

Exotische Neutrino- Wirkungsquerschnitte

und ihr Einfluss auf den erwarteten Neutrino-
Fluss des Pierre-Auger-Observatoriums



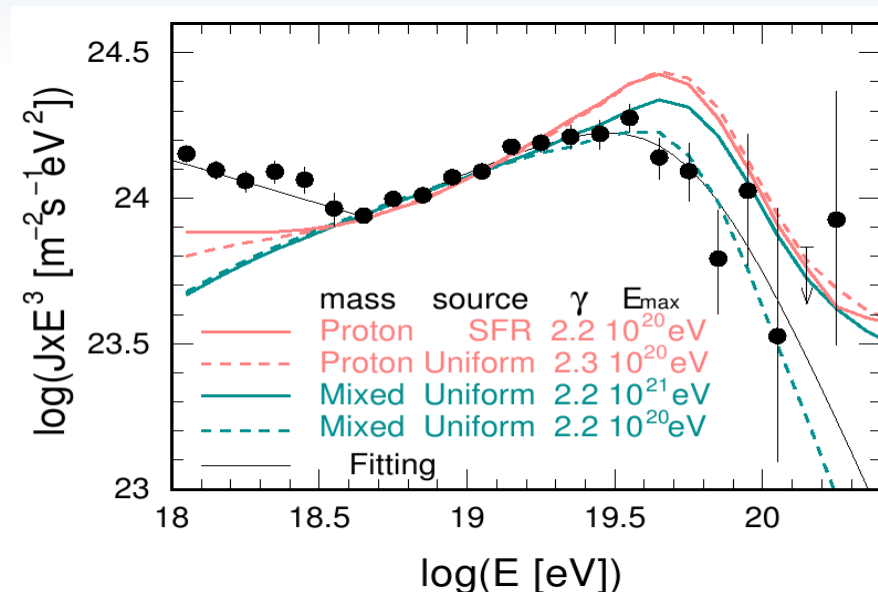
Eine Diplomarbeit von Marco Haag
am Forschungszentrum Karlsruhe, IK

Inhalt

- Neutrinos
- Das Pierre-Auger-Observatorium
- Motivation und Vorgehensweise
- Bisherige Ergebnisse
- Ausblick und Ziele

Neutrinos

- Neutrinos – die idealen „Botenteilchen“
- insbesondere oberhalb des GZK-Cutoffs ($5 \cdot 10^{19}$ eV) als einzige extragalaktische Teilchen



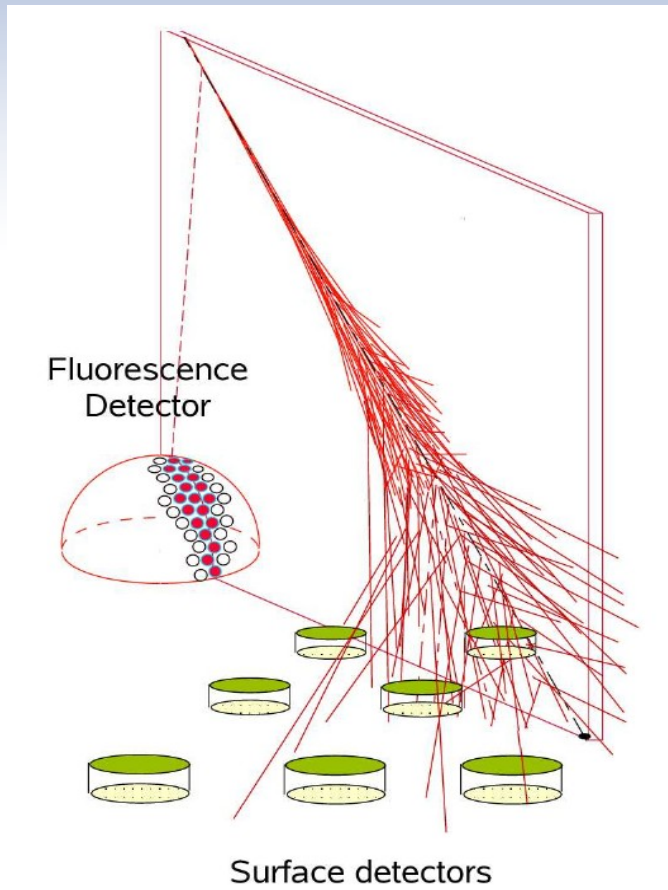
- Niedriger Teilchenfluss und kleine Wirkungsquerschnitte machen große Detektoren erforderlich

Das Pierre-Auger-Observatorium

- Hybrid-Detektor
- 3000 km² großes Areal in der Pampa von Mendoza, Argentinien
- 1600 Wasser-Cerenkov-Detektoren
- 4 Fluoreszenzteleskope mit je 6 Detektoren
- Geplant: 2. Observatorium auf der Nordhalbkugel (Colorado, USA)
- Sensitiv für hochenergetische Neutrinos ($E > 0.3\text{EeV}$)



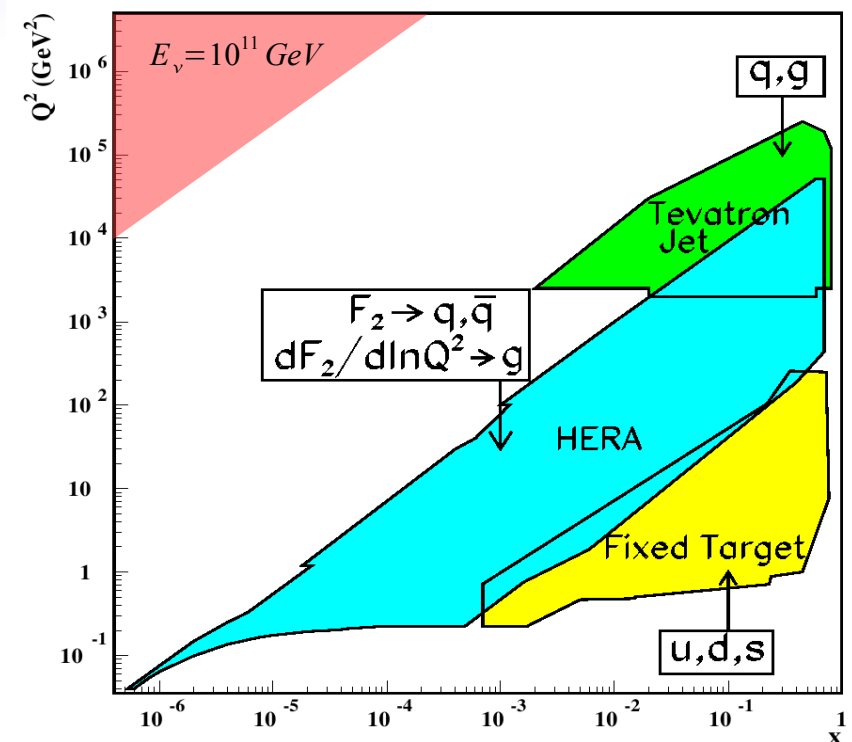
Das Pierre-Auger-Observatorium



Motivation

- Der Neutrino-Nukleon-Wirkungsquerschnitt ist bei hohen Energien maßgeblich von der Partonverteilung des Nukleons in kleinen x -Bereichen abhängig
- Beschleunigerdaten in diesen Bereichen sind nicht vorhanden, Partonverteilungen müssen daher extrapoliert werden

$$Q^2 = x y 2 M E_\nu$$

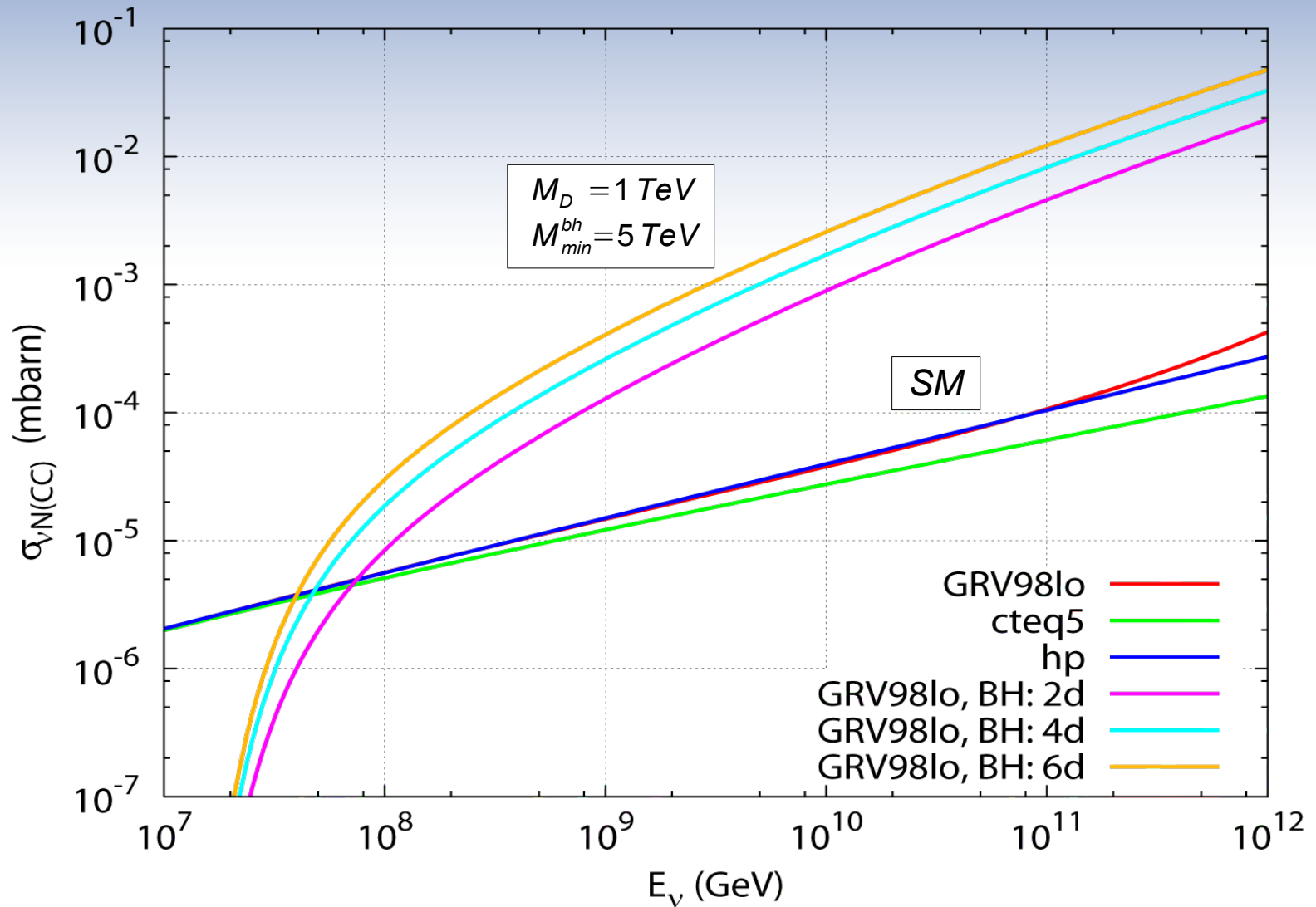


Motivation

- Neutrino-Nukleon-Wirkungsquerschnitte bei hohen Energien sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet
- Folgende Effekte z.B. lassen sich mit dem Nachweis hochenergetischer Neutrinos untersuchen:
 - Korrekturen, die sich nicht mehr im Rahmen der QCD berechnen lassen
 - Erzeugung mikroskopischer schwarzer Löcher

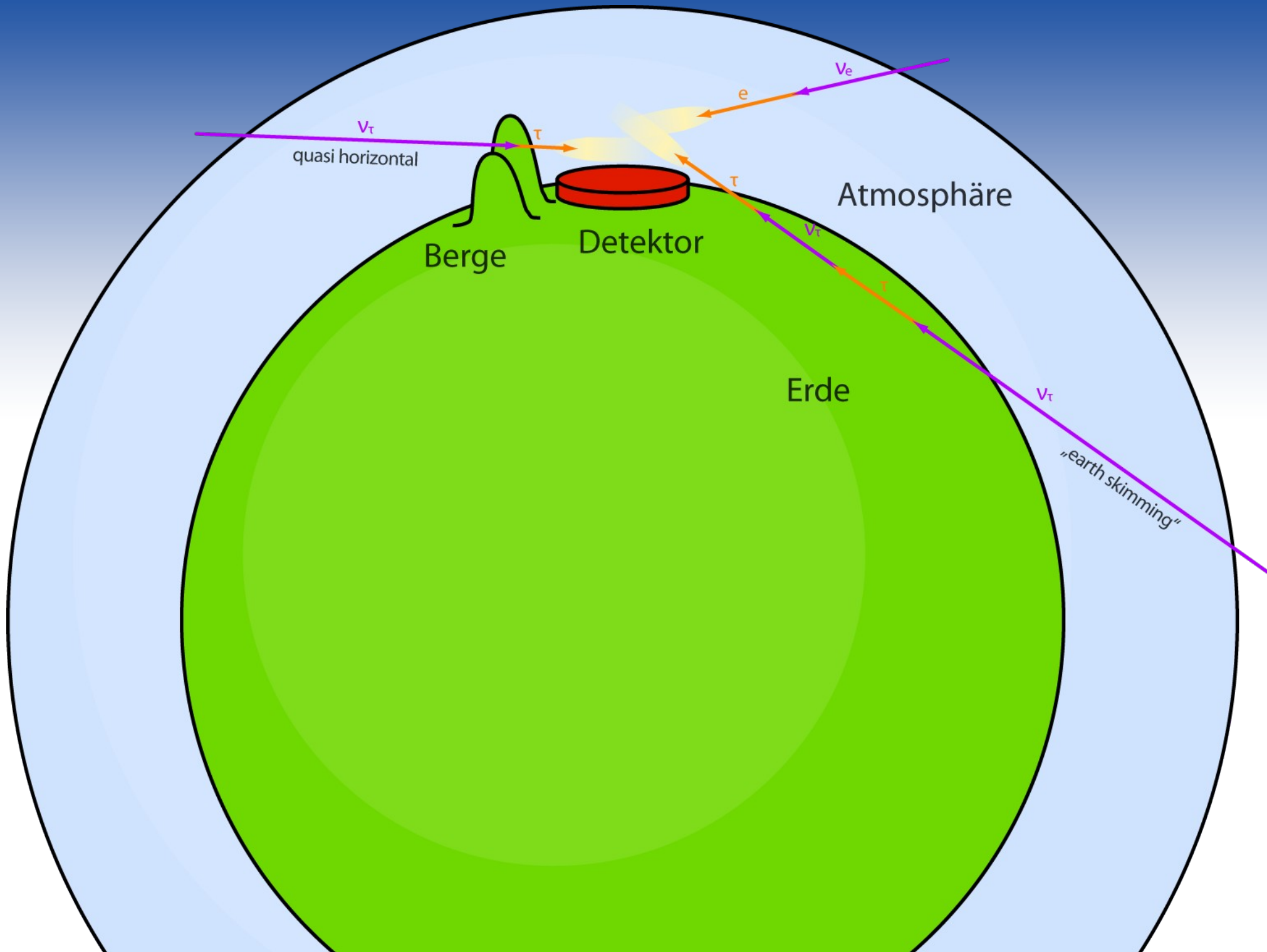
Wirkungsquerschnitte

$$\nu_l + N \rightarrow l^\pm + X$$



Vorgehensweise

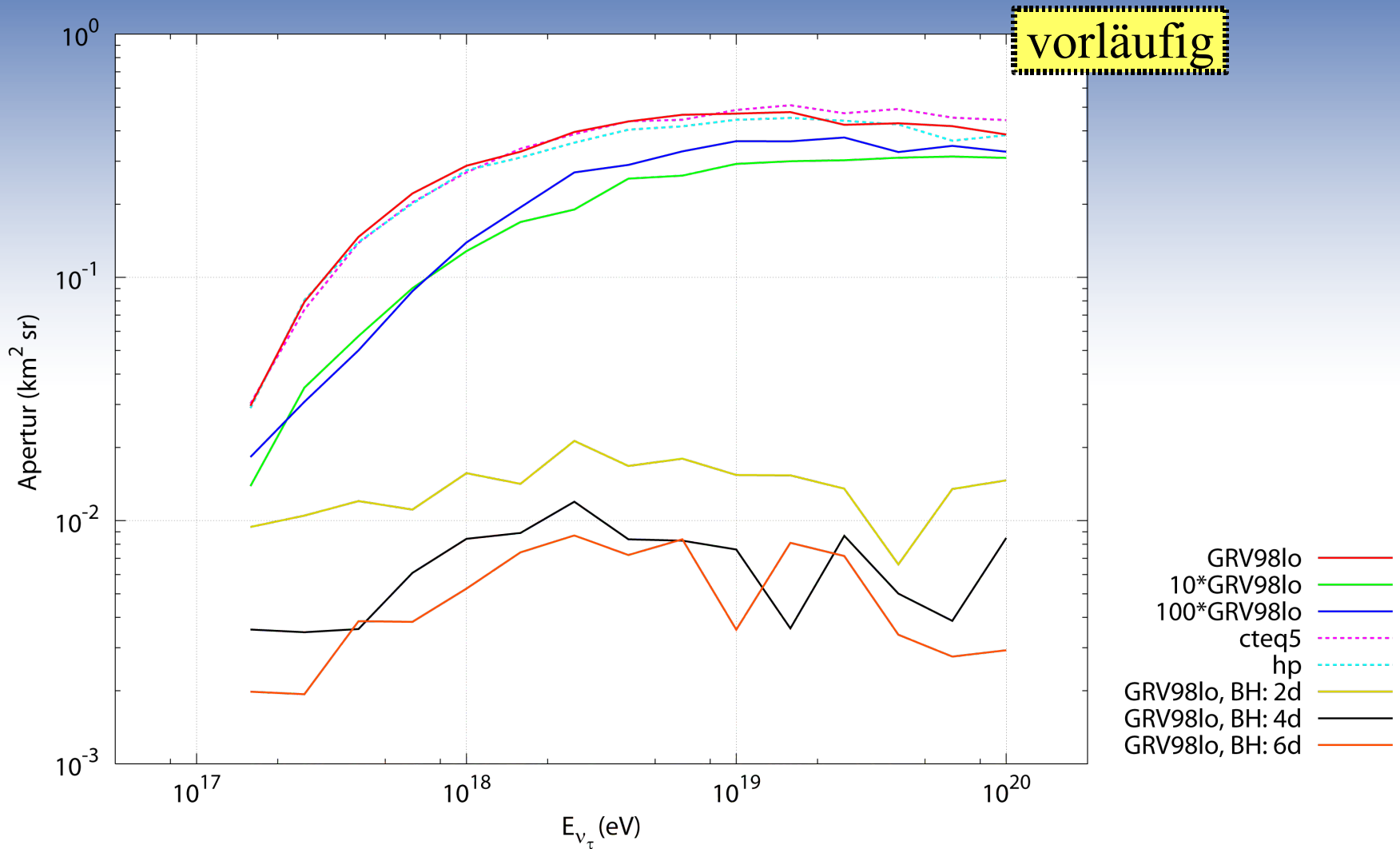
- Ausbreitung und Wechselwirkung von kosmischen Neutrinos und die Erkennung ihrer Zerfallsprodukte im Detektorvolumen werden im Monte-Carlo-Verfahren simuliert
 - Einbeziehung verschiedener Partonverteilungen
 - Erzeugung schwarzer Löcher
- Berücksichtigung der Detektoreffizienz
- Letztendlich aussagekräftigste Observable: das Verhältnis von gemessenen quasi-horizontalen zu „earth-skimming“ Neutrinos



Bisherige Arbeit

- Berechnung des
 - Neutrino-Nukleon-Wirkungsquerschnitts
 - Energieverlusts des Tau-Leptons beim Materiedurchlauf
 - unter Berücksichtigung verschiedener Partonverteilungen
 - Wirkungsquerschnitt für die Erzeugung schwarzer Löcher
- Erste Simulationen ohne Einbeziehung des Detektorverhaltens

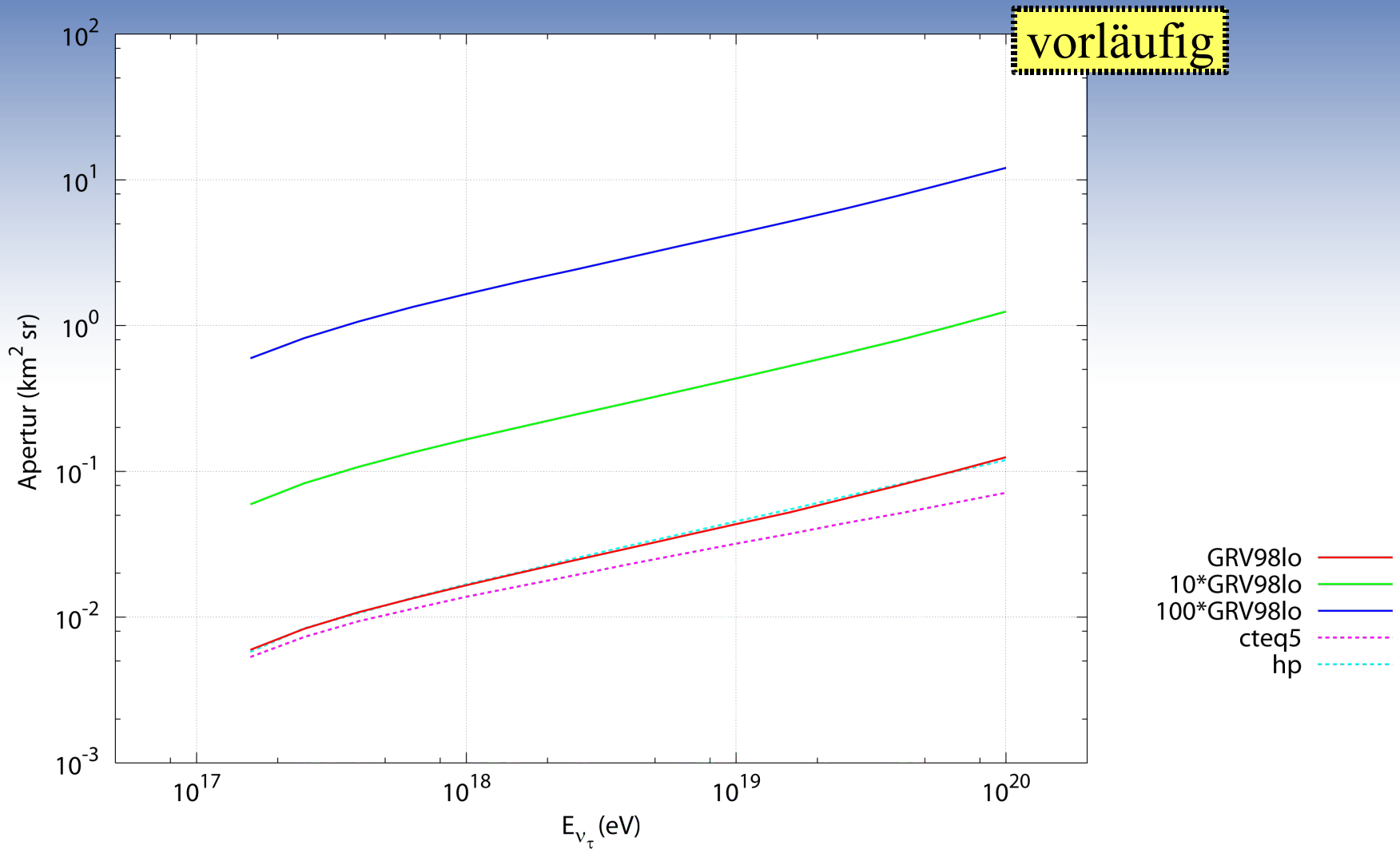
„earth-skimming“



$$A(E_\nu) = N_{gen}^{-1} \times \sum_{i=1}^{N_l} \sum_{j=1}^{N_{\theta,\phi}} P_{i,j}(E_\nu, E_l, \theta) \times T_{eff}(E_l, h_{10}) \times A_j(\theta) \times \Delta\Omega$$

$$N = \Delta T \times \int A(E_\nu) \times \Phi(E_\nu) \times dE$$

quasi-horizontal



$$A(E_\nu) = N_{gen}^{-1} \times \sum_{i=1}^{N_l} \sum_{j=1}^{N_{\theta,\phi}} P_{i,j}(E_\nu, E_l, \theta) \times T_{eff}(E_l, h_{10}) \times A_j(\theta) \times \Delta\Omega$$

$$N = \Delta T \times \int A(E_\nu) \times \Phi(E_\nu) \times dE$$

Jährliche Ereignisraten

Unter folgenden Annahmen:

- Detektor-Effizienz: 100%
- Neutrino-Fluss: Waxman-Bahcall

vorläufig

„earth-skimming“:

GRV98lo	3.1
10*GRV98lo	1.4
100*GRV98lo	1.5
cteq5	3.0
hp	2.9
BH 2 dim	0.3
BH 4 dim	0.1
BH 6 dim	0.1

quasi-horizontal:

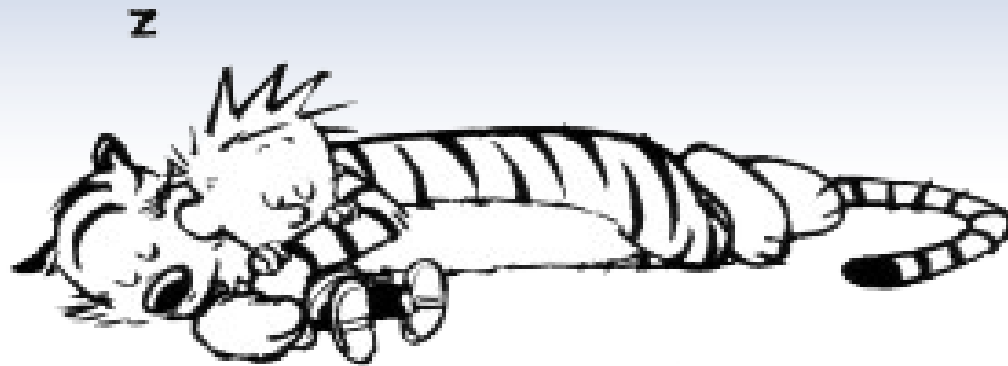
GRV98lo	0.3
10*GRV98lo	2.6
100*GRV98lo	25.5
cteq5	0.2
hp	0.3

Ausblick und Ziele

- Vervollständigung der Simulationskette
- Simulation des Black-Hole-Zerfalls und Erkennung durch den Detektor
- Vergleich der Ereignisraten (quasi-horizontal zu „earth-skimming“) für die genannten Szenarien
- Angestrebtes Resultat:
 - Abschätzung des Neutrino-Nukleon-Wirkungsquerschnitts und der Parameter zur Erzeugung schwarzer Löcher, oder zumindest einer Unter- bzw. Obergrenze

Zusammenfassung

- Neutron-Nukleon-Wirkungsquerschnitte bei hohen Energien lassen noch viel Raum für Spekulationen
- Das Pierre-Auger-Observatorium ist prinzipiell sensitiv für hochenergetische Neutrinos
- Meine Arbeit: Simulation des Neutrinonachweises unter verschiedenen Wechselwirkungsmodellen
- Ziel: Spätere Evaluierung dieser Modelle anhand der Messdaten



Danke für Eure Aufmerksamkeit.

Abstract

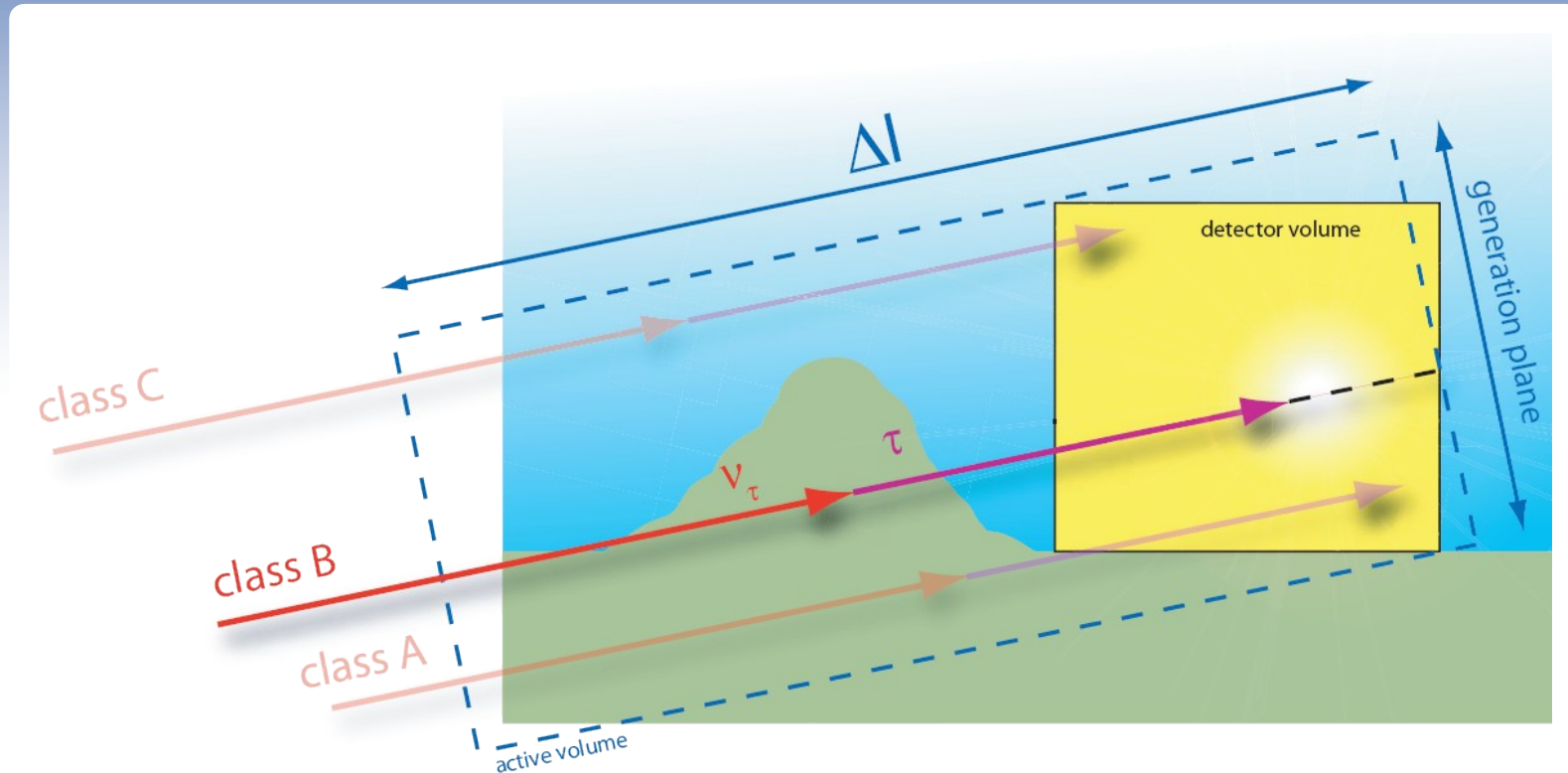
Die Erforschung hochenergetischer Neutrinos mithilfe eines Detektors, der in diesen Energiebereichen (EeV) ausreichend sensitiv ist, könnte nicht nur eine genauere Evaluierung des Partonmodells mit seinen Unsicherheiten bei kleinen Werten der bjorkenschen Skalenvariablen x ermöglichen. Exotischere Wechselwirkungen wie die Erzeugung mikroskopischer schwarzer Löcher rücken in greifbare Nähe.

Im Rahmen meiner Diplomarbeit werde ich eine quantitative Abschätzung dieser Einflüsse auf den erwarteten Neutrinofluss am Pierre-Auger-Observatorium durchführen. Von besonderem Interesse ist hierbei das Verhältnis von quasi-horizontalen zu sog. „earth-skimming“ Neutrinos - Auch bei niedrigen Ereignisraten in der Größenordnung eines Ereignisses pro Jahr stellt dieses nach bisherigen Schätzungen eine aussagekräftige Observable dar, die empfindlich auf Modifikationen des Wirkungsquerschnittes reagieren würde.

Neutrinoastronomie

- Neutrinos – die idealen „Botenteilchen“
- insbesondere oberhalb des GZK-Cutoffs ($5 \cdot 10^{19}$ eV) als einzige extragalaktische Teilchen
- Niedriger Teilchenfluss und kleine Wirkungsquerschnitte machen große Detektoren erforderlich

Simulation



- Entscheidende Größen für den detektierbaren Neutrino-Fluss:
 - Wechselwirkungslänge des Neutrinos
 - Abschwächlänge des erzeugten Leptons

$$\frac{d^2 \sigma}{dx dy} = \frac{2 G_F^2 M E_\nu}{\pi (1 + Q^2/M_W^2)^2} \{q(x, Q^2) + (1 - y)^2 \bar{q}(x, Q^2)\}$$