

Astroteilchenphysik in a Nutshell

Philipp Lindenau

Forschung trifft Schule @home

Online | 24.10.2024



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



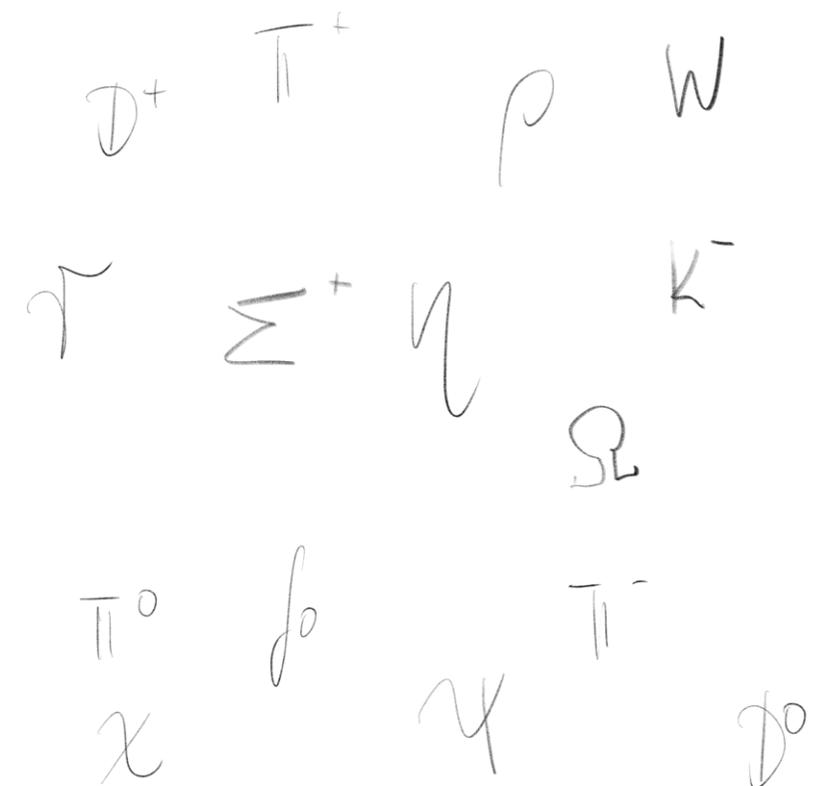
DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG



NETZWERK
TEILCHENWELT

Teilchenphysik - Bausteine der Welt und ihre Wechselwirkungen

- ▶ 1930 kannte man drei Teilchen: Protonen, Neutronen & Elektronen
- ▶ Mit Entdeckung der kosmischen Strahlung und später bei Experimenten an Beschleunigern hunderte neuer Teilchen entdeckt



Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten

Von V. F. Hess

(Physik. Zeitschr. **14**, 1084, 1912)

MEHR DAZU IN DER „BIBEL DER TEILCHENPHYSIK“, DEM PARTICLE PHYSICS BOOKLET
[HTTPS://PDG.LBL.GOV/2020/DOWNLOAD/DB2020.PDF](https://pdg.lbl.gov/2020/download/db2020.pdf)

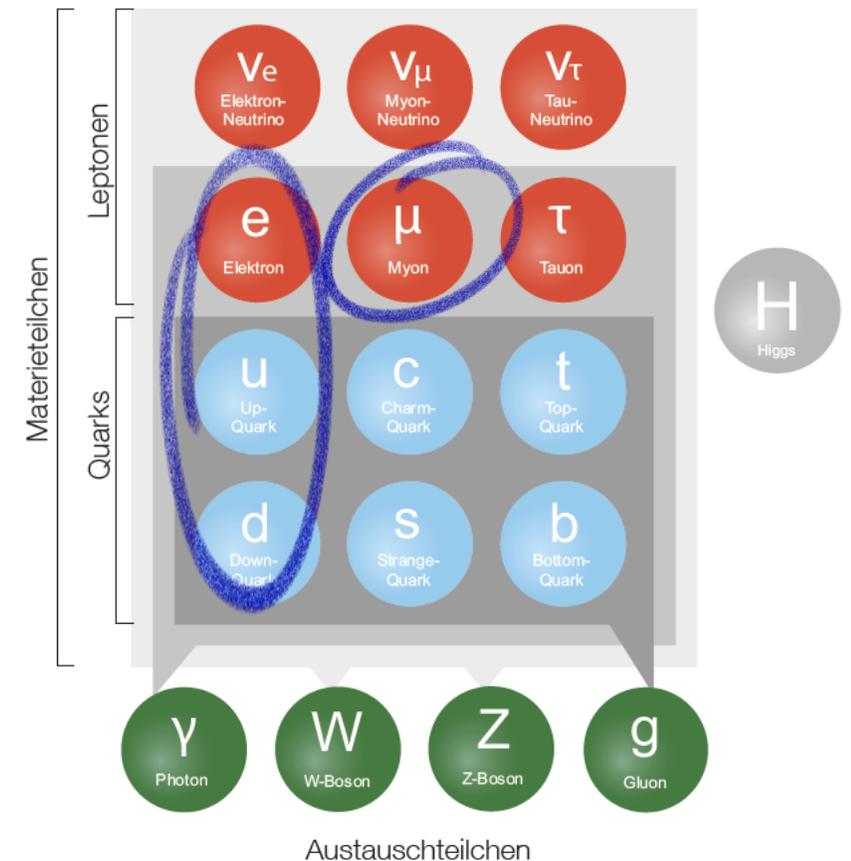
Teilchenphysik – Bausteine der Welt und ihre Wechselwirkungen

Heute: Standardmodell der Teilchenphysik

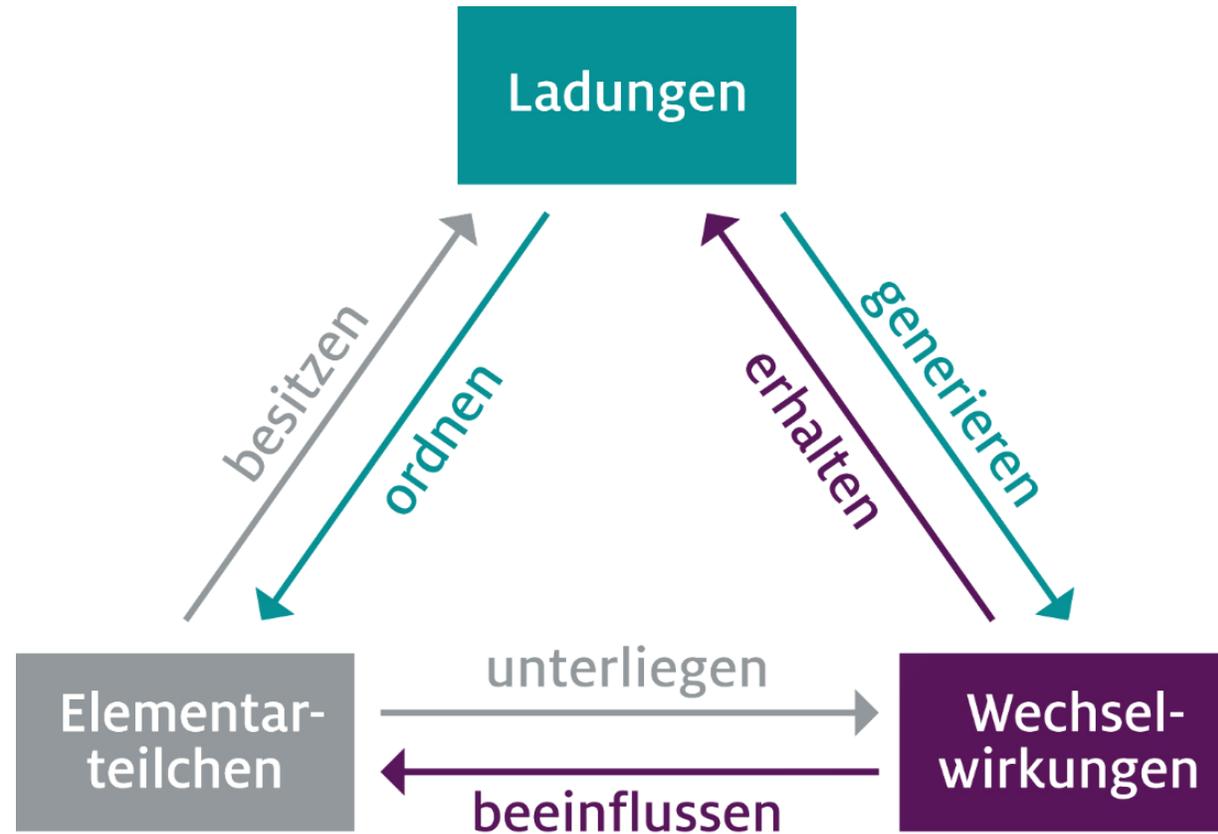
- ▶ Alle bisher beobachteten subatomaren Vorgänge entsprechen den Vorhersagen des Standardmodells
- ▶ Tiefste Erkenntnis über Entstehung, Aufbau und Verhalten der Materie in unserem Universum
- ▶ Beschreibt Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen (über Austausch- bzw. Botenteilchen)

Zwei Auszüge:

- ▶ Elektronen, Up- und Down-Quarks bilden die gesamte stabile Materie, die wir um uns herum kennen
- ▶ ein Myon schießt gerade durch uns hindurch (mehr dazu später)



Teilchenphysik – Basiskonzepte des Standardmodells

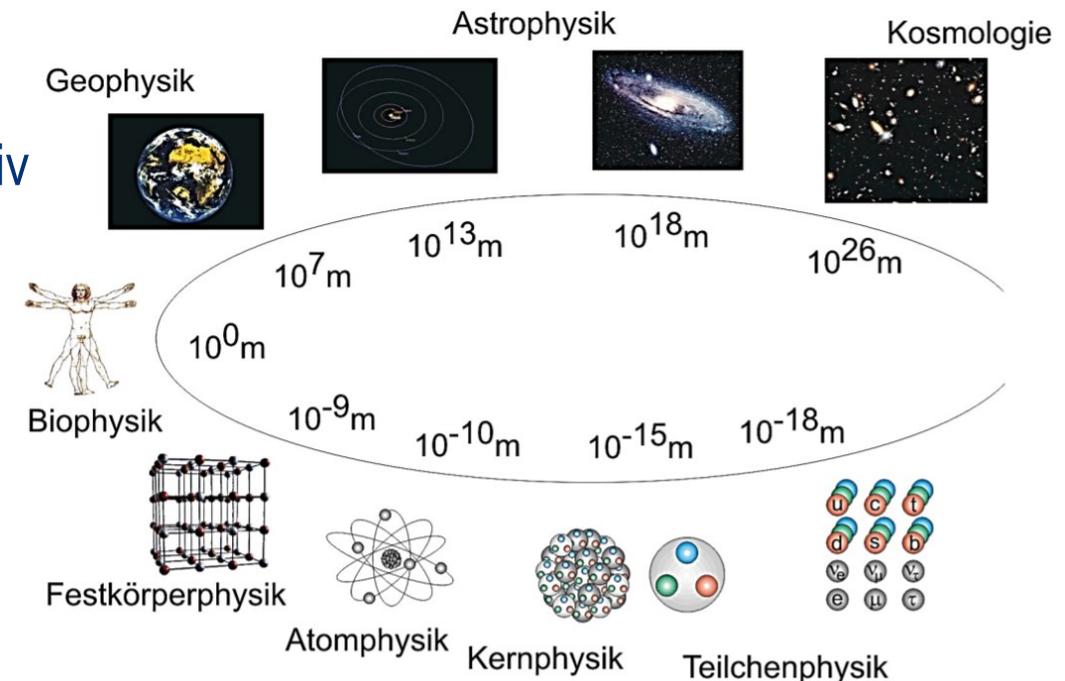


Siehe Unterrichtsmaterialien von Netzwerk Teilchenwelt, Band 1: Ladungen, Wechselwirkungen und Teilchen

<https://www.teilchenwelt.de/material/band1>

Astroteilchenphysik

- Auch Prozesse der Astrophysik lassen sich auf die **4 fundamentalen Wechselwirkungen** zurückführen.
- Die **Kombination Teilchen-/Astrophysik** ist attraktiv
 - Verschiedene Größenordnung werden beschrieben (subnukleare vs. galaktische Dimensionen)
 - Viele „Science Fiction“ Begriffe (Neutronenstern, schwarzes Loch, Supernova)
 - Philosophische Fragestellungen (Was war kurz nach dem Urknall? Warum sind wir hier? Was sind die Grundprinzipien des Universums? ...)



© Lutz Feld, RWTH

Astroteilchenphysik – ungeahnte Anwendungen

CHEOPS-PYRAMIDE

Kosmische Strahlung zeigt unbekannte Kammer

Mit Hilfe von Myonen aus der oberen Atmosphäre durchleuchtet eine Arbeitsgruppe die Große Pyramide von Giseh - und findet einen Hohlraum.

von [Lars Fischer](#)

<https://www.spektrum.de/news/kosmische-strahlung-zeigt-unbekannte-kammer/1515253>

Genauer:

Morishima, K., Kuno, M., Nishio, A. *et al.* Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons. *Nature* **552**, 386–390 (2017). <https://doi.org/10.1038/nature24647>

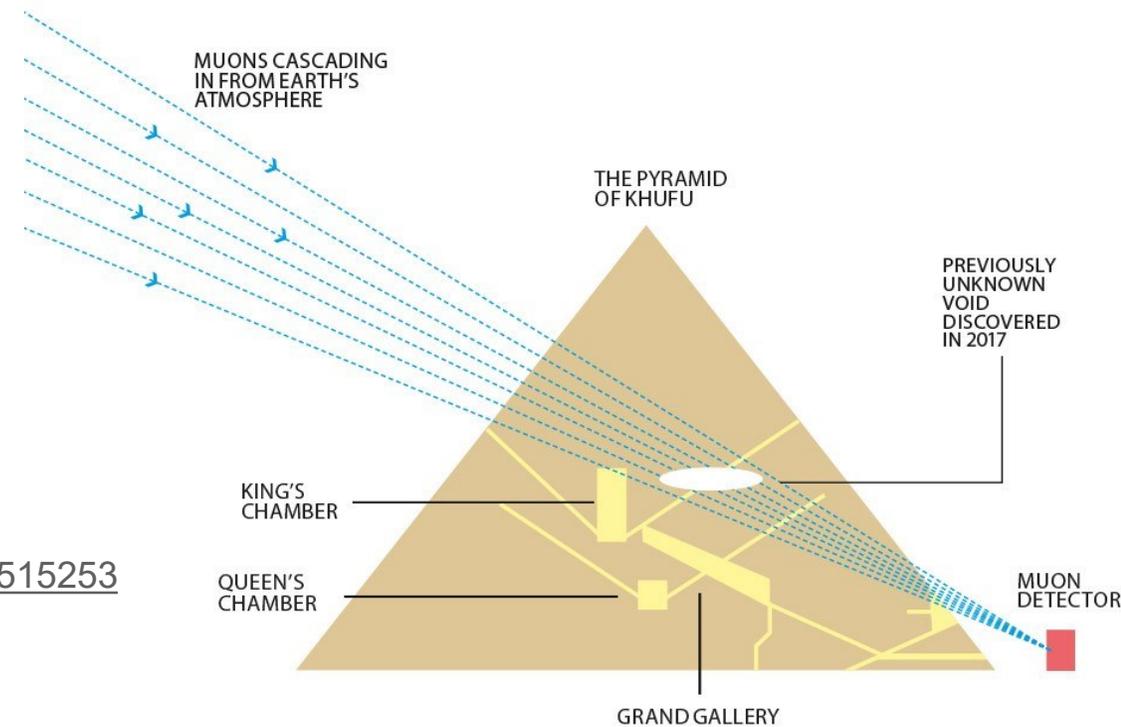


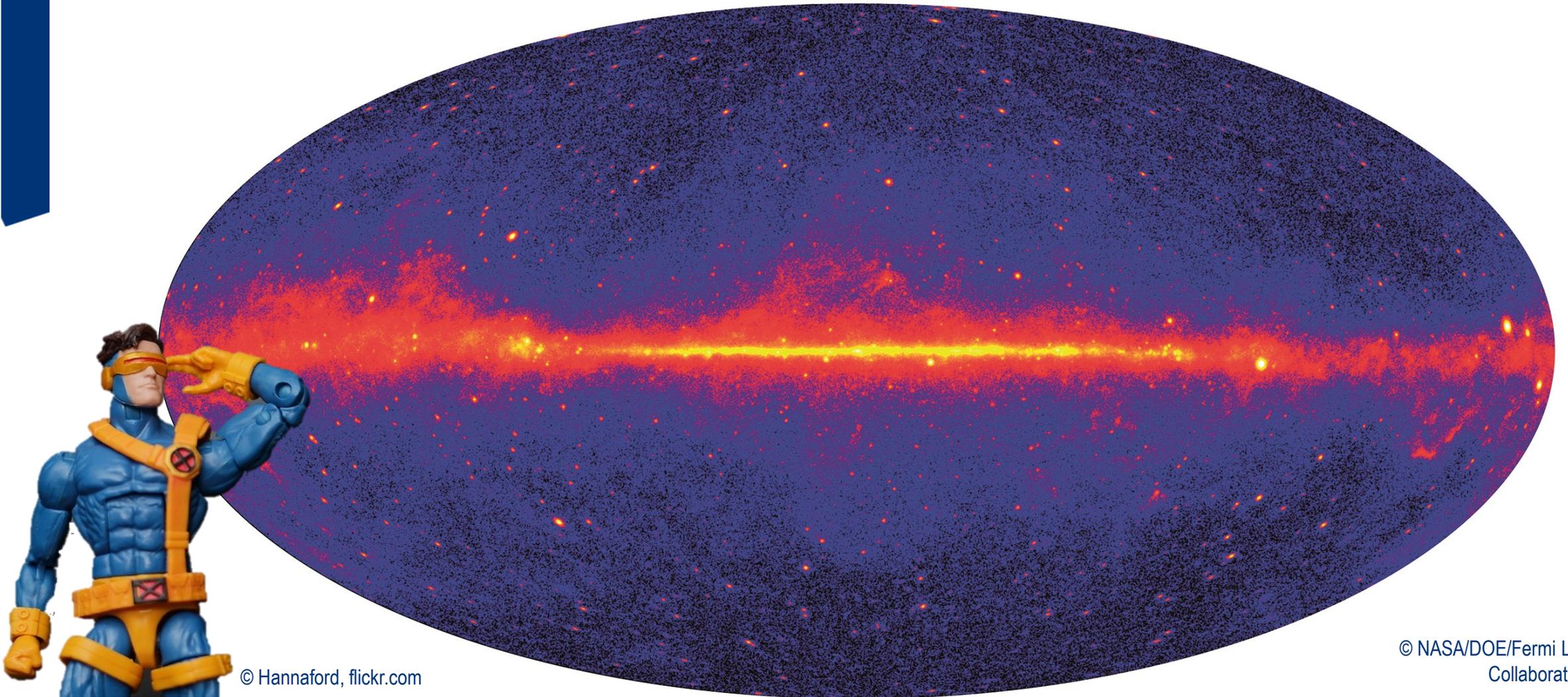
Bild: <https://www.sciencefocus.com/future-technology/how-scientists-are-using-cosmic-radiation-to-peek-inside-the-pyramids>

Unser Universum – Foto des nächtlichen Himmels



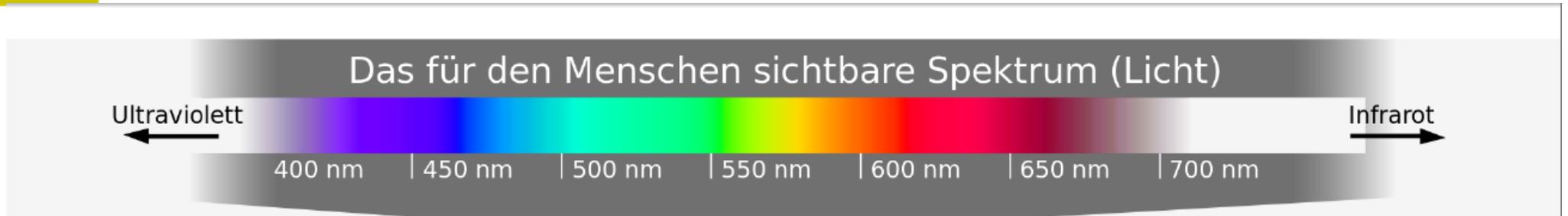
© 2009 Axel Mellinger

Unser Universum im Gammabereich (Photonen, $>1.000.000.000$ eV)

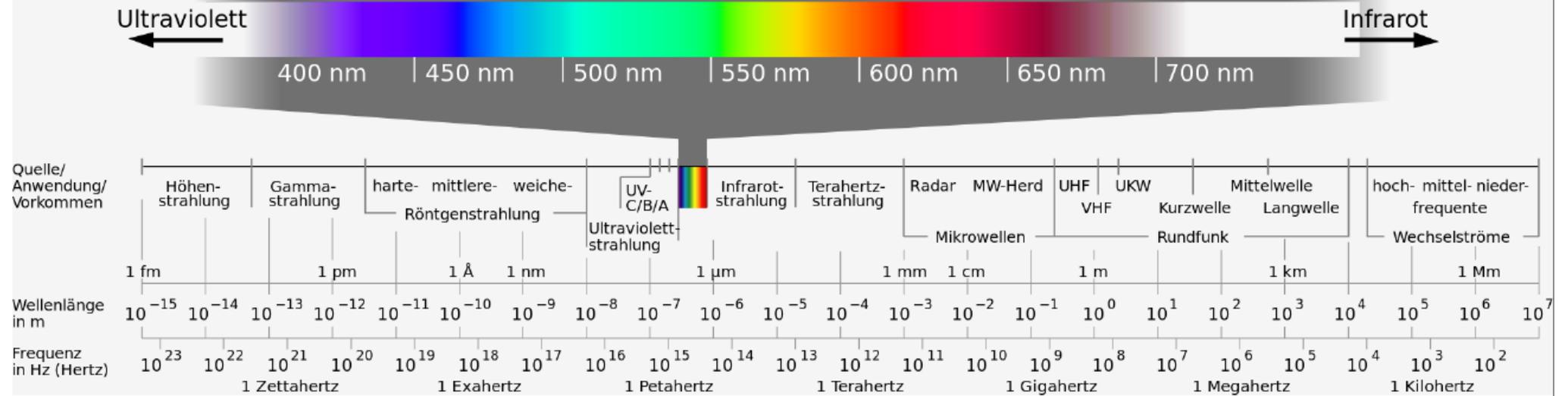


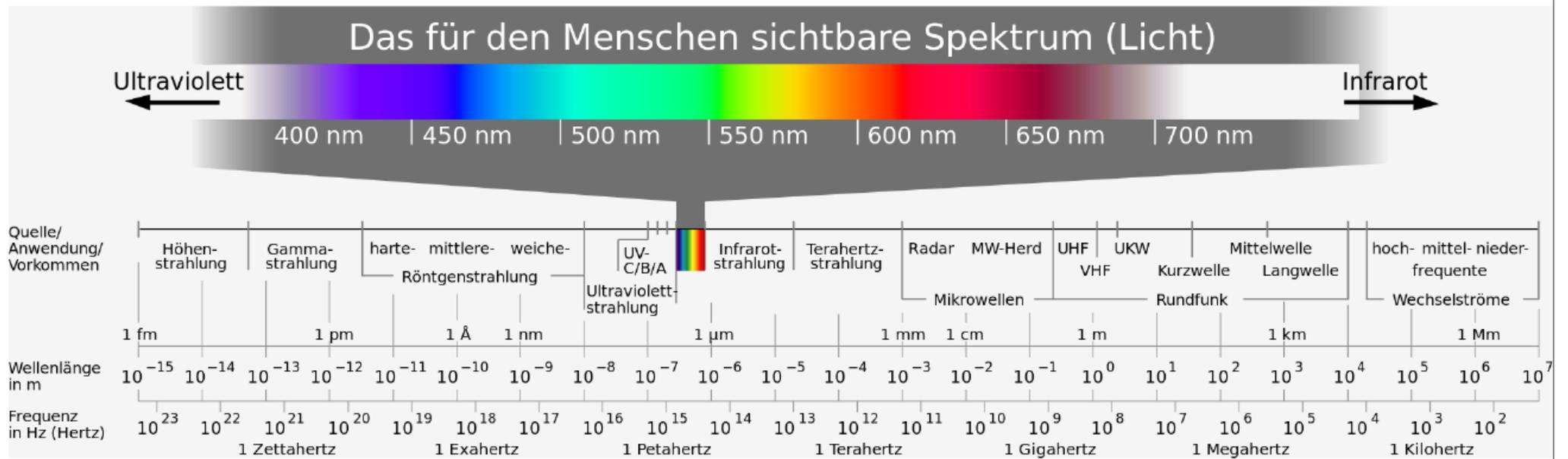
© Hannaford, flickr.com

© NASA/DOE/Fermi LAT
Collaboration

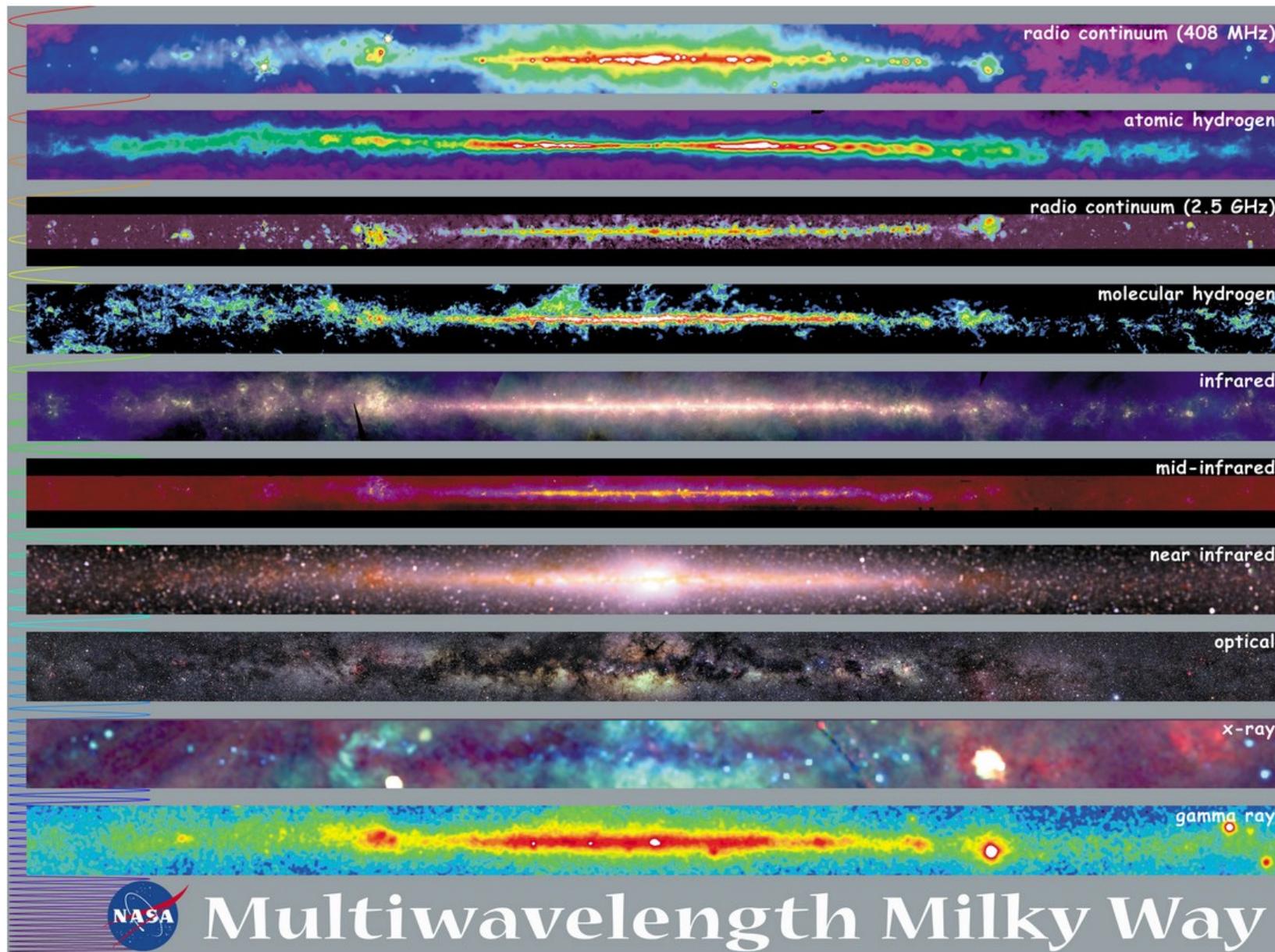


Das für den Menschen sichtbare Spektrum (Licht)



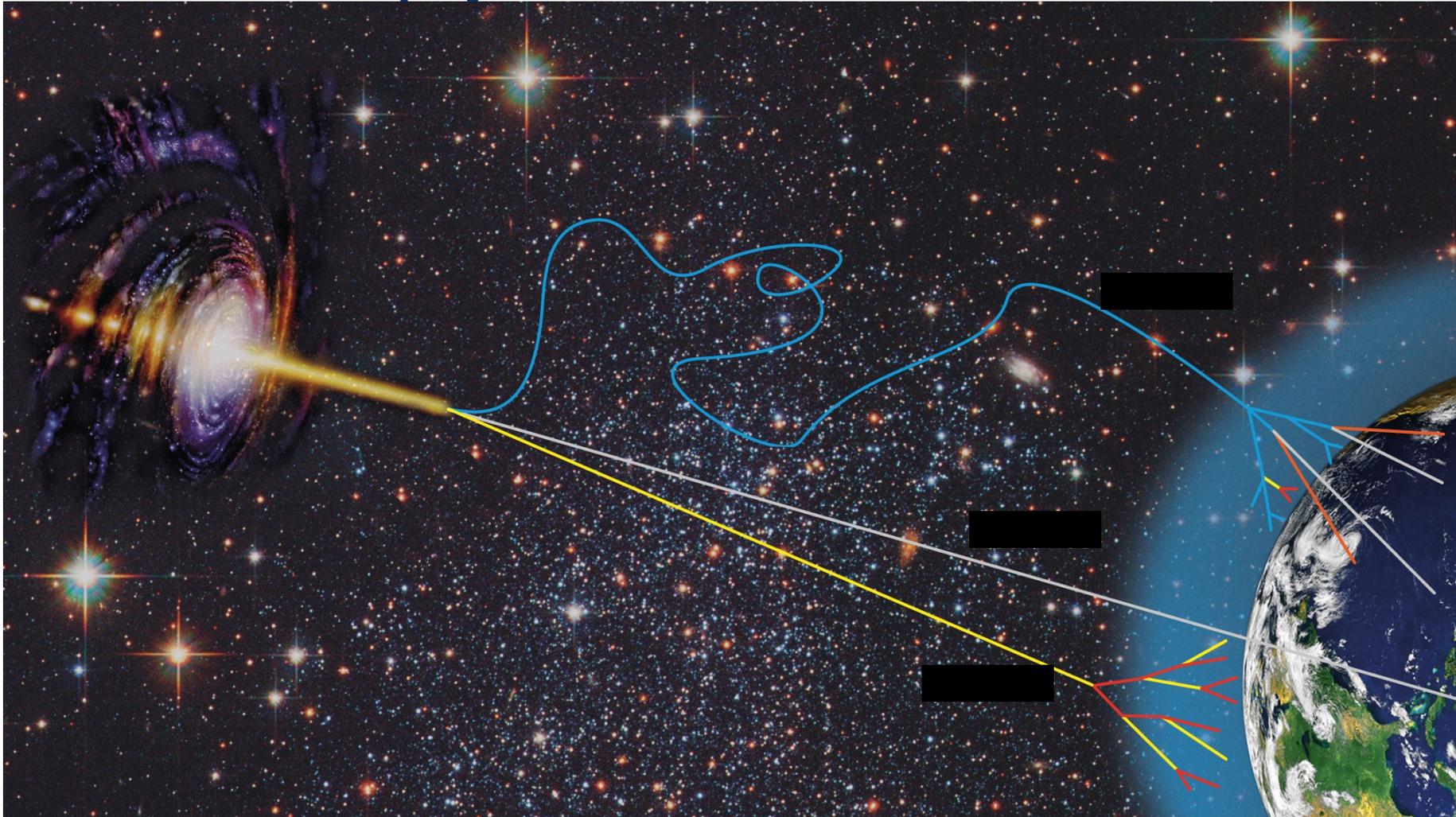


- Nicht nur sichtbares Licht erreicht die Erde, sondern auch Photonen anderer Energiebereiche ($E = h\nu$, $\lambda = c/\nu$)

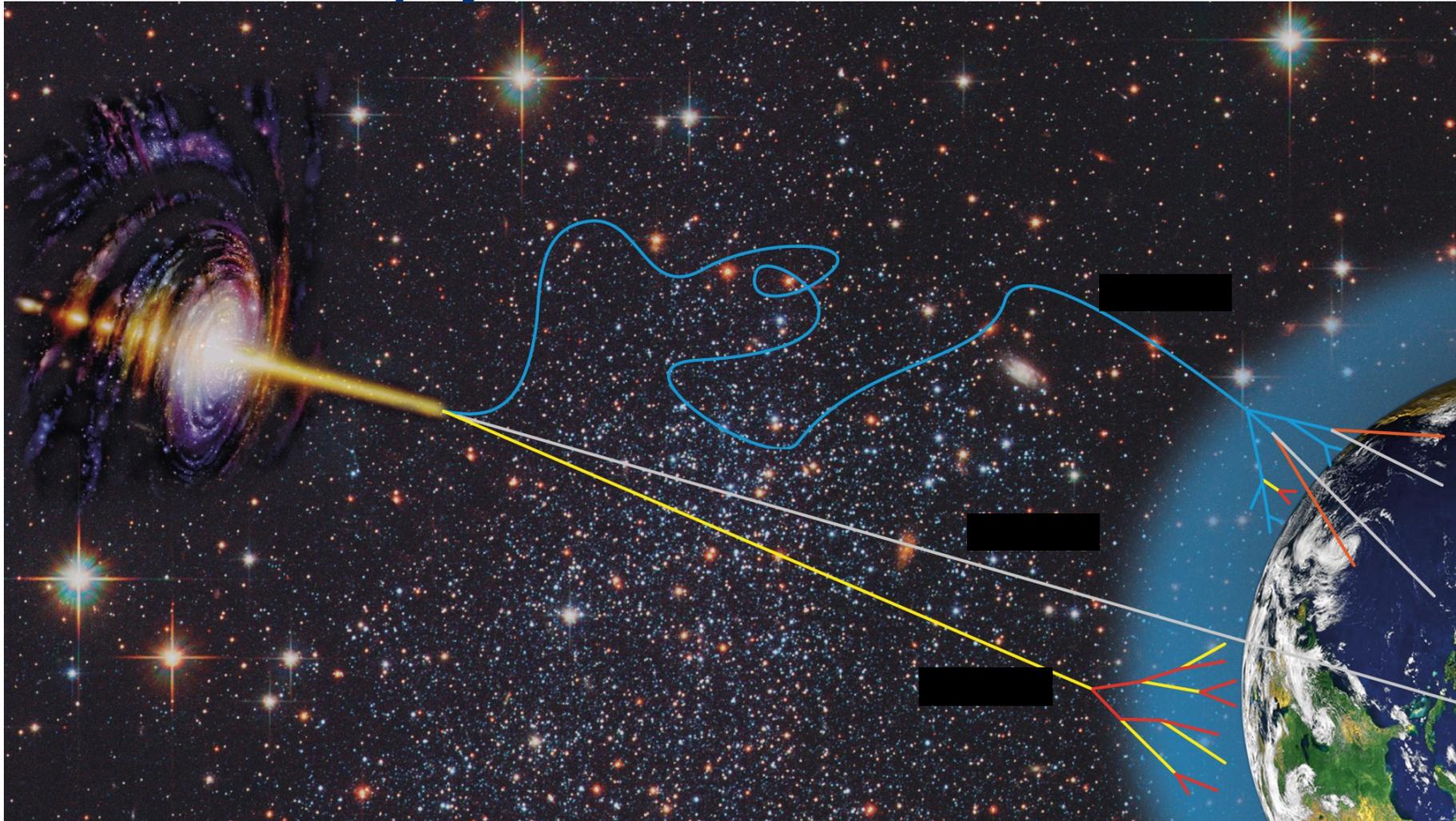


Bilder: NASA
Grafik: Dieter Hartmann

Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



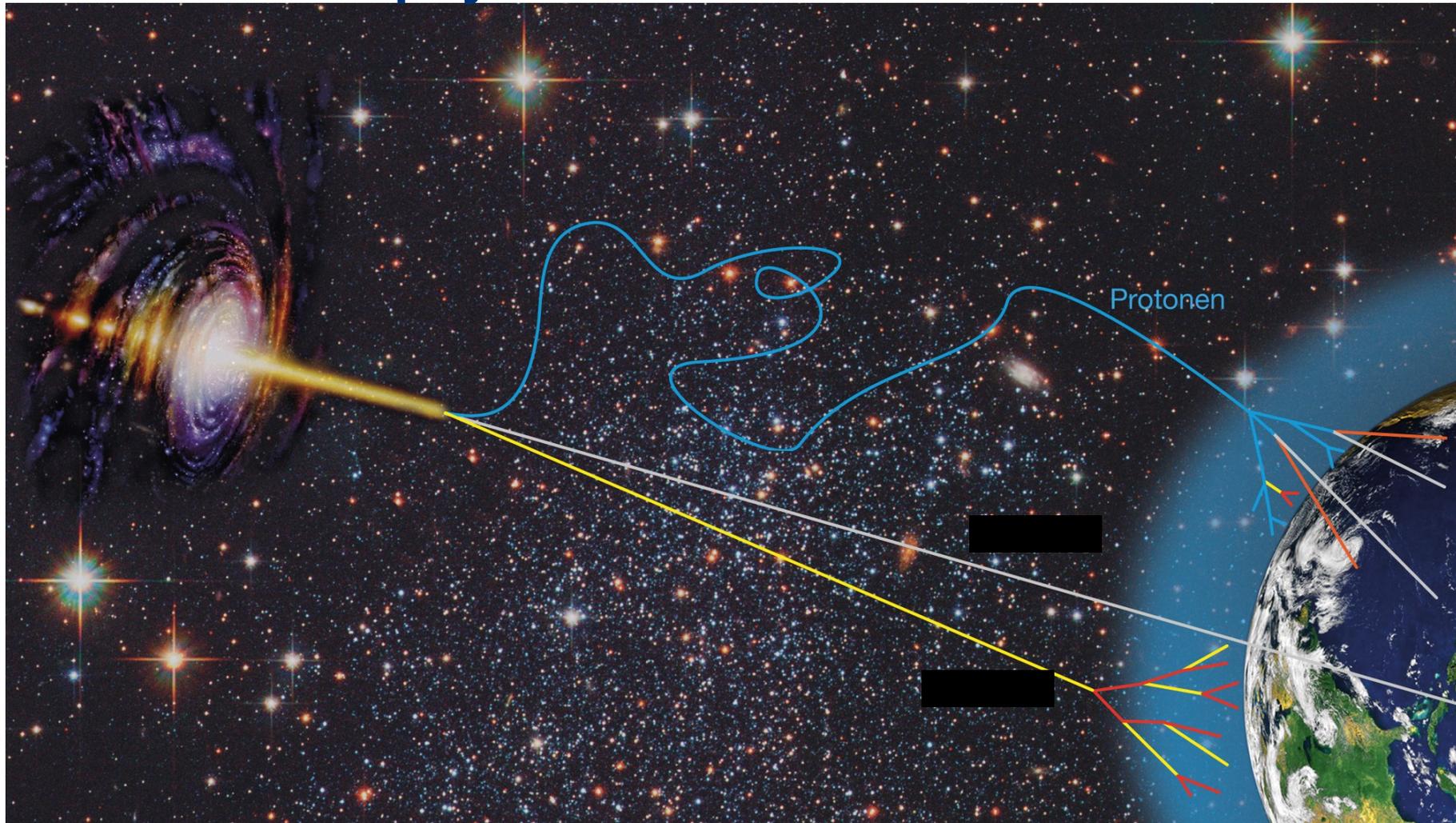
Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



Quiz

Welches Teilchen passt zur blauen welcher Linie?

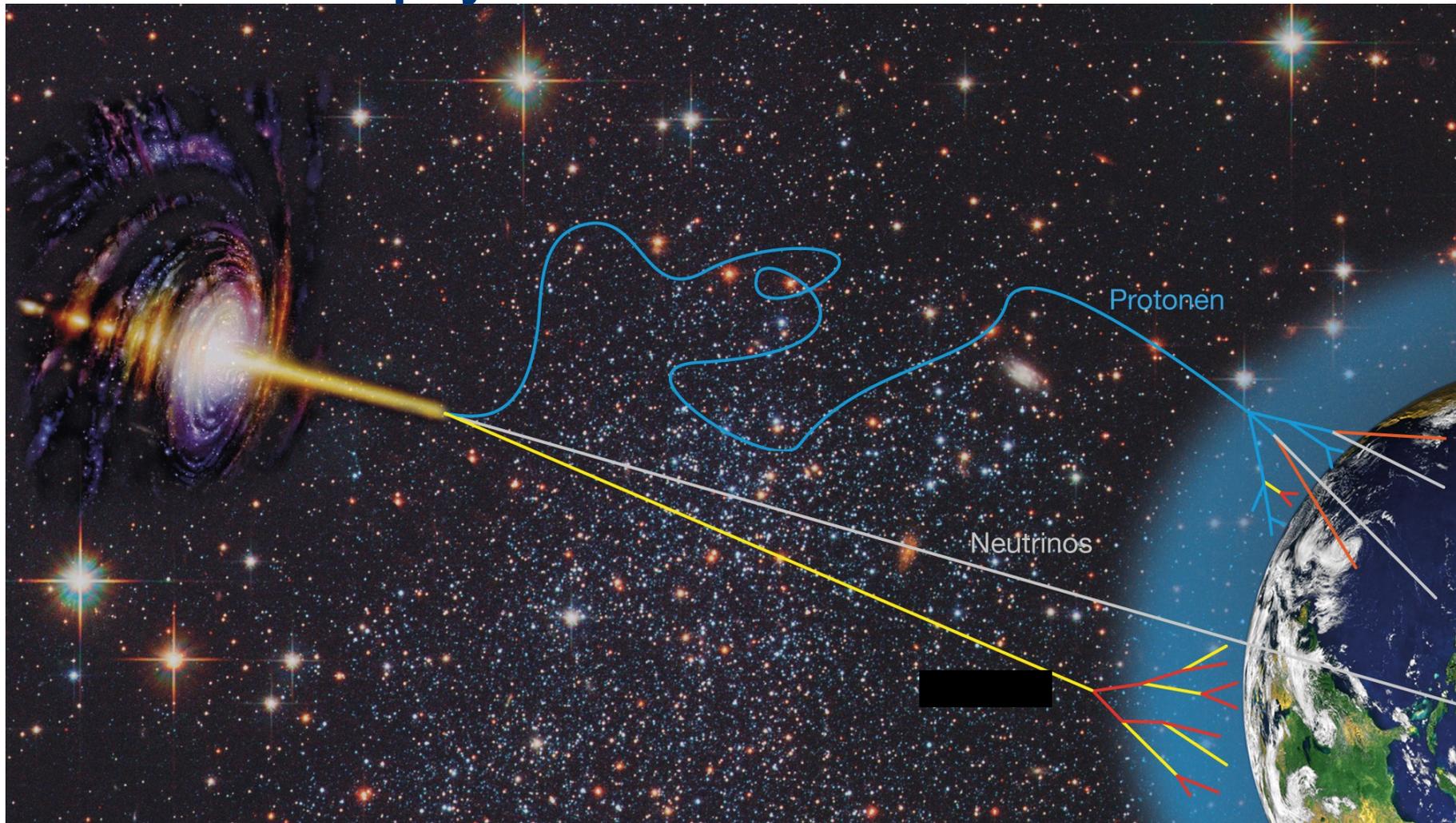
Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



Quiz

Welches Teilchen passt zur grauen welcher Linie?

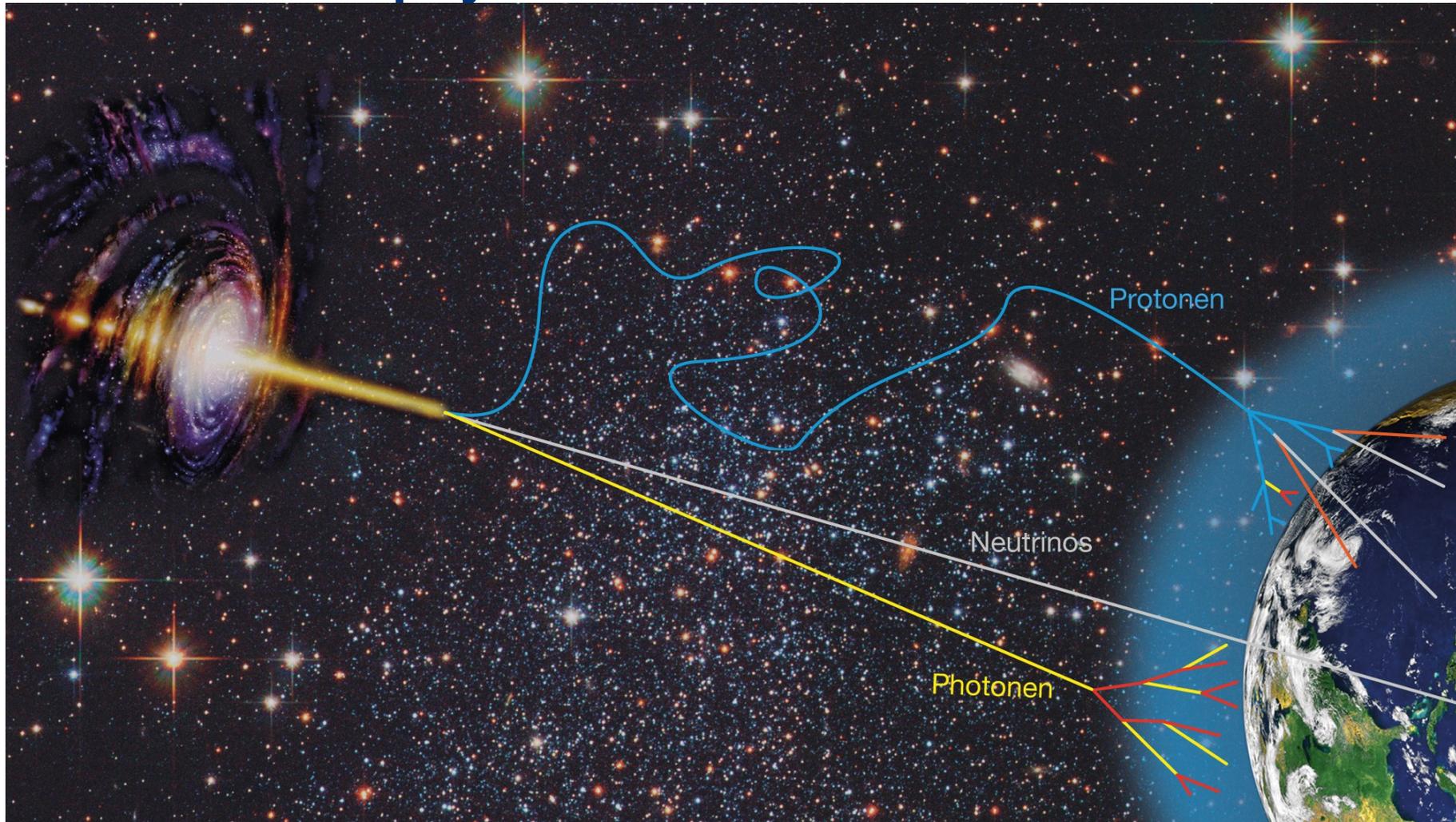
Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



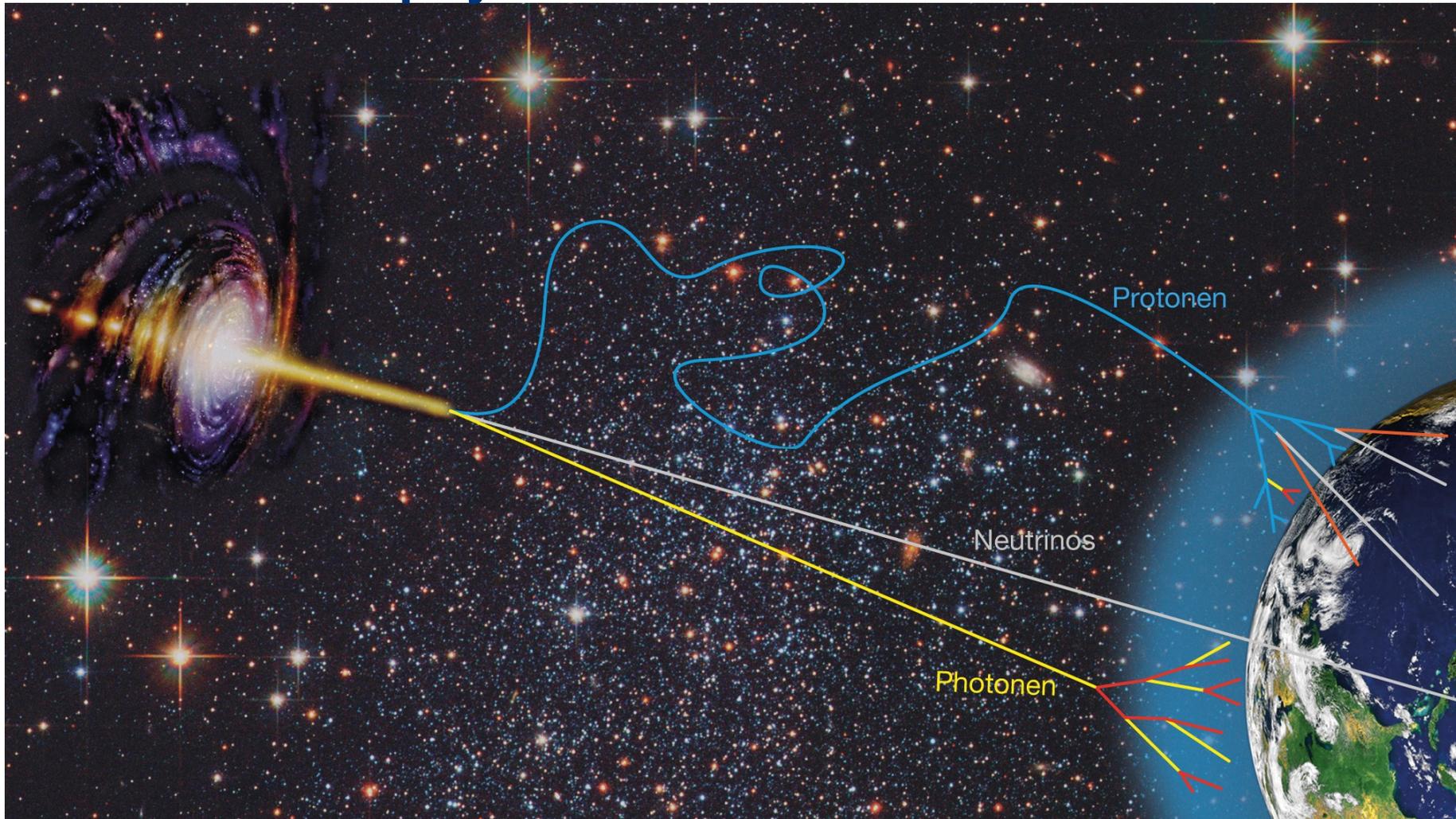
Quiz

Welches Teilchen passt zur **gelben** welcher Linie?

Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



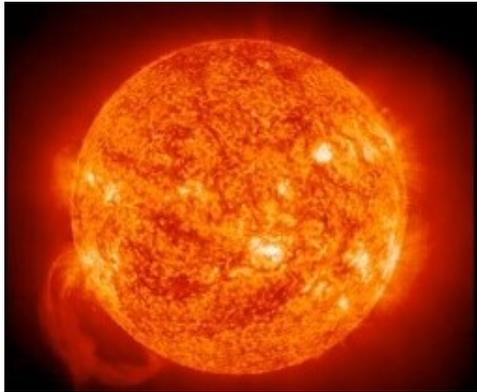
Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



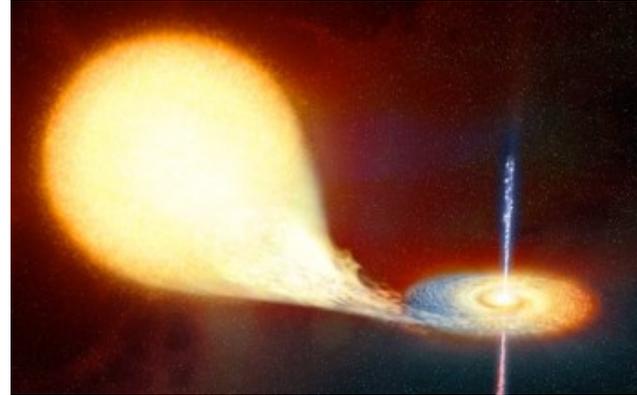
Quarks bewegen sich niemals einzeln durchs Universum sondern immer mit anderen Quarks als zusammengesetzte Teilchen (Confinement)

(Mögliche) Quellen kosmischer Teilchen

Sonne

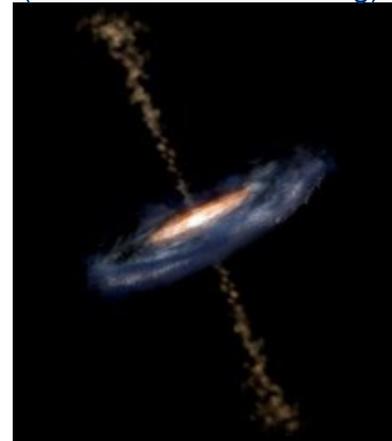


Supernovaüberreste
(SN1006, optisch, Radio, Röntgen)

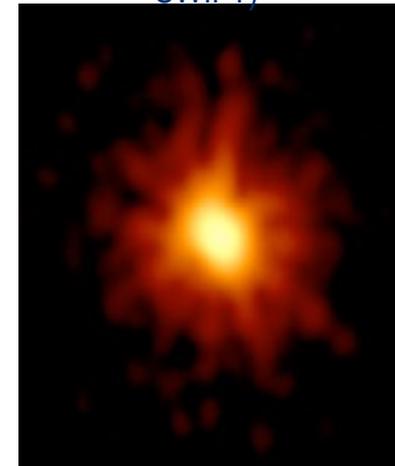


Doppelsternsysteme
(künstlerische Darstellung)

Aktive Galaxienkerne
(künstlerische Darstellung)



Gamma-Ray Bursts
(GRB 080319B, Röntgen, SWIFT)



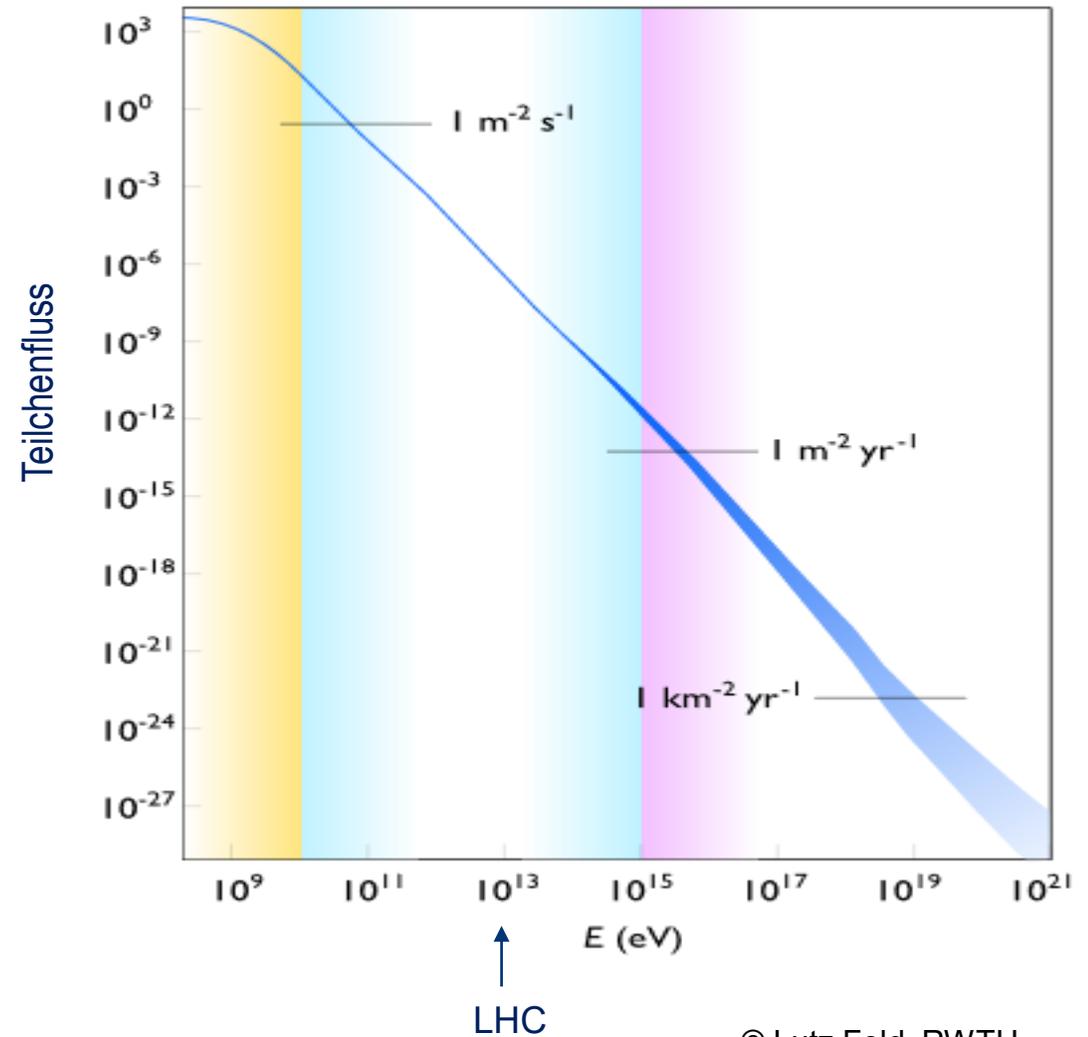
Kosmische Strahlung

- **Primäre Strahlung:**

Teilchen stammend von...

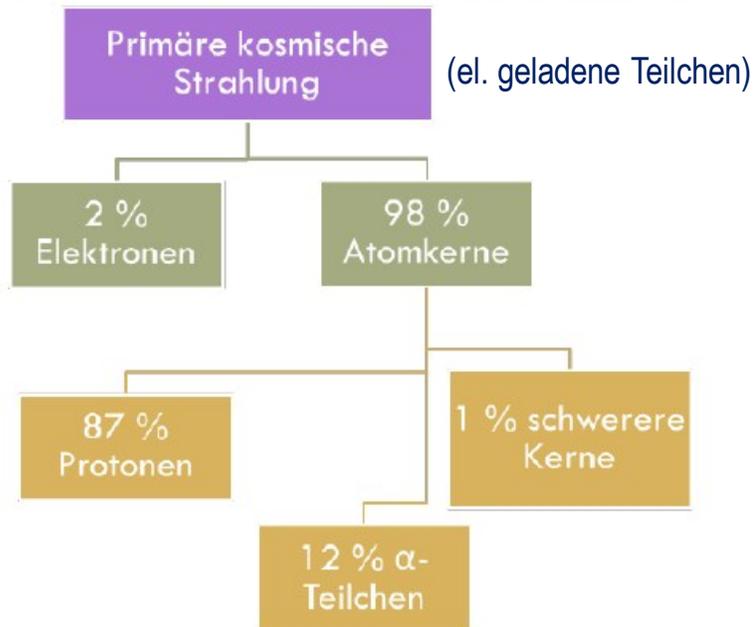
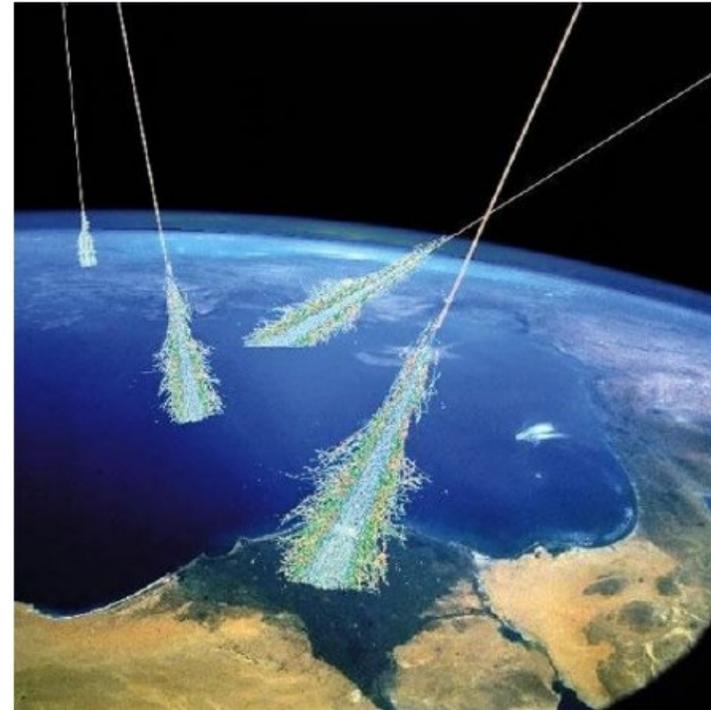
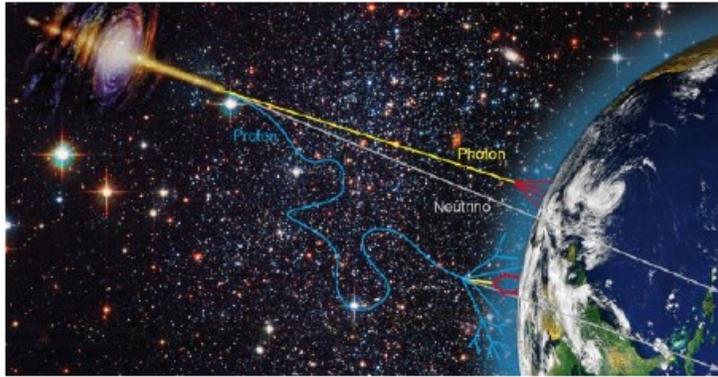
- Sonne (gelb)
- Milchstraße (blau)
- Extragalaktisch (pink)

Energieverteilung von Kosmischer Strahlung



© Lutz Feld, RWTH

Kosmische Strahlung

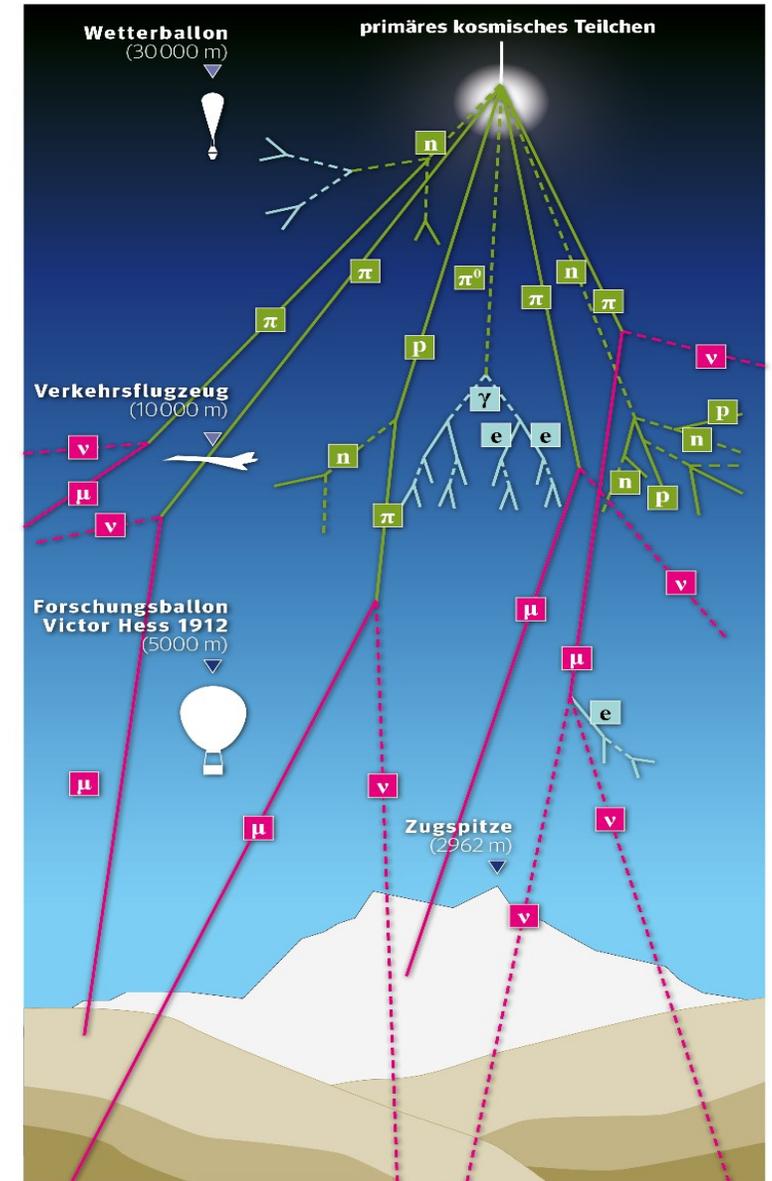


Unterscheidung in primäre und sekundäre kosmische Strahlung

Sekundäre kosmische Strahlung

Teilchenschauer

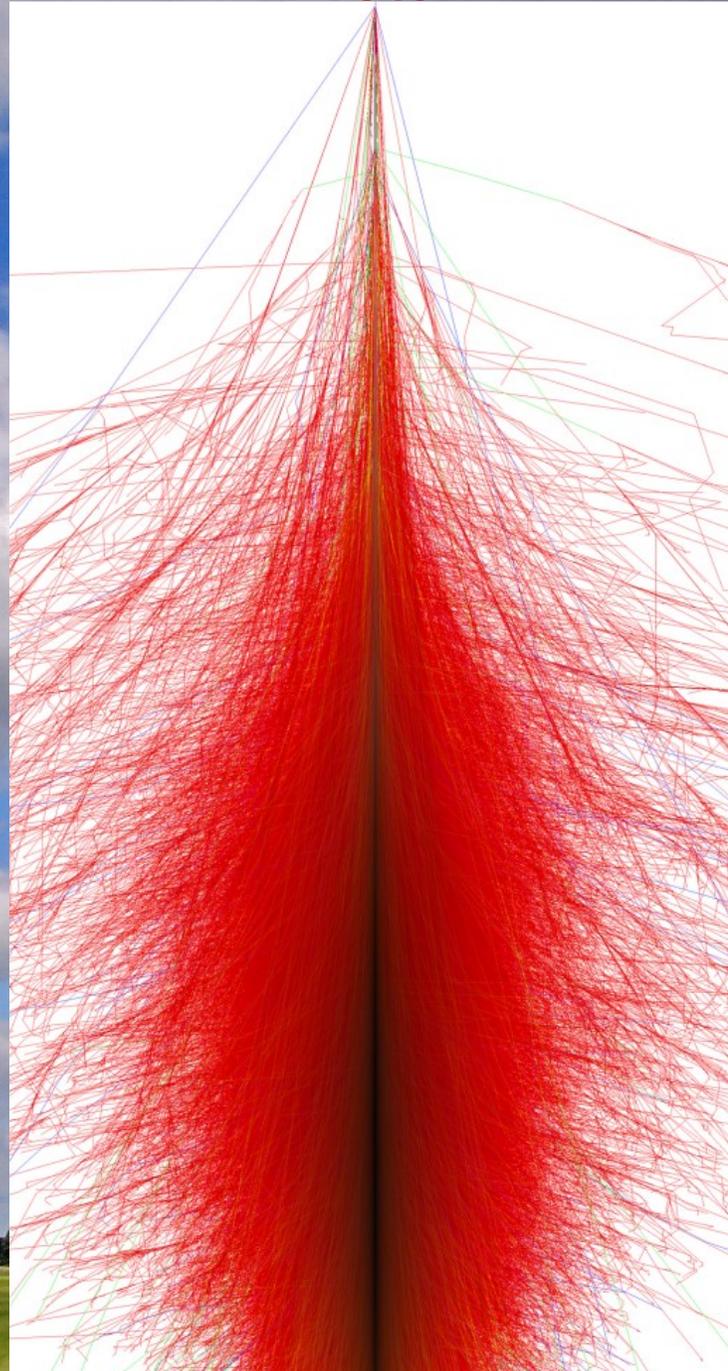
- ▶ Aus Kollision von Protonen mit Atomkernen der Luft entstehen Pionen, Kaonen und Nukleonen.
- ▶ Diese wechselwirken weiter oder wandeln sich um.
- ▶ Erdoberfläche erreichen hauptsächlich Myonen und Neutrinos.



ca. 1000 hochenergetische
Teilchen pro Sekunde und m^2
erreichen äußere Erdatmosphäre

ca. 1 Myon pro Minute und
 cm^2 erreicht Erdboden

Proton



bis zu 10^{11} Sekundärteilchen
je Primärteilchen entstehen
in Atmosphäre

Polarlichter

- ▶ Lehrplanbezug: Magnetische Felder, Szintillation



- ▶ Entstehen (insbesondere) an den Polen der Erde, wo viele energiereiche elektrisch geladene Teilchen weit in die Atmosphäre gelangen

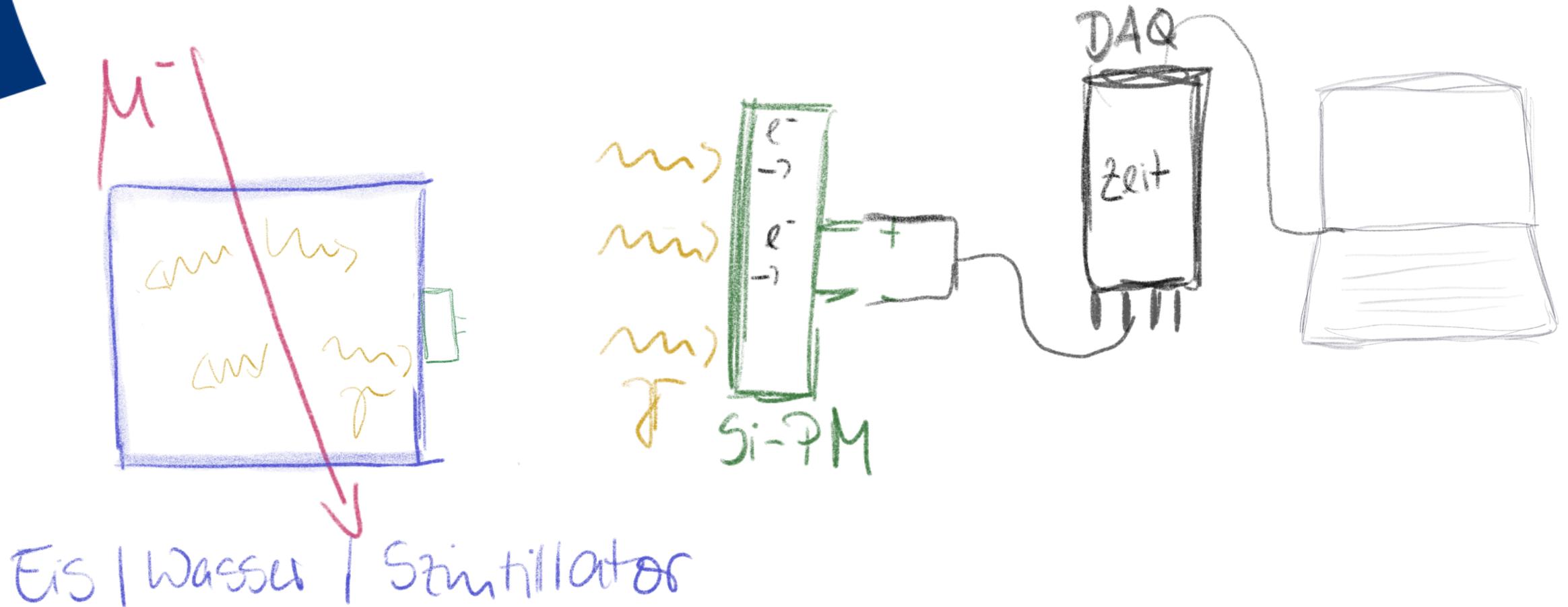
Messung kosmischer Teilchen



NETZWERK
TEILCHENWELT

Messung kosmischer Strahlung

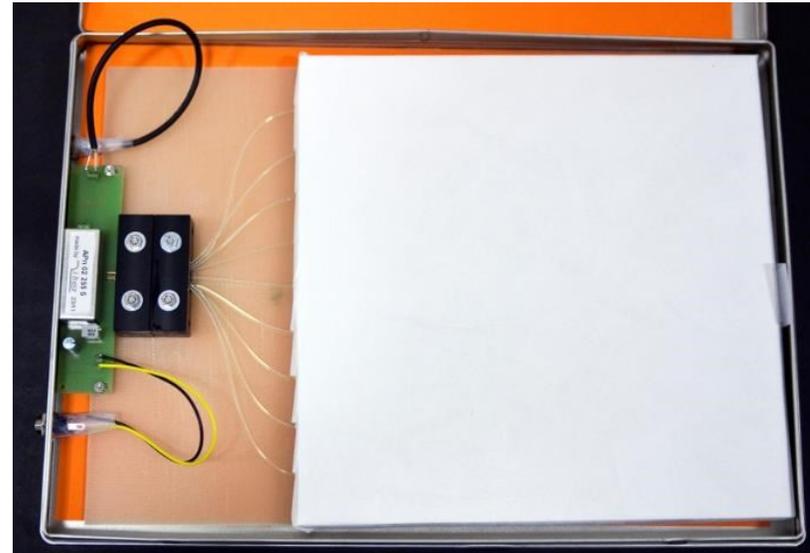
Grundsätzlicher Aufbau eines Astroteilchen-Experimentes



Messung kosmischer Strahlung

► Anknüpfungspunkte Schulunterricht:

- Szintillation: Atome werden durch elektr. geladene Teilchen angeregt, Abstrahlung von Licht
- Lichtleitung über Totalreflexion (im Szintillator und Lichtleitfasern)
- Nachweis durch äußeren Photoeffekt im Sensor



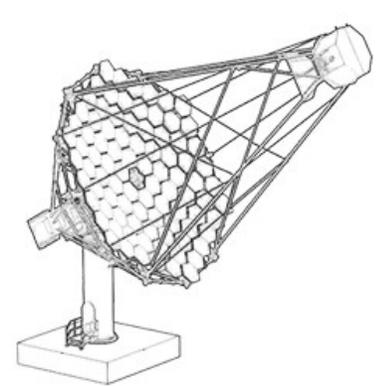
CosMO-Detektor:

Messung kosmischer
Strahlung im
Schulunterricht

<https://www.teilchenwelt.de/angebote/masterclasses/detektoren/>



Instrumente



Weltweit verteilte Experimente

Pierre Auger Observatorium (Argentinien)



CTA – Cherenkov Teleskop Array (Chile + La Palma, in Planung)



Fermi Gamma-Ray Space Telescope (Weltraum)



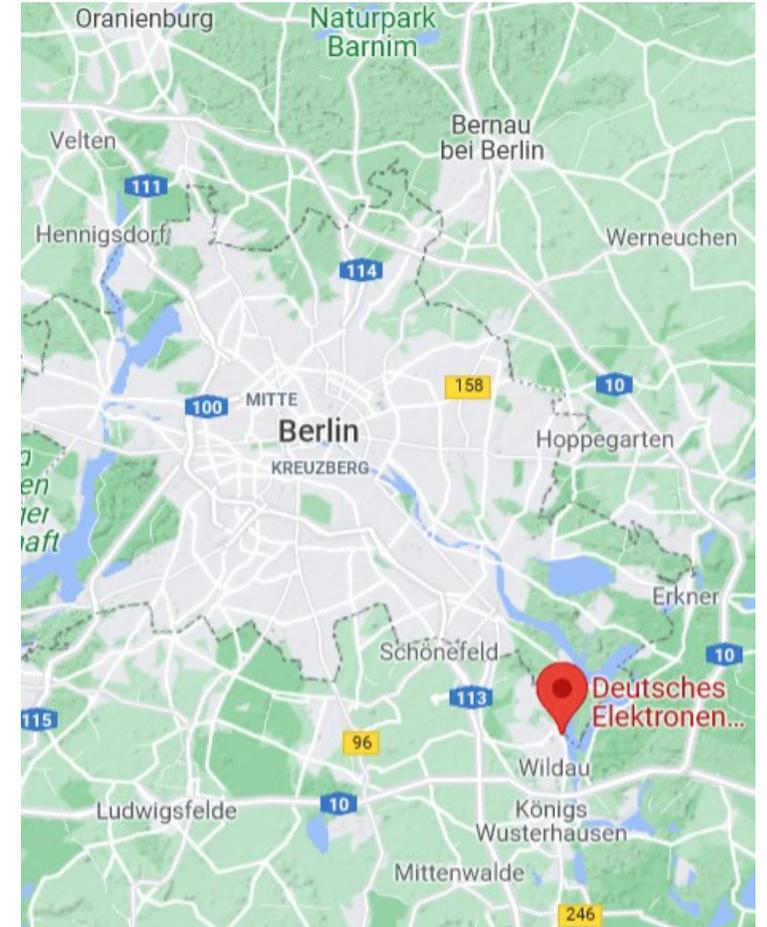
ICE-Cube Experiment (Antarktis)

Forschung trifft Schule @home - Astroteilchenphysik



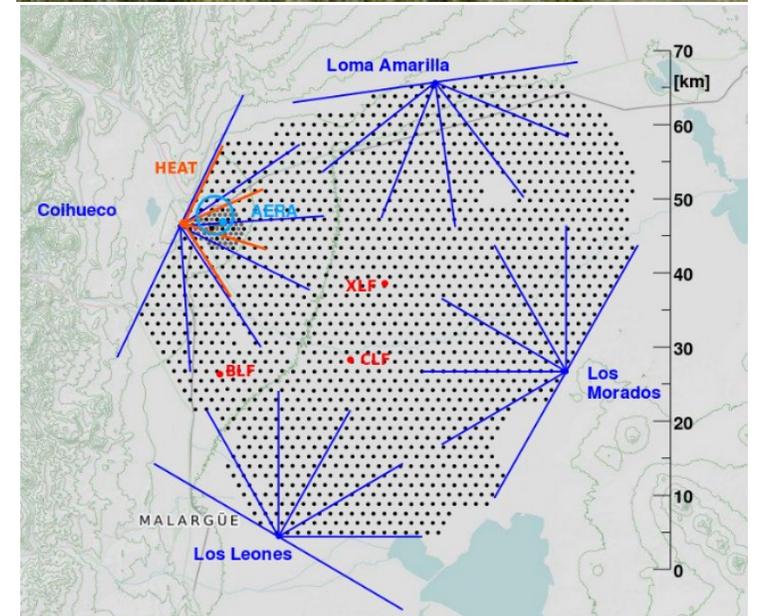
H.E.S.S. – High Energy Stereoscopic System (Namibia)

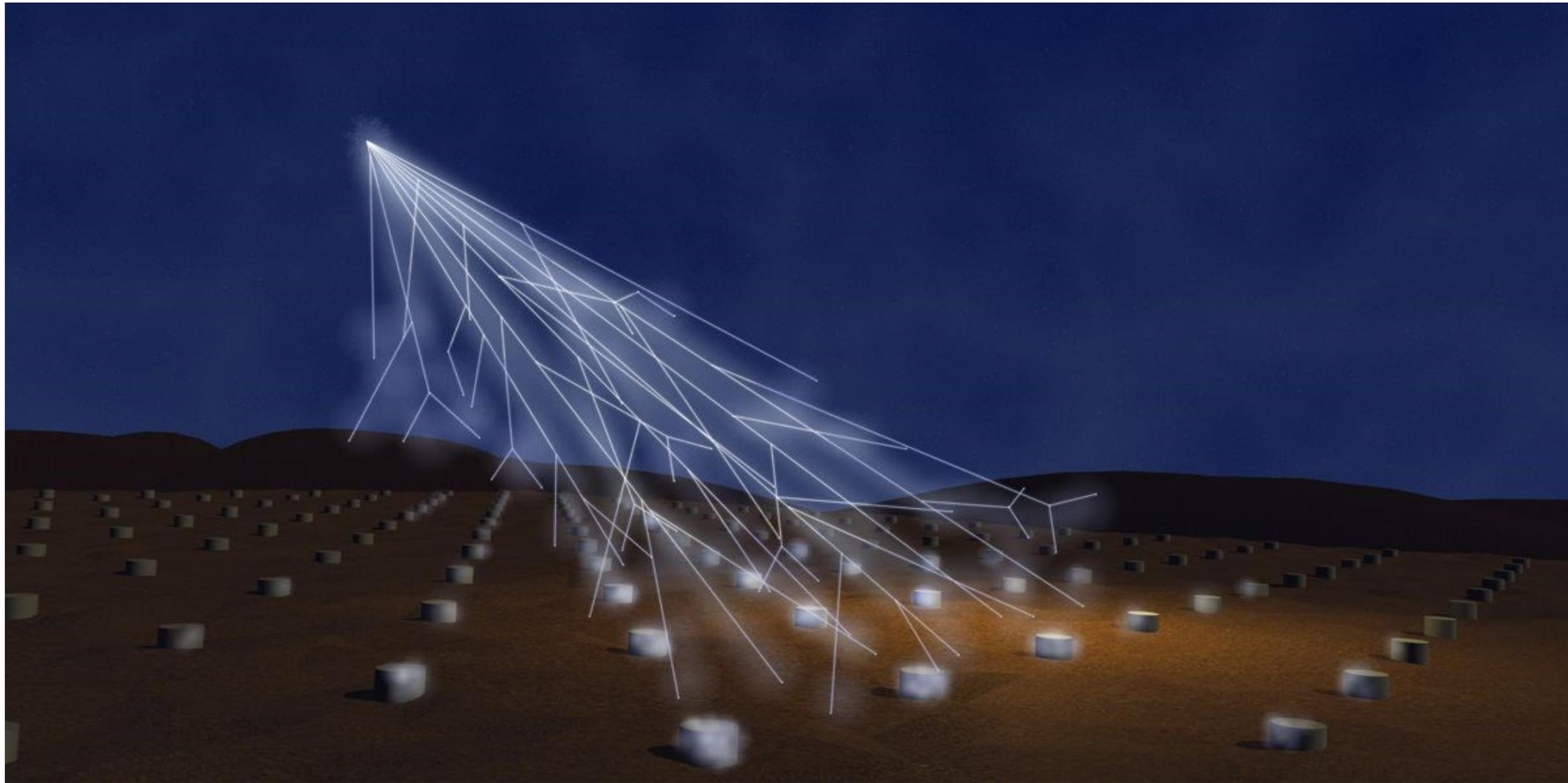
Und weltweit verteilte Arbeitsplätze



Pierre Auger Observatorium

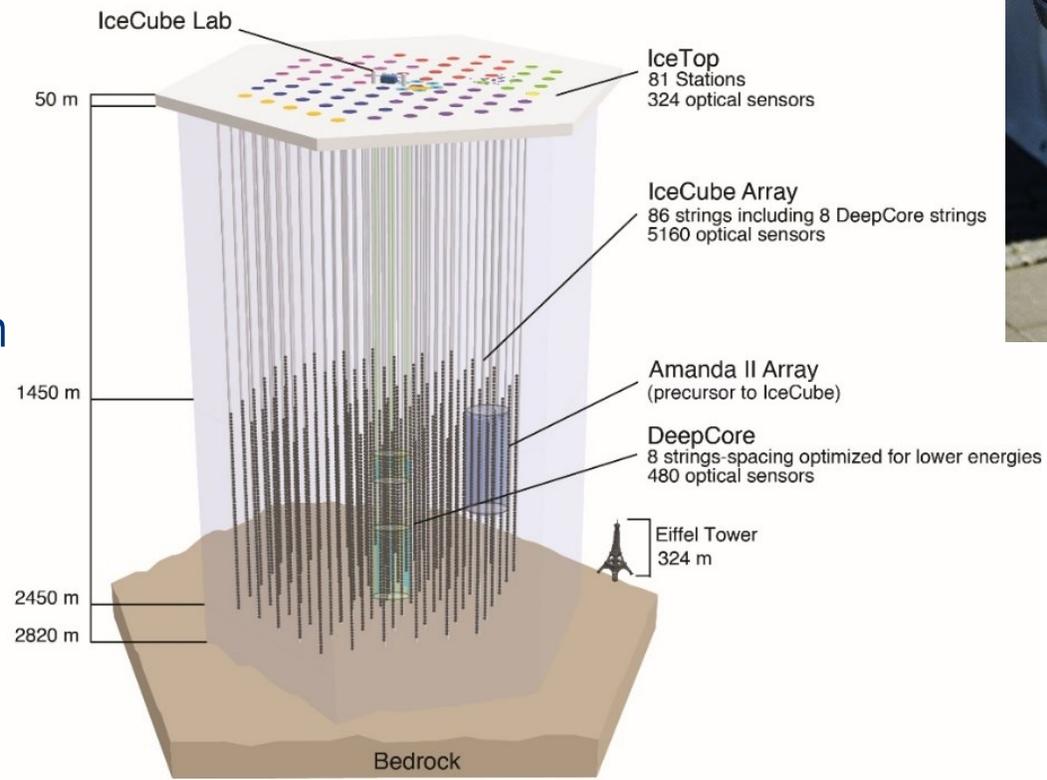
- Versuchsanlage besteht aus
 - Oberflächendetektor (1660 Stationen)
 - dem Fluoreszenzdetektor (27 Teleskope)
 - Radioantennen (150 Antennen)
 - Myonen-Detektoren
- ▶ Fläche Insgesamt 3000 km²
- ▶ Lage: Argentinien, Pampa
- (Indirekte) Messung von Protonen mit Energien von 10^{17} eV bis 10^{20} eV





IceCube – Neutrinos messen am Südpol

- ▶ 5160 Sensoren an 86 Kabelsträngen
- ▶ 1450 -2450 Metern tiefe
- ▶ Volumen: 1 km³
- ▶ Lage: Amundsen-Scott-Südpolstation
- ▶ Messung von Neutrinos
 - Energien von: 10¹² - 10¹⁴ eV



IceCube – Neutrinos messen am Südpol

- Versuchsanlage besteht aus
 - insgesamt 5160 Sensoren
 - An 86 Kabelsträngen
 - In 1450 -2450 Metern tiefe
- ▶ Volumen: 1 km³
- ▶ Lage: Amundsen-Scott-Südpolstation
- ▶ Messung von Neutrinos
 - mit Energien von:
10¹² eV bis 10¹⁴ eV

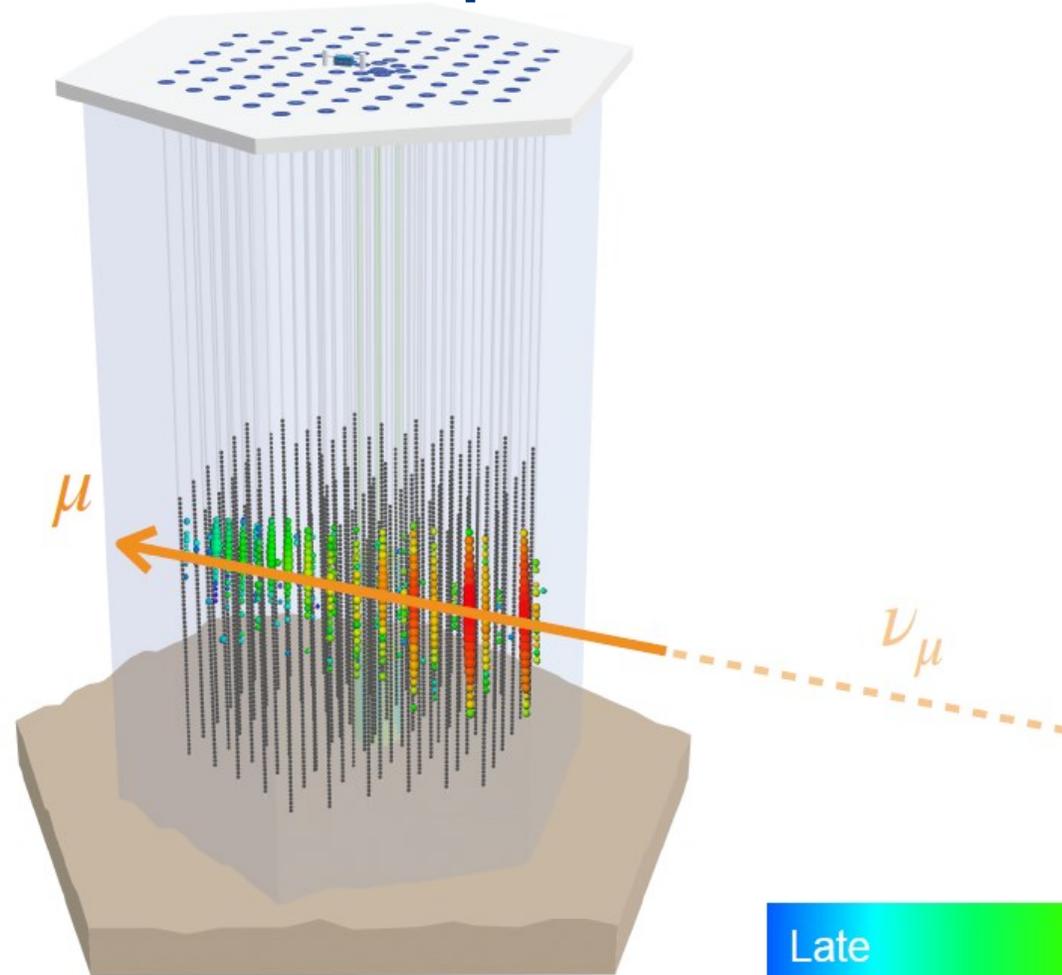
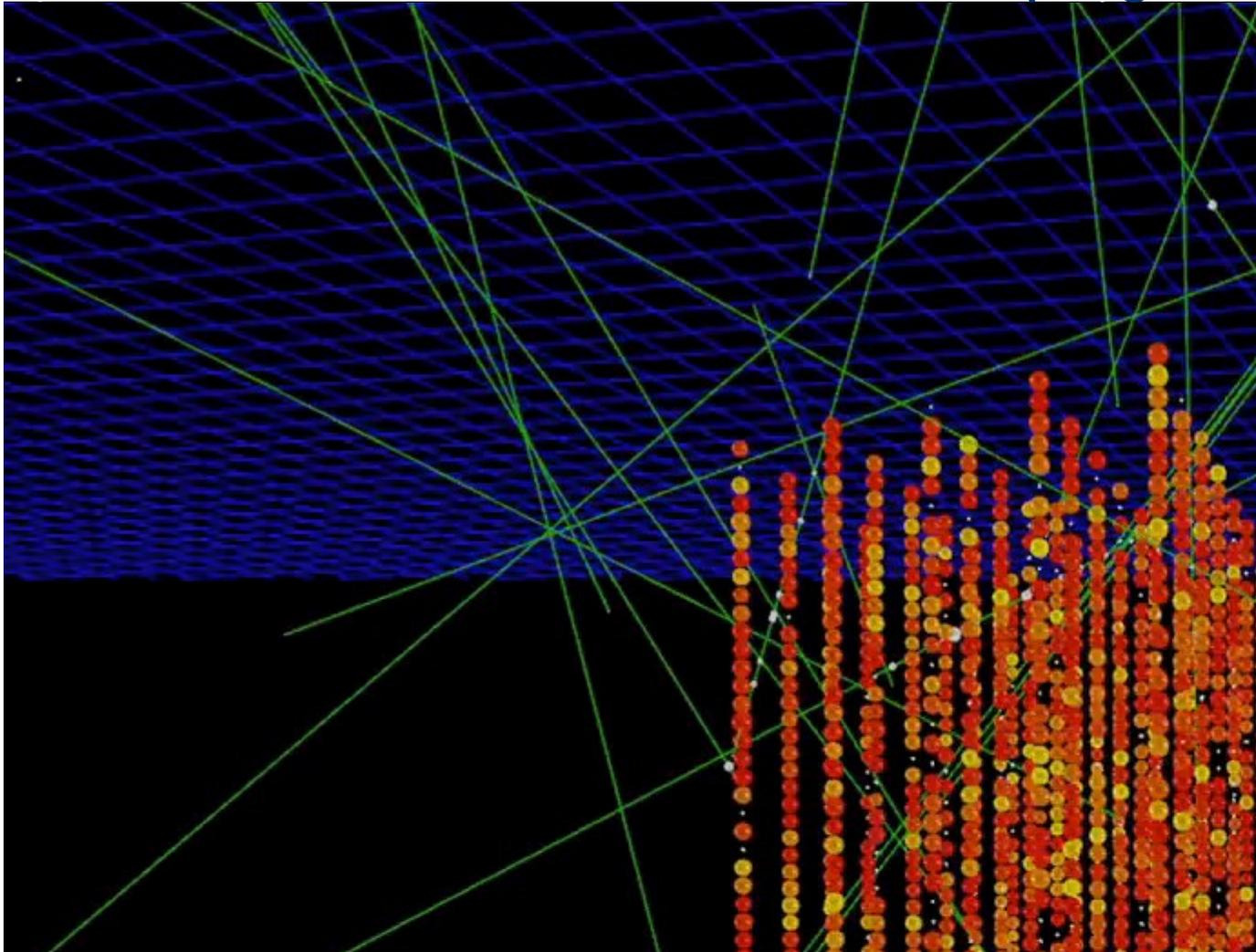


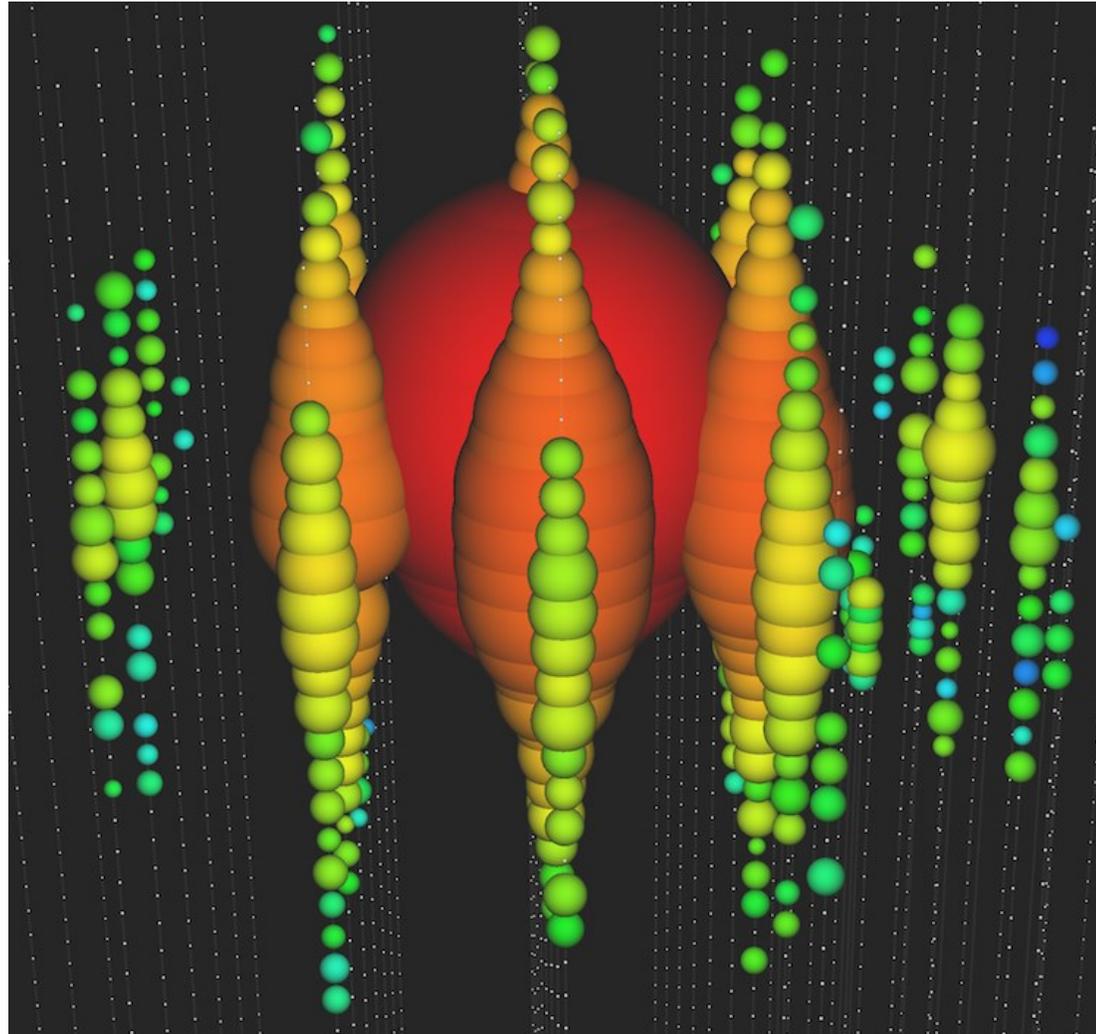
Abb.: Cristina Lagunas Gualda,
<https://arxiv.org/abs/1612.05093>

IceCube – 0.01 Sekunden Daten (ungefiltert)



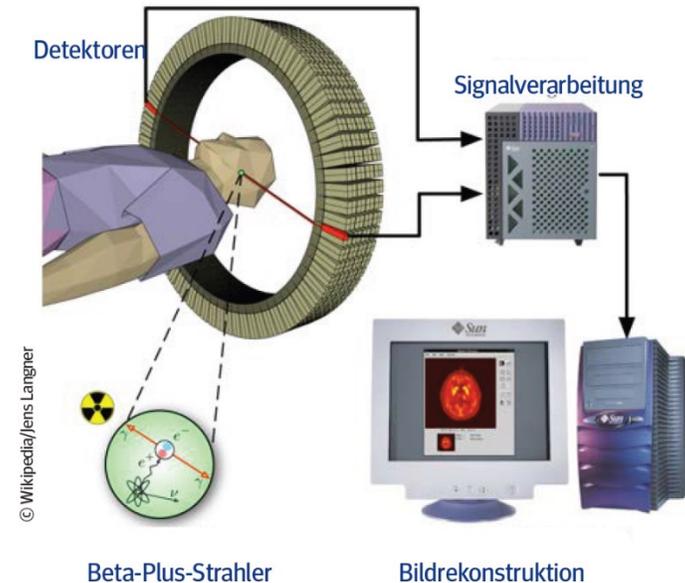
Mehr zu IceCube:
<https://icecube.wisc.edu>

IceCube – ein Ereignis



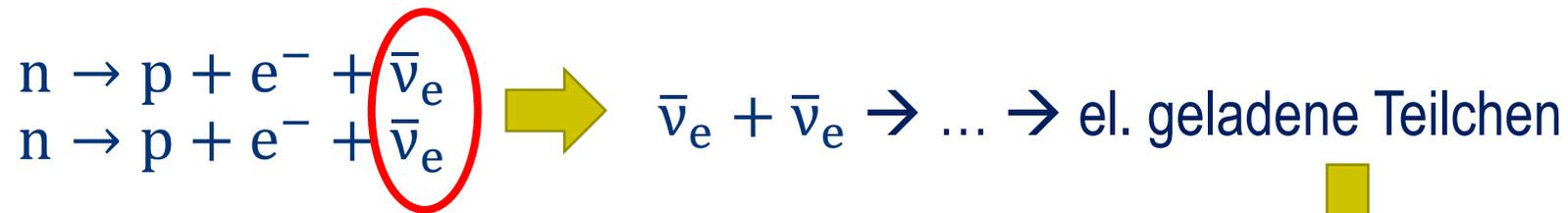
Exkurs: Anti-Materie

- ▶ Zu jedem Materieteilchen existiert ein Anti-Materieteilchen
 - Gleiche Masse, aber genau entgegengesetzte Ladungen
- ▶ Offene Forschungsfrage: Wo ist nach dem Urknall die ganze Anti-Materie abgeblieben?
 - Offenbar gibt es eine Asymmetrie zwischen Materie und Anti-Materie
- ▶ Gemäß den Wechselwirkungen des Standardmodells vernichten sich Materie- und Anti-Materieteilchen
 - Materie + Anti-Materie → Austauschteilchen
 - Anwendung: Positronen-Emissions-Tomographie
 - Hier: Elektron + Positron → Photonen



Anti-Materie und Neutrinos

- ▶ Zu Neutrinos bestehen viele offene Fragen
 - Neutrino-Oszillationen, Massen, Majorana-Neutrinos, ...
- ▶ **Neutrinos könnten ihre eigenen Anti-Teilchen sein** (Majorana-Teilchen)
- ▶ Experimentelle Aufgabe: Suche nach neutrinoloser doppelter Beta-Umwandlung (Zerfall)



↓
Energie im Detektor
messbar

- Gesamtenergie der neutrinolosen doppelten Beta-Umwandlung genau messbar
- Muss mit theoretischer Vorhersage (Energieerhaltung) übereinstimmen

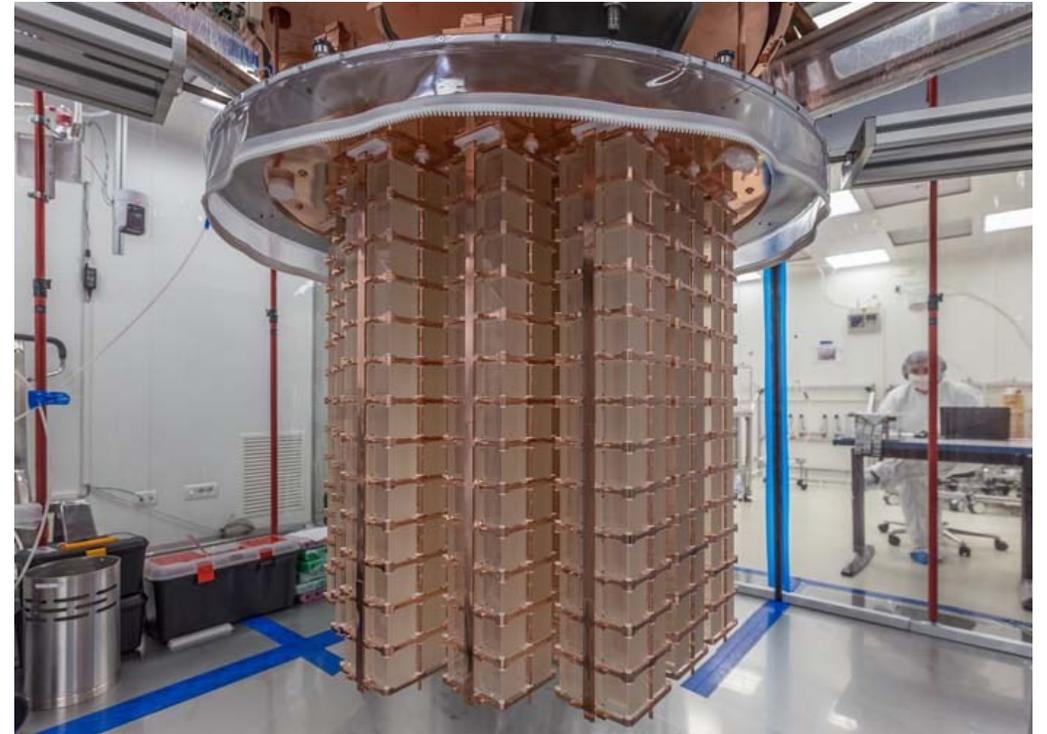
Experimente zu Majorana-Neutrinos @ LNGS

CUPID



© Stefano Pirro/LNGS-INFN

CUORE



© Yura Suvorov/LNGS-INFN

FOLLOW US

on Social Media



www.teilchenwelt.de