

WESTFÄLISCHE
WILHELMUS-UNIVERSITÄT
MÜNSTER

Status der Analyse des seltenen Zerfalls $\eta \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-$ am Experimentaufbau WASA-at-COSY

Florian Bergmann

18.03.2010

Erinnerung: C-Parität

- C-Operator: wandelt Teilchen in Antiteilchen um
 - Bsp.: $C | e^- \rangle = a | e^+ \rangle$ a: Phasenfaktor
- Majoranateilchen: Eigenzustände des C-Operators mit Eigenwerten $C = \pm 1$
 - Notwendige Bedingung: $Q=I=B=S=L=0$
 - Bsp.: $C | \gamma \rangle = - | \gamma \rangle$
 - η -Meson:
$$\begin{aligned} C | \eta \rangle &= C | \gamma \gamma \rangle = C | \gamma \rangle \cdot C | \gamma \rangle \\ &= (-1) | \gamma \rangle \cdot (-1) | \gamma \rangle \\ &= (-1)^2 | \gamma \gamma \rangle = (+1) | \eta \rangle \end{aligned}$$
 - η -Zerfall in 3 Photonen wurde noch nicht beobachtet
- C-Paritätsverletzung in el. magn. / starker Wechselwirkung bisher noch nicht beobachtet

Der Zerfall $\eta \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-$

- Reaktion: $p + d \rightarrow {}^3\text{He} + \eta \rightarrow {}^3\text{He} + \pi^0 + e^+ + e^-$

- Zerfall über Zwischenzustand:

$$\eta \rightarrow \pi^0 + \gamma^* \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-$$

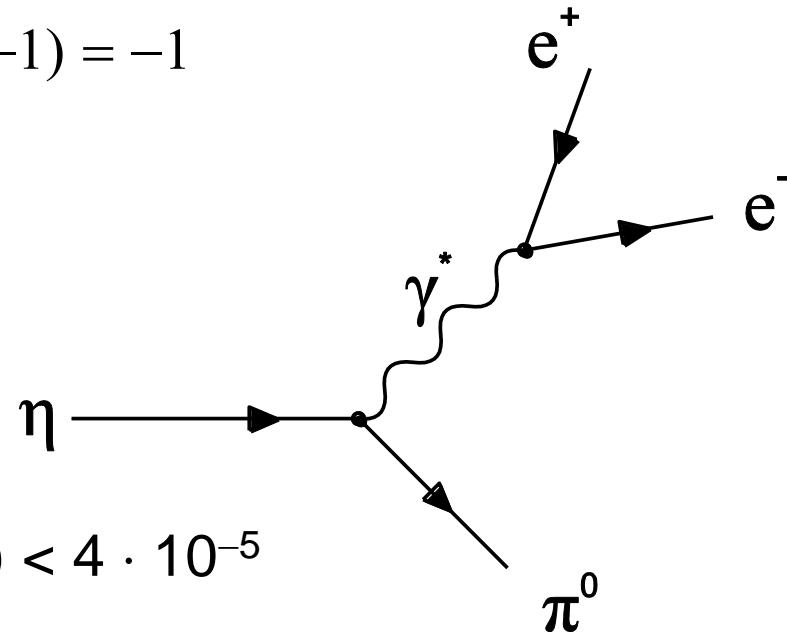
γ^* : virtuelles Photon

- C-Parität: $C = C_{\pi^0} \cdot C_{\gamma^*} = (+1) \cdot (-1) = -1$
 $\neq C_\eta = +1$

→ Zerfall sollte verboten sein

- Bisherige Beobachtung:

$$\text{rel. Häufigkeit } (\eta \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-) < 4 \cdot 10^{-5}$$



Der Zerfall $\eta \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-$

- Zerfall über Zwischenzustand mit zwei virtuellen Photonen

$$\eta \rightarrow \pi^0 + \gamma^* + \gamma^* \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-$$

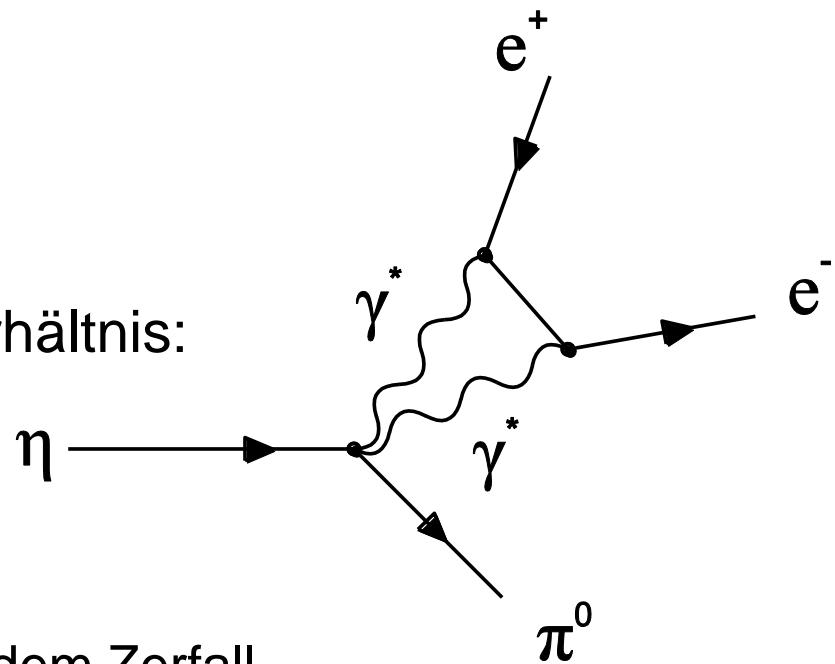
- C-Parität: $C = C_{\pi^0} \cdot C_{\gamma^*} \cdot C_{\gamma^*} = (+1) \cdot (-1) \cdot (-1) = +1$
 $= C_\eta = +1$

→ Erlaubter Zerfall

- Theoretisches Verzweigungsverhältnis:

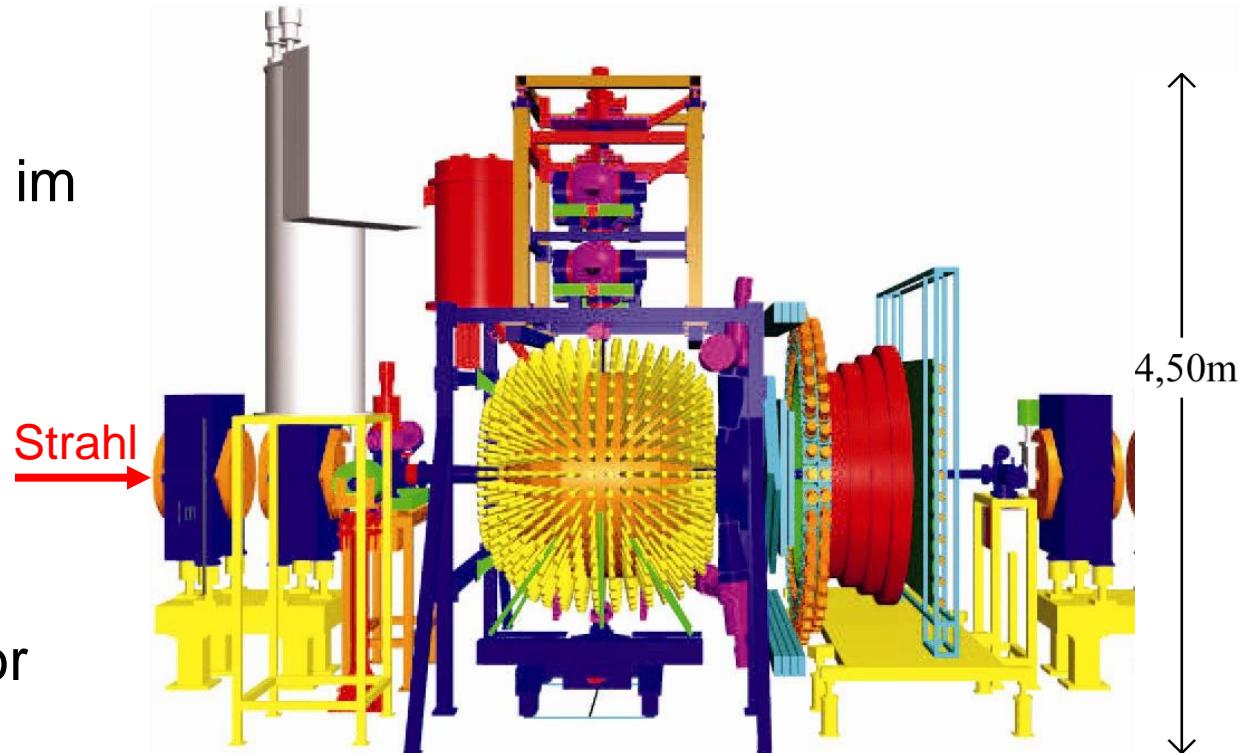
$$10^{-11} - 10^{-8}$$

- Ziel:
 - Suche nach C-Parität verletzendem Zerfall



WASA – Wide Angle Shower Apparatus

- Konstruiert zur Untersuchung von Produktionsmechanismen und Zerfällen leichter Mesonen am Beschleuniger CELSIUS in Uppsala
- 2005 / 2006:
Transportiert zum
Beschleuniger COSY im
Forschungszentrum
Jülich
- Hauptbestandteile:
 - Pelletttarget
 - 4π -Zentraldetektor
 - Vorwärtsdetektor

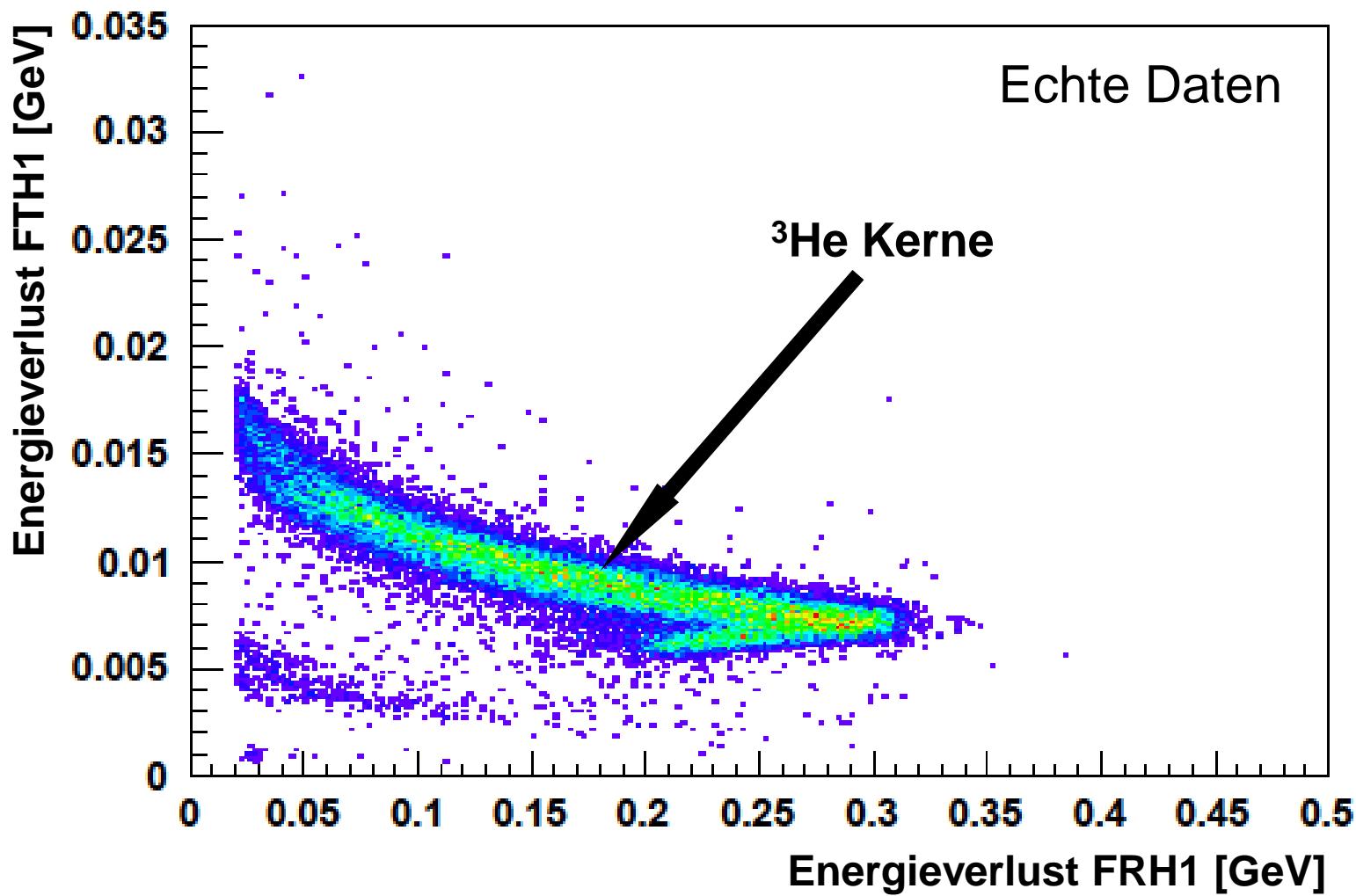


Wahl der Selektionsbedingungen

- 11 Millionen erzeugte η -Mesonen während der Strahlzeit im September / Oktober 2008
 - Aktuelle obere Grenze für den Zerfall $\eta \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$: $4 \cdot 10^{-5}$ (PDG)
- Maximal 440 solche Zerfälle während der Strahlzeit
- Analyse muss:
 - Möglichst viel Untergrund aussortieren
 - Möglichst wenig gesuchte Ereignisse aussortieren
 - Suche nach Selektionsbedingungen (Cuts) unter Berücksichtigung beider Punkte

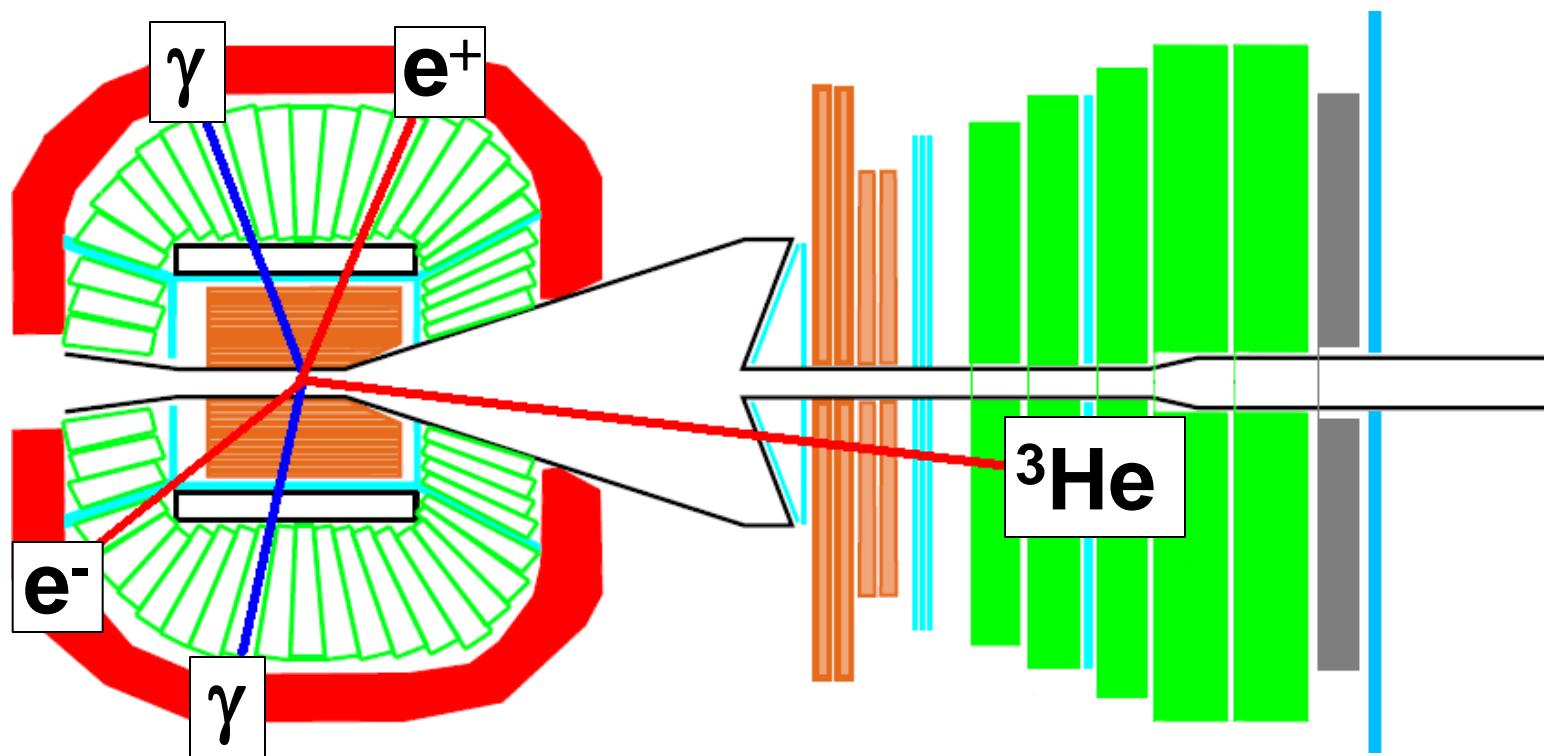
Cut 1 – Identifikation der ${}^3\text{He}$

- Reaktion: $\text{p} + \text{d} \rightarrow {}^3\text{He} + \text{X}$



Cut 2 – Signatur des Zerfalls $\eta \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-$

- 1 geladenes Teilchen im Vorwärtsdetektor (${}^3\text{He}$)
- 1 positiv geladenes Teilchen im Zentraldetektor (e^+)
- 1 negativ geladenes Teilchen im Zentraldetektor (e^-)
- 2 neutrale Teilchen im Zentraldetektor (2 γ aus π^0 -Zerfall)



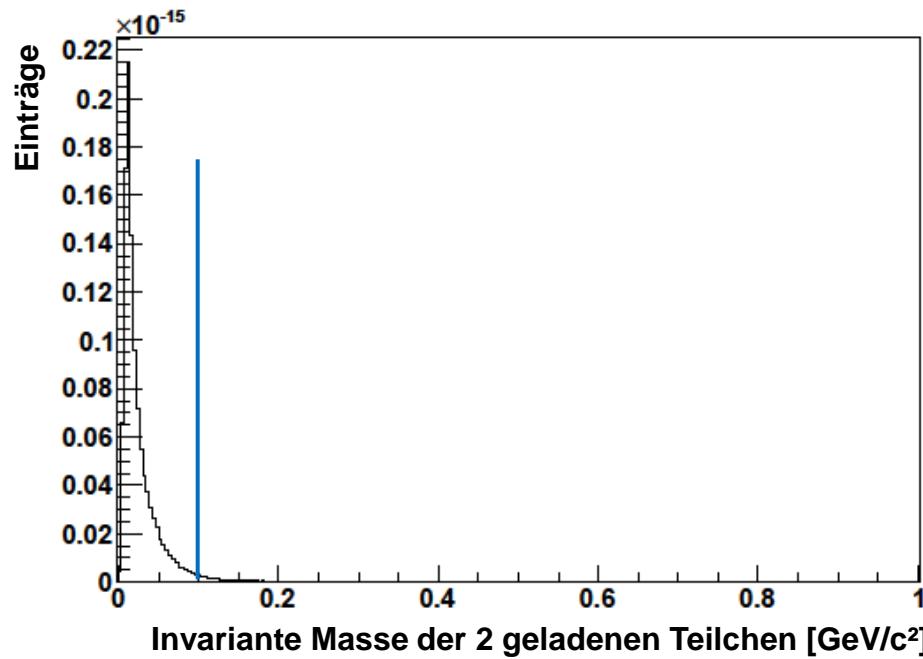
Cut 3 – Unterdrückung der geladenen Pionen (1)

- Annahme:

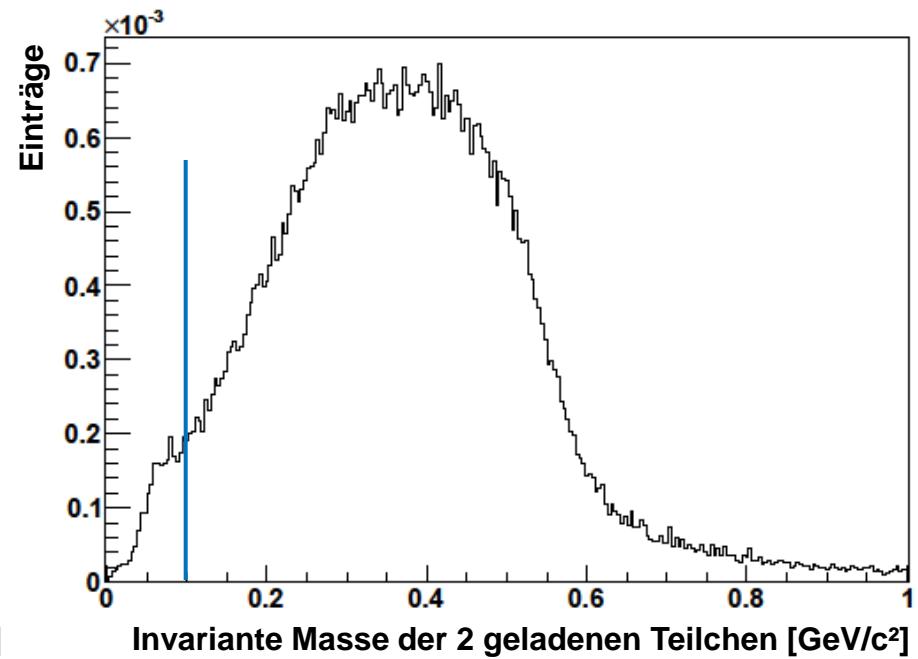
$$\eta \rightarrow \pi^0 + \gamma^* \rightarrow \pi^0 + e^+ + e^-$$

γ^* : virtuelles Photon

Simulation: $\eta \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$



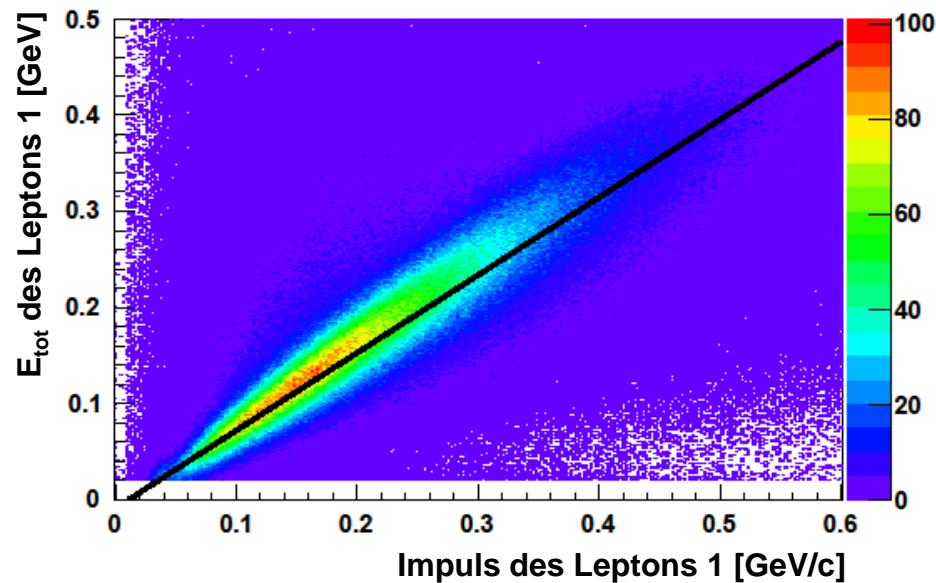
Simulation: direkte $\pi^+ \pi^-$ -Produktion



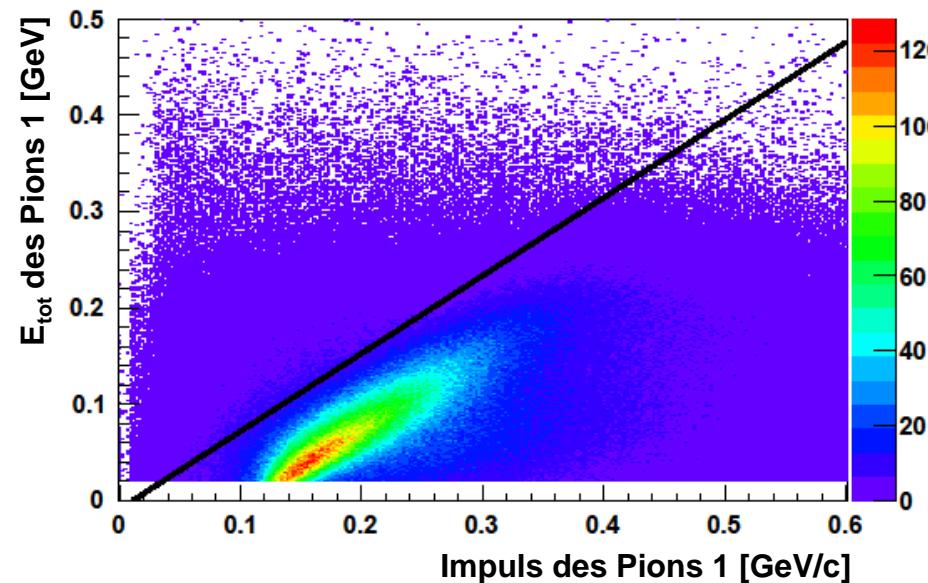
Cut 4 – Unterdrückung der geladenen Pionen (2)

- Zerfall $\eta \rightarrow (\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)\pi^+\pi^-$: identische Signatur wie der Zerfall $\eta \rightarrow (\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)e^+e^-$
- Masseunterschied der Elektronen und Pionen
→ Größere kin. Energie der Elektronen bei gleichem Impulsbetrag

Simulation: $\eta \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$

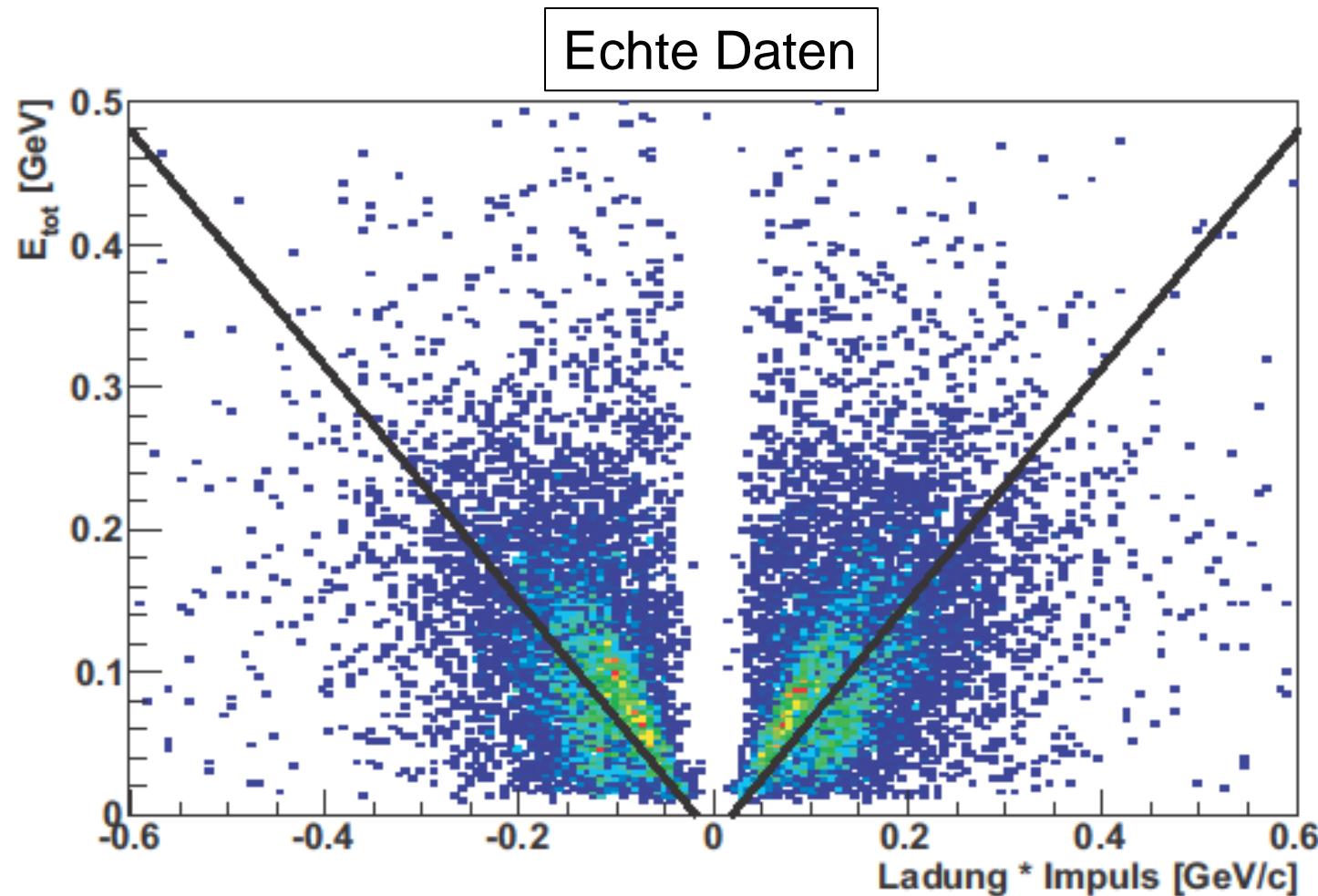


Simulation: $\eta \rightarrow \pi^0 \pi^+ \pi^-$



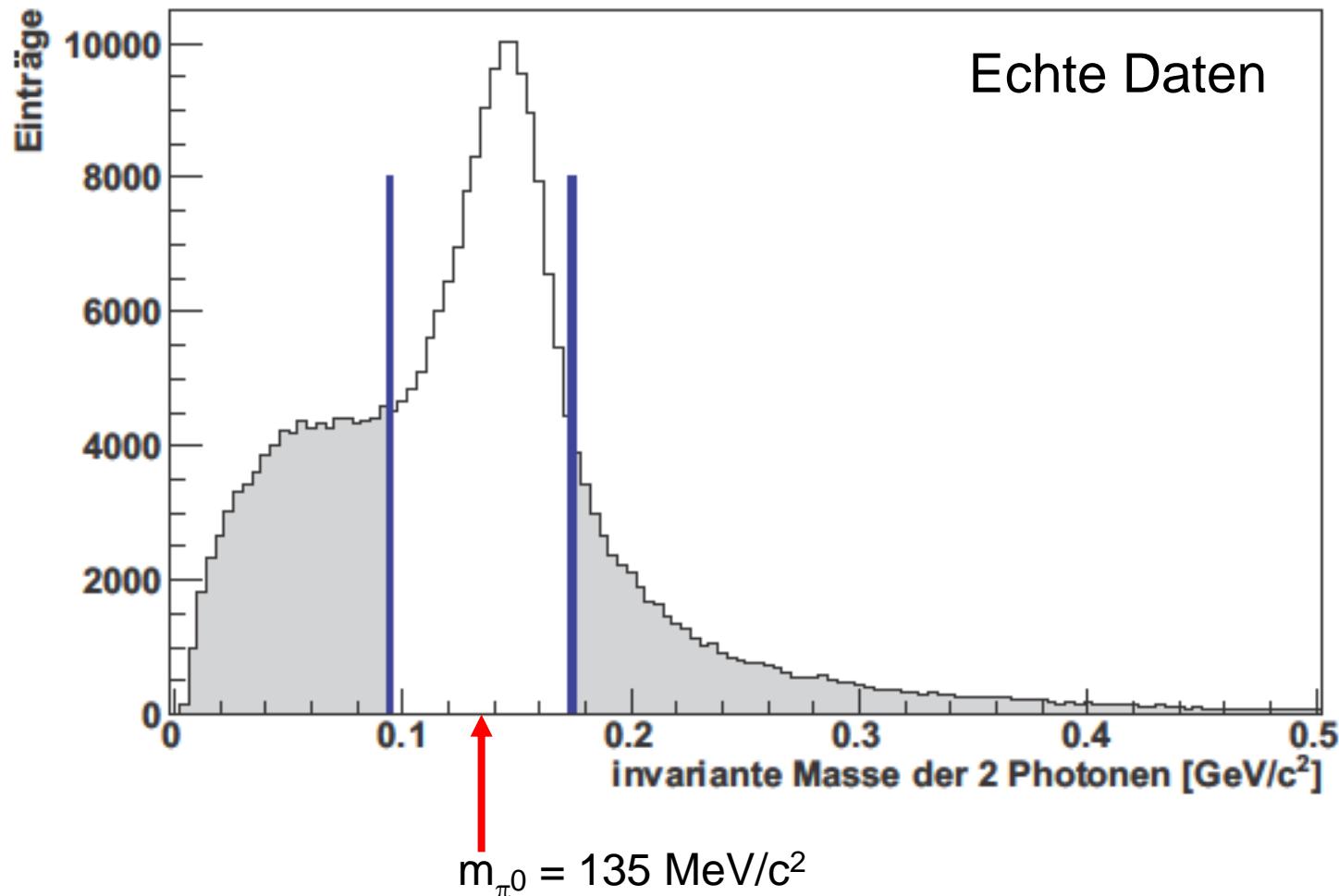
Cut 4 – Unterdrückung der geladenen Pionen (2)

- Masseunterschied der Elektronen und Pionen
→ Größere kin. Energie der Elektronen bei gleichem Impulsbetrag



Cut 5 – Zerfall des π^0 -Mesons

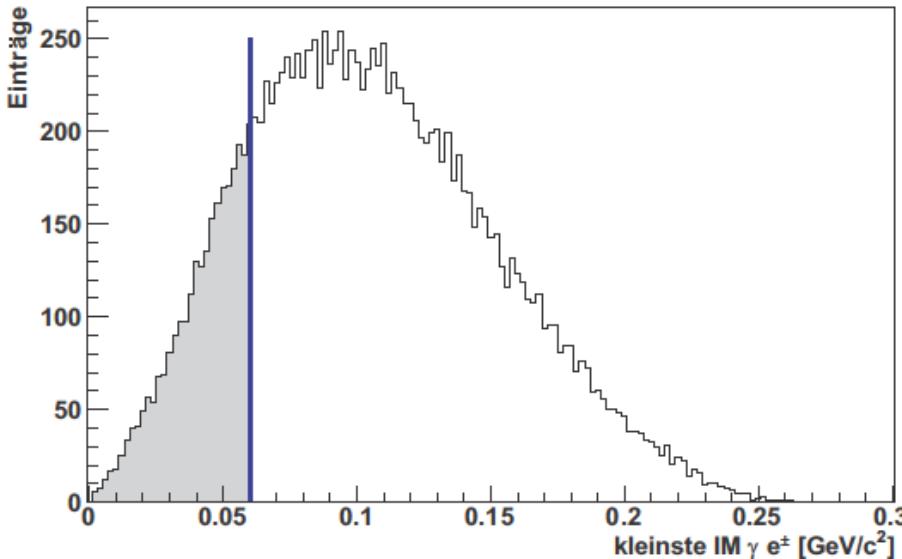
- π^0 -Meson zerfällt in zwei Photonen



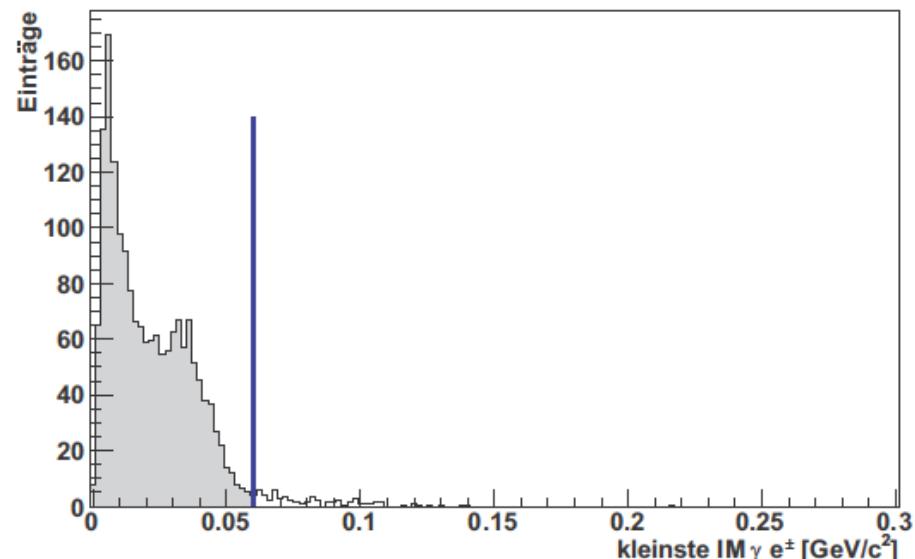
Cut 6 – Unterdrückung des Zerfalls $\eta \rightarrow e^+e^-\gamma$

- Identische Signatur des Zerfalls $\eta \rightarrow e^+e^-\gamma$ durch Bremsstrahlung
- Kleinste invariante Masse der 4 $e^\pm\gamma$ - Kombinationen
- Bester Cut zur Reduzierung des durch $\eta \rightarrow e^+e^-\gamma$ verursachten Untergrundes

Simulation: $\eta \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$

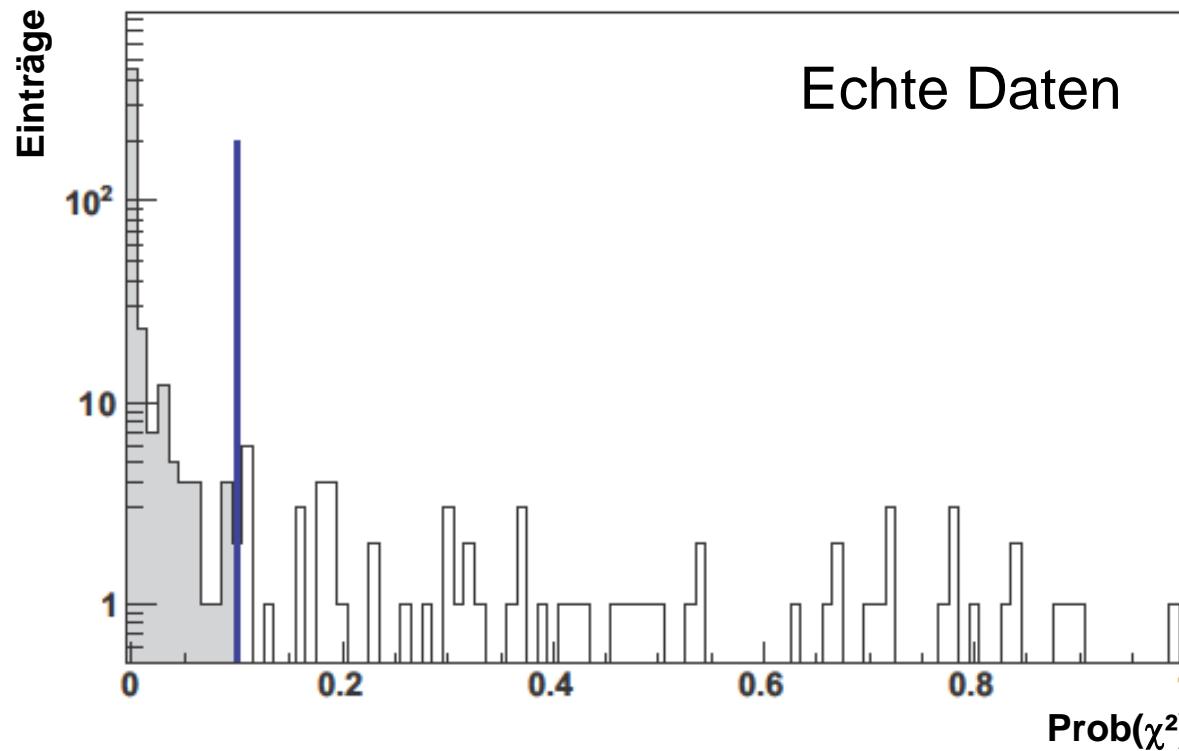


Simulation: $\eta \rightarrow e^+e^-\gamma$

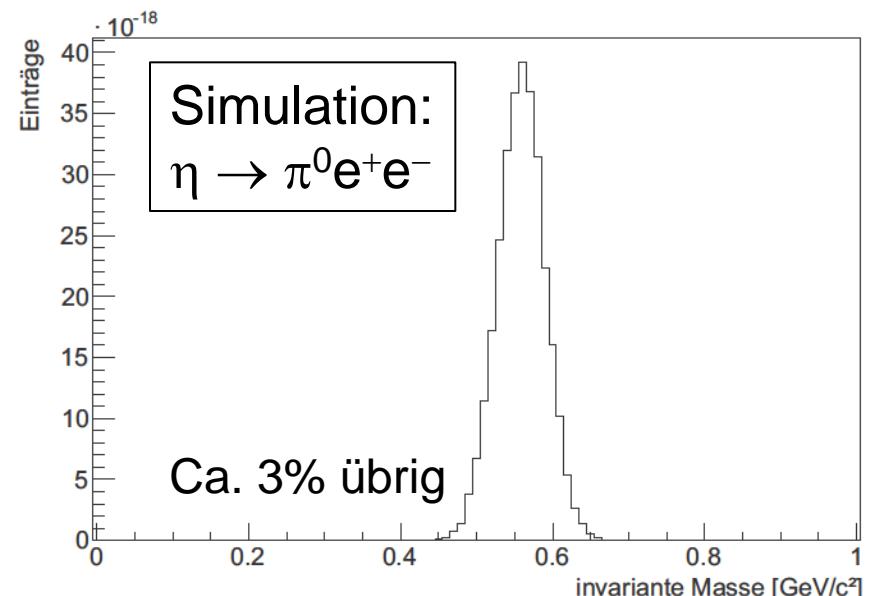
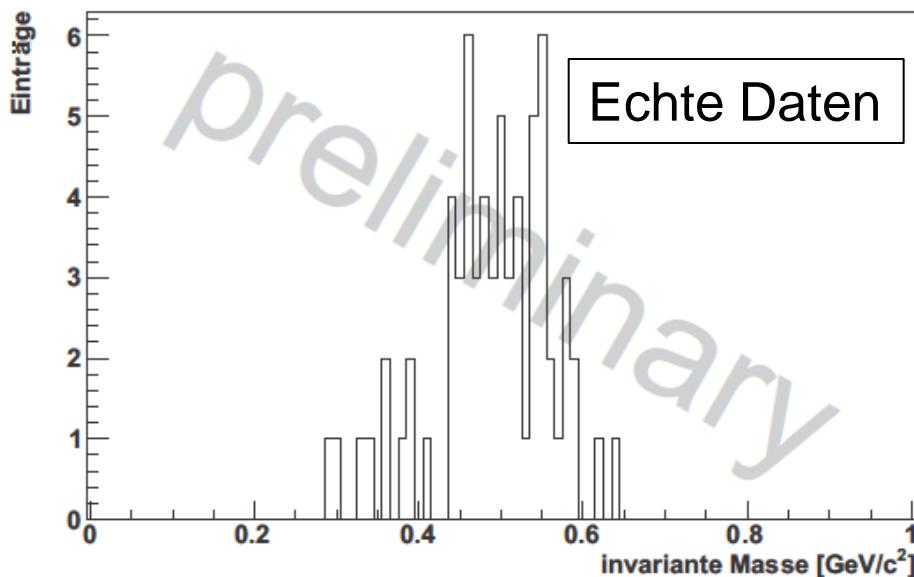
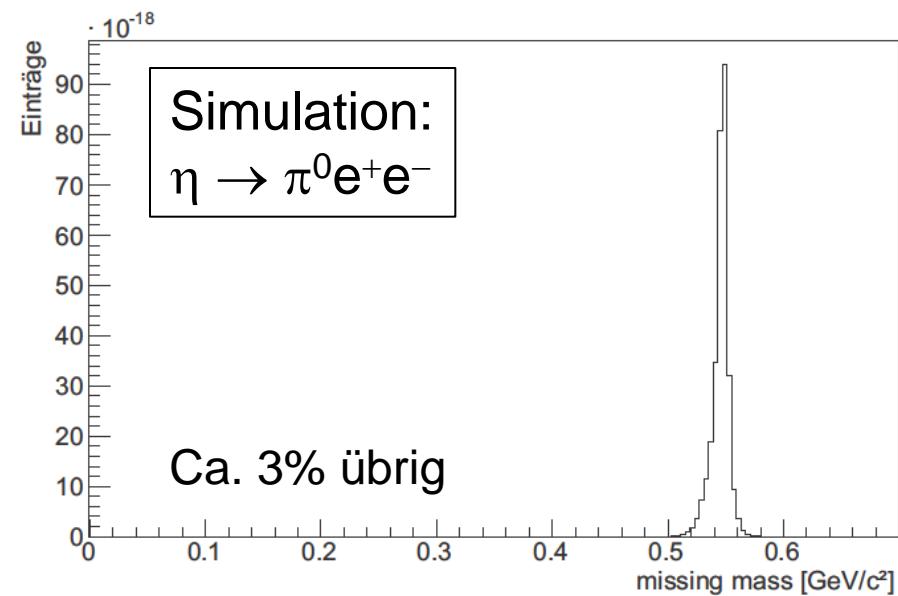
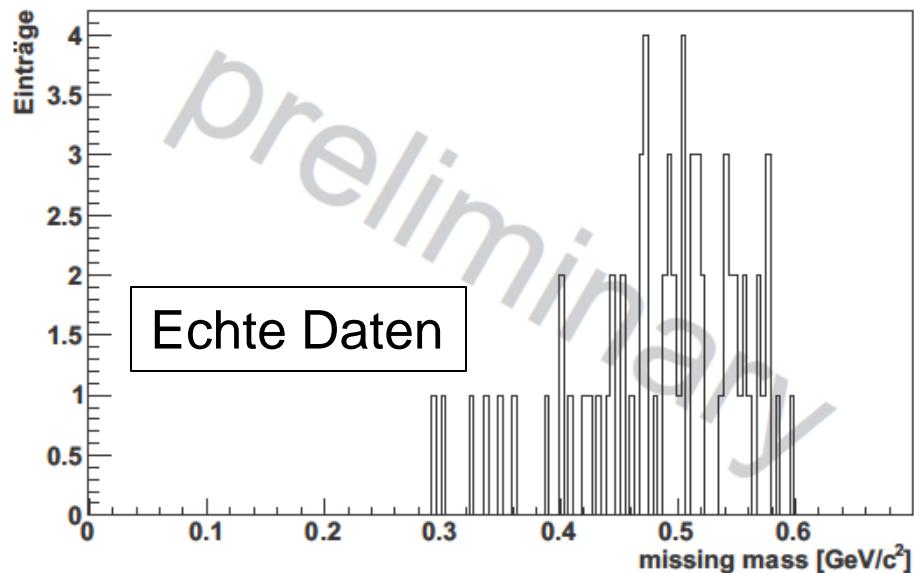


Cut 7 – Kinematischer Fit

- Nach Anwendung der Cuts 1 – 6: Kinematischer Fit
 - Viererimpuls der Strahlprotonen, des Targetdeuterons sind fest
 - Invariante Masse der 2 Photonen im CD: m_{π^0}
 - 2 geladene Teilchen im CD haben Masse m_e



Anwendung der Cuts 1 – 7



Zusammenfassung und Ausblick

- 11 Millionen erzeugte η -Mesonen während der Strahlzeit im September / Oktober 2008
- Aktueller Status: geeignete Selektionsbedingungen gefunden
- Ausblick:
 - Fine-tuning der Cuts
 - Beschreibung des restlichen Untergrundes mit Simulationen
 - Bestimmung der oberen Grenze für das Verzweigungsverhältnis (Dissertation: Alexander Winnemöller)
- Später: weitere 20 Millionen $pd \rightarrow {}^3\text{He} + \eta$ Ereignisse auf Band

Anhang

χ^2 - Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung

- Anzahl der Freiheitsgrade: 6
- Ereignisse mit $\chi^2 > 10,6$ werden aussortiert

