

Energie- und Massenbestimmung kosmischer Strahlung mit dem KASCADE-Grande Experiment

Michael Wommer

Astroteilchenschule, Obertrubach-Bärnfels, 2007

Inhalt

Parametrisierung

Energie

Masse

Test

Energiespektrenverhältnisse

Vergleich der mittleren Masse

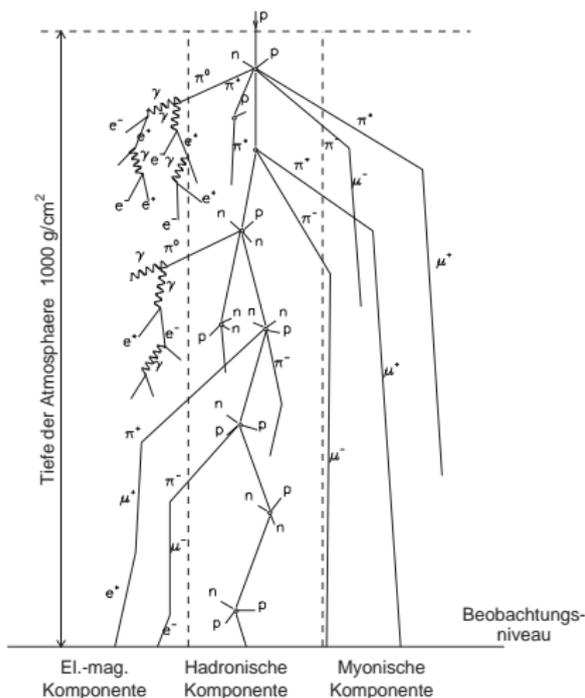
Vorläufige Ergebnisse

Energiespektren

Mittlere Masse



Ausgedehnte Luftschauer (EAS)

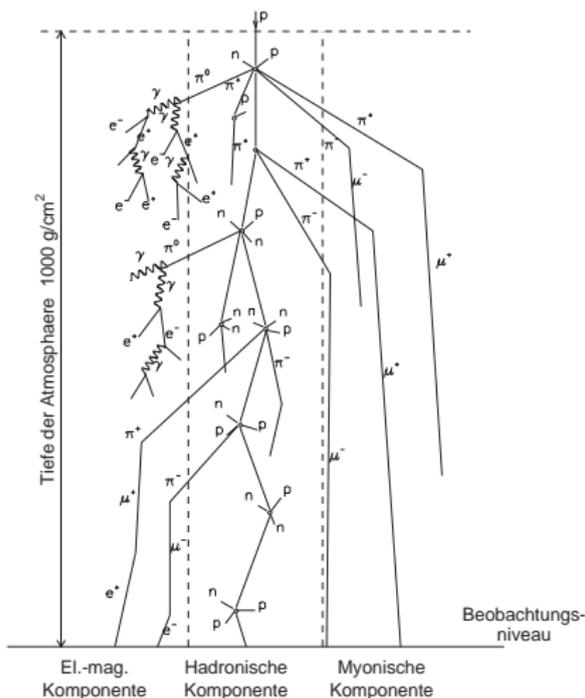


- elm., myonische und hadronische Schauerkomponente

- wichtige Observablen: N_e , N_μ und Θ



Ausgedehnte Luftschauer (EAS)



- elm., myonische und hadronische Schauerkomponente
- wichtige Observablen: N_e , N_μ und Θ

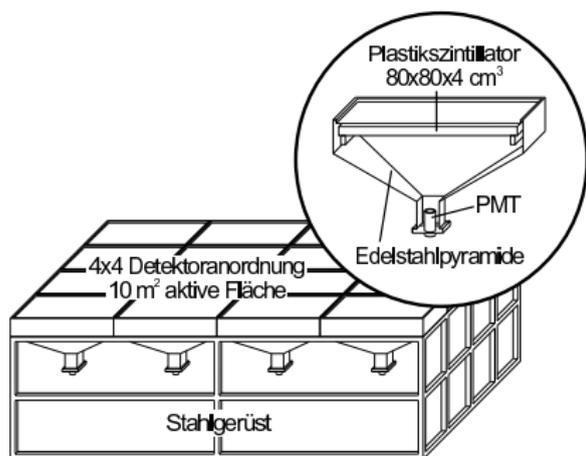


KASCADE-Grande





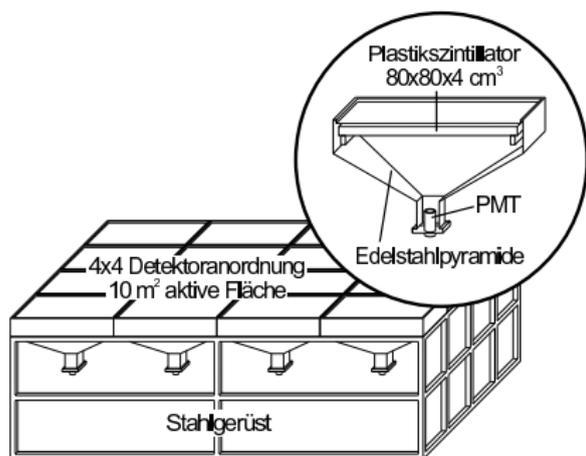
KASCADE-Grande, Detektorstation



- **37 Detektorstationen**
- pro Station 10 m² Detektorfläche
- mittlerer Abstand von 137 m



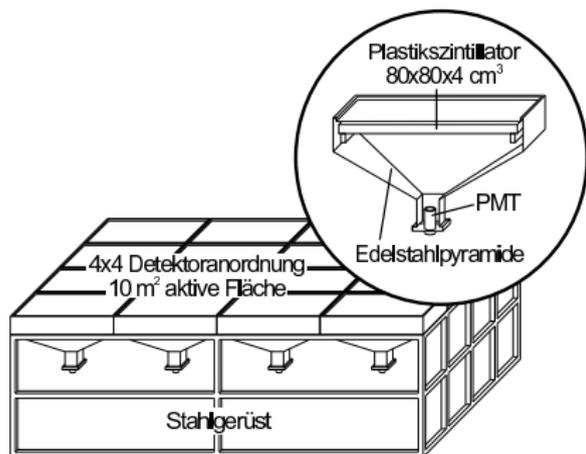
KASCADE-Grande, Detektorstation



- 37 Detektorstationen
- pro Station 10 m² Detektorfläche
- mittlerer Abstand von 137 m



KASCADE-Grande, Detektorstation



- 37 Detektorstationen
- pro Station 10 m² Detektorfläche
- mittlerer Abstand von 137 m

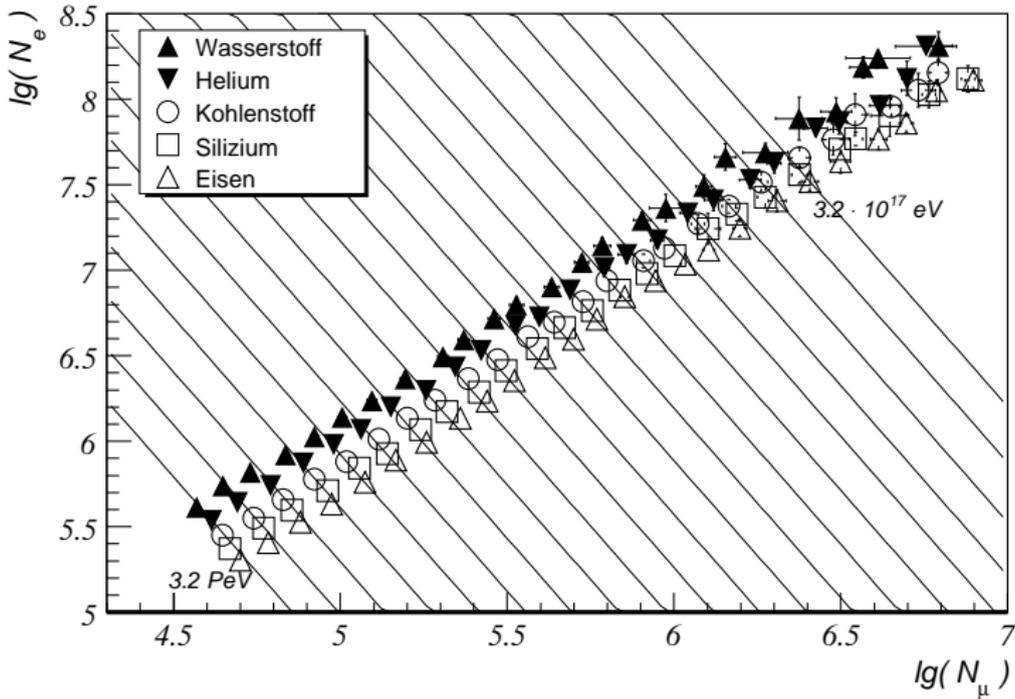
Zenitwinkeleinteilung

No.	Θ -Intervall	sec-Intervall
1	0°-19.4°	1-1.06
2	19.4°-26.8°	1.06-1.12
3	26.8°-32.1°	1.12-1.18
4	32.1°-36.7°	1.18-1.24
5	36.7°-39.7°	1.24-1.3

- Einteilung in 5 Zenitwinkelintervalle
- gleichmässige Zunahme der durchquerten atmosphärischen Tiefe



2-d Schauergrossenspektrum im ersten Winkelintervall (QGSjetII)



Energieformel (basierend auf QGSjetII)

- linearer Ansatz für $\lg(N_e)$:

$$f(\lg(N_\mu), \lg(E), \sec(\Theta)) = p_0 + p_1 \cdot \sec(\Theta) + p_2 \cdot \lg(E/\text{GeV}) + p_3 \cdot \lg(N_\mu)$$

- zu minimierender Ausdruck:

$$\chi^2 = \sum_{\Theta, E} \frac{(\lg(N_e) - f(\lg(N_\mu), \lg(E), \sec(\Theta)))^2}{(\sigma_{\lg(N_e)})^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial (\lg N_\mu)} \cdot \sigma_{\lg(N_\mu)}\right)^2}$$

- Ergebnis:

$$\lg(E/\text{GeV}) = 0.3195 \cdot \lg(N_e) + 0.7094 \cdot \lg(N_\mu) + 1.2364 \cdot \sec(\Theta) + 0.2385$$

Energieformel (basierend auf QGSjetII)

- linearer Ansatz für $\lg(N_e)$:

$$f(\lg(N_\mu), \lg(E), \sec(\Theta)) = p_0 + p_1 \cdot \sec(\Theta) + p_2 \cdot \lg(E/\text{GeV}) + p_3 \cdot \lg(N_\mu)$$

- zu minimierender Ausdruck:

$$\chi^2 = \sum_{\Theta, E} \frac{(\lg(N_e) - f(\lg(N_\mu), \lg(E), \sec(\Theta)))^2}{(\sigma_{\lg(N_e)})^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial(\lg N_\mu)} \cdot \sigma_{\lg(N_\mu)}\right)^2}$$

- Ergebnis:

$$\lg(E/\text{GeV}) = 0.3195 \cdot \lg(N_e) + 0.7094 \cdot \lg(N_\mu) + 1.2364 \cdot \sec(\Theta) + 0.2385$$

Energieformel (basierend auf QGSjetII)

- linearer Ansatz für $\lg(N_e)$:

$$f(\lg(N_\mu), \lg(E), \sec(\Theta)) = p_0 + p_1 \cdot \sec(\Theta) + p_2 \cdot \lg(E/\text{GeV}) + p_3 \cdot \lg(N_\mu)$$

- zu minimierender Ausdruck:

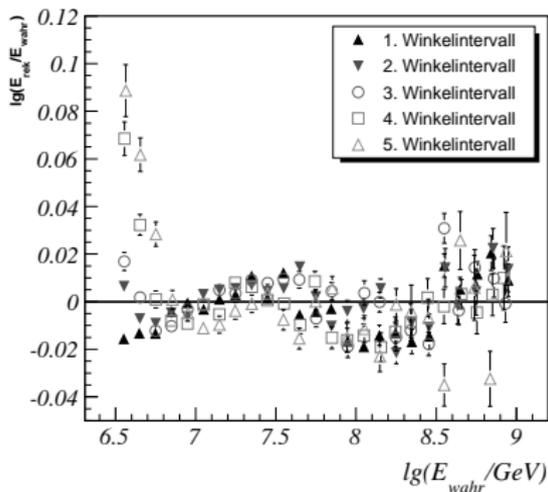
$$\chi^2 = \sum_{\Theta, E} \frac{(\lg(N_e) - f(\lg(N_\mu), \lg(E), \sec(\Theta)))^2}{(\sigma_{\lg(N_e)})^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial(\lg N_\mu)} \cdot \sigma_{\lg(N_\mu)}\right)^2}$$

- Ergebnis:

$$\lg(E/\text{GeV}) = 0.3195 \cdot \lg(N_e) + 0.7094 \cdot \lg(N_\mu) + 1.2364 \cdot \sec(\Theta) + 0.2385$$



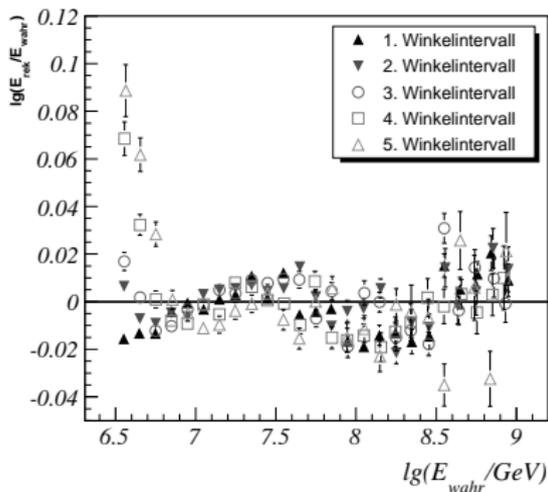
Mittlere Energieabweichung in allen Zenitwinkelbereichen



- **relativ kleine Fehler (≈ 0.01)**
- für geneigte Schauer
Schwellenverschiebung



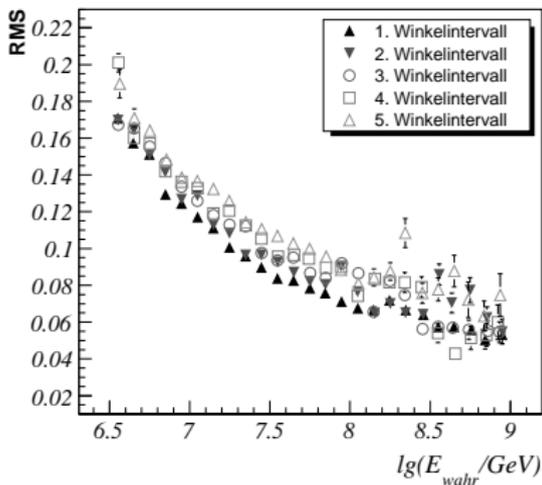
Mittlere Energieabweichung in allen Zenitwinkelbereichen



- relativ kleine Fehler (≈ 0.01)
- für geneigte Schauer
Schwellenverschiebung



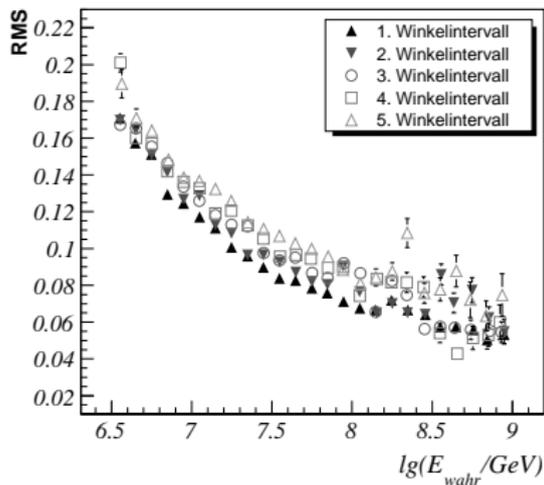
Mittlere Energie-Auflösung



- **mittlere Auflösung von 0.01**
- Auflösung steigt mit Energie



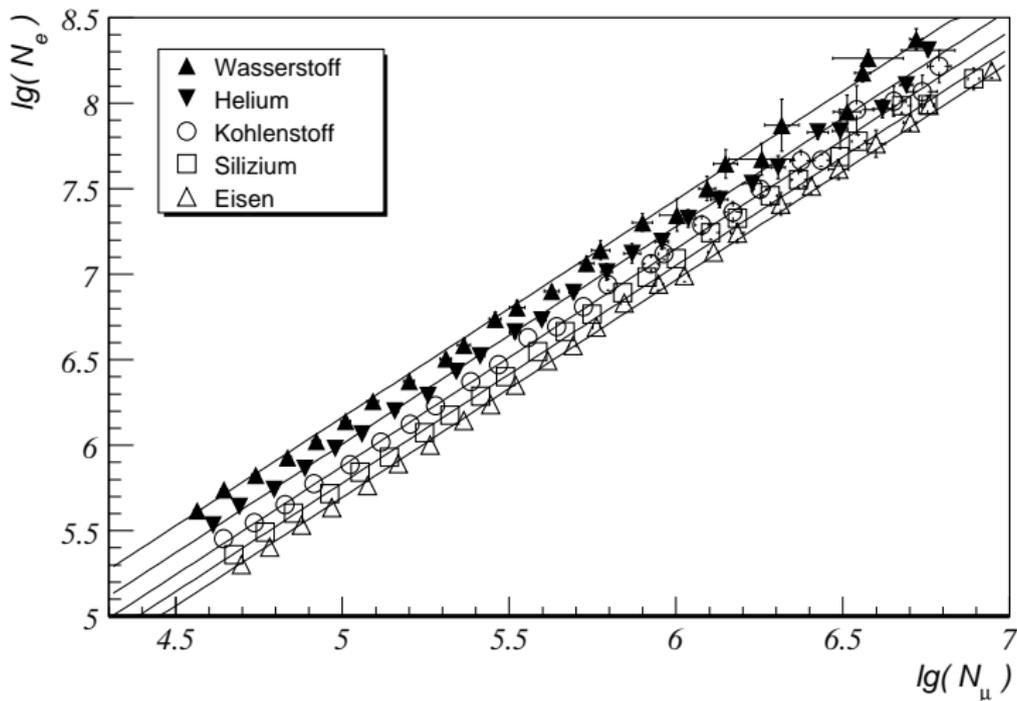
Mittlere Energie-Auflösung



- mittlere Auflösung von 0.01
- Auflösung steigt mit Energie



2-d Schauergrossenspektrum mit Massenfit (1. Winkelintervall)



Massenformel basierend auf QGSjetII

- Ansatz:

$$f(\lg(N_\mu), \sec(\Theta), \ln(A)) = p_0 + p_1 \cdot \sec(\Theta) + p_2 \cdot \ln(A) + p_3 \cdot \lg(N_\mu)$$

- zu minimierender Ausdruck:

$$\chi^2 = \sum_{\Theta, A} \frac{(\lg(N_e) - f(\lg(N_\mu), \ln(A), \sec(\Theta)))^2}{(\sigma_{\lg(N_e)})^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \lg(N_\mu)} \cdot \sigma_{\lg(N_\mu)}\right)^2}$$

- Ergebnis:

$$\ln(A) = -8.5540 \cdot \lg(N_e) + 10.8686 \cdot \lg(N_\mu) - 14.8276 \cdot \sec(\Theta) + 13.6615$$

Massenformel basierend auf QGSjetII

- Ansatz:

$$f(\lg(N_\mu), \sec(\Theta), \ln(A)) = p_0 + p_1 \cdot \sec(\Theta) + p_2 \cdot \ln(A) + p_3 \cdot \lg(N_\mu)$$

- zu minimierender Ausdruck:

$$\chi^2 = \sum_{\Theta, A} \frac{(\lg(N_e) - f(\lg(N_\mu), \ln(A), \sec(\Theta)))^2}{(\sigma_{\lg(N_e)})^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \lg(N_\mu)} \cdot \sigma_{\lg(N_\mu)}\right)^2}$$

- Ergebnis:

$$\ln(A) = -8.5540 \cdot \lg(N_e) + 10.8686 \cdot \lg(N_\mu) - 14.8276 \cdot \sec(\Theta) + 13.6615$$

Massenformel basierend auf QGSjetII

- Ansatz:

$$f(\lg(N_\mu), \sec(\Theta), \ln(A)) = p_0 + p_1 \cdot \sec(\Theta) + p_2 \cdot \ln(A) + p_3 \cdot \lg(N_\mu)$$

- zu minimierender Ausdruck:

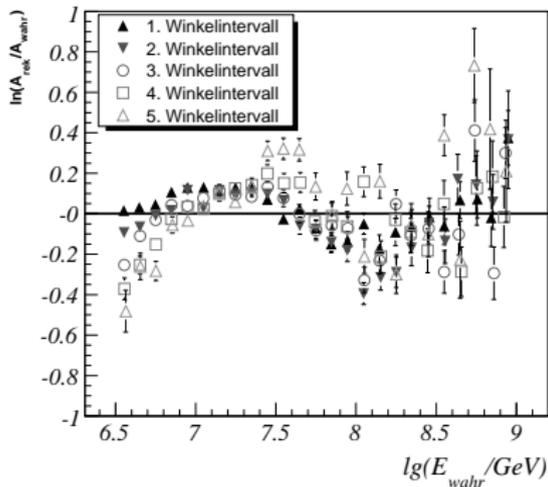
$$\chi^2 = \sum_{\Theta, A} \frac{(\lg(N_e) - f(\lg(N_\mu), \ln(A), \sec(\Theta)))^2}{(\sigma_{\lg(N_e)})^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \lg(N_\mu)} \cdot \sigma_{\lg(N_\mu)}\right)^2}$$

- Ergebnis:

$$\ln(A) = -8.5540 \cdot \lg(N_e) + 10.8686 \cdot \lg(N_\mu) - 14.8276 \cdot \sec(\Theta) + 13.6615$$



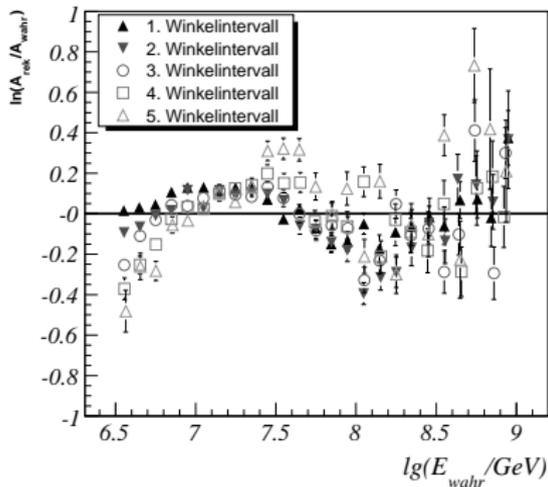
Mittlere Massenabweichung



- vertikale Schauer werden am besten beschrieben
- mittlere Abweichung schwankt von -0.4 bis 0.4
- Schwelleneffekte für geneigtere Schauer

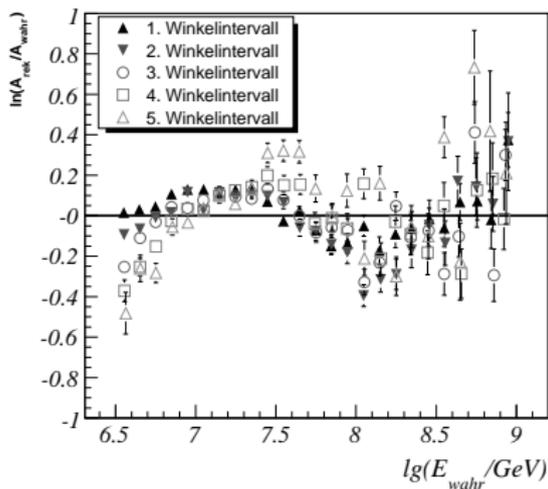


Mittlere Massenabweichung



- vertikale Schauer werden am besten beschrieben
- **mittlere Abweichung schwankt von -0.4 bis 0.4**
- Schwelleneffekte für geneigtere Schauer

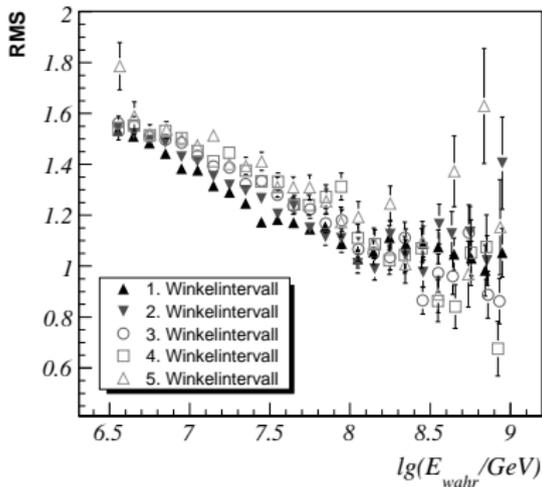
Mittlere Massenabweichung



- vertikale Schauer werden am besten beschrieben
- mittlere Abweichung schwankt von -0.4 bis 0.4
- **Schwelleneffekte für geneigtere Schauer**



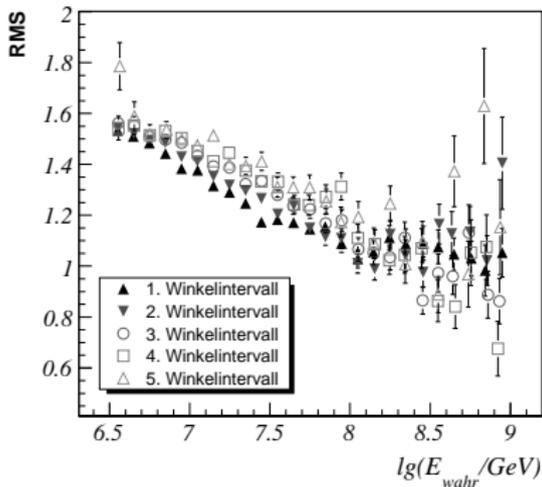
Mittlere Massenauflösung



- Auflösung steigt mit Energie
- mittlere Auflösung von 1.1



Mittlere Massenauflösung



- Auflösung steigt mit Energie
- **mittlere Auflösung von 1.1**

Testspektrum durch energieabhängiges Gewichten

- **Index des Einzelelementspektrums -2.7 vor und -3.1 nach dem Knie**
- für Wasserstoff Knie bei 10 PeV, für die weiteren Primärteilchen skaliert Knieposition mit Ladungszahl
- gleiche Methode für eine massenzahlabhängige Knieposition

Testspektrum durch energieabhängiges Gewichten

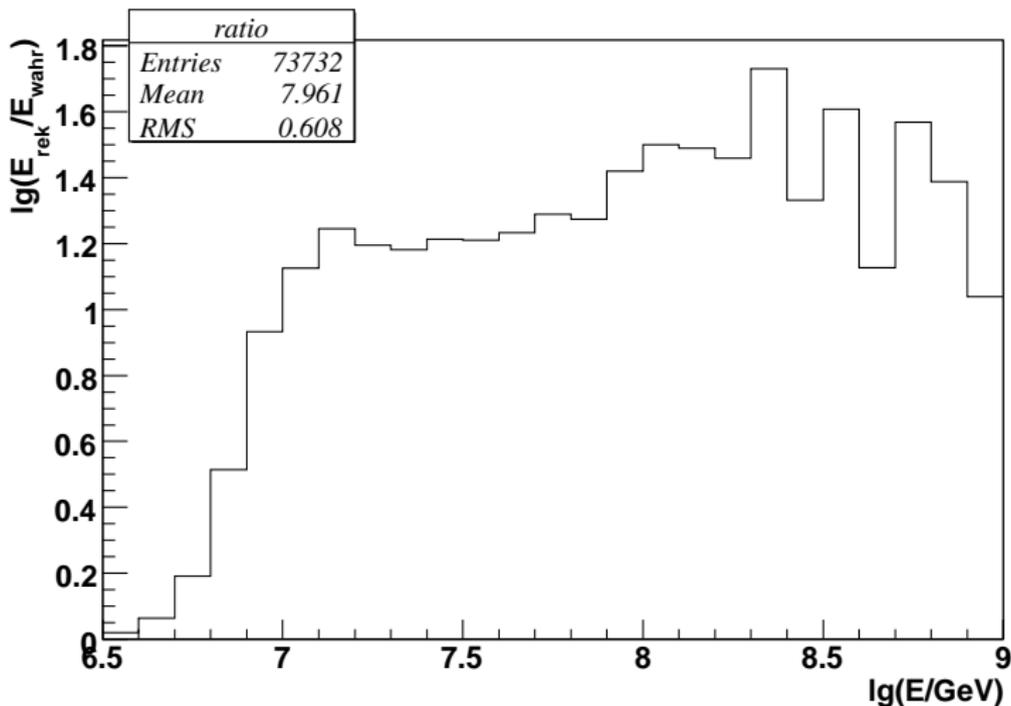
- Index des Einzelelementspektrums -2.7 vor und -3.1 nach dem Knie
- für Wasserstoff Knie bei 10 PeV , für die weiteren Primärteilchen skaliert Knieposition mit Ladungszahl
- gleiche Methode für eine massenzahlabhängige Knieposition

Testspektrum durch energieabhängiges Gewichten

- Index des Einzelelementspektrums -2.7 vor und -3.1 nach dem Knie
- für Wasserstoff Knie bei 10 PeV, für die weiteren Primärteilchen skaliert Knieposition mit Ladungszahl
- gleiche Methode für eine massenzahlabhängige Knieposition

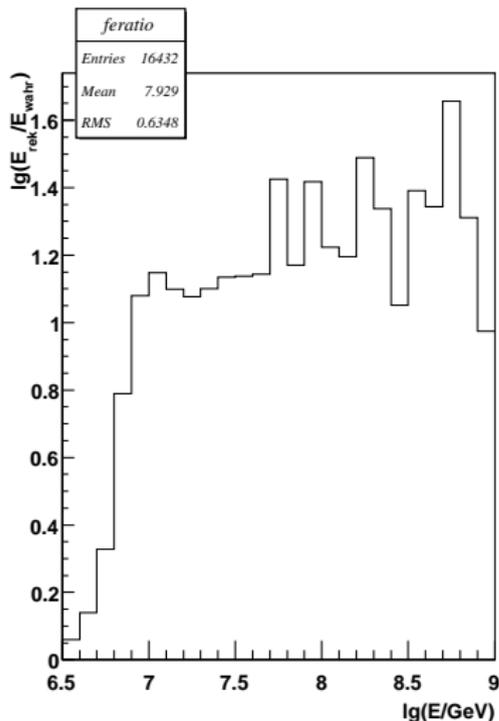
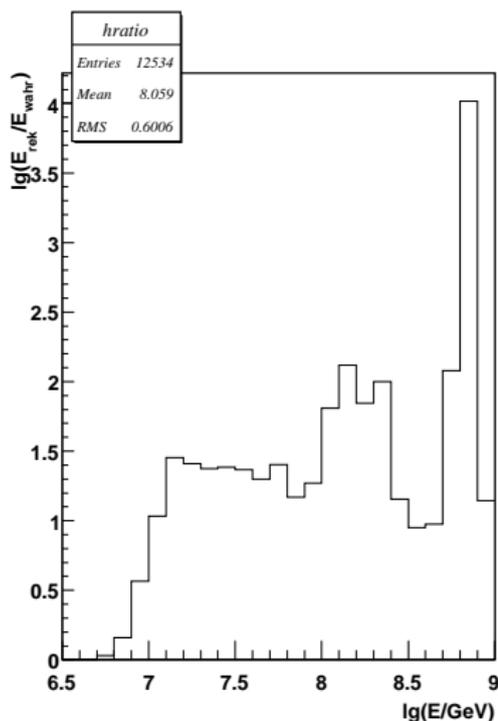


Gesamtenergiespektrenverhältnis, ladungsabhängige Knieposition



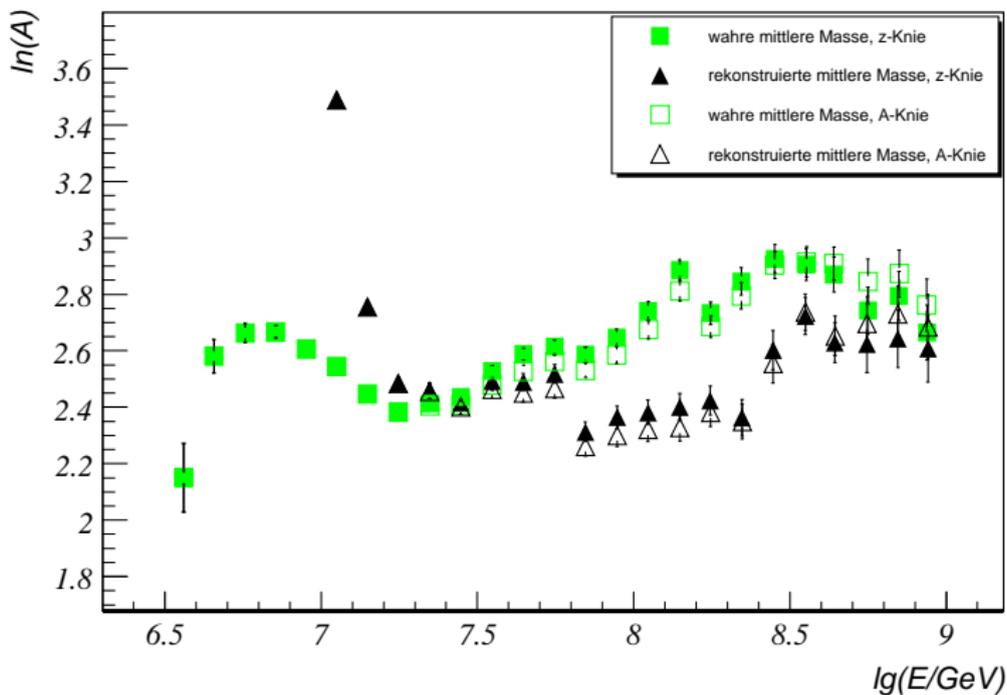


H + Fe Spektrenverhältnisse, ladungsabhängige Knieposition



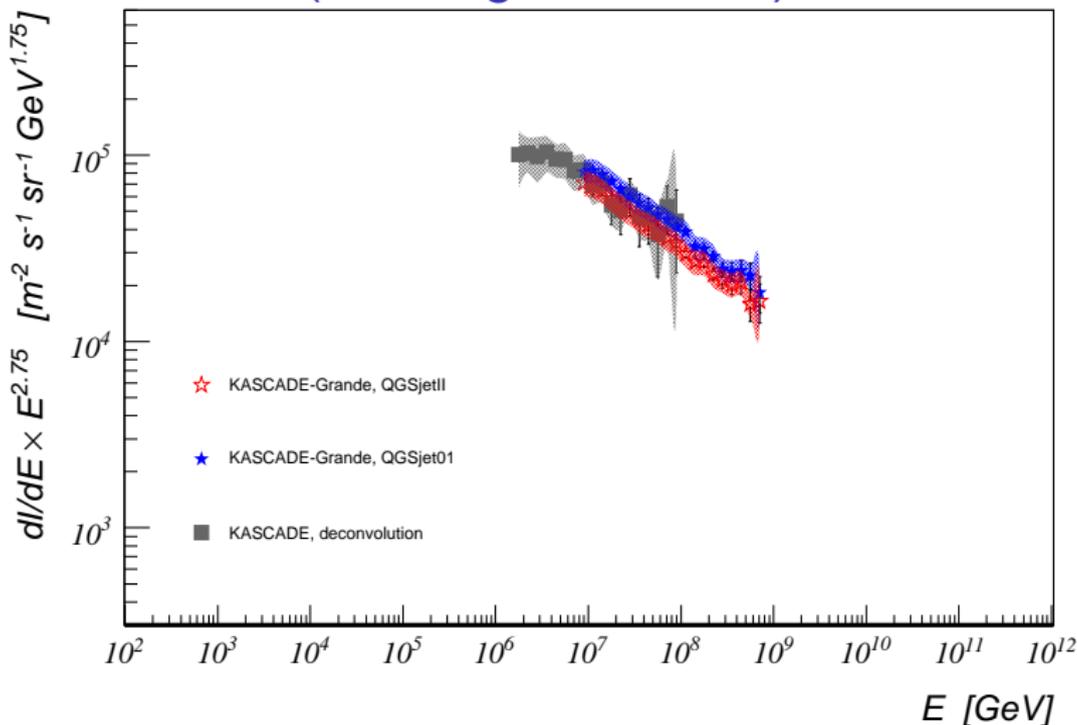


mittlere Masse für verschiedene Kniemodelle



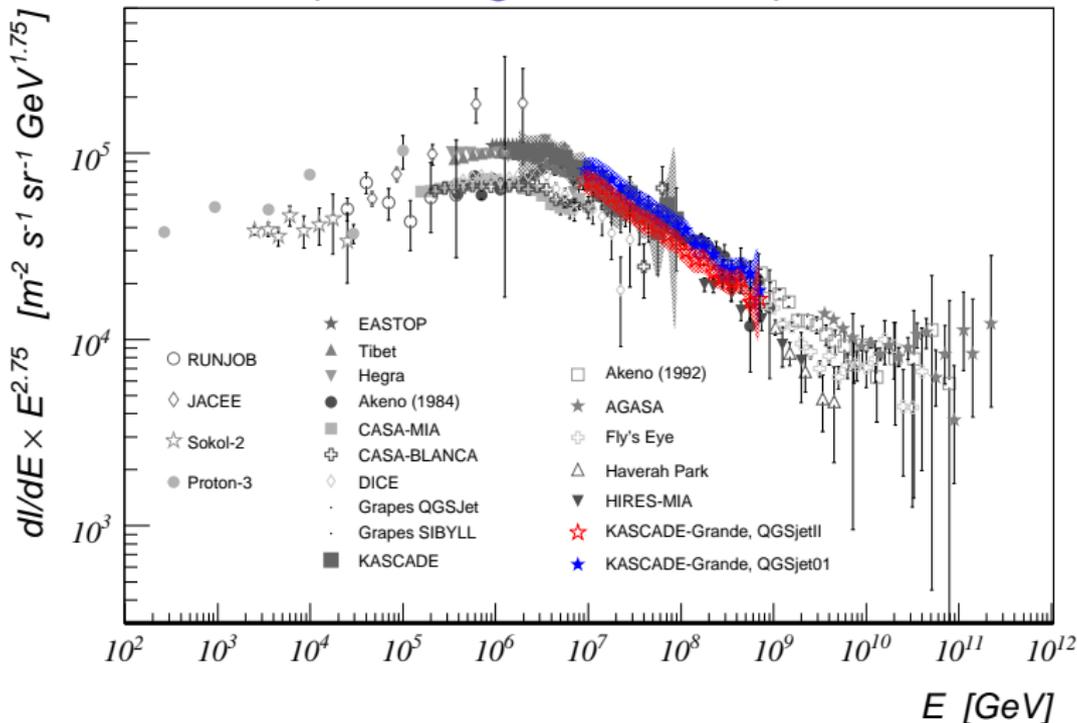


Energiespektren, QGSjetII- und QGSjet01-basiert (650 Tage Messzeit)



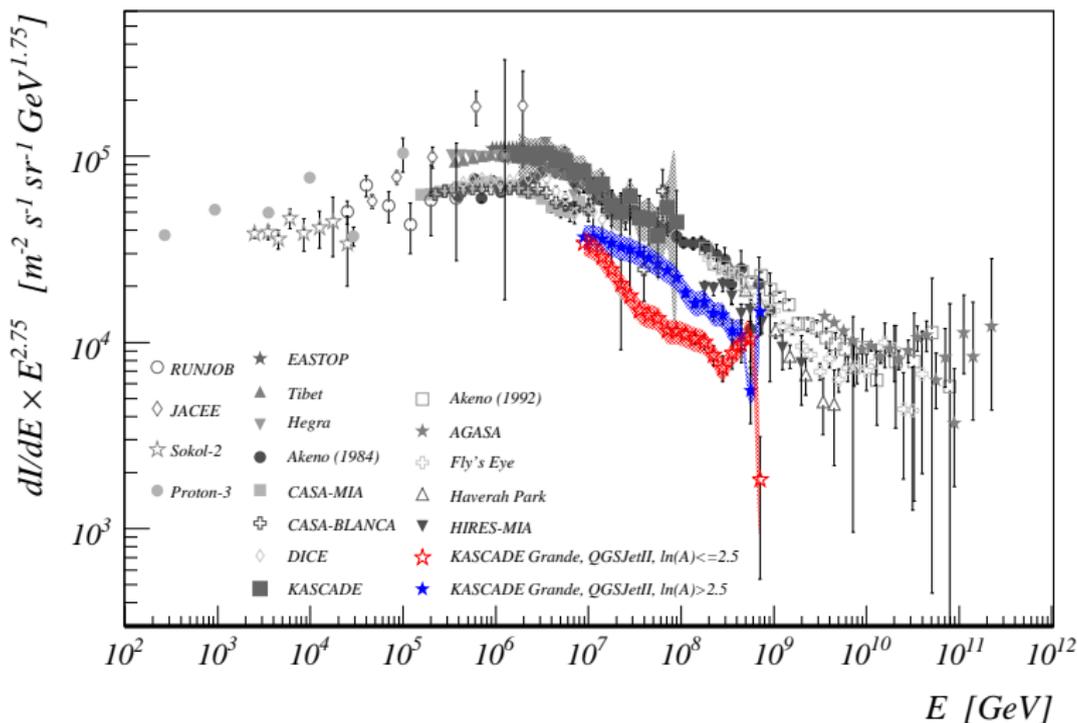


Energiespektren, QGSjetII- und QGSjet01-basiert (650 Tage Messzeit)



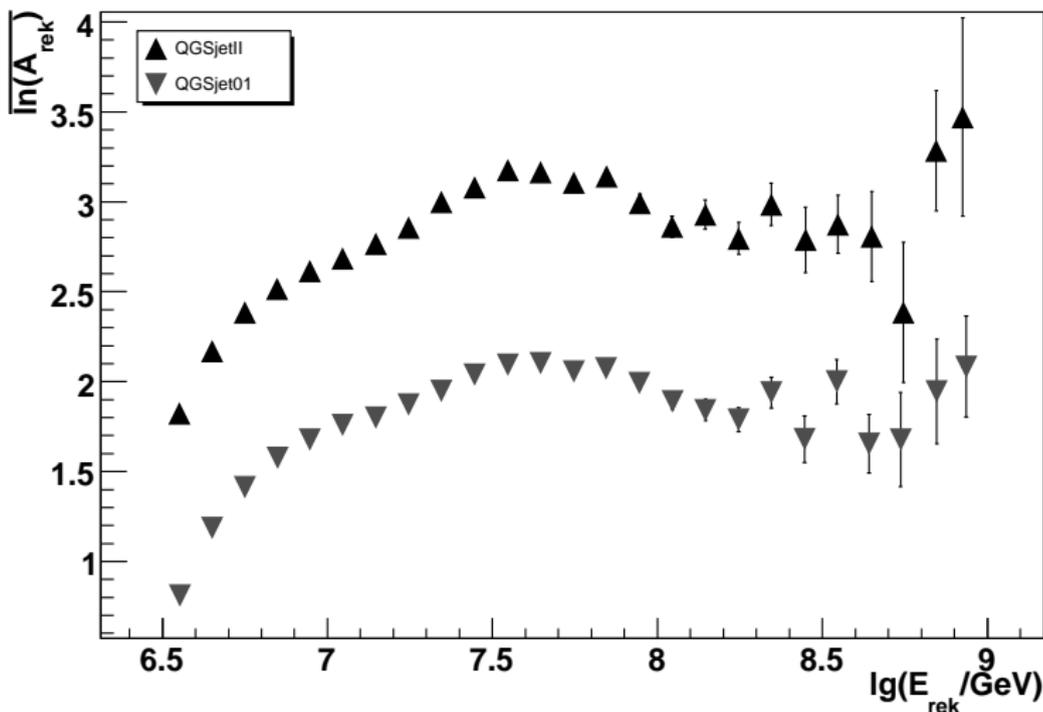


Leichtes und schweres Energiespektrum





Mittlere Masse, basierend auf QGSjetII- und QGSjet01-Parametrisierung



Zusammenfassung

- Die bestimmten **Massen- und Energieformeln** sind gute Schätzer.
- Das erhaltene **Energiespektrum** ist mit anderen Experimenten vereinbar.
- Die **Komposition** wird schwerer im Energiebereich von 10 *PeV* bis 100 *PeV*.
- Ausblick
 - genauere Untersuchung der Systematiken

Zusammenfassung

- Die bestimmten **Massen- und Energieformeln** sind gute Schätzer.
- Das erhaltene **Energiespektrum** ist mit anderen Experimenten vereinbar.
- Die **Komposition** wird schwerer im Energiebereich von 10 PeV bis 100 PeV .
- Ausblick
 - genauere Untersuchung der Systematiken



Zusammenfassung

- Die bestimmten **Massen- und Energieformeln** sind gute Schätzer.
- Das erhaltene **Energiespektrum** ist mit anderen Experimenten vereinbar.
- Die **Komposition** wird schwerer im Energiebereich von 10 *PeV* bis 100 *PeV*.
- Ausblick
 - genauere Untersuchung der Systematiken



Zusammenfassung

- Die bestimmten **Massen- und Energieformeln** sind gute Schätzer.
- Das erhaltene **Energiespektrum** ist mit anderen Experimenten vereinbar.
- Die **Komposition** wird schwerer im Energiebereich von 10 *PeV* bis 100 *PeV*.

- Ausblick
 - genauere Untersuchung der Systematiken