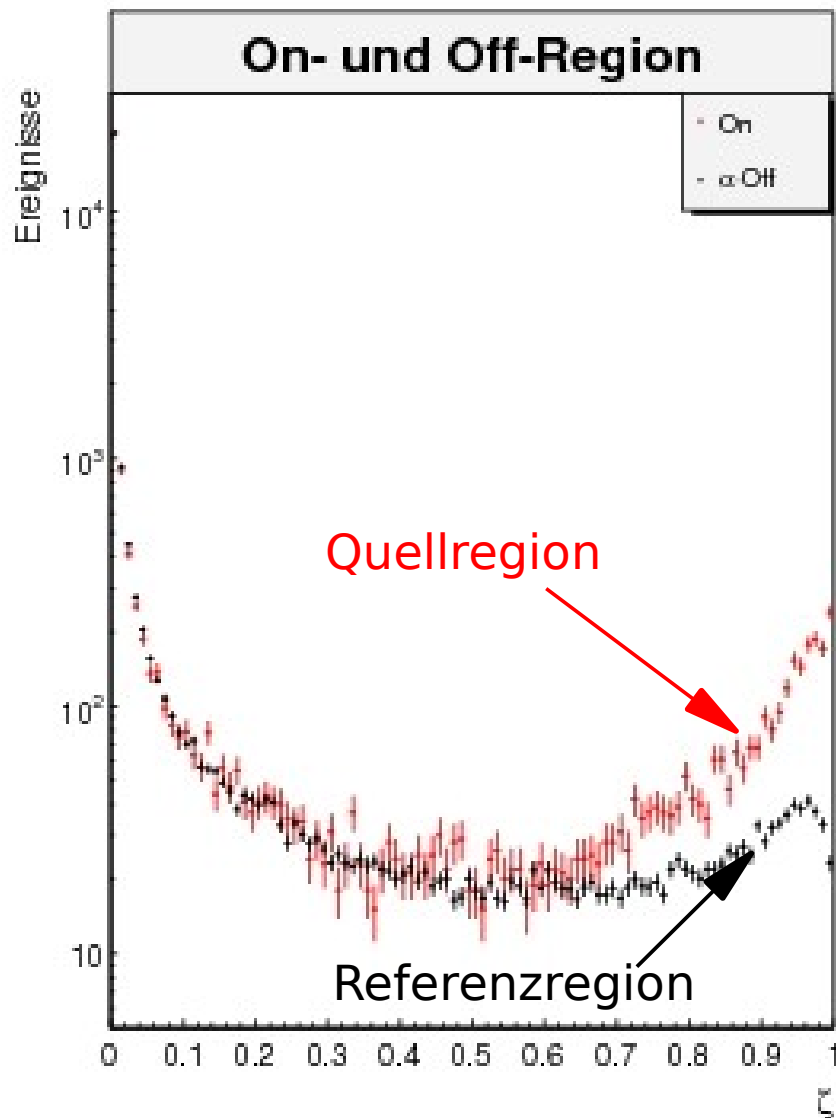
[1] Random Forest:

<http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/>



# Systematische Tests

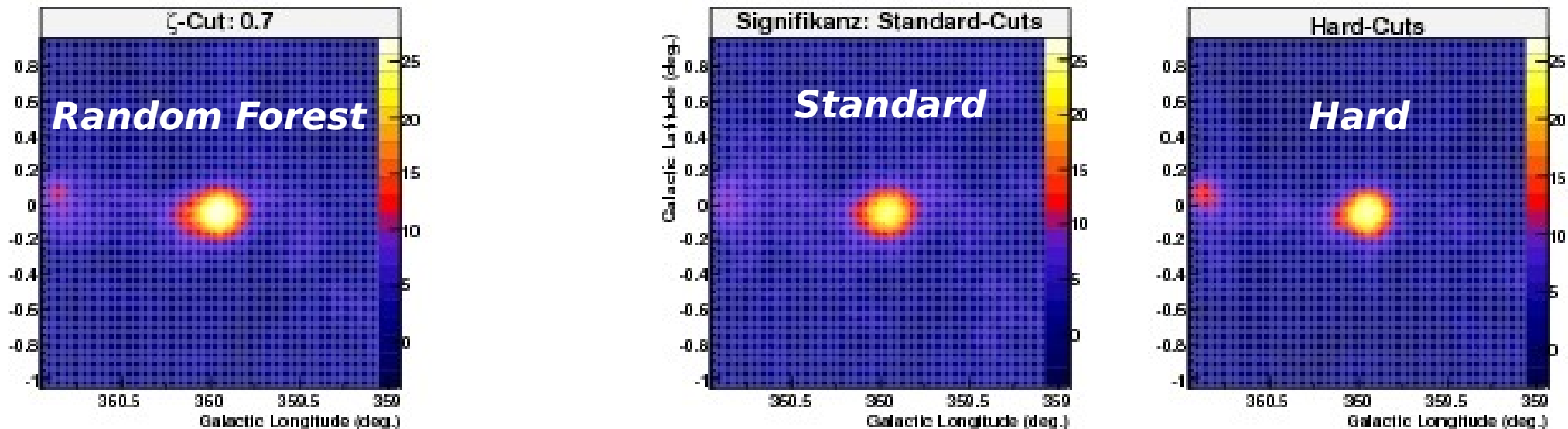
- Galaktisches Zentrum -



# Systematische Tests

- Vergleich mit der H.E.S.S.-Standardanalyse -

- Galaktisches Zentrum



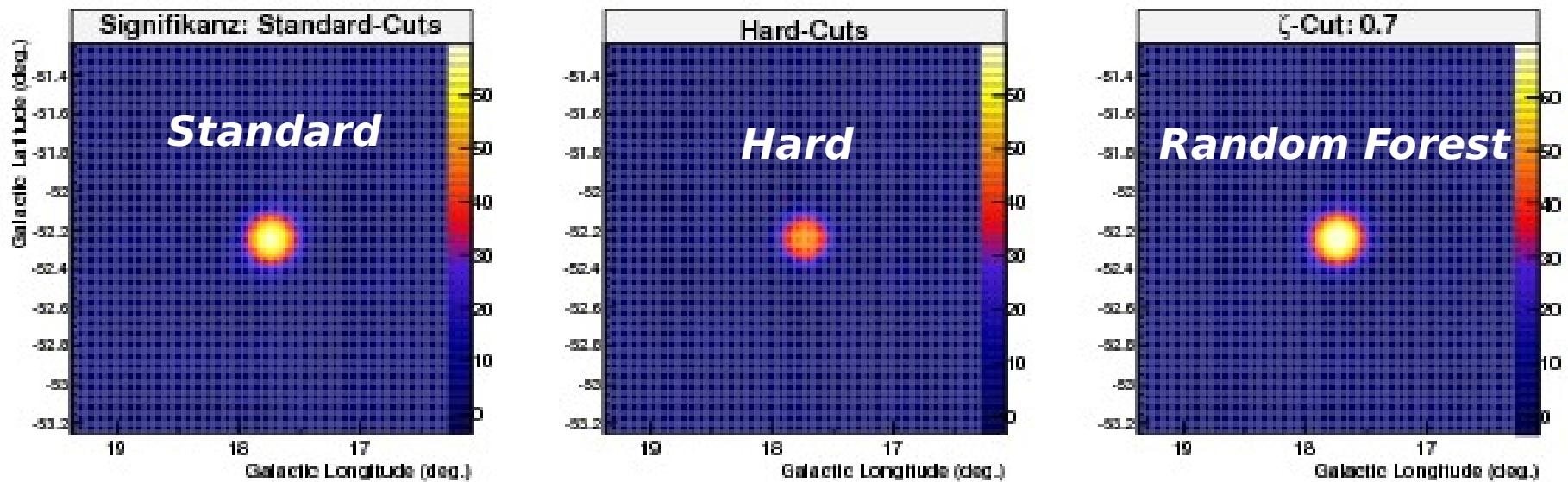
HESS J1745-290: $0^\circ < \vartheta < 15^\circ$					
Schnitt	$N_{\text{On}}$	$\alpha \cdot N_{\text{Off}}$	$N_\gamma$	$\sigma$	S/B
Standard	5185	3067	2118	32.12	0.69
Hard	1272	290	982	37.82	3.40
$\zeta > 0.7$	3650	1558	2092	41.20	1.34

- 10% höhere Signifikanz
- unterhalb von 1 TeV sogar bis zu 20% höhere Signifikanz

# Systematische Tests

- Vergleich mit der H.E.S.S.-Standardanalyse -

- aktiver Galaxienkern: PKS 2155-304



PKS 2155-304:  $0^\circ < \vartheta < 15^\circ$

Schnitt	$N_{\text{On}}$	$\alpha \cdot N_{\text{Off}}$	$N_\gamma$	$\sigma$	S/B
Standard	4211	1075	3136	64.82	2.92
Hard	987	98	889	44.98	9.08
$\zeta > 0.7$	3044	463	2581	69.42	5.57

- 8% höhere Signifikanz

# Zusammenfassung und Ausblick

- Random Forest zeigt bessere Performance für verschiedene Quelltypen als die H.E.S.S.-Standardanalyse
  - => weniger Beobachtungszeit um Quellen zu entdecken
- multidimensionale Klassifikationsalgorithmen werden allgemein in der HE(A)P immer wichtiger[1]
  - => Suche nach kleinen Signalen bei riesigem Untergrund
- weitere Ausarbeitung technischer Details erforderlich
  - Spektren, alternative Klassifikationsalgorithmen,...

# Systematische Tests

## - Untergrund-

