

Perspektiven der Astroteilchenphysik in Europa

ECAP Inauguration

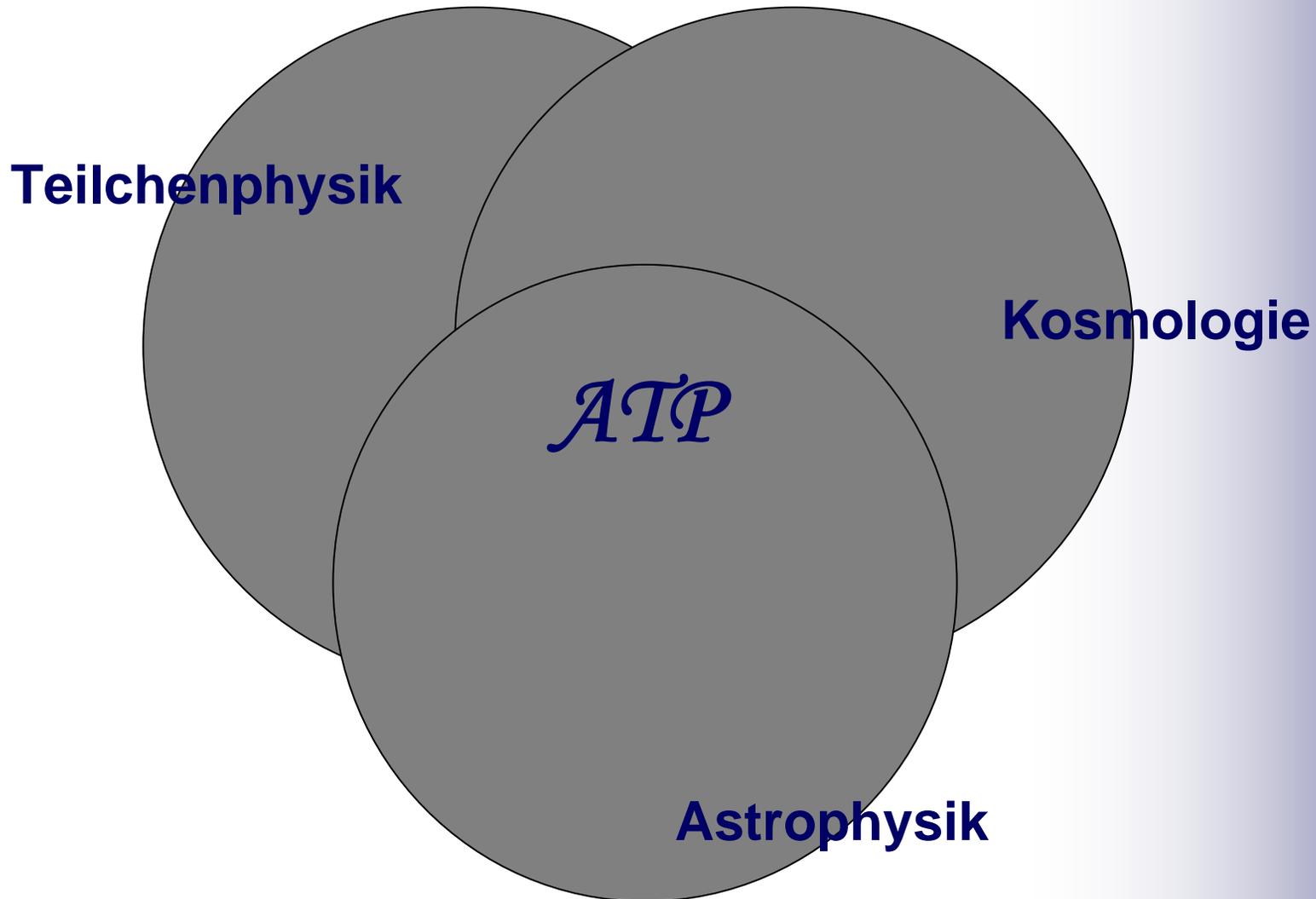


p
 n ν

ρ

Christian Spiering
DESY

19.5.2008

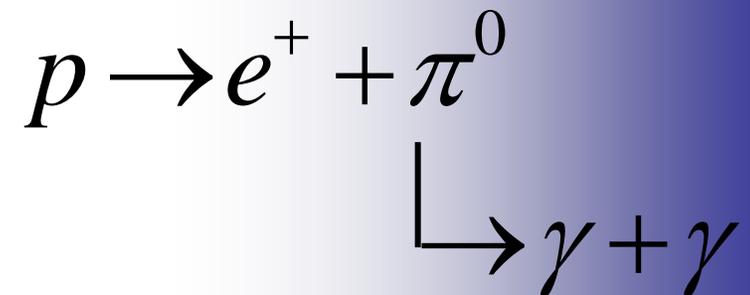




Der Zerfall des Protons

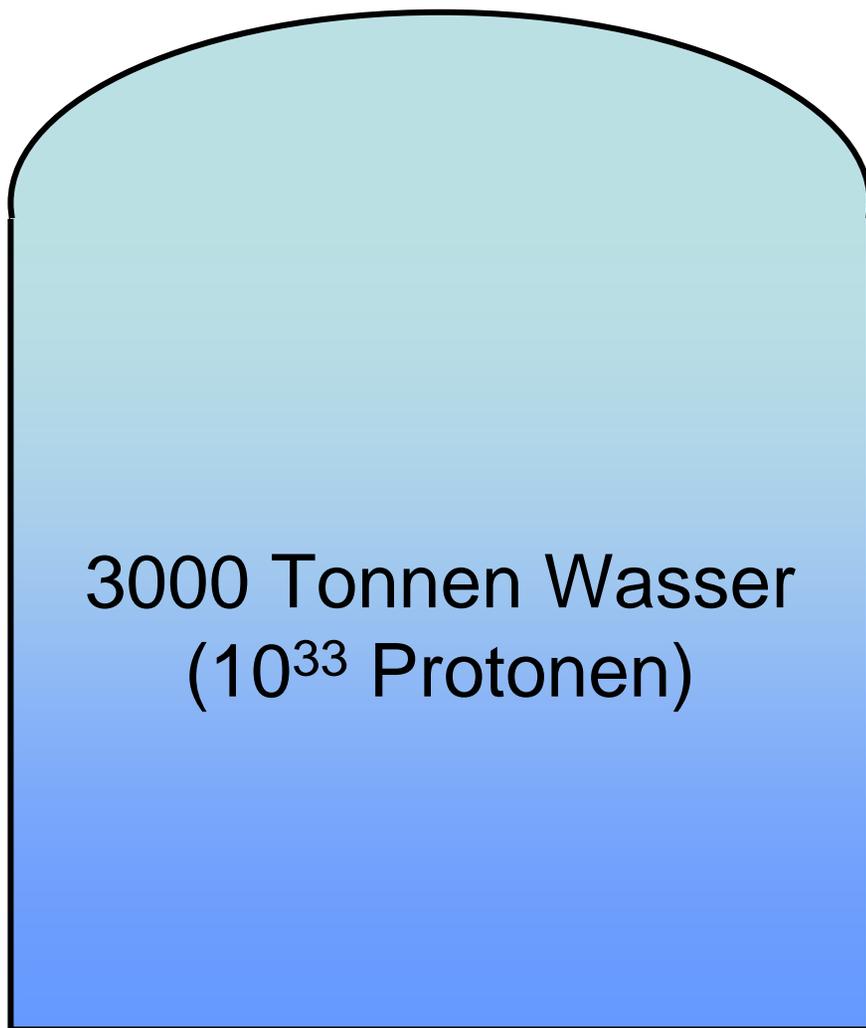
Lebensdauer
in einfachsten GUTs
 10^{29} - 10^{32} Jahre

Bevorzugter
Zerfallsmodus



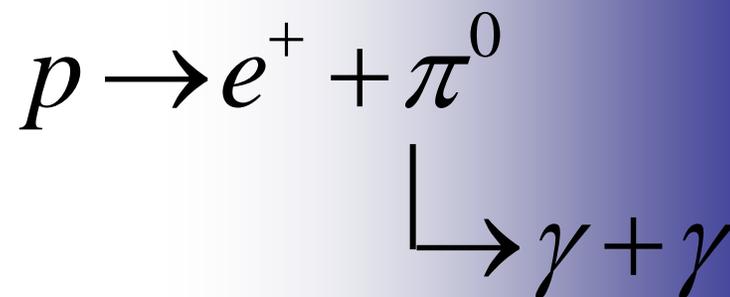


Der Zerfall des Protons

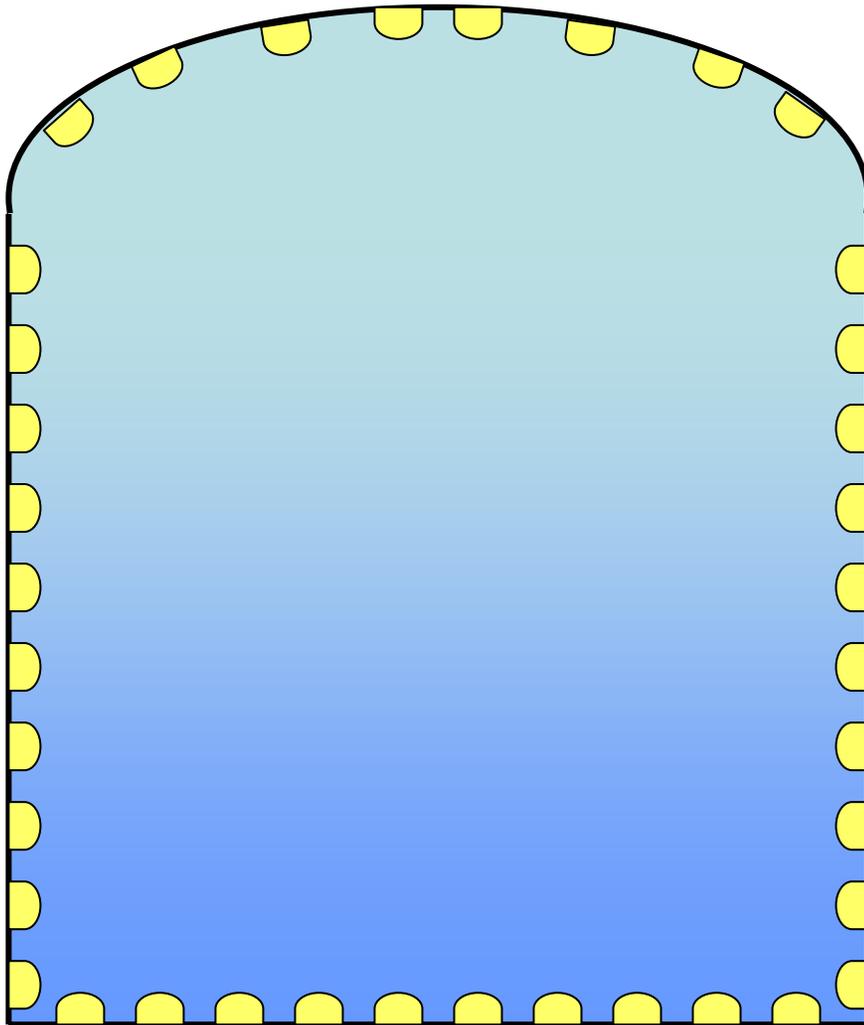


Lebensdauer
in einfachsten GUTs
 10^{29} - 10^{32} Jahre

Bevorzugter
Zerfallsmodus

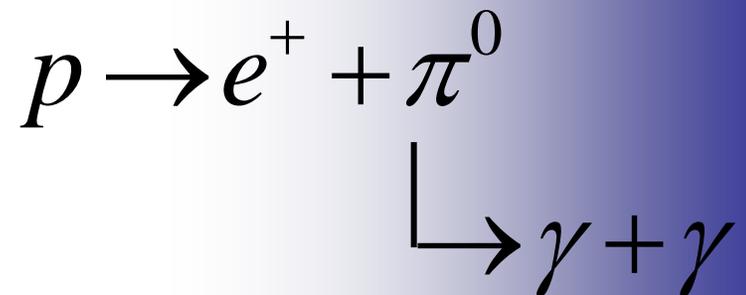


Der Zerfall des Protons

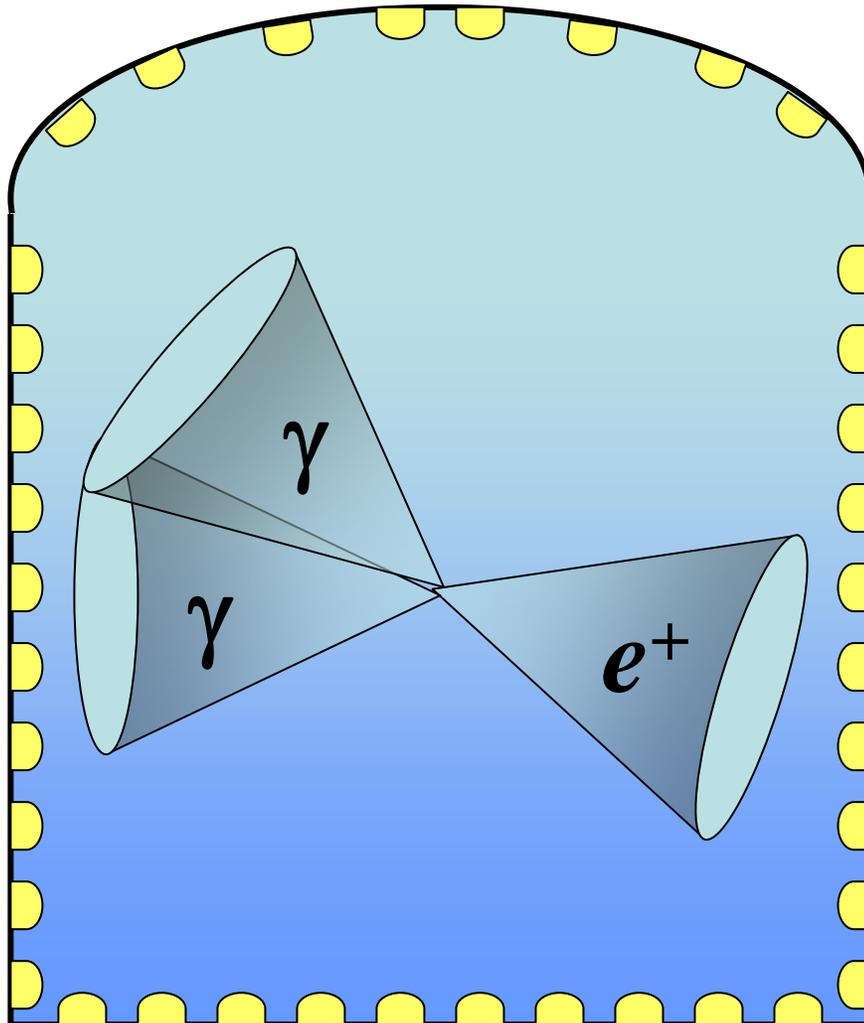


Lebensdauer
in einfachsten GUTs
 10^{29} - 10^{32} Jahre

Bevorzugter
Zerfallsmodus

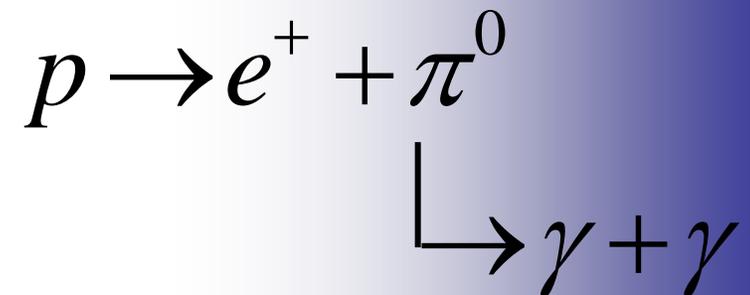


Der Zerfall des Protons

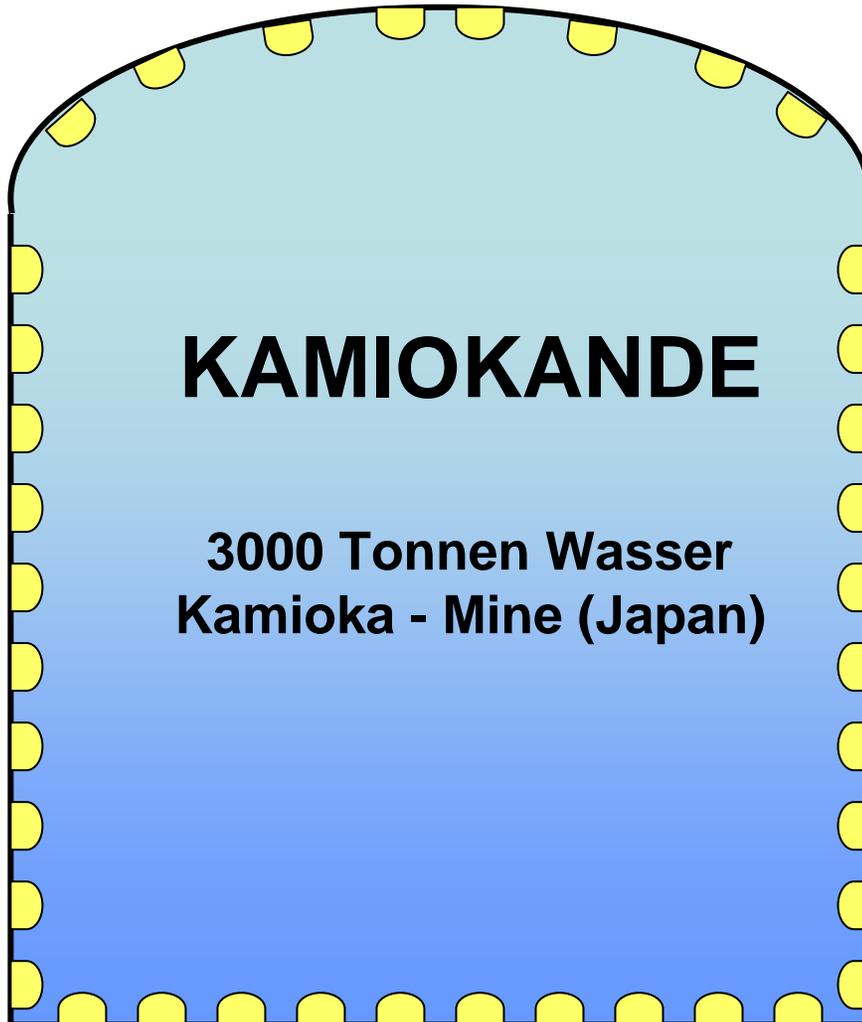


Lebensdauer
in einfachsten GUTs
 10^{29} - 10^{32} Jahre

Bevorzugter
Zerfallsmodus

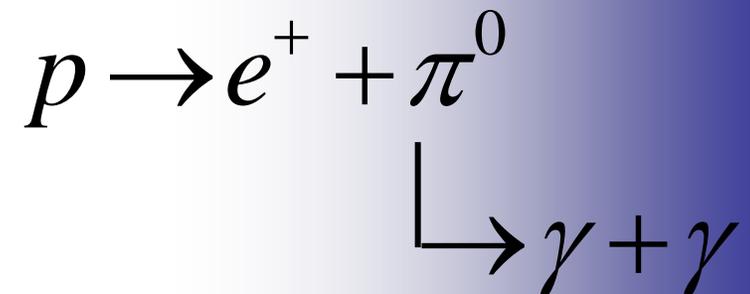


Der Zerfall des Protons



Lebensdauer
in einfachsten GUTs
 10^{29} - 10^{32} Jahre

Bevorzugter
Zerfallsmodus

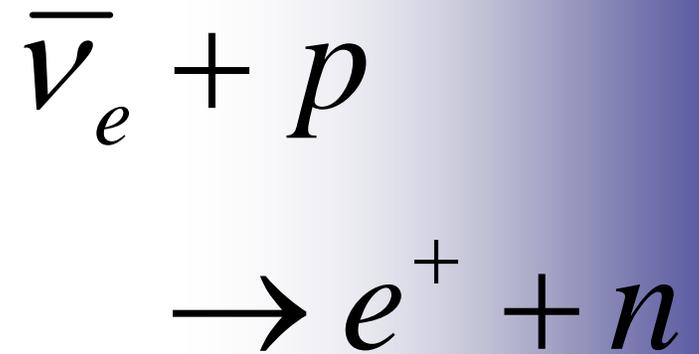
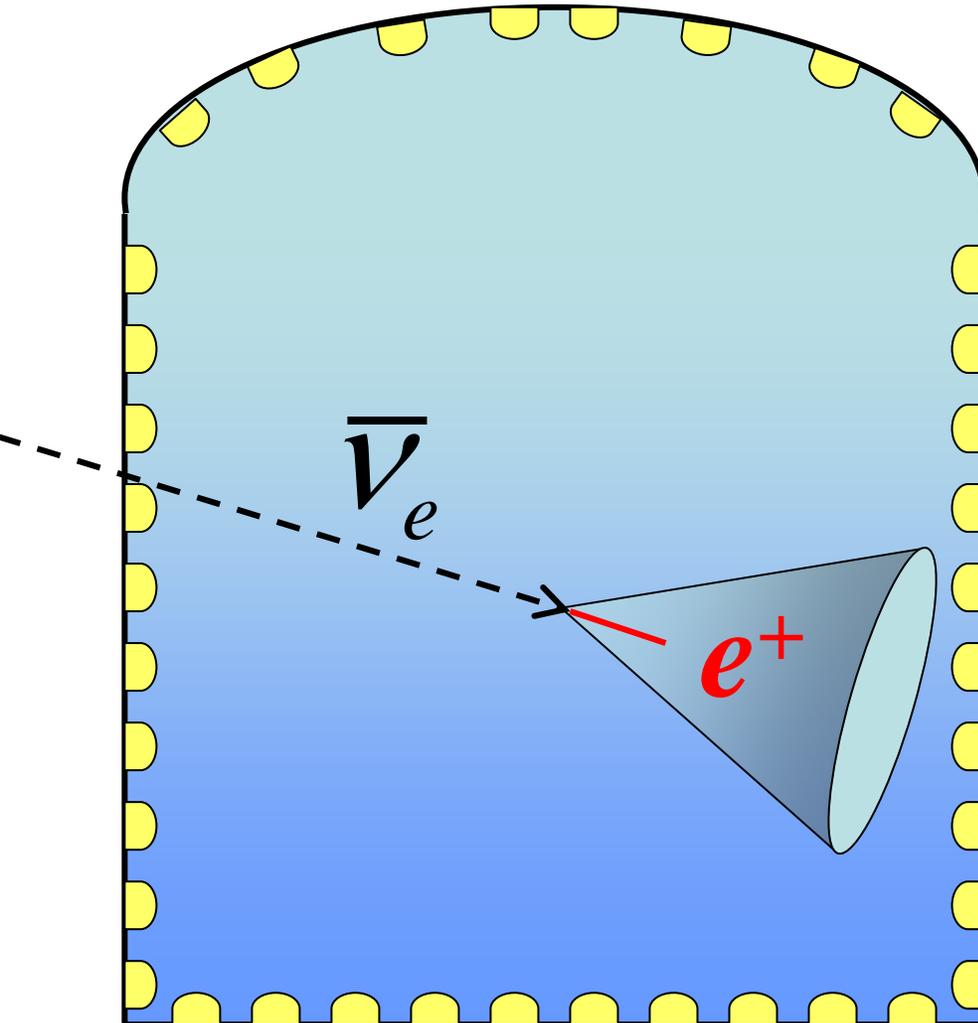


Super-Kamiokande



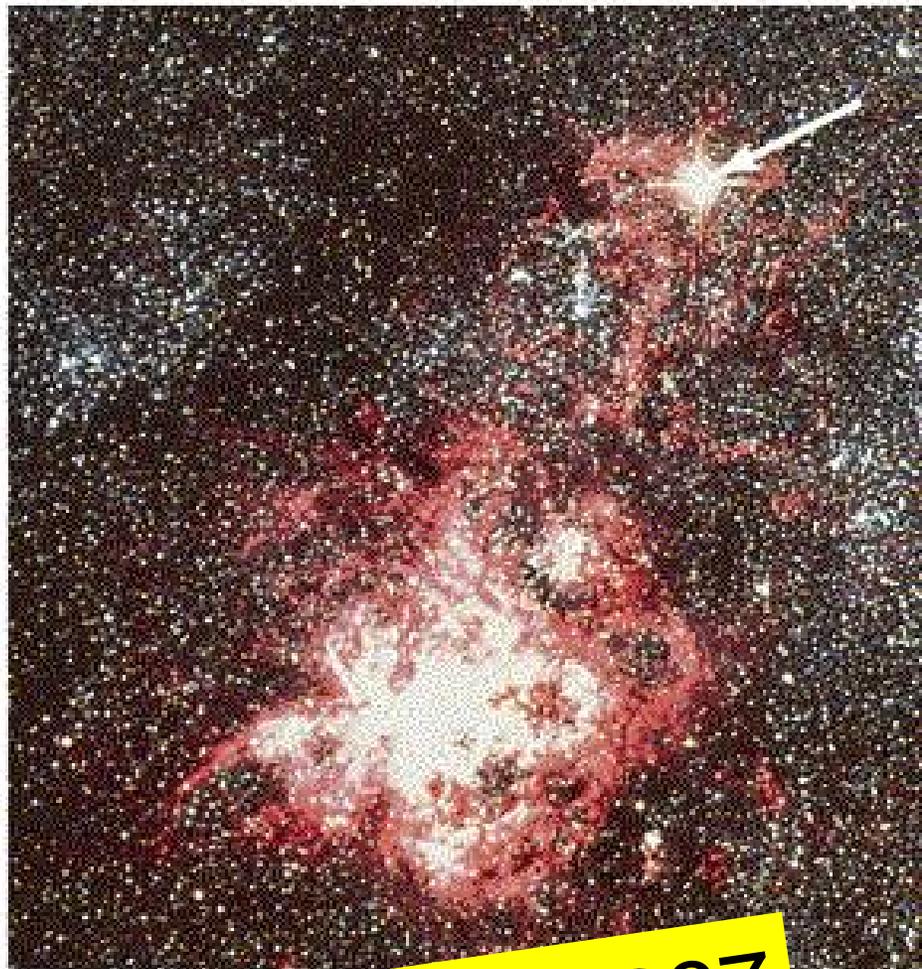
Super-Kamiokande:
Lebensdauer des Protons $> 5 \times 10^{33}$ Jahre

Neutrinos in Kamiokande





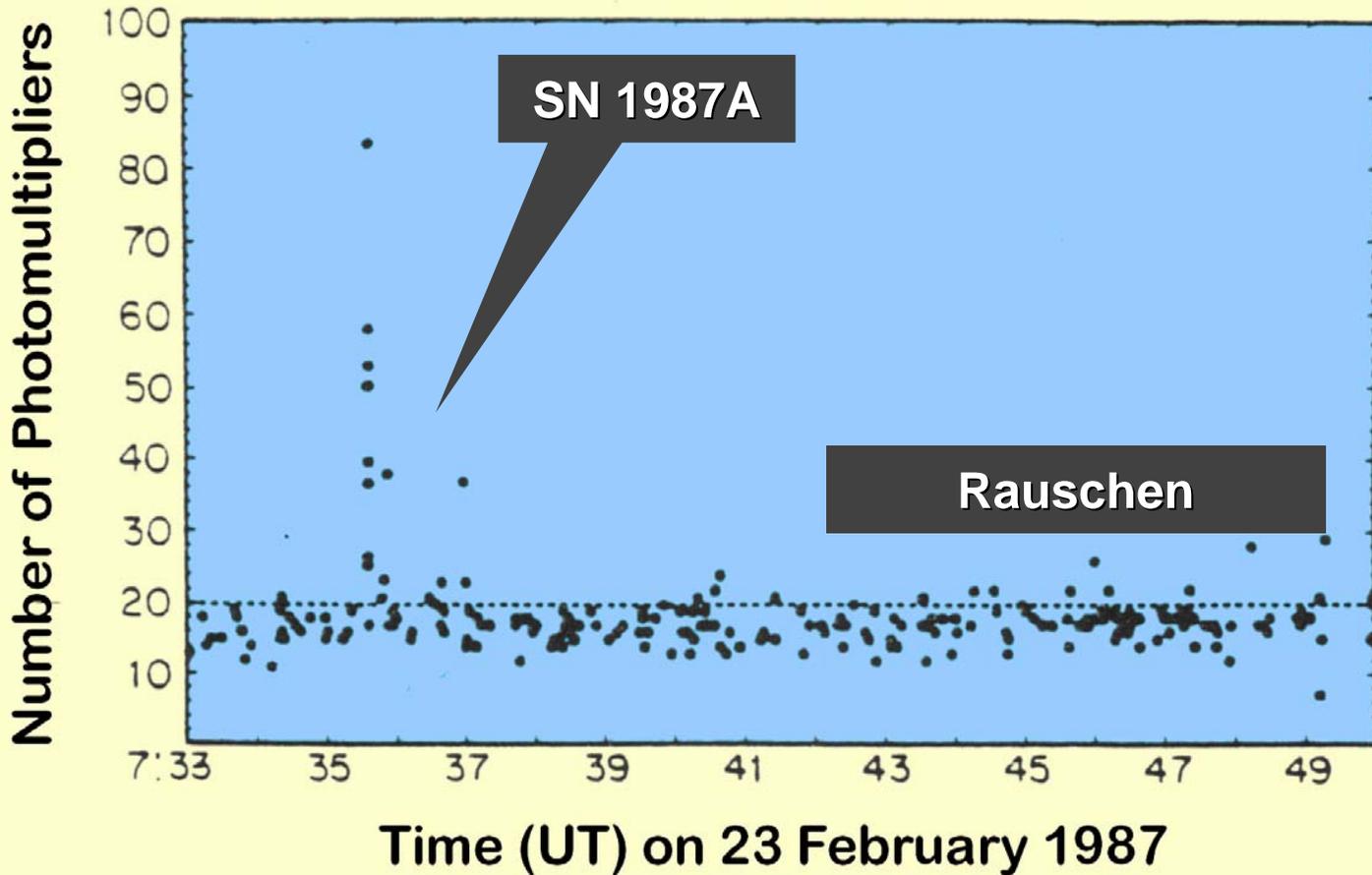
Supernova 1987A in der Großen Magellanschen Wolke



23.2.1987



Neutrino-Signal von SN-1987A in Kamiokande

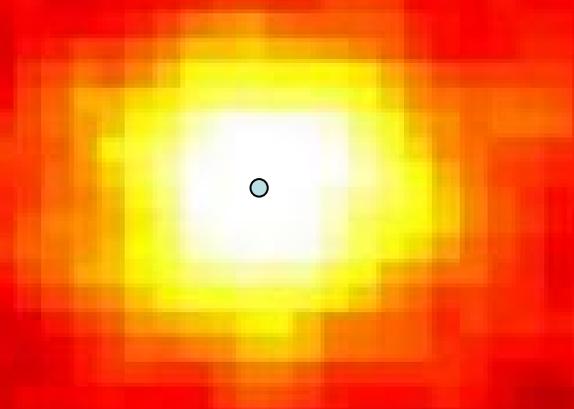
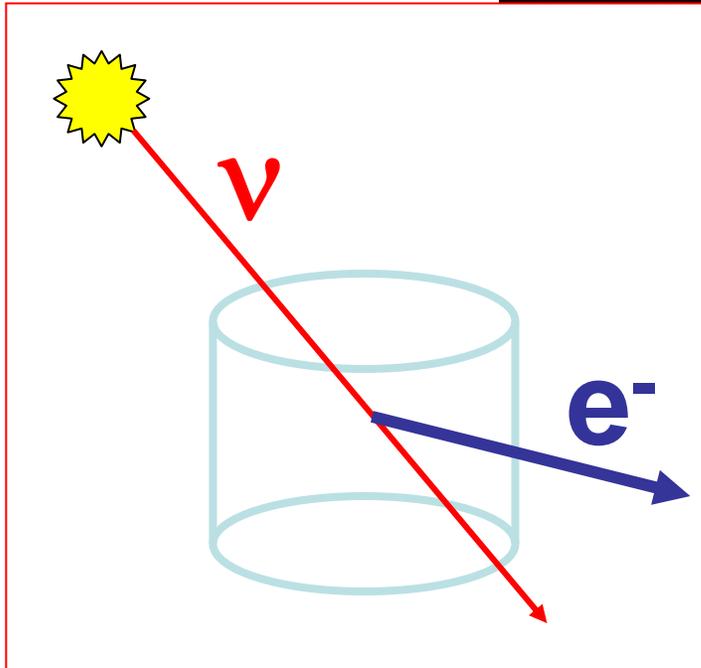




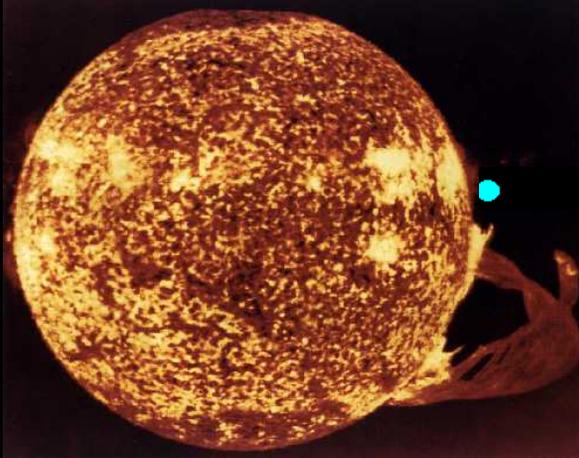
Neutrino-Signal von SN-1987A in Kamiokande

- Temperatur im frischen Neutronenstern
30-40 Milliarden Kelvin**
- Neutrinomasse < 20 eV**
-**

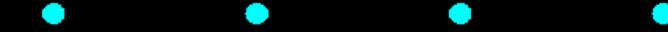
Die Sonne „in Neutrinos“



Neutrino-Oszillationen



taken from
W. Hofmann



Neutrinos wandeln
sich auf dem Weg
von der Sonne zur
Erde um !



→ Neutrinos haben eine Ruhe-Masse

- ❑ „*Astroparticle Physics European Coordination*“
- ❑ Gegründet 2001 (ursprünglich 6, jetzt 13 Länder)
- ❑ Warum ApPEC ?
 - Astroteilchen Projekte der nächsten Phase (>2010) erreichen die 50-500 M€ Skala
 - → Koordination
 - → Kooperation
 - → Konvergenz auf einige wenige Flaggschiffprojekte
 - → Infrastrukturen
- ❑ ASPERA: Europäisches Netzwerk (ERA-Net) der nationalen staatlichen Geldgeber für Astroteilchenphysik. Ab Juni 2006, 2.5 M€ über 3 Jahre.

Phase I:

Roadmap Phase I: science case
Recommendations for convergence

Phase II:

Detailed questionnaires from subfields
and agencies. Timelines and updated cost

Phase III:

Precise calendar for milestones and decisions
Prioritisation, based on different funding scenarios
Input for ESFRI Roadmap
Roadmap Phase III (Sept. 2008)





Astroteilchenphysik: die Fragen

- 1) **Woraus besteht das Universum ?
Insbesondere: Was ist Dunkle Materie ?**
- 2) **Können Protonen zerfallen ?**
- 3) **Was sind die Eigenschaften der Neutrinos und was ist ihre Rolle in der kosmischen Evolution?**
- 4) **Was lehren uns Neutrinos über das Innere von Sonne und Erde und über Supernova-Explosionen ?**
- 5) **Was ist der Ursprung der kosmischen Strahlung?
Wie sieht das Universum bei hohen Energien aus?**
- 6) **Was können wir mit Hilfe von Gravitationswellen über kosmische Prozesse lernen?**



Astroteilchenphysik: die Fragen

- 1) Woraus besteht das Universum ?
Insbesondere: **Was ist Dunkle Materie ?**
- 2) **Können Protonen zerfallen ?**
- 3) Was sind die Eigenschaften der Neutrinos **und was ist ihre Rolle in der kosmischen Evolution?**
- 4) **Was lehren uns Neutrinos über das Innere von Sonne und Erde und über Supernova-Explosionen ?**
- 5) **Was ist der Ursprung der kosmischen Strahlung?
Wie sieht das Universum bei hohen Energien aus?**
- 6) Was können wir mit Hilfe von **Gravitationswellen** über kosmische Prozesse lernen?



Was ist Dunkle Materie ?

0.1-1 %

Neutrinos

75 %

Dunkle Energie

21 %

Dunkle Materie

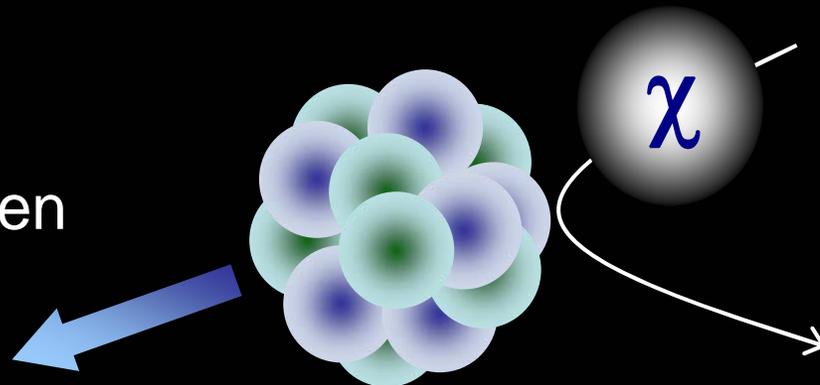
4 %

Normale Materie

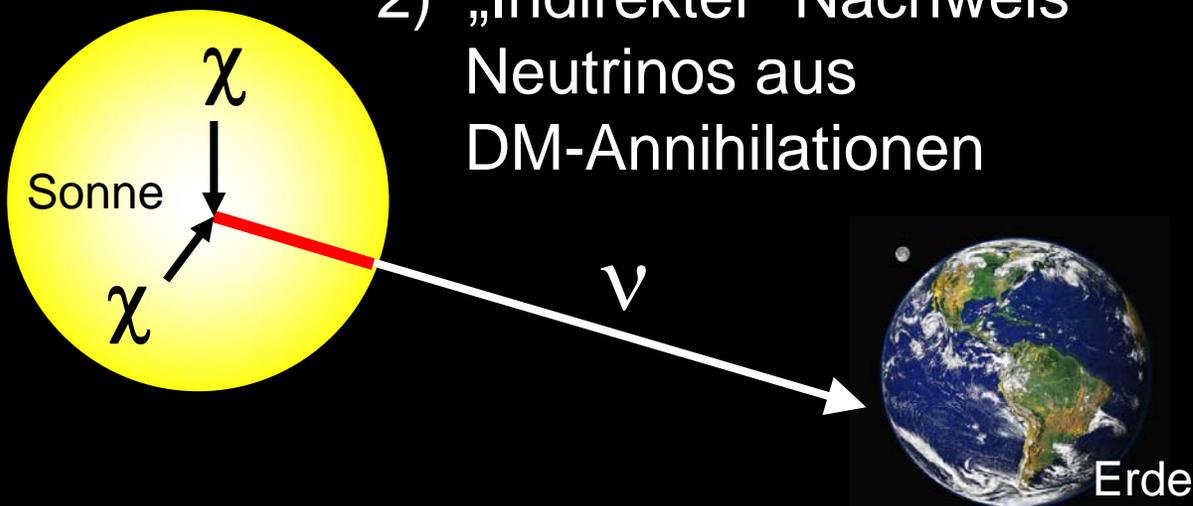


Nachweis Dunkler Materie

1) „Direkter“ Nachweis von DM-Reaktionen in Untergrunddetektoren



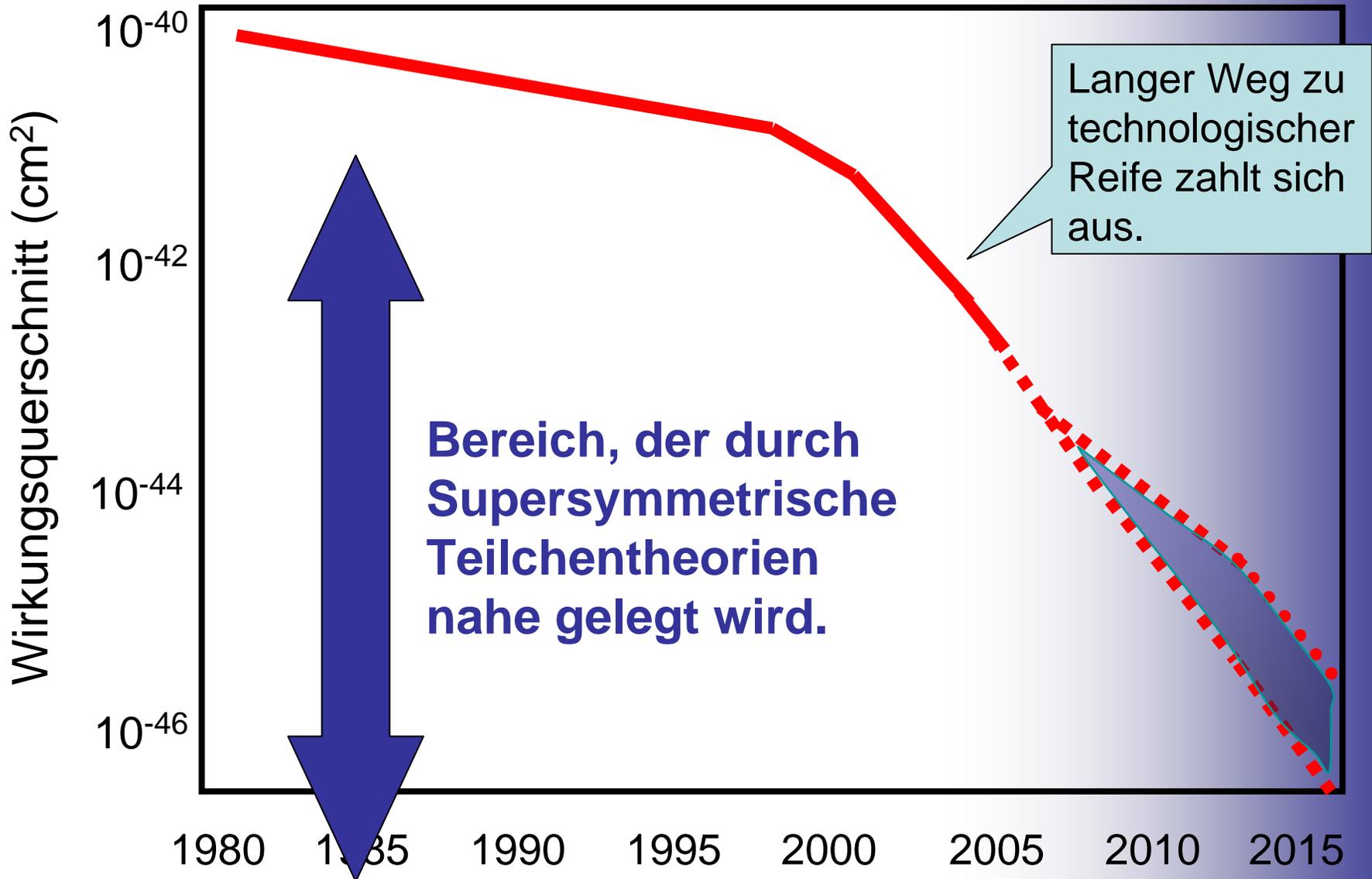
2) „Indirekter“ Nachweis Neutrinos aus DM-Annihilationen



3) Erzeugung von DM-Teilchen am LHC
(Large Hadron Collider)

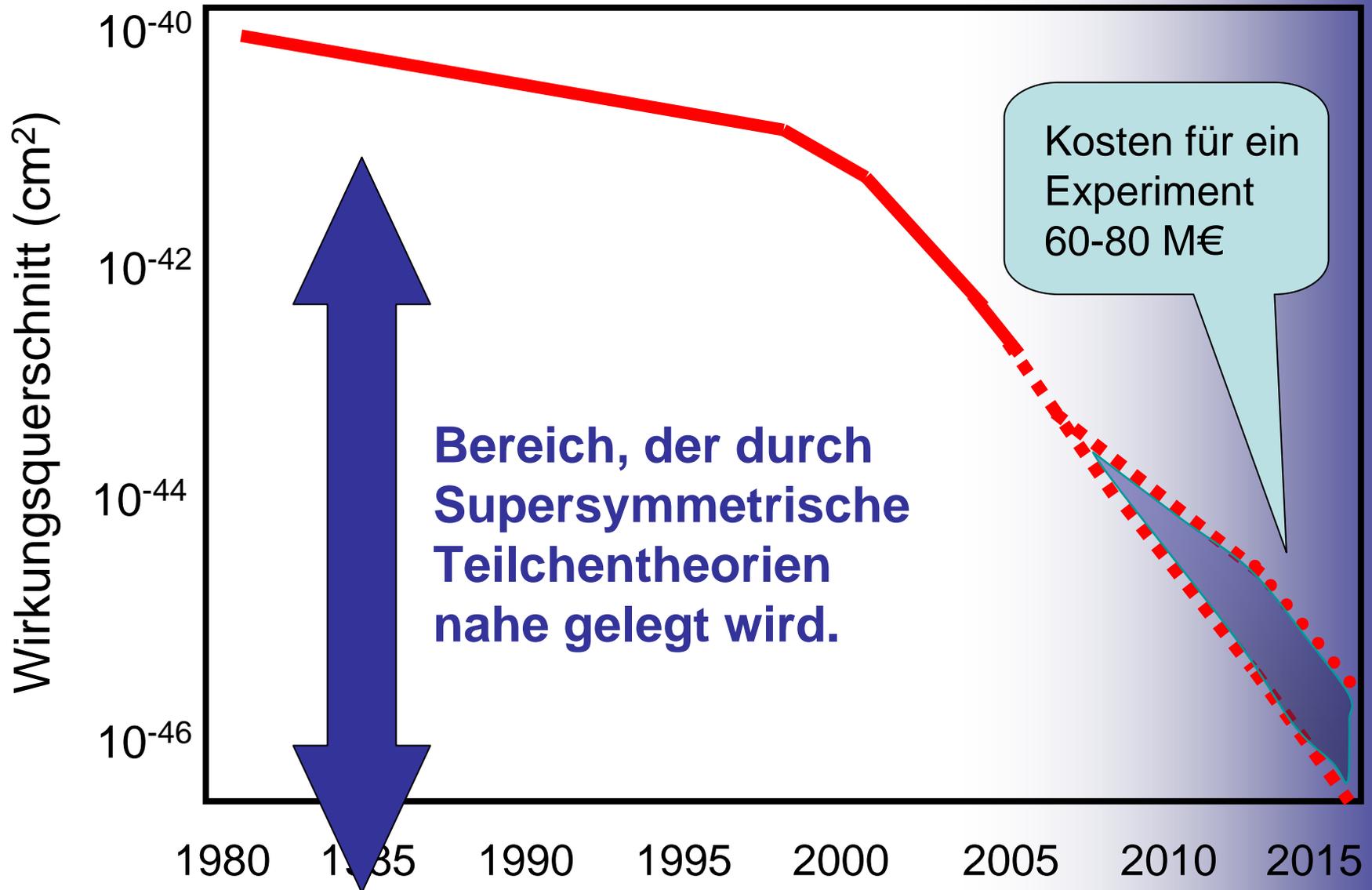


Verbesserung der Sensitivität bei der „direkten“ DM-Suche



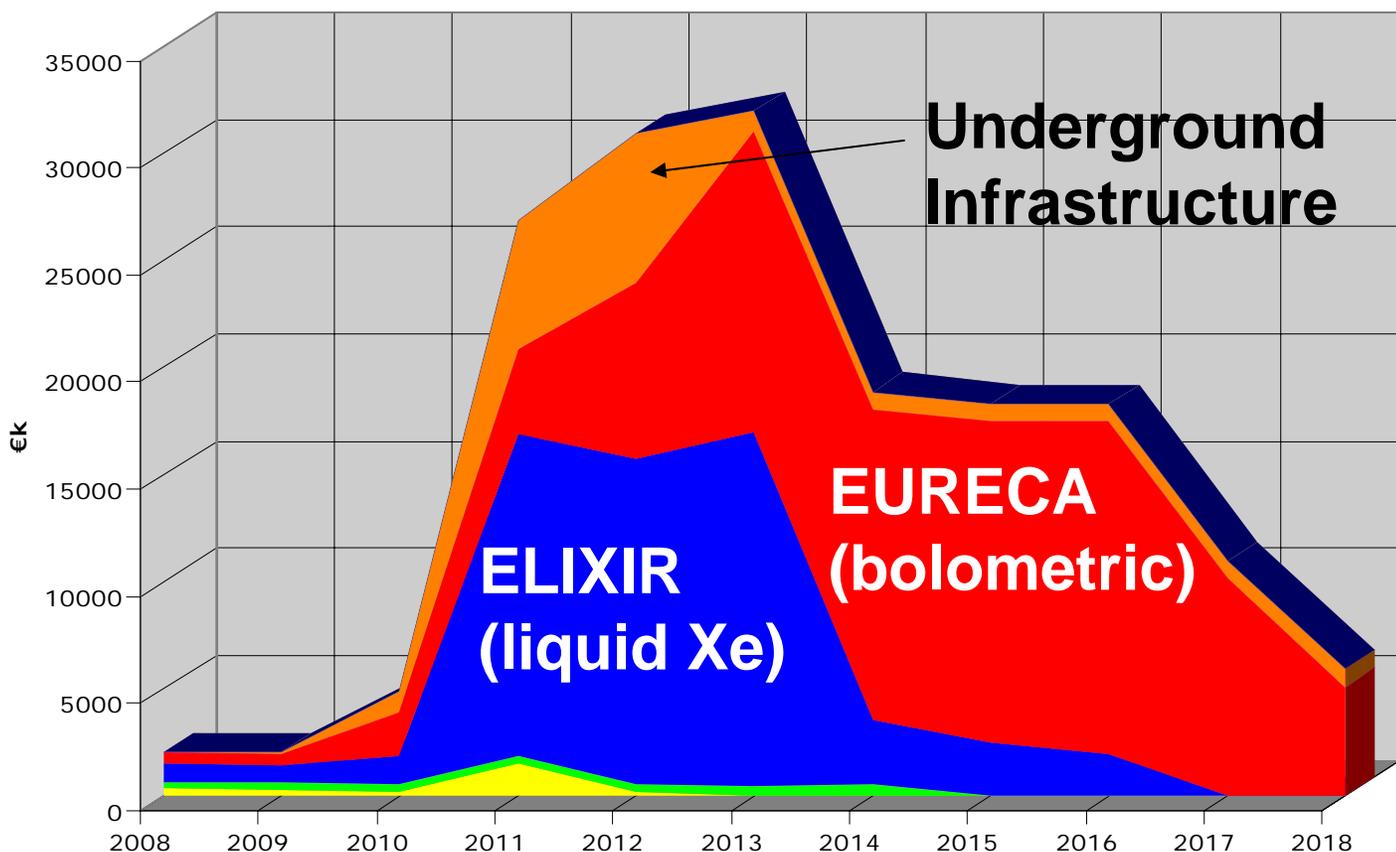


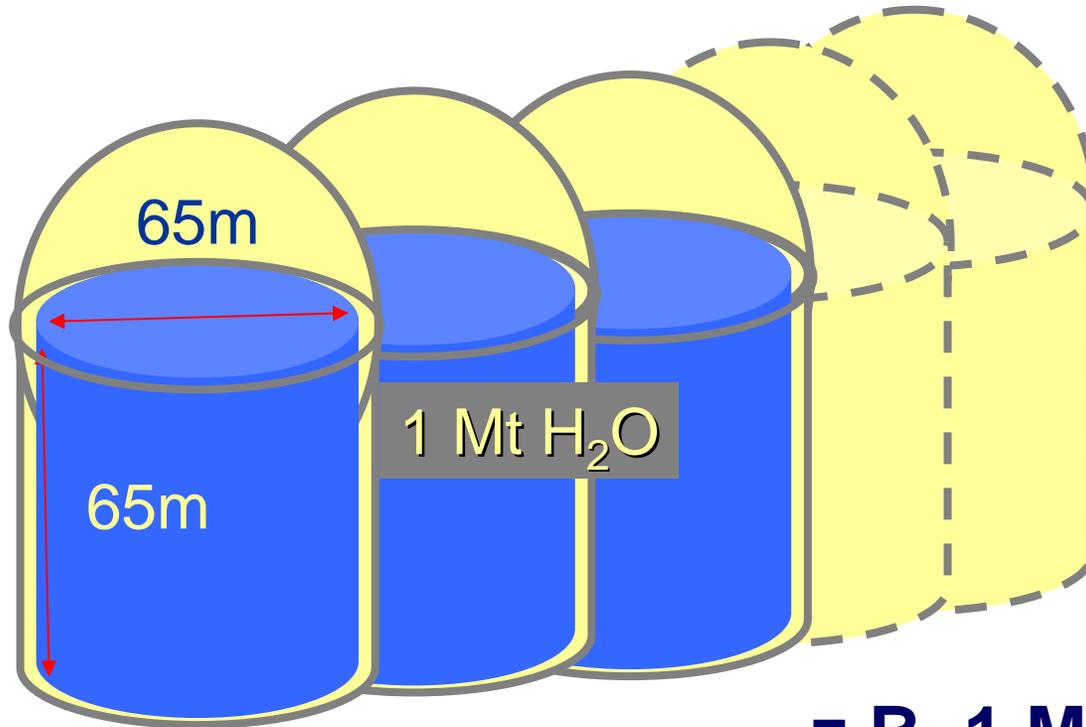
Verbesserung der Sensitivität bei der „direkten“ DM-Suche





WG recommendations for European Dark Matter projects





**z.B. 1 Megatonne Wasser
(MEMPHYS-Projekt im Frejus Tunnel)**

alternativ 100 kt Szintillator oder Flüssig-Argon

Kosten: 400-800 M€



Protonzerfall, Neutrinos von Sonne und Supernovae

**Für eine Supernova im Zentrum
unserer Galaxis (10 kpc):
50 000 - 200 000 Neutrino-Ereignisse**

vgl. Superkamiokande: 8500 Ereignisse

vgl. SN1987A: weltweit 20 Ereignisse beobachtet
(Entfernung 50 kpc)

z.B. 1 Megatonne Wasser

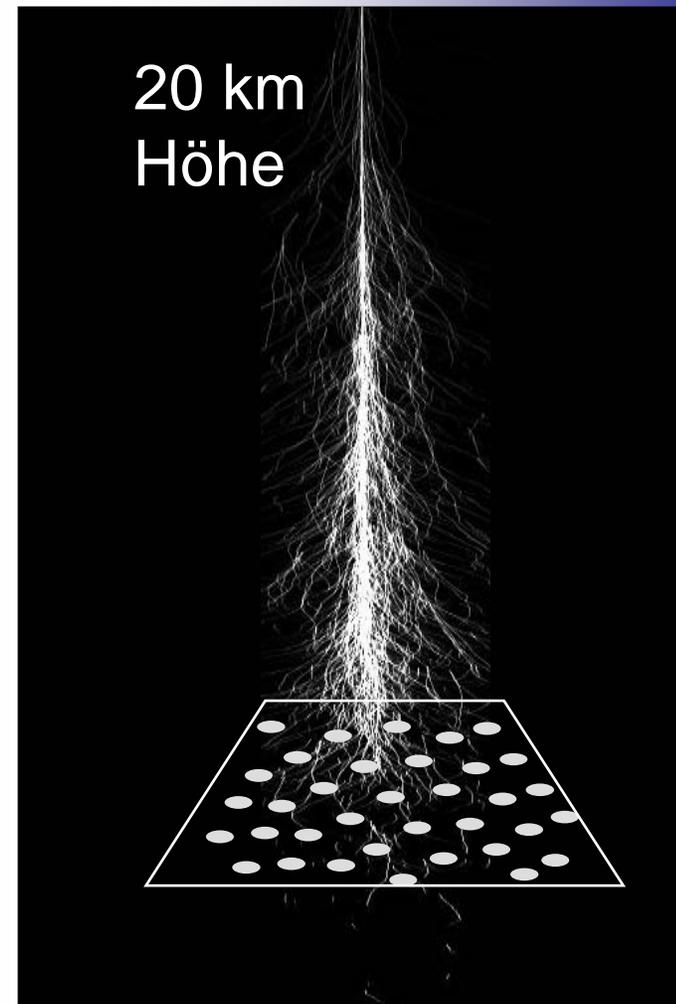
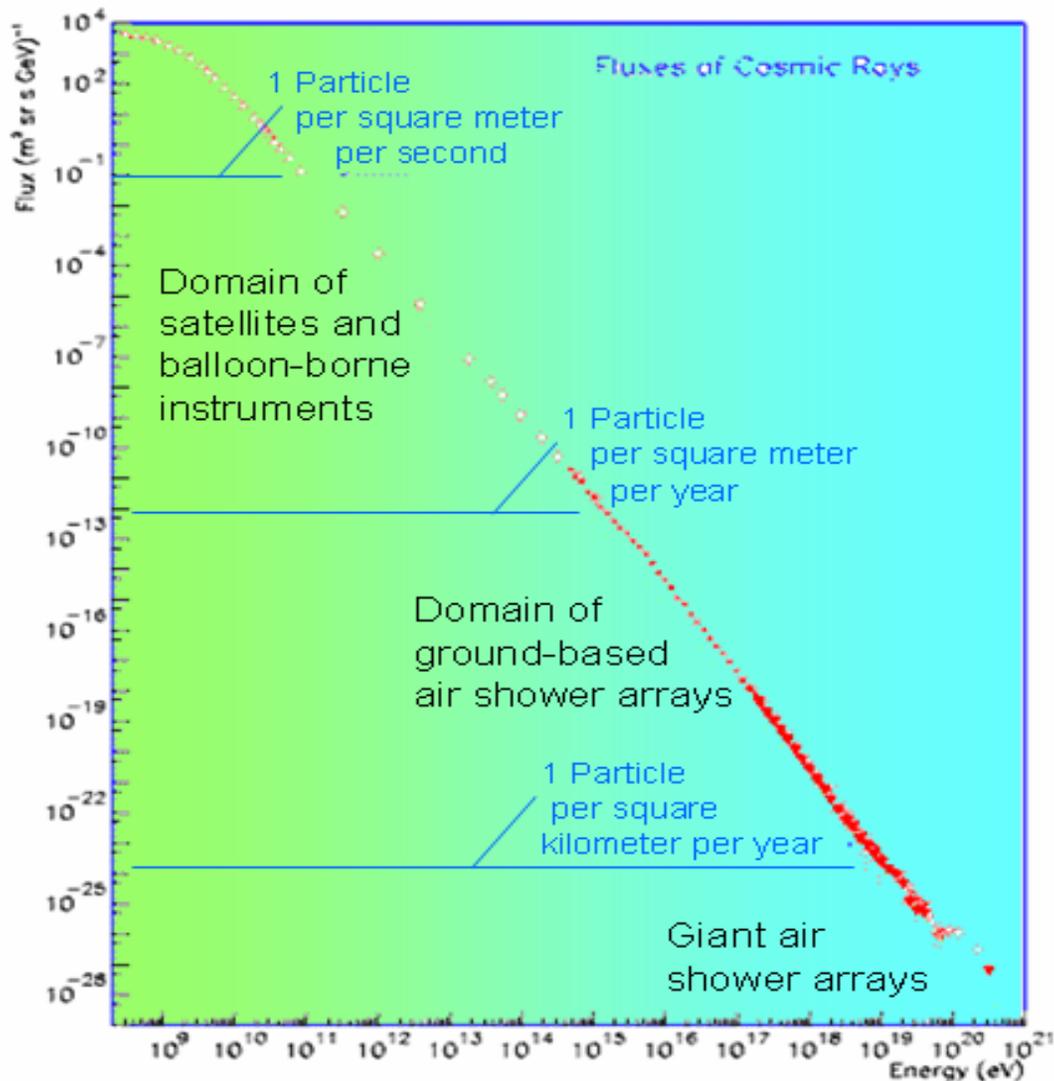
(MEMPHYS-Projekt im Frejus Tunnel)

Protonzerfall: bis 10^{35} Jahre

alternativ 100 kt Szintillator oder Flüssig-Argon

Kosten: 400-800 M€

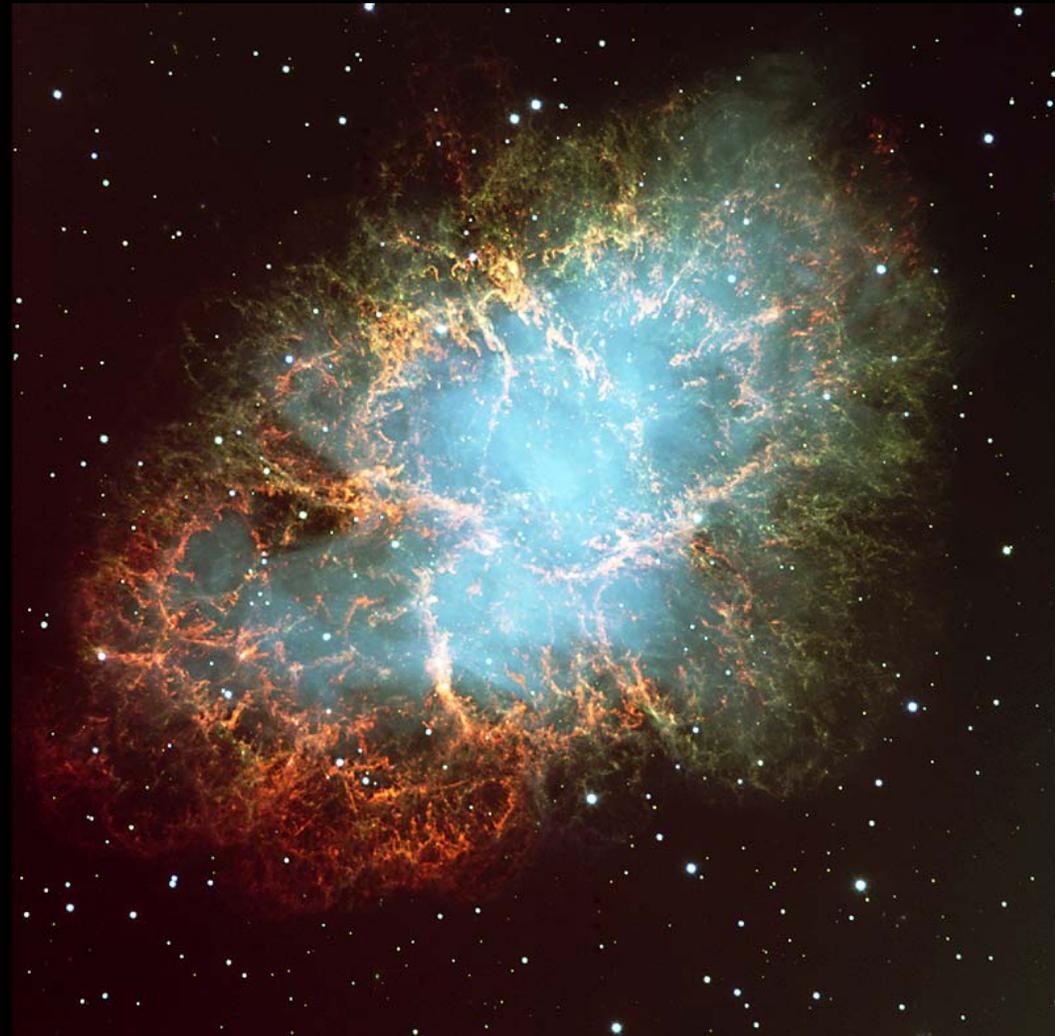
Das Universum bei hohen Energien



Supernovae: Stosswellen in interstellares Medium

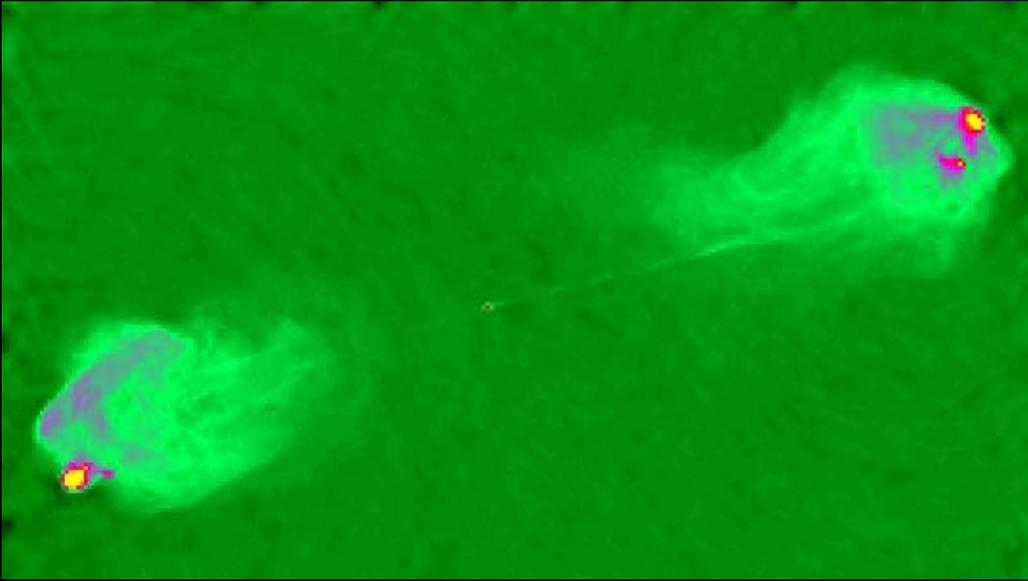
bis 10^{16} eV

Krebs-Nebel

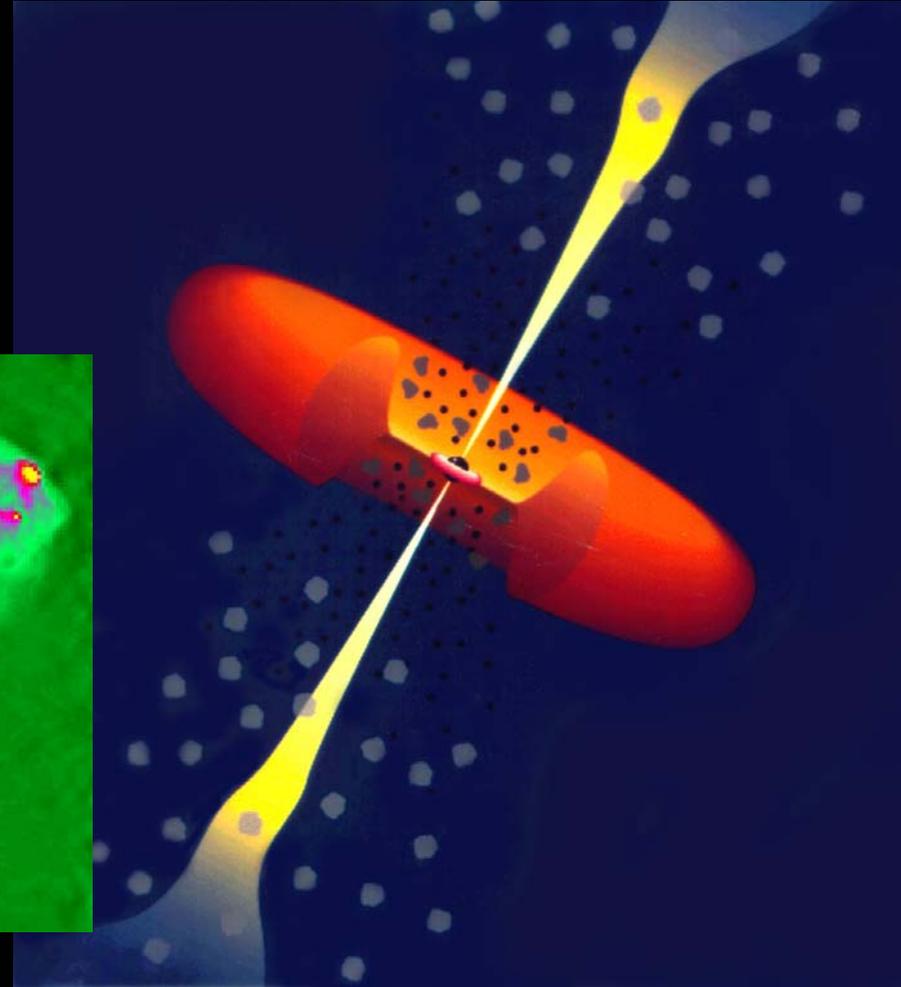


Aktive Galaxien: Akkretionsscheiben und Jets

bis 10^{20} eV



Radiobild von Cygnus A



Geladene kosmische Strahlen, Neutrinos, TeV γ



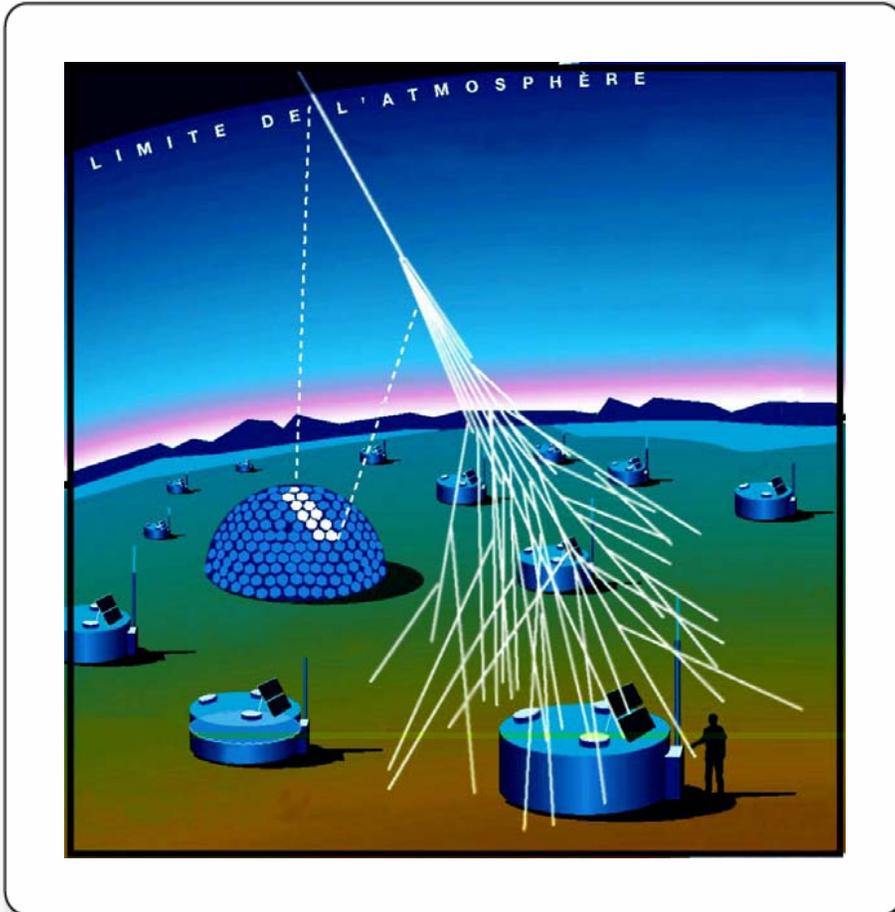
Data taking: **Auger**
 ≥ 2010 :
Auger North
 ≥ 2018 : EUSO ?



under construction/data taking:
IceCube
 ≥ 2011 : KM3NeT



Data taking/upgrade
H.E.S.S., Magic
2012: CTA

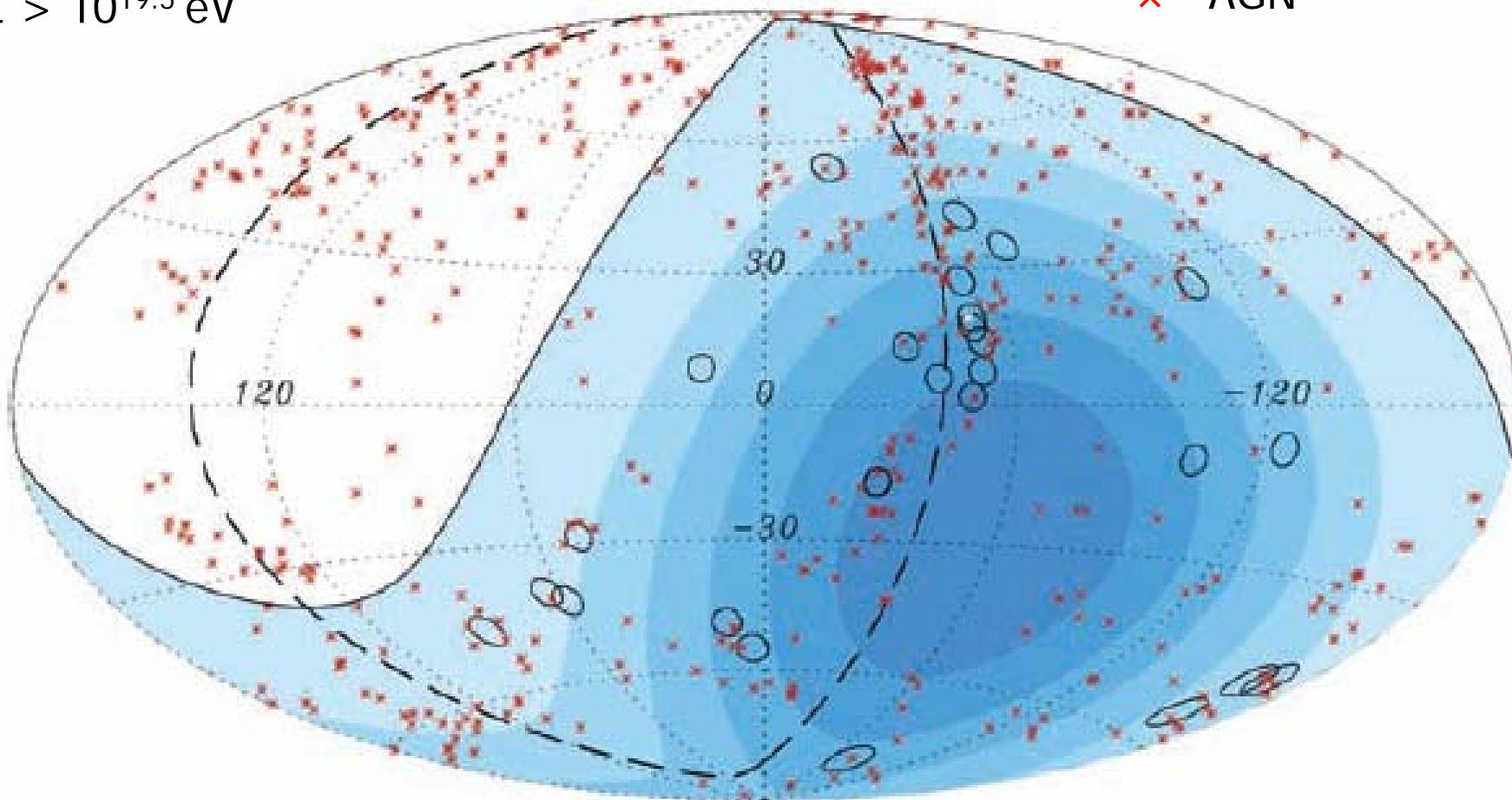


- ❑ Oberhalb 10^{19} eV:
 - ❑ Ablenkung in kosmischen Magnetfeldern gering
 - ❑ „Astronomie“ möglich
 - ❑ Aber: Flüsse gering (<1 Teilchen pro km^2 und Jahr)
 - ❑ Luftschauer-Detektor von $\sim 3000 \text{ km}^2$ Fläche nötig
- ❑ Pierre-Auger Observatorium (Argentinien)

Der Beginn der Astronomie mit geladenen kosmischen Strahlen?

Auger Himmelskarte
 $E > 10^{19.5} \text{ eV}$

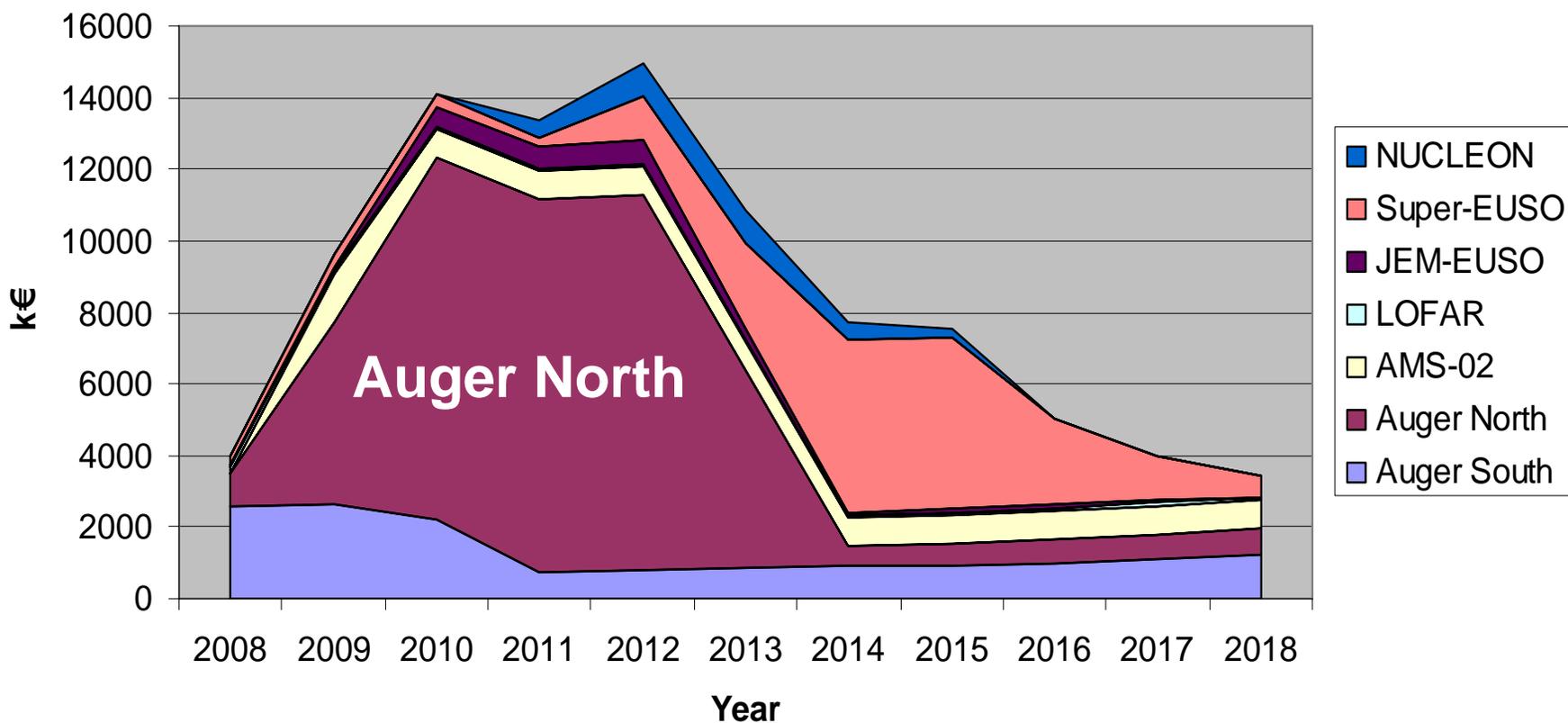
o - Auger-Ereignisse
x - AGN



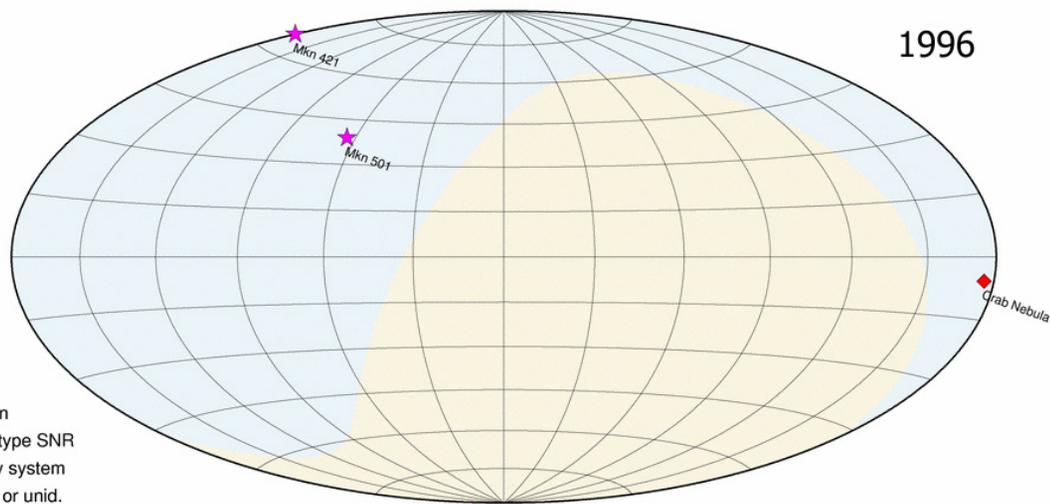
Klare Priorität: Auger-Nord

Trans-GZK-Physik
~ 10 000 km²

Investments (ASPERA part)

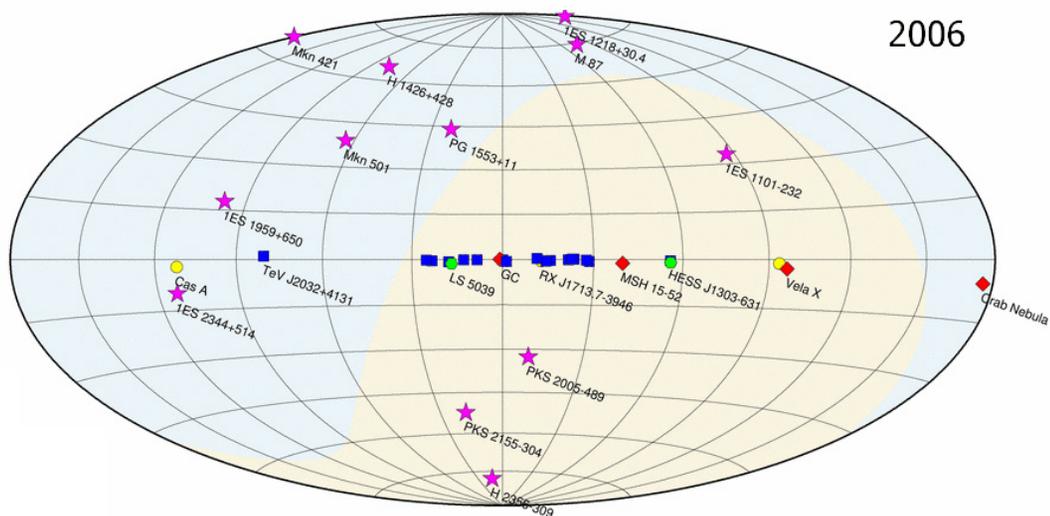


Der TeV Gamma Himmel



1996:
3 Quellen

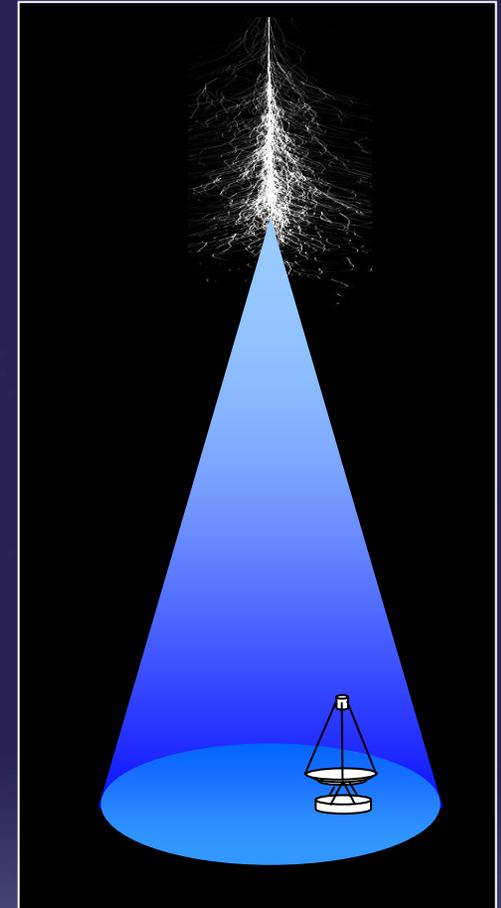
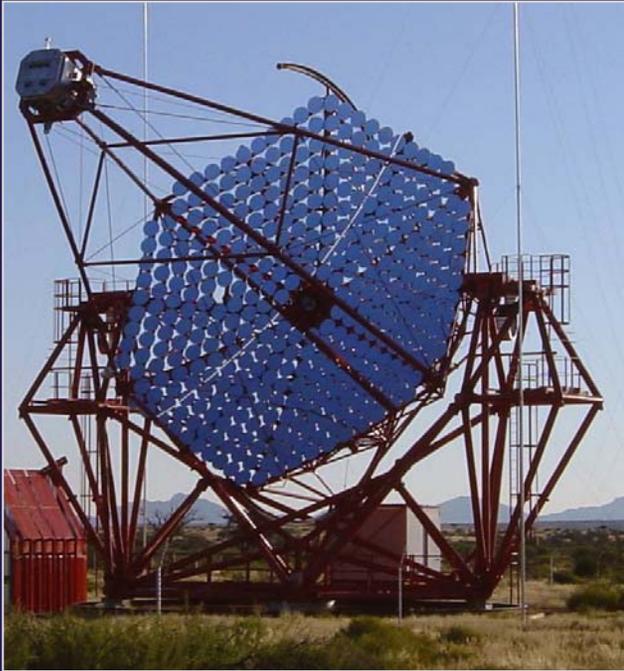
Background colours indicating northern / southern sky



2006:
~ 40 Quellen



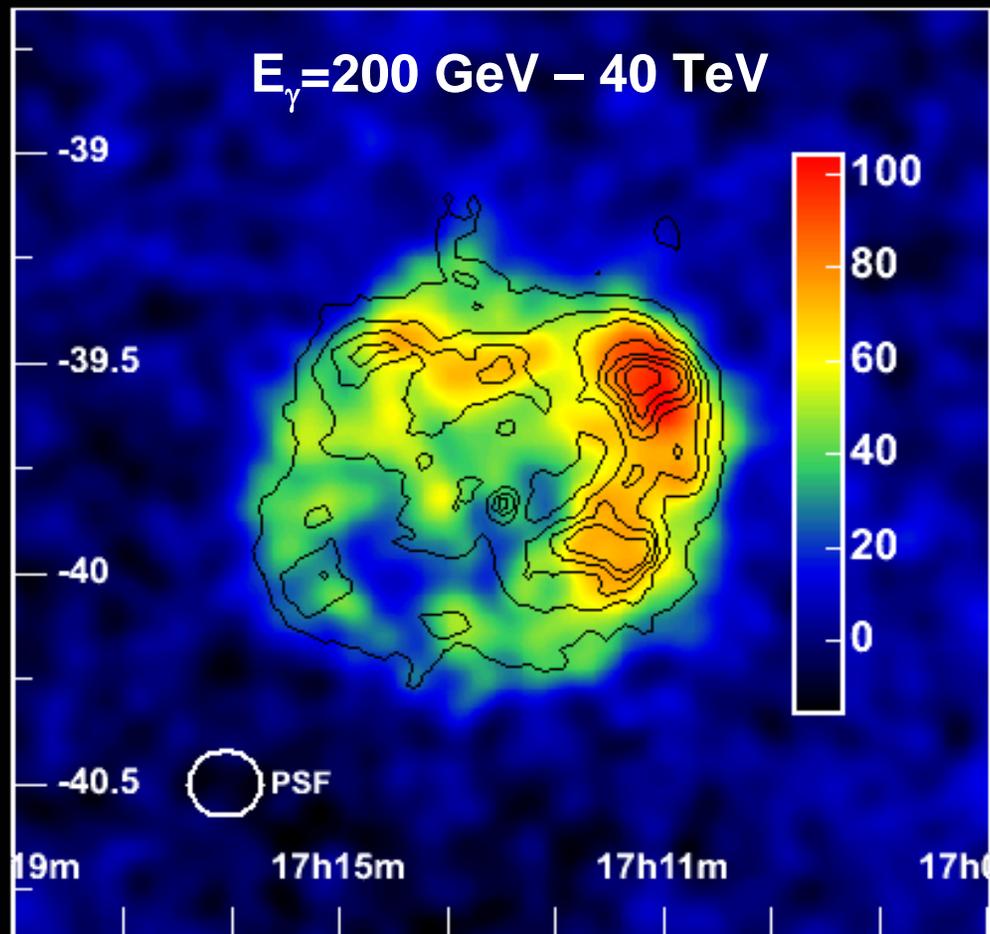
Das H.E.S.S. Teleskop in Namibia



Erste Hinweise auf Protonenbeschleuniger

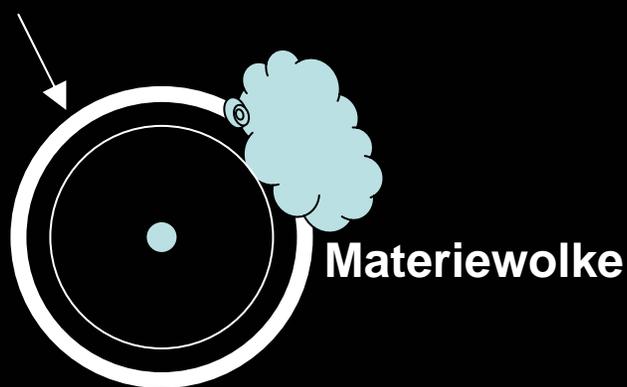
Spektrum der meisten TeV-Gamma-Quellen mit reiner Elektron-Beschleunigung verträglich.

Quell-Morphologie des Supernova Überrests **RX J1713** deutet jedoch auf Proton-Beschleunigung hin.

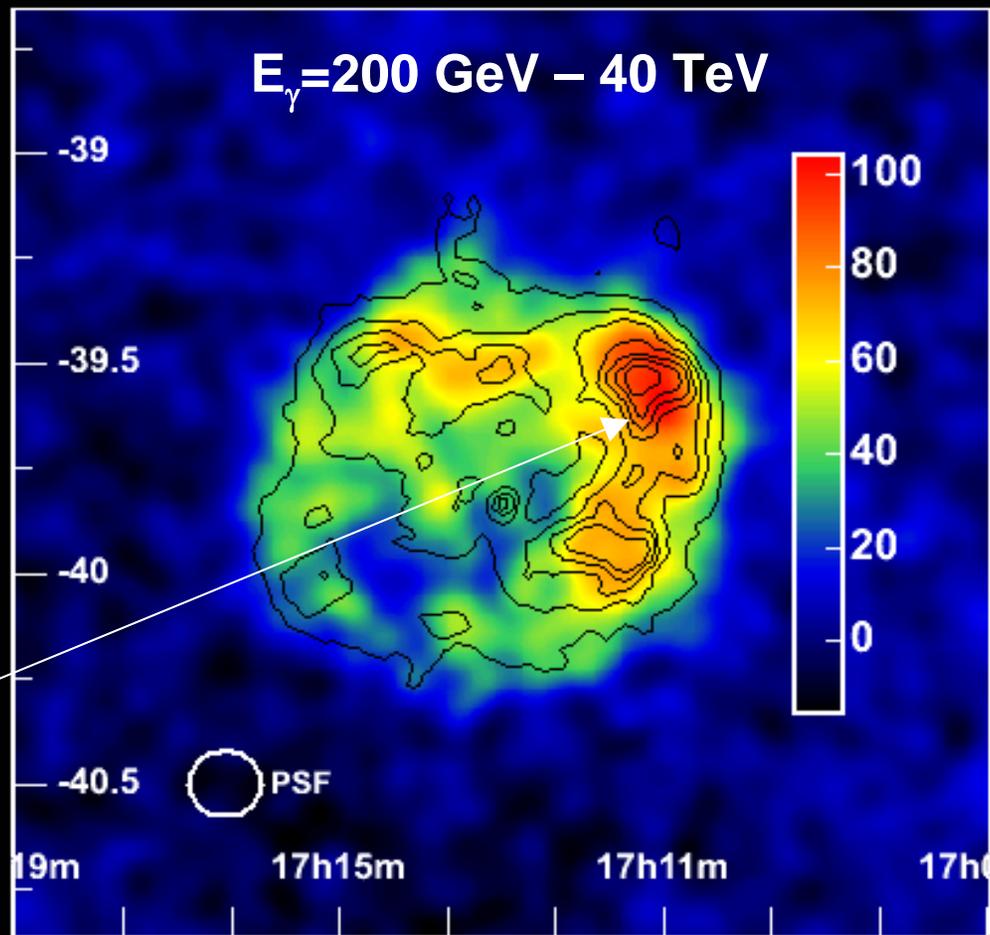
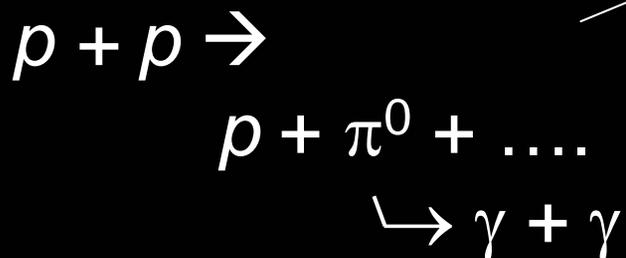


Erste Hinweise auf Protonenbeschleuniger

Protonbeschleunigung
an der Stoßwellenfront

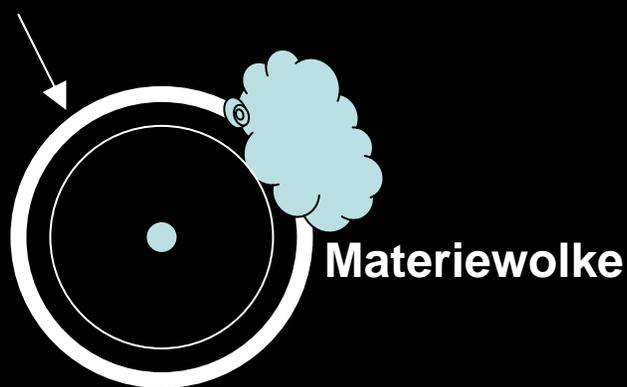


Protonen wechselwirken
mit Materie

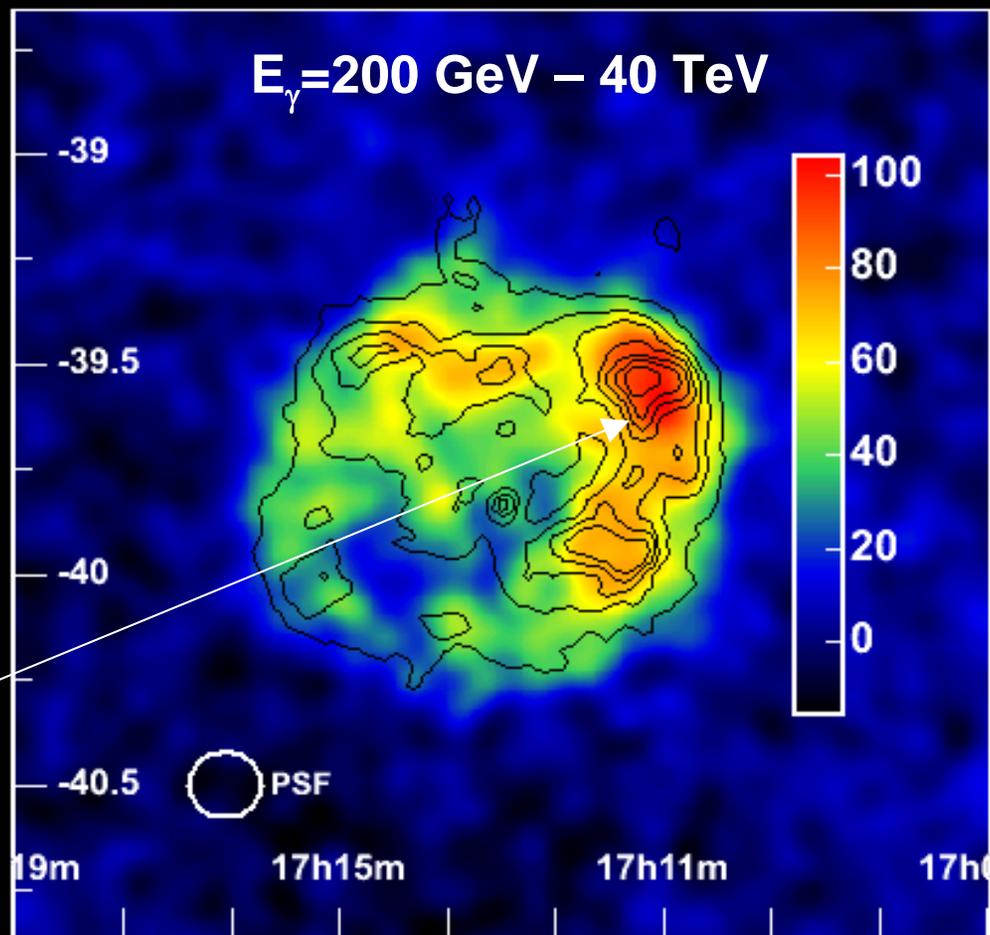


Erste Hinweise auf Protonenbeschleuniger

Protonbeschleunigung an der Stoßwellenfront



Protonen wechselwirken mit Materie





Der nächste
Schritt:

CTA

(Cherenkov Telescope Array)



2 Standorte:

Süden: bis zu höchsten Energien

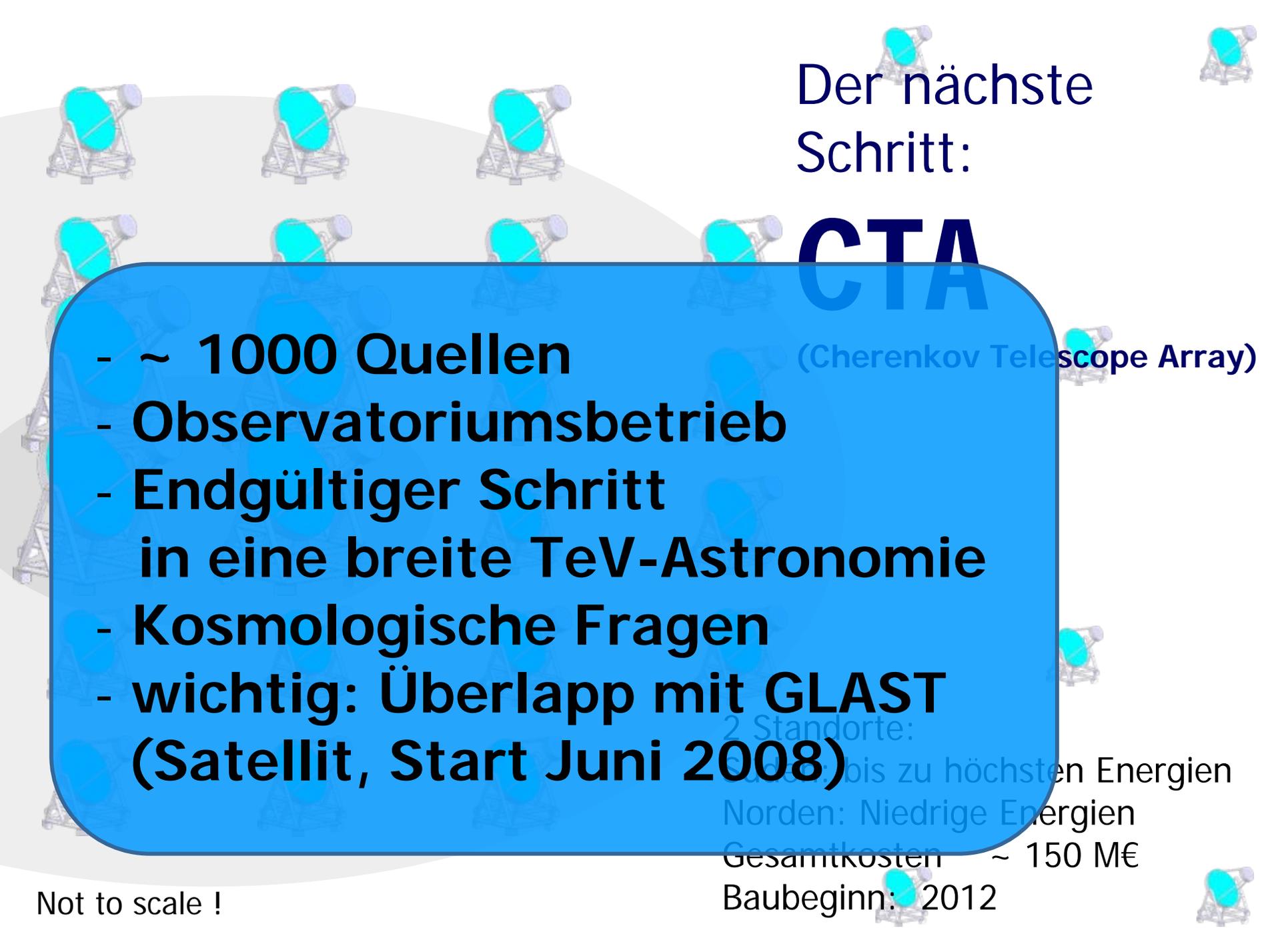
Norden: Niedrige Energien

Gesamtkosten ~ 150 M€

Baubeginn: 2012



Not to scale !



Der nächste
Schritt:

CTA

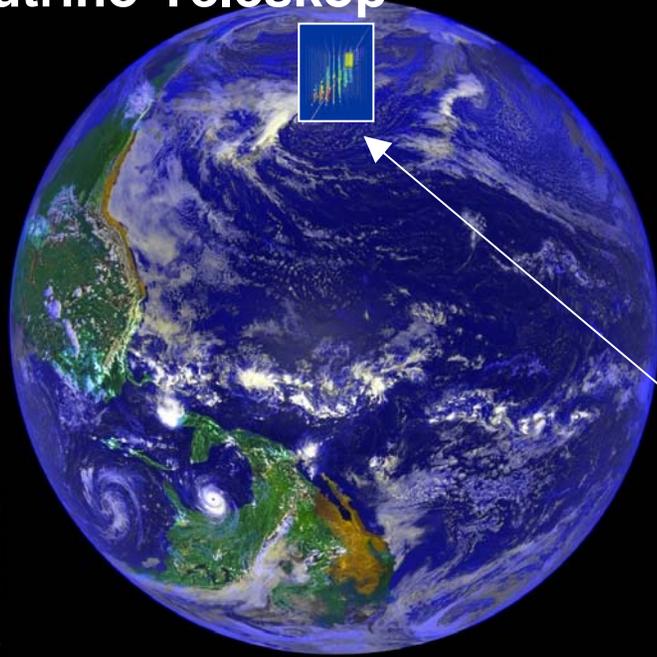
(Cherenkov Telescope Array)

- ~ 1000 Quellen
- Observatoriumsbetrieb
- Endgültiger Schritt
in eine breite TeV-Astronomie
- Kosmologische Fragen
- wichtig: Überlapp mit GLAST
(Satellit, Start Juni 2008)

2 Standorte:
Süd: bis zu höchsten Energien
Norden: Niedrige Energien
Gesamtkosten ~ 150 M€
Baubeginn: 2012

Not to scale !

Neutrino-Teleskop



Neutrino-Astronomie bei hohen Energien

ν

Nur Neutrinos können die Erde durchqueren.

→ für klare Identifikation:

„Sieh“ nach unten !

(und benutze die Erde als Filter)

Aktive
Galaxie



Myonen können in Wasser
oder Eis
kilometerweit
fliegen ...

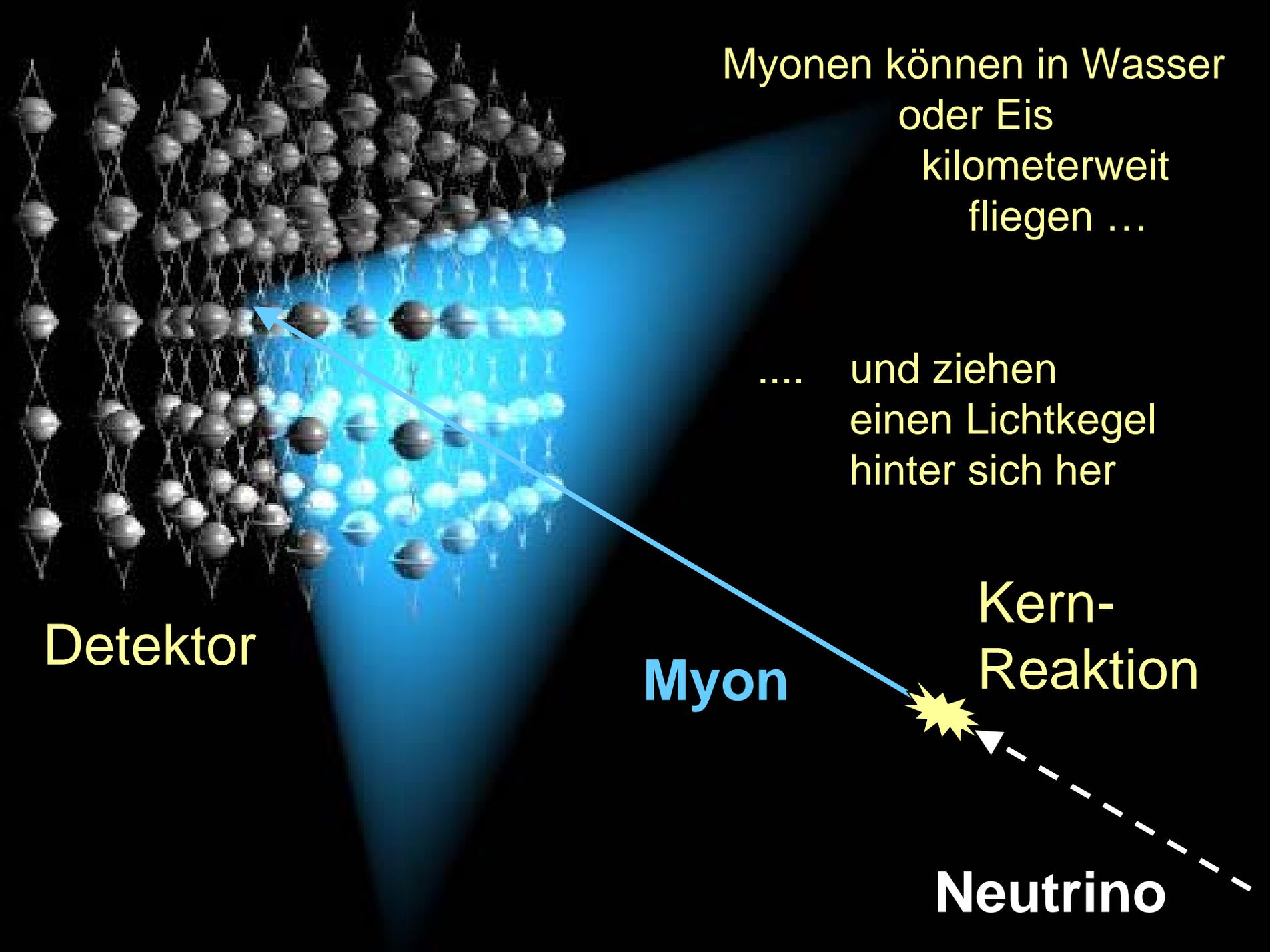
.... und ziehen
einen Lichtkegel
hinter sich her

Detektor

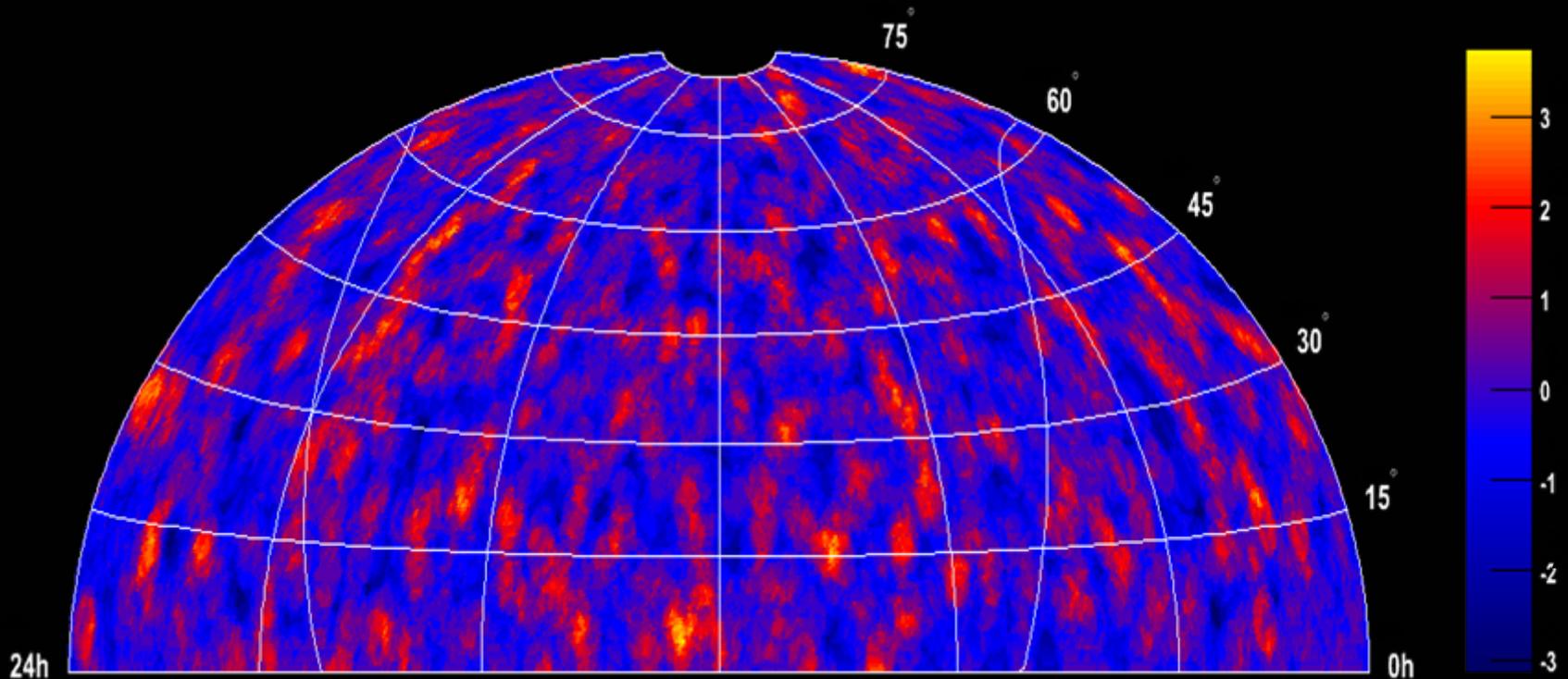
Myon

Kern-
Reaktion

Neutrino



AMANDA Himmelskarte, 5 Jahre

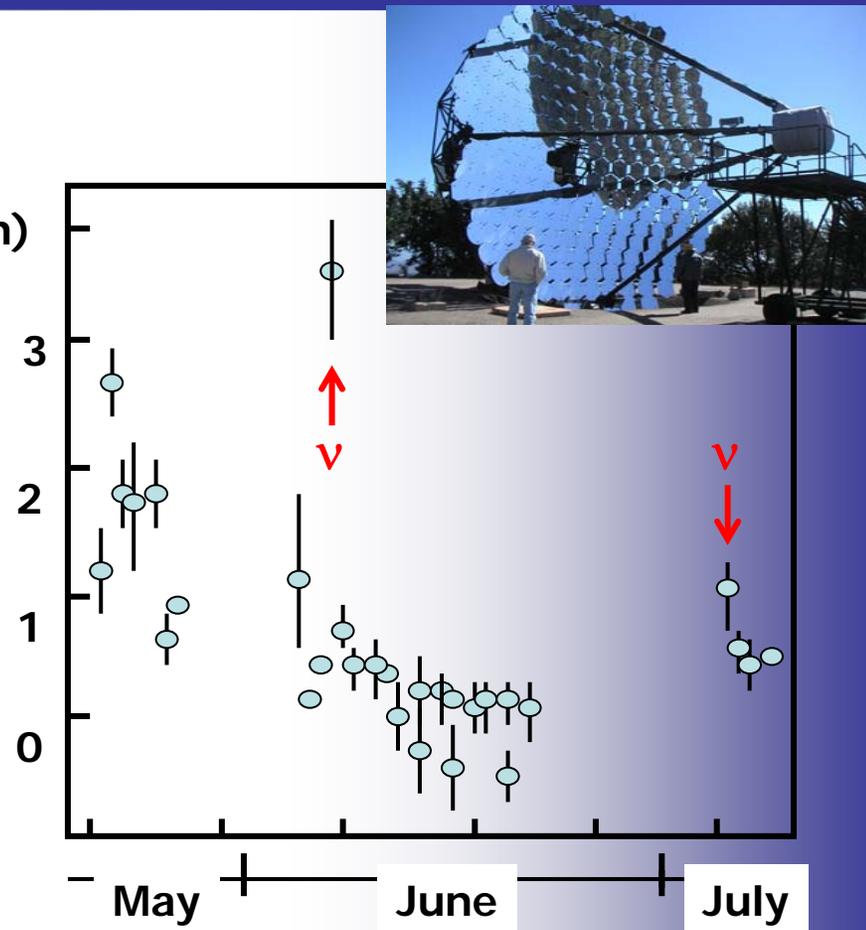
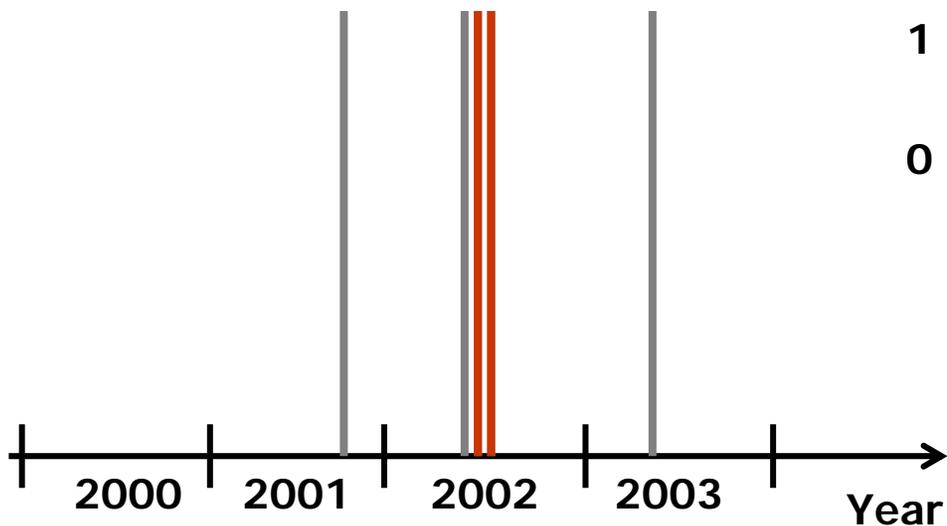


AMANDA-II: 2000-2004 (1001 live days) 4282 ν from Northern hemisphere

Kein signifikanter Überschuss

Fluss von
TeV Photonen
(willk. Einheiten)

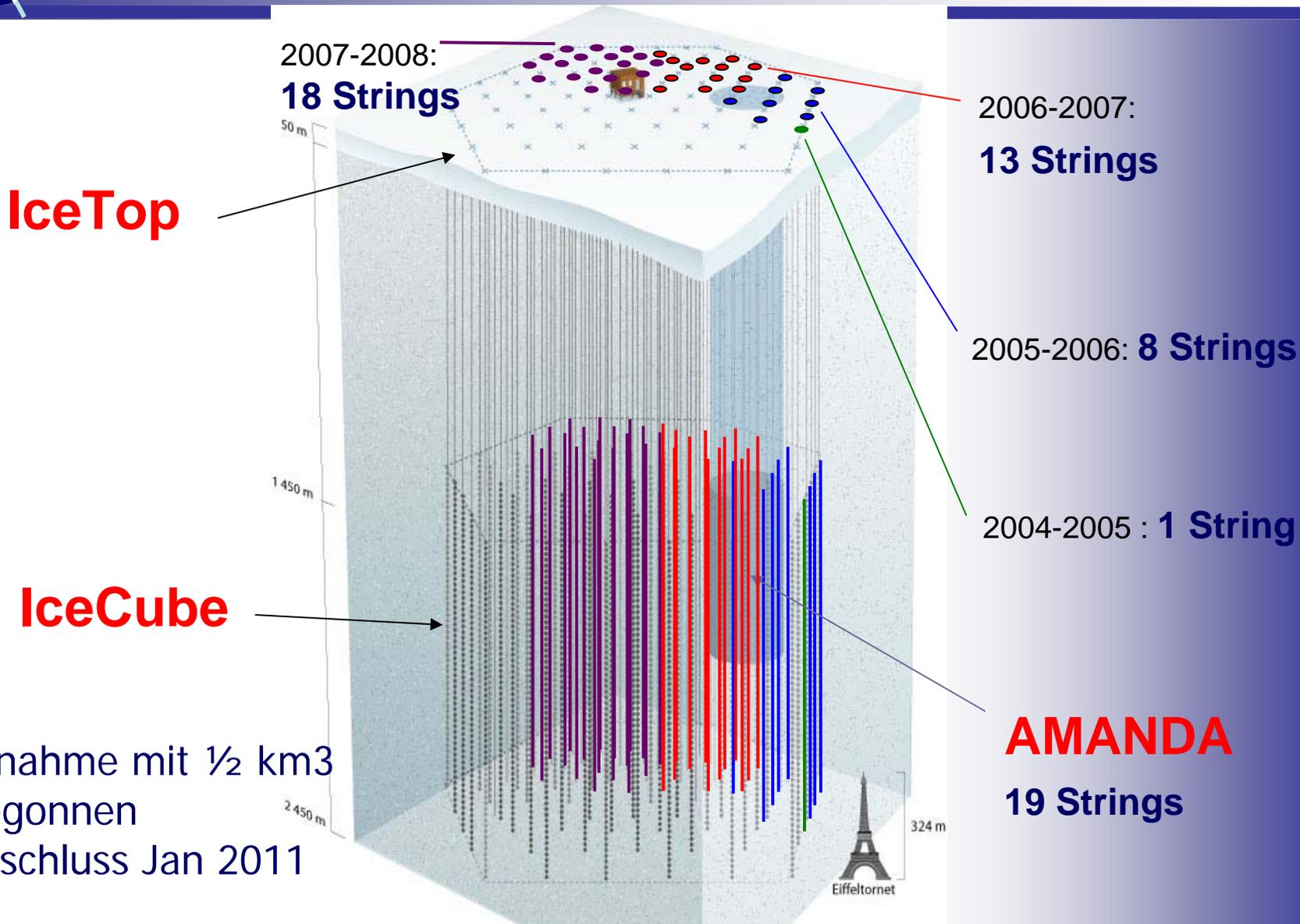
Ankunftszeit von „AMANDA-
Neutrinos“ aus der Richtung der
Aktiven Galaxie ES1959+650



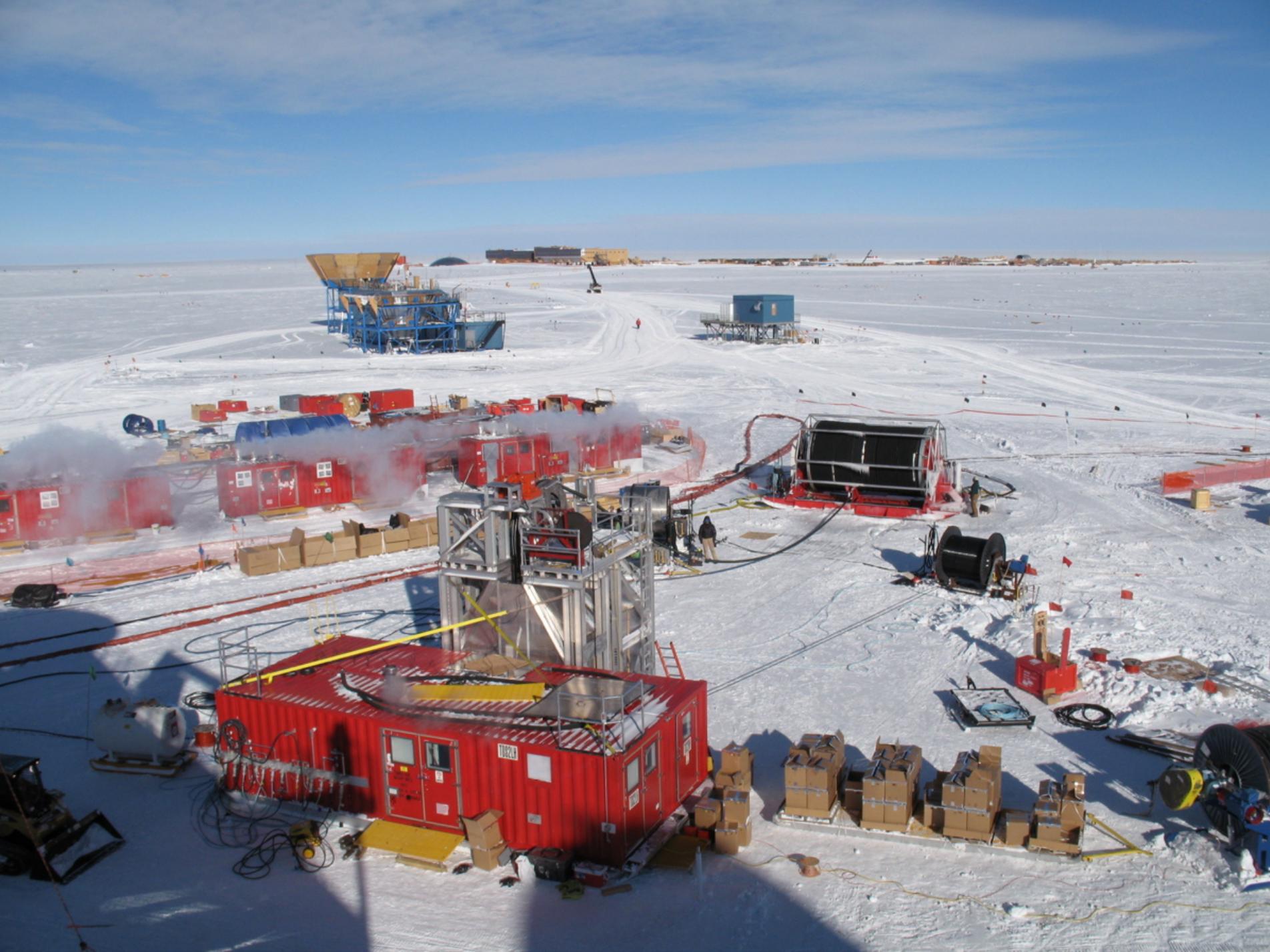
Gamma-Fluss aus der
Richtung ES1959+650 im
WHIPPLE-Teleskop



IceCube

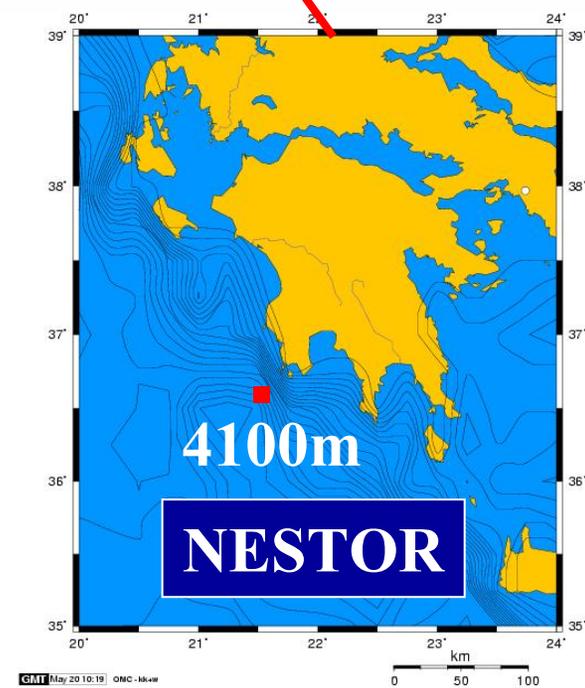
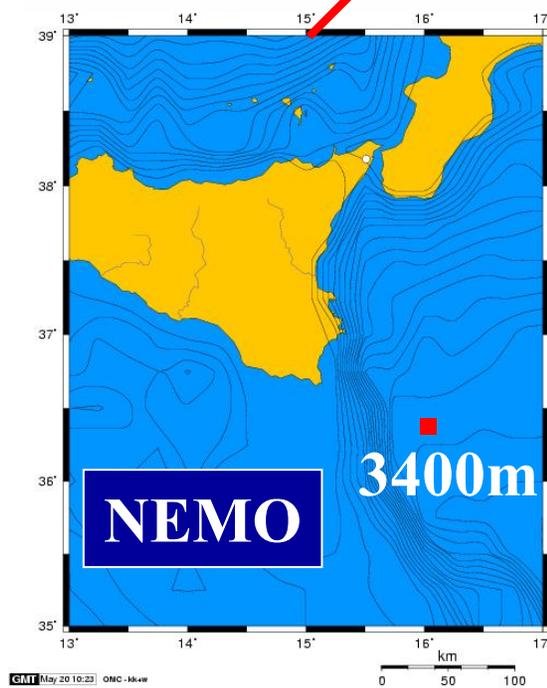
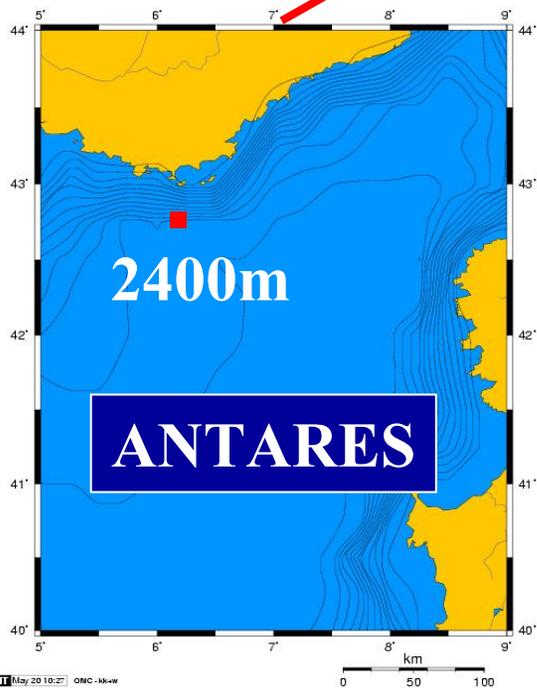
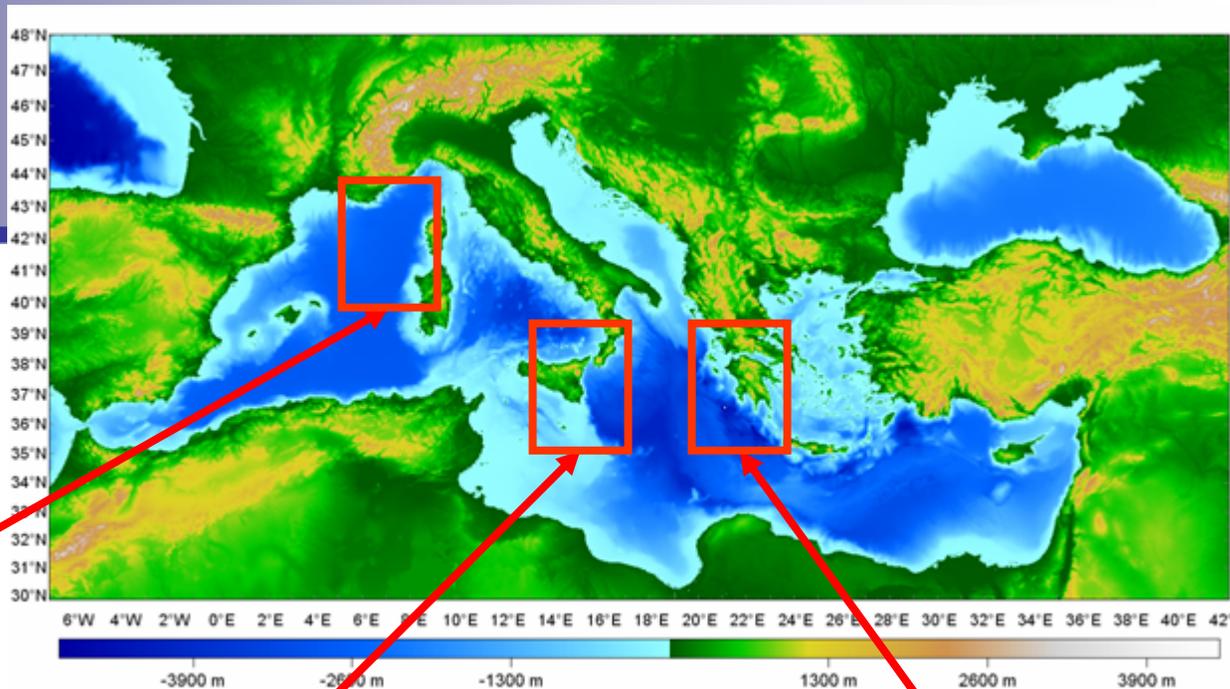


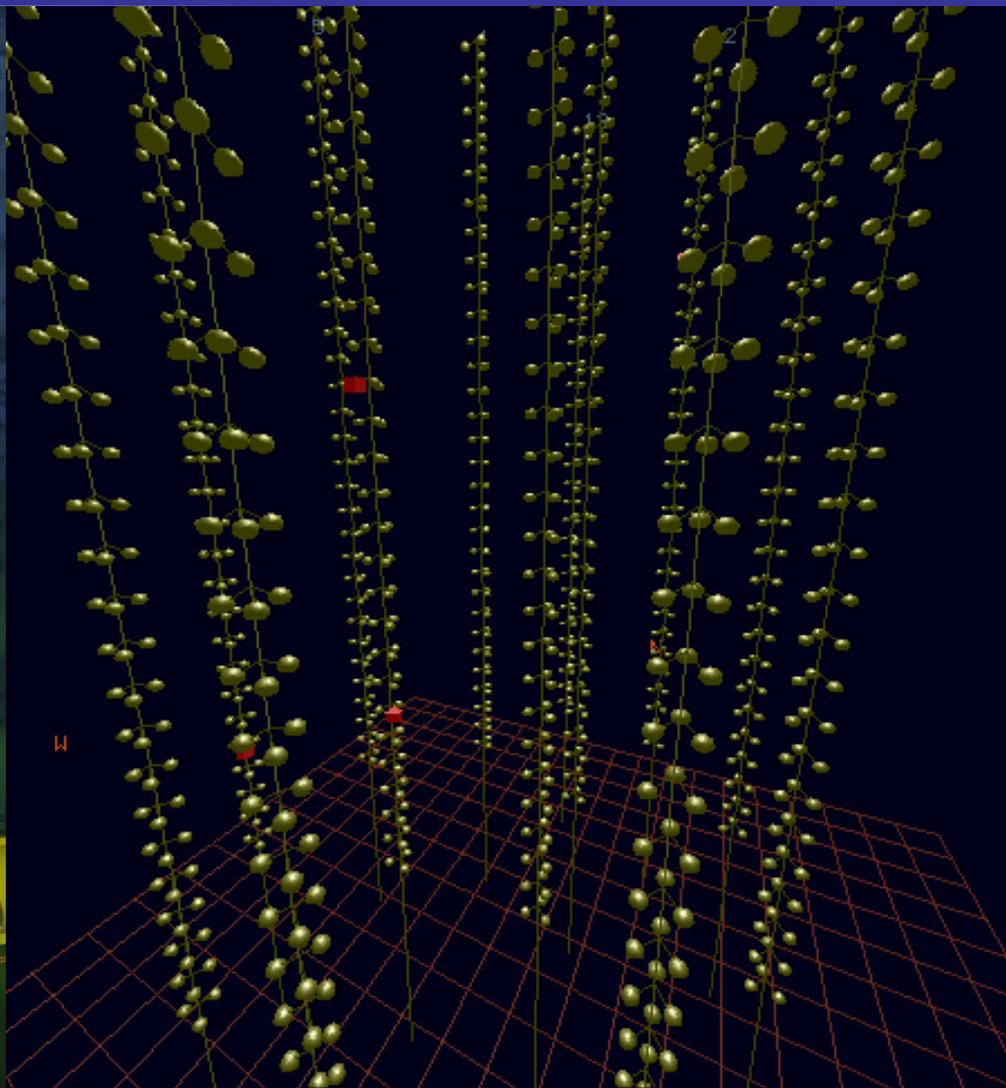
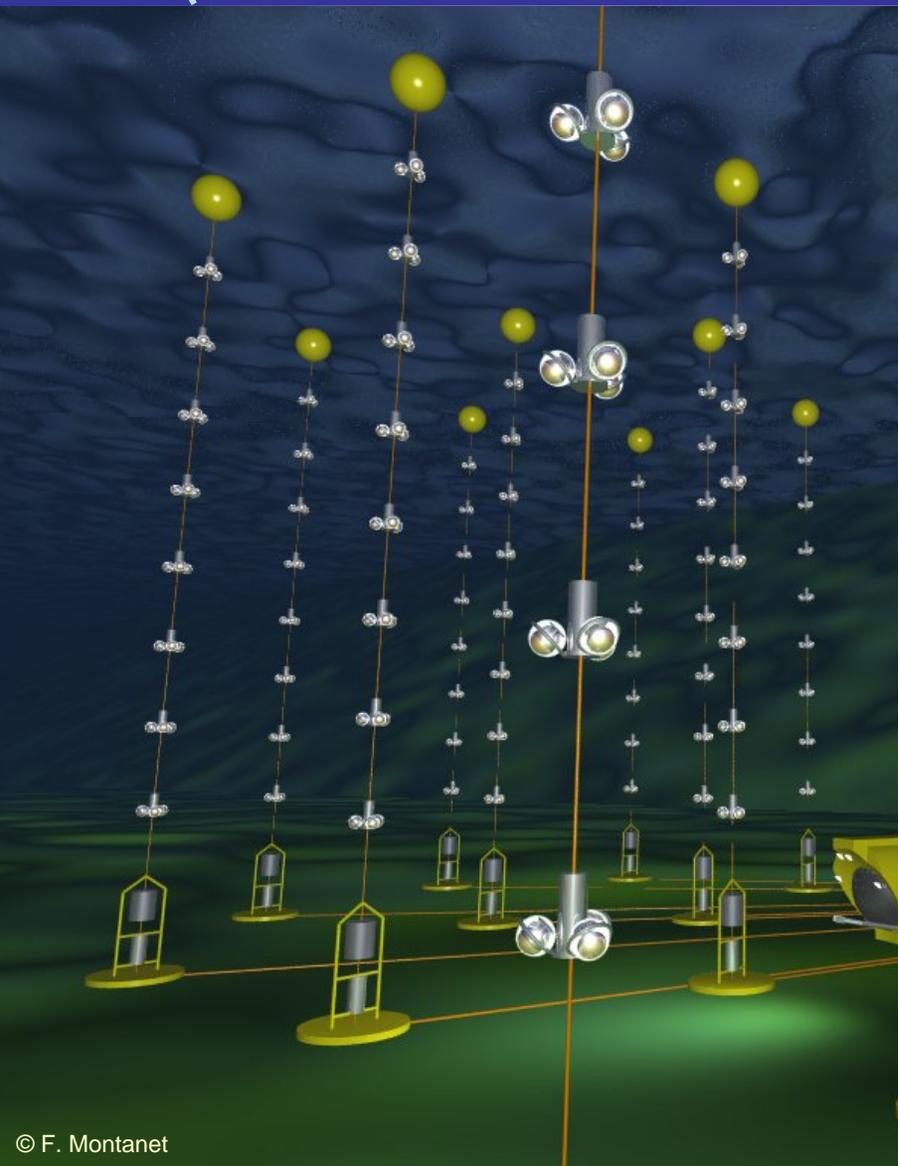
Datennahme mit $\frac{1}{2}$ km³
hat begonnen
Bauabschluss Jan 2011





Mittelmeer-Projekte





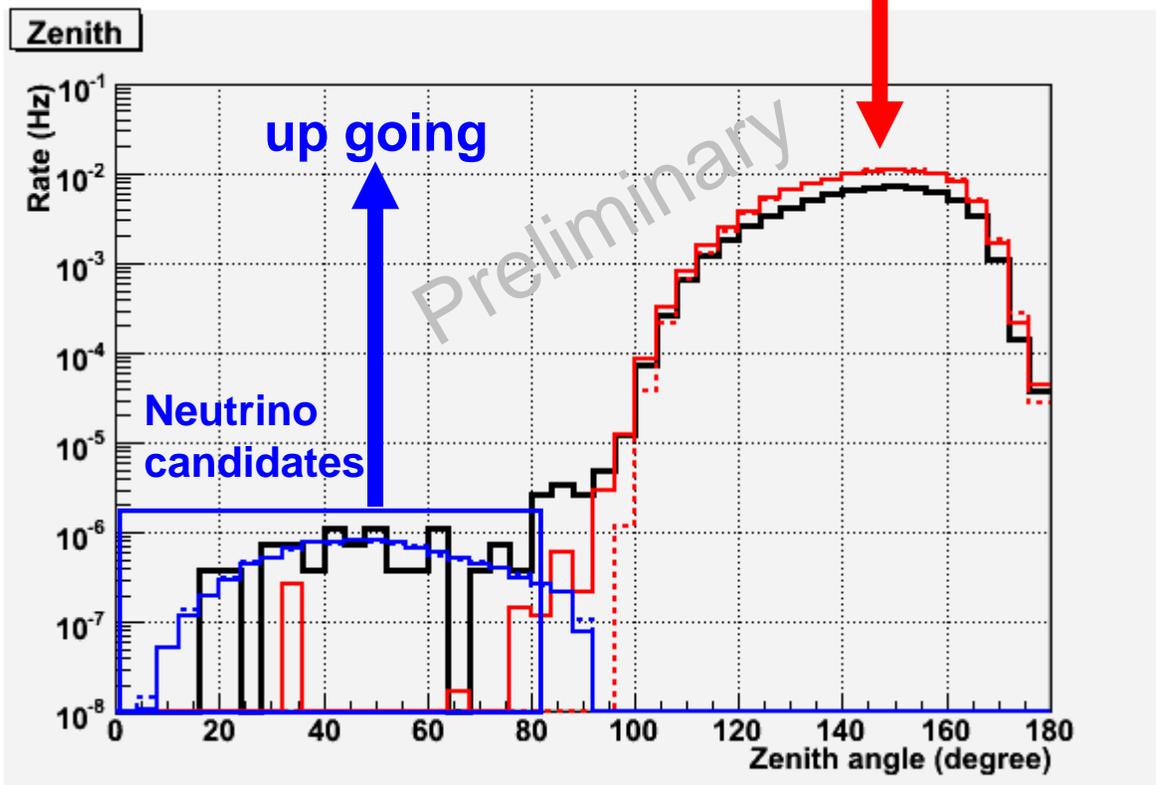
MC TeV muon traversing the apparatus



Die ersten Neutrinos

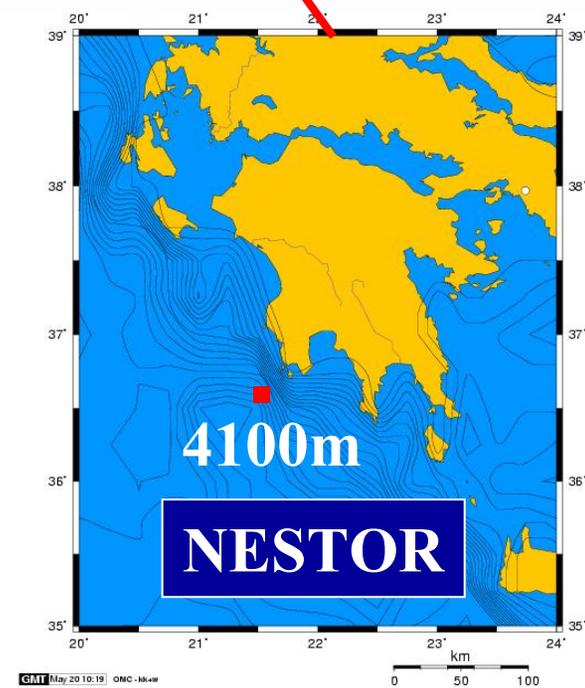
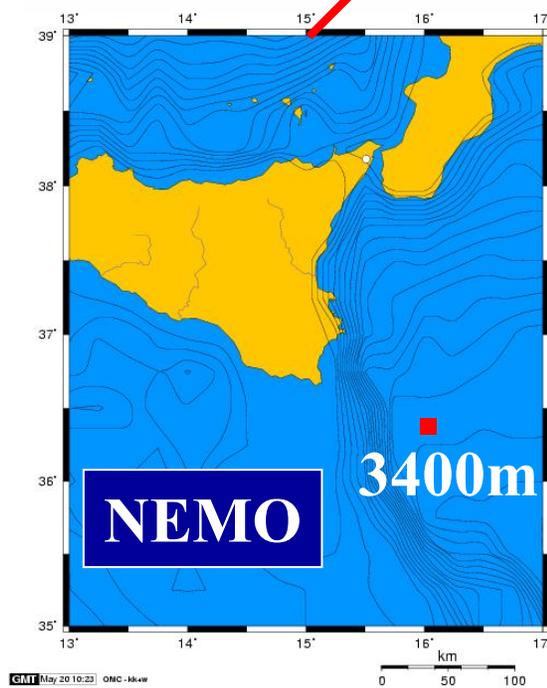
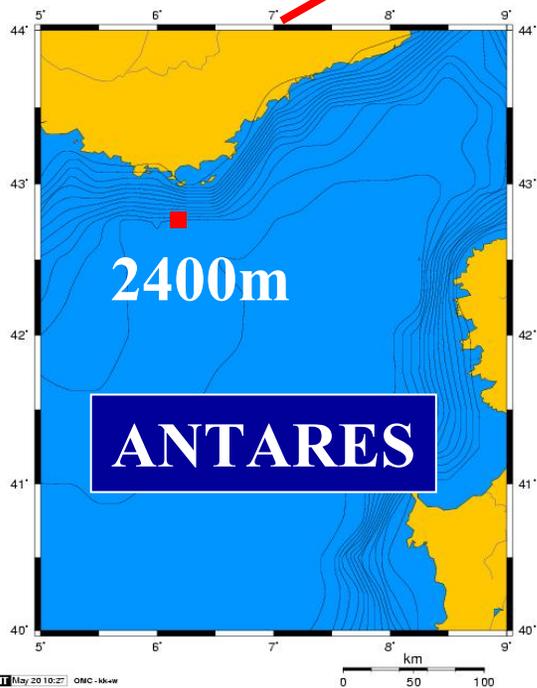
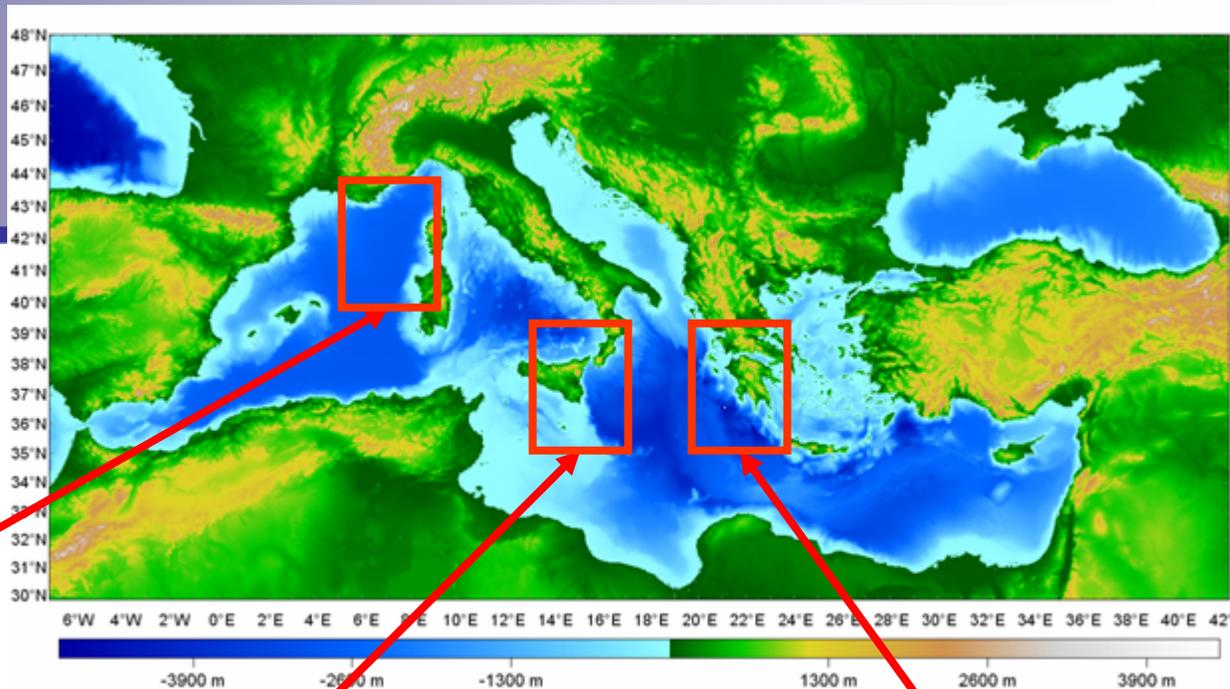
Glückwunsch

down going





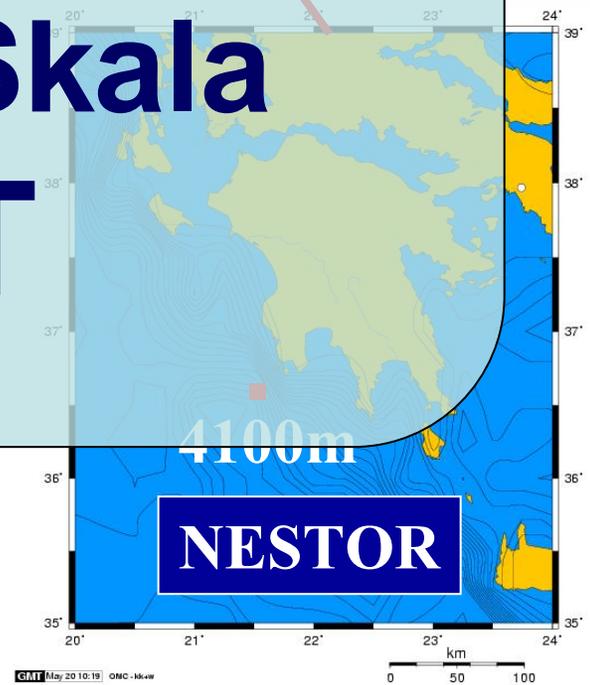
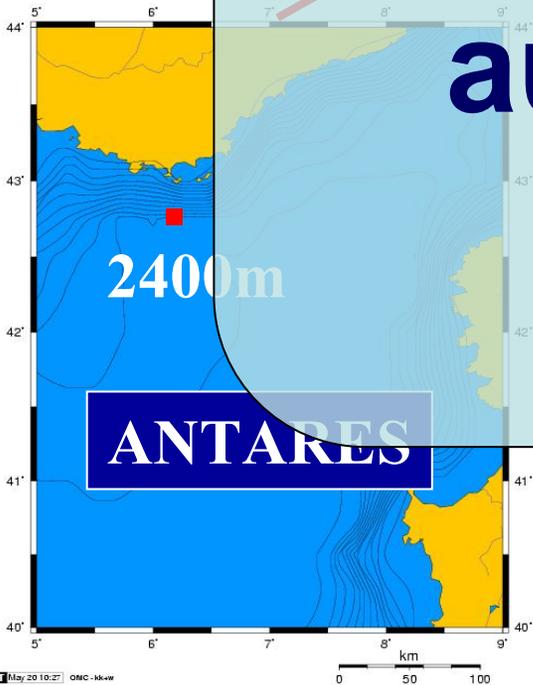
Projekte im Mittelmeer





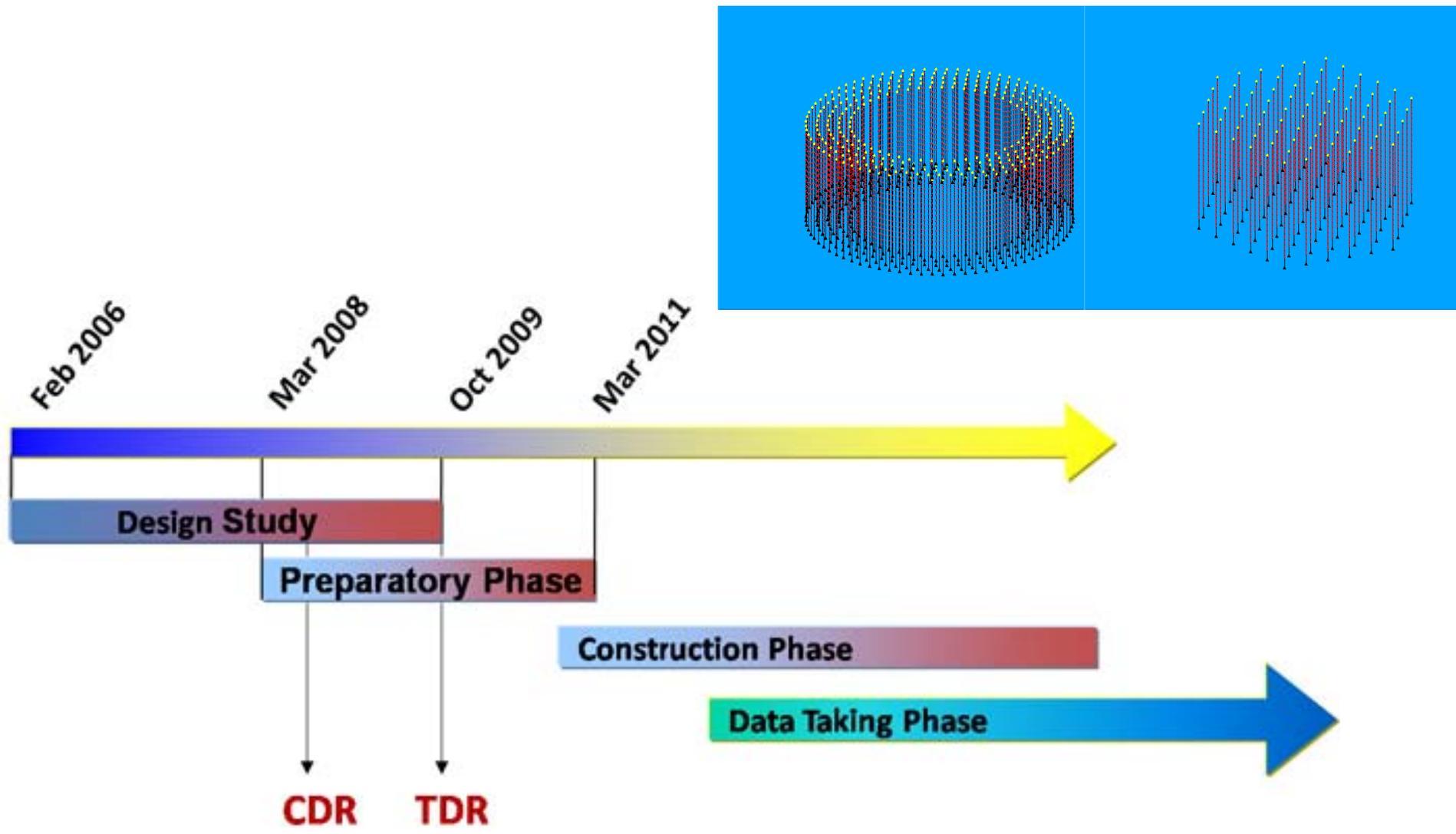
Projekte im
Mittelmeer

Konvergenz zu einem Detektor auf der km³-Skala KM3NeT





Der Weg zu Km3NeT





Das europäische Siebengestirn der Astroteilchenphysik

KM3NeT

CTA

Auger-Nord

Ton-scale
Double Beta

Megaton

Einstein Telescope
(LISA)

Ton-scale
Dark Matter



Die nächsten 10 Jahre

- Falls Dunkle Materie aus Neutralinos besteht, haben wir in eine hohe Entdeckungschance.
- Megatonnen-Detektor: Test von supersymmetrischen Modellen. Solare und Supernova-Neutrinoastronomie auf völlig neuem Niveau. Eine SN in unserer Galaxis würde eine Goldgrube neuer Erkenntnisse für Teilchen- und Astrophysik darstellen.
- Neutrinomassen-Experimente werden auf (kosmologisch relevante) Massen bis zu 0.03 eV hinab sensitiv sein.
- Wir werden das Rätsel der kosmischen Strahlung weitgehend lösen, eine Landkarte des Hochenergie-Universums zeichnen und hoffentlich unerwartete Phänomene entdecken.
- Wir werden Gravitationswellen nachweisen und damit ein völlig neues Fenster zum Universum öffnen.

ECAP ist dabei !



ERLANGEN CENTRE
FOR ASTROPARTICLE
PHYSICS

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg



ERLANGEN CENTRE
FOR ASTROPARTICLE
PHYSICS