



Astroteilchenphysik und Cosmic@Web

Philipp Lindenau, Kristof Schmieden

Forschung trifft Schule

24.01.2025 | Bad Honnef



NETZWERK
TEILCHENWELT

Warm-up

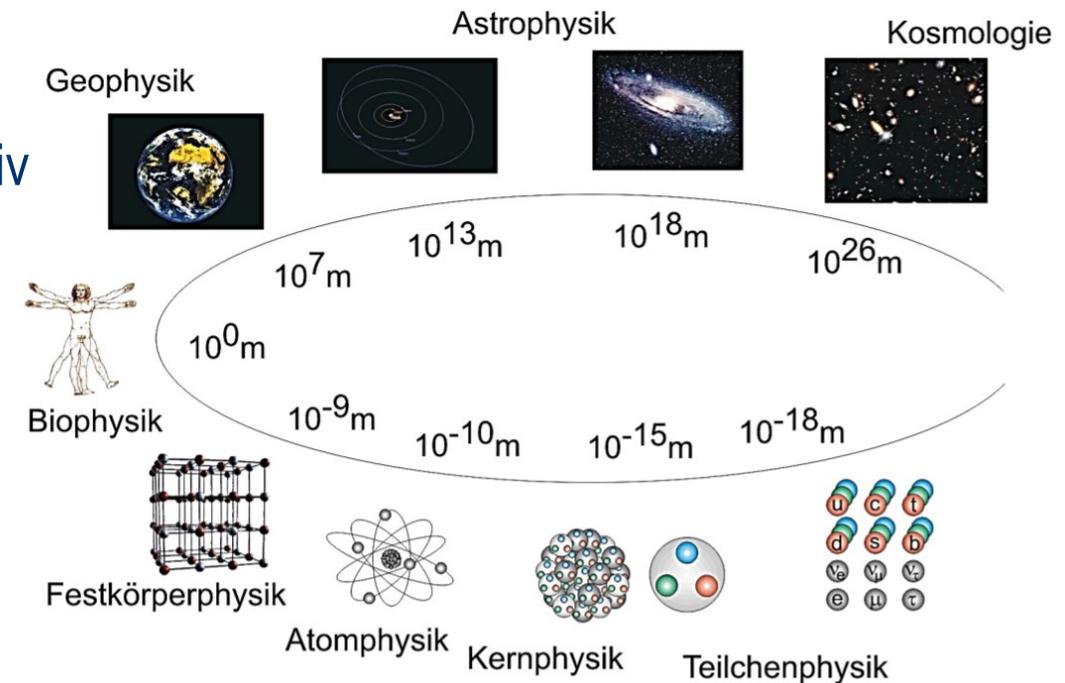
Was fällt Euch zum Wort „Astroteilchenphysik“ ein? Welche Begriffe oder Phänomene verbinden Ihr damit?

<https://www.menti.com/2eethr7ttp>



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>

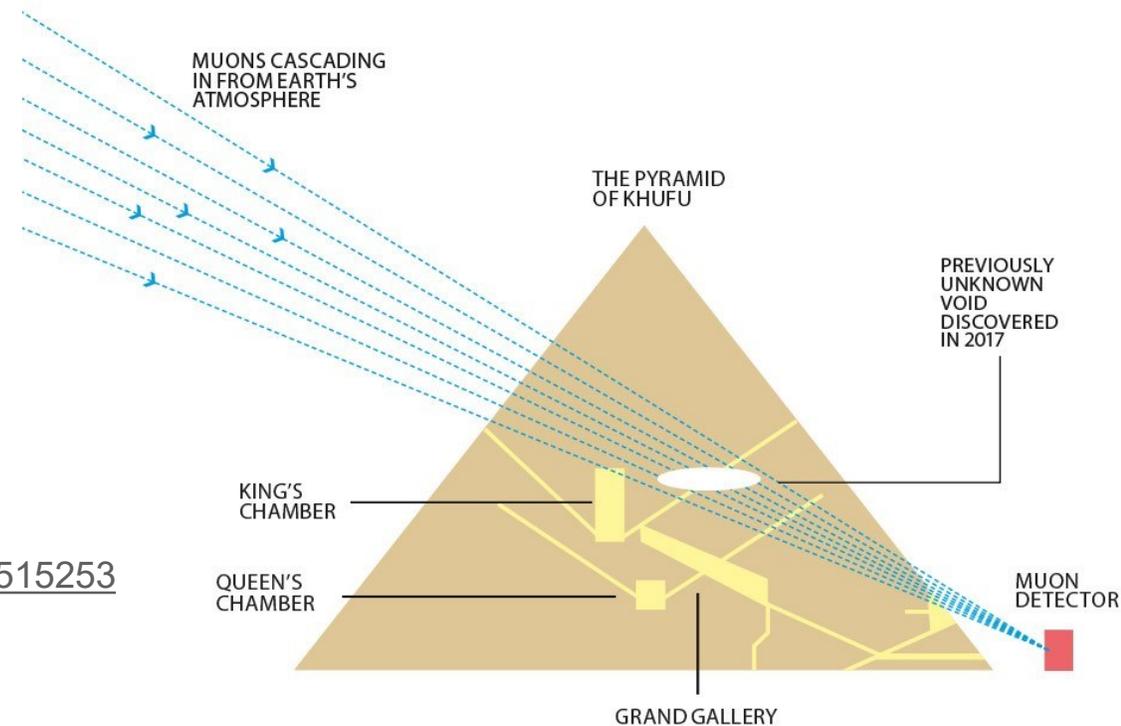
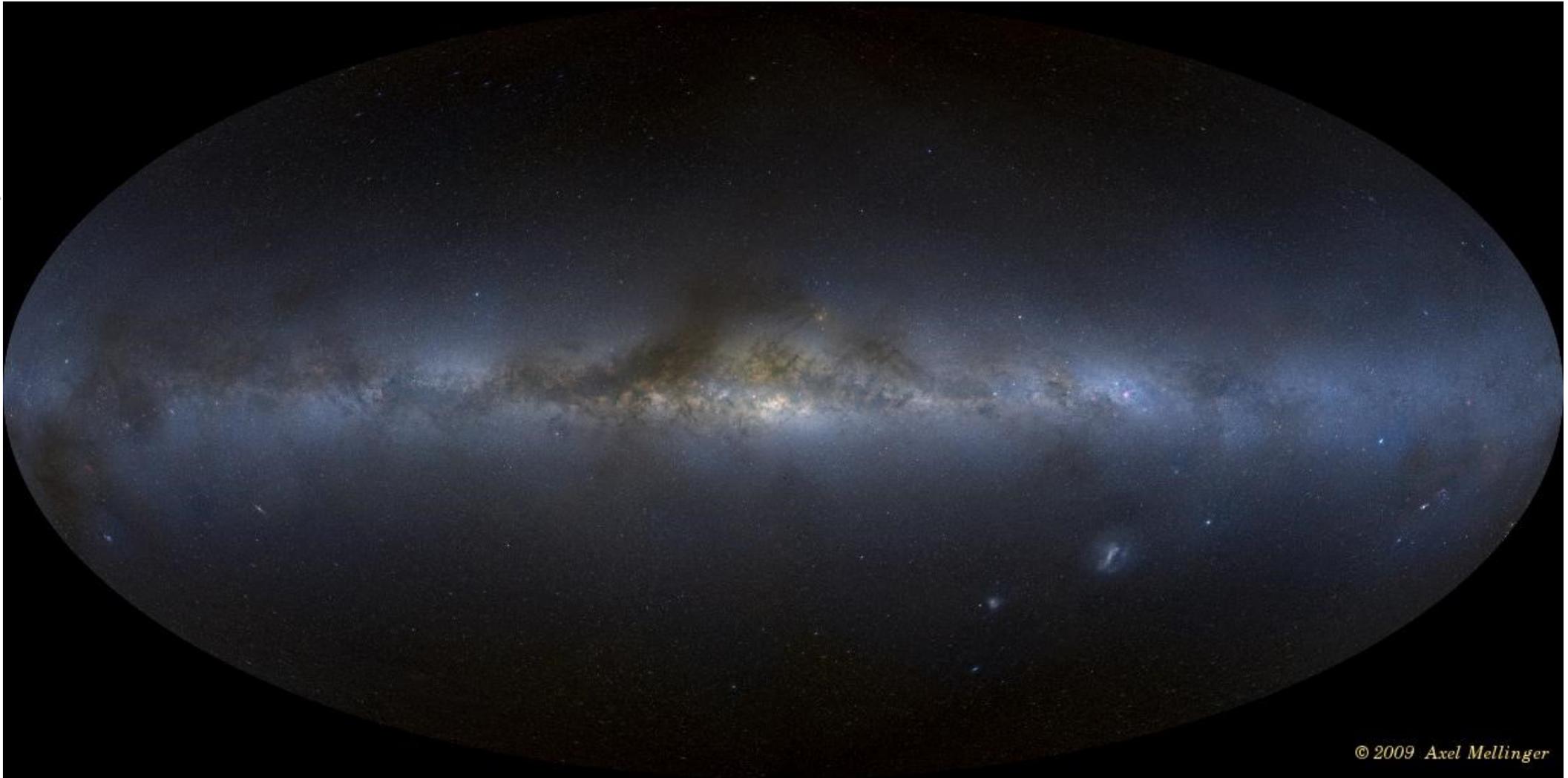
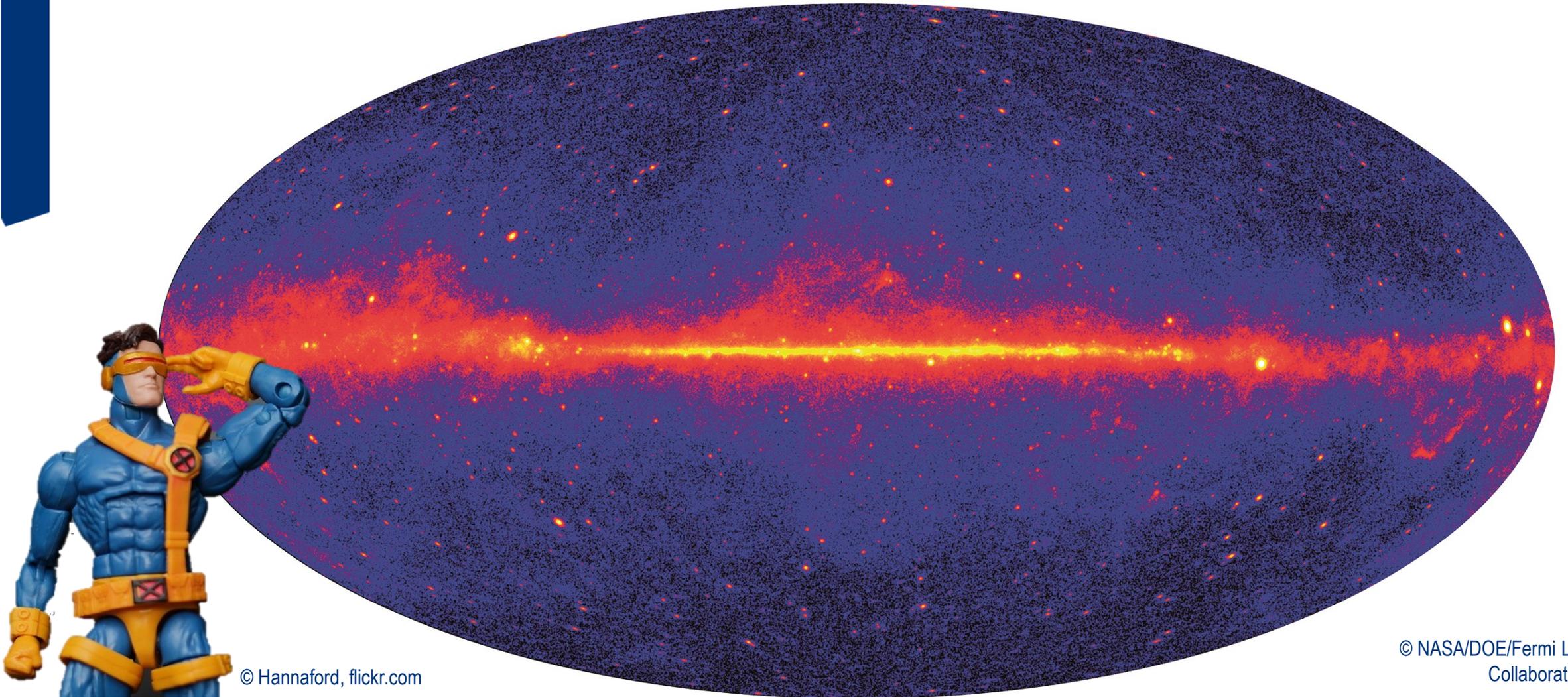


Bild: <https://www.sciencefocus.com/future-technology/how-scientists-are-using-cosmic-radiation-to-peek-inside-the-pyramids>

Unser Universum – Foto des nächtlichen Himmels



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

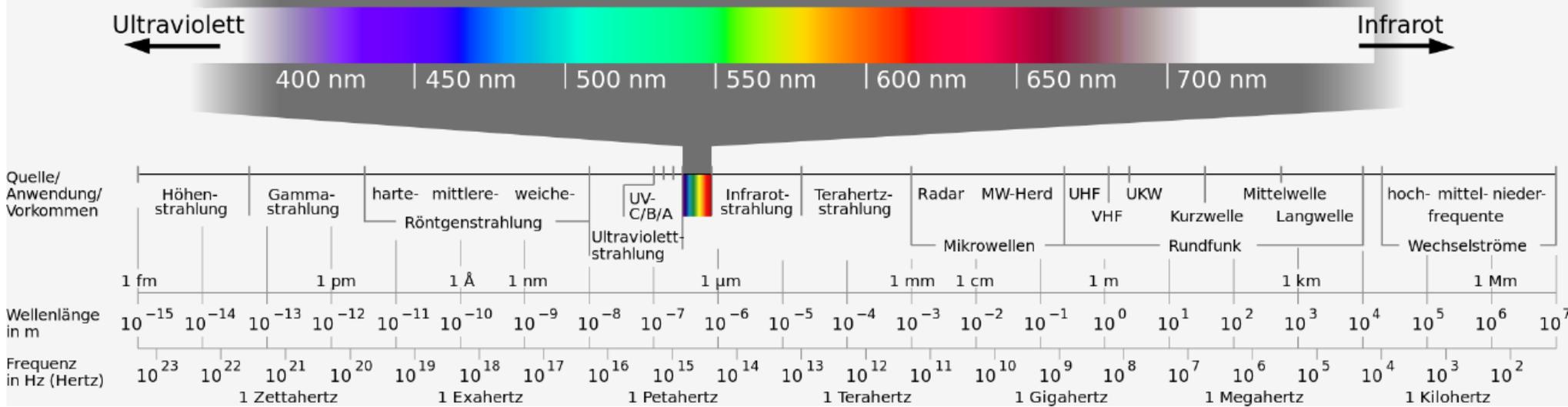


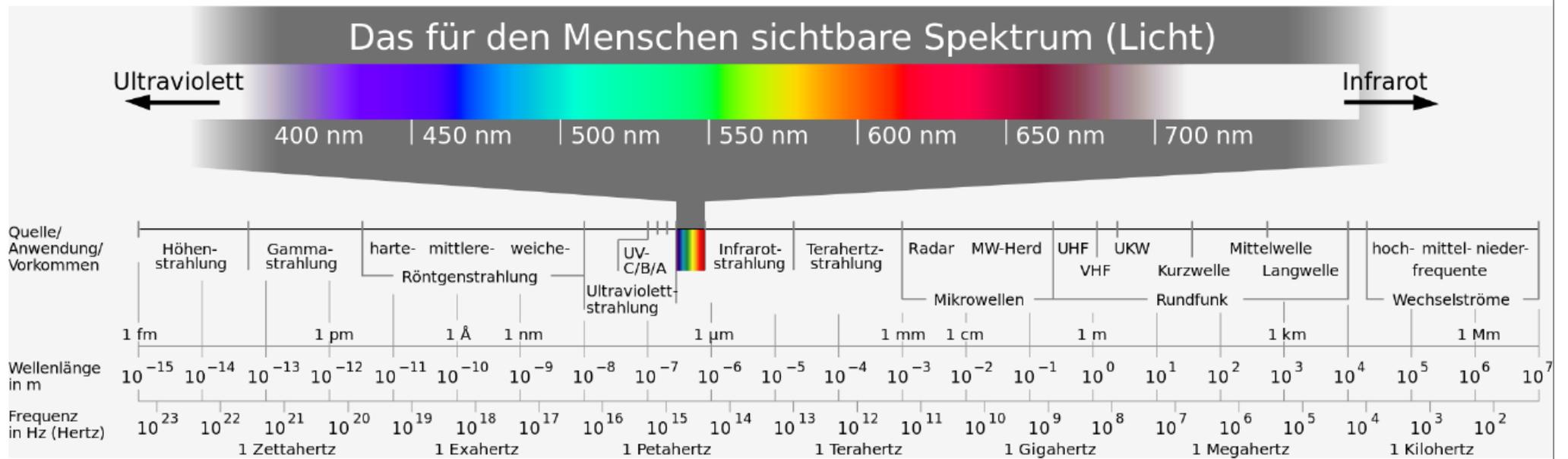
© Hannaford, flickr.com

© NASA/DOE/Fermi LAT
Collaboration

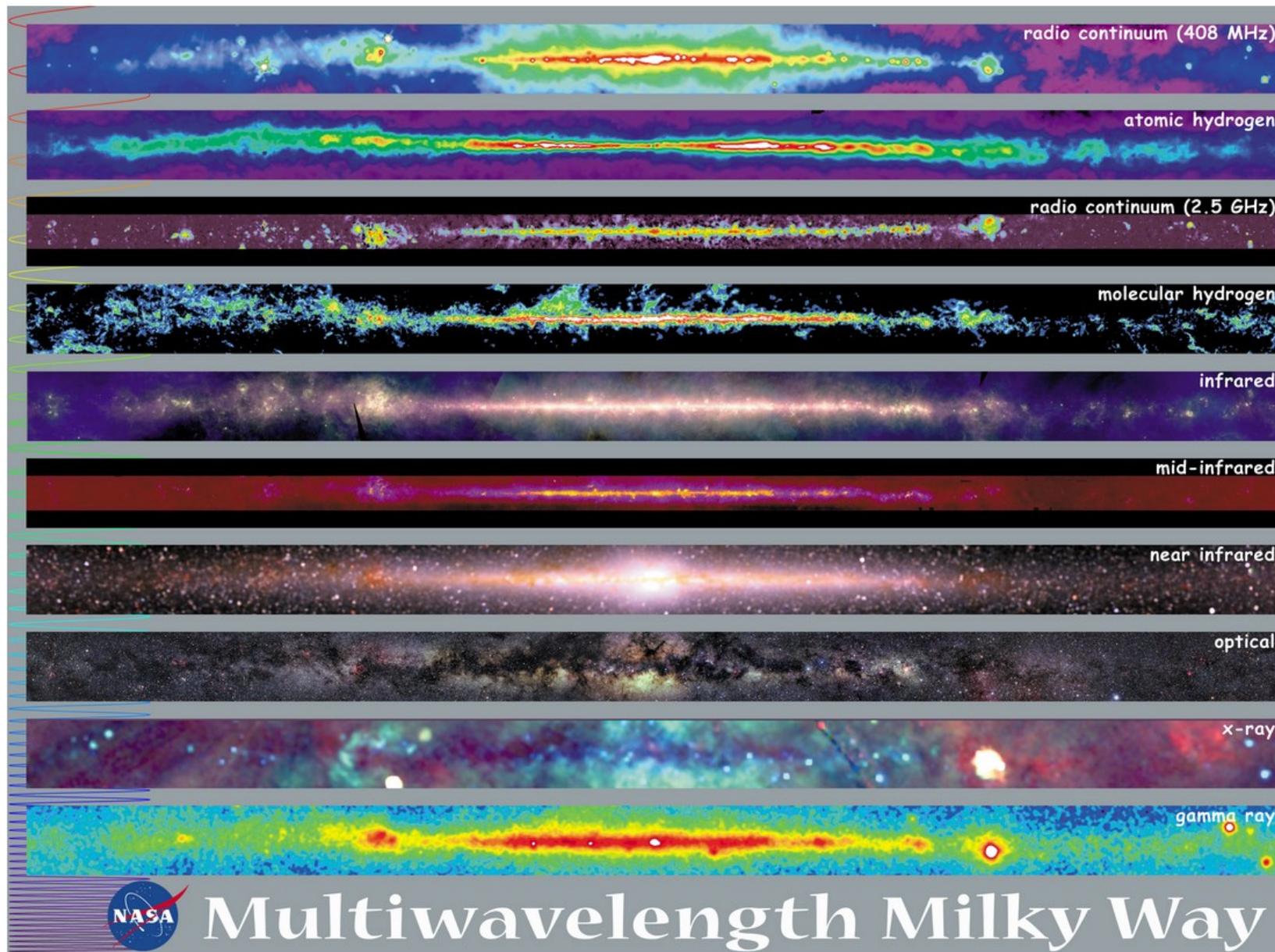


Das für den Menschen sichtbare Spektrum (Licht)



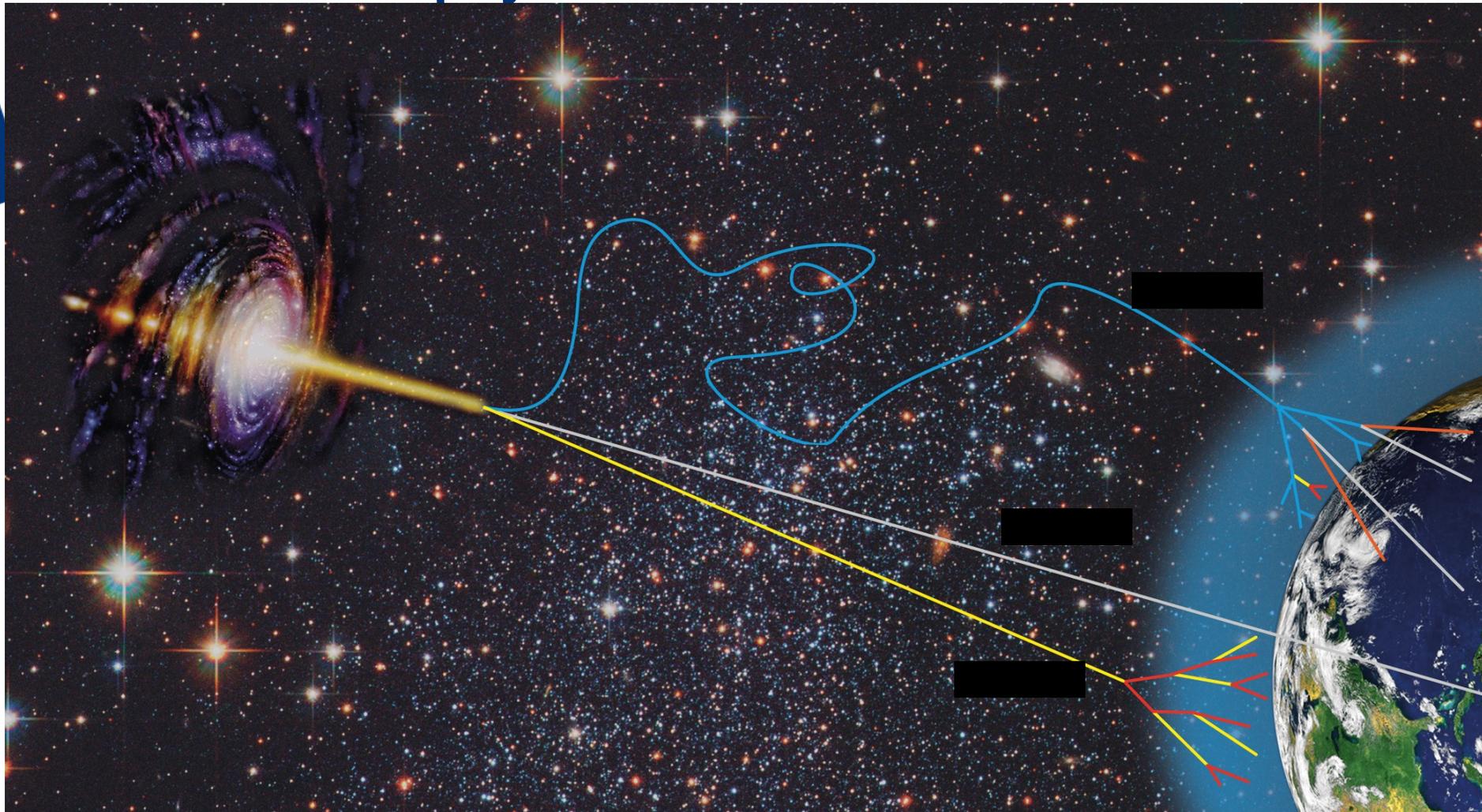


- Nicht nur sichtbares Licht erreicht die Erde, sondern auch Photonen anderer Energiebereiche ($E = h\nu$, $\lambda = c/\nu$)

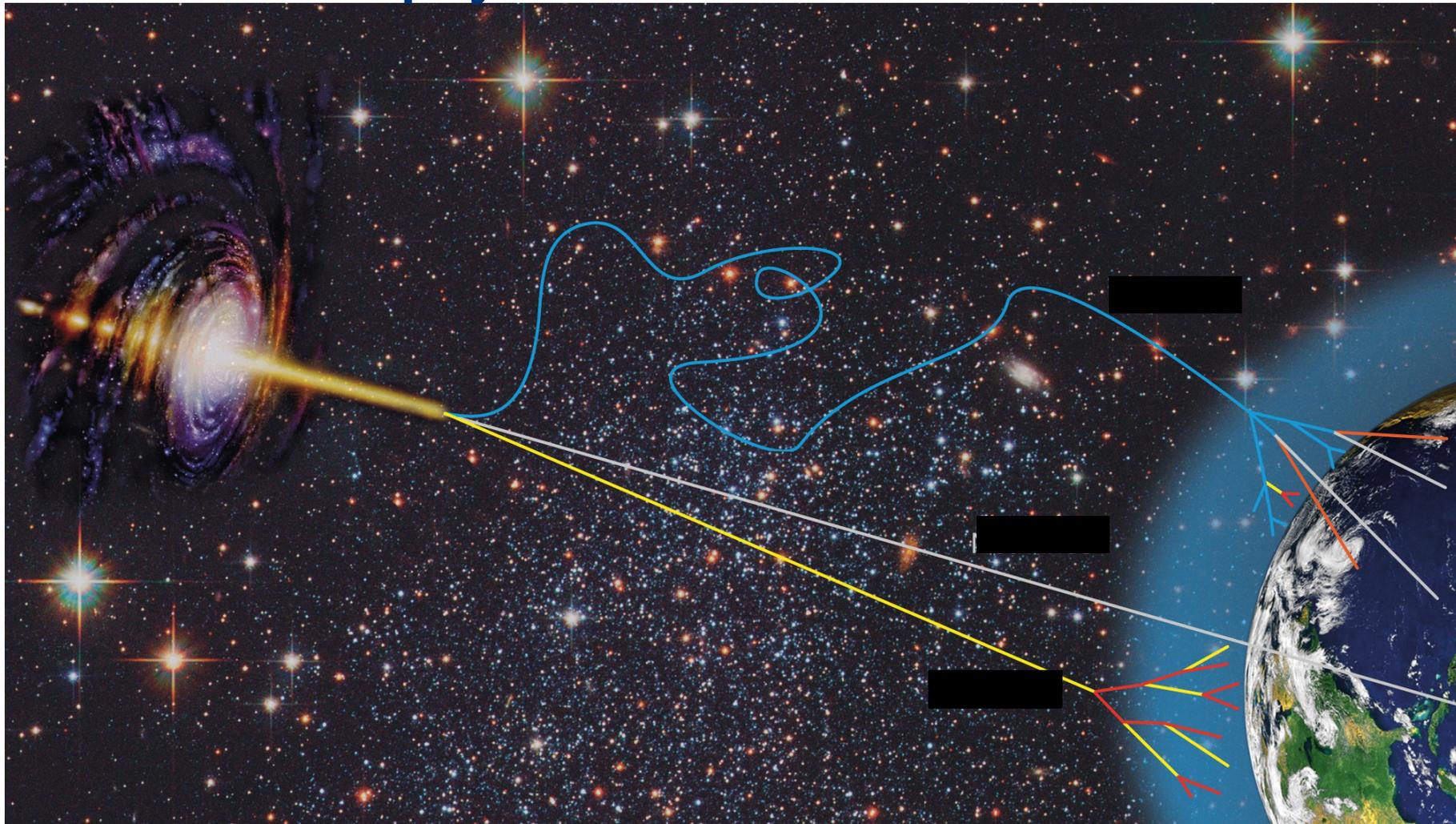


Bilder: NASA
Grafik: Dieter Hartmann

Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



Astroteilchenphysik – Kosmische Boten

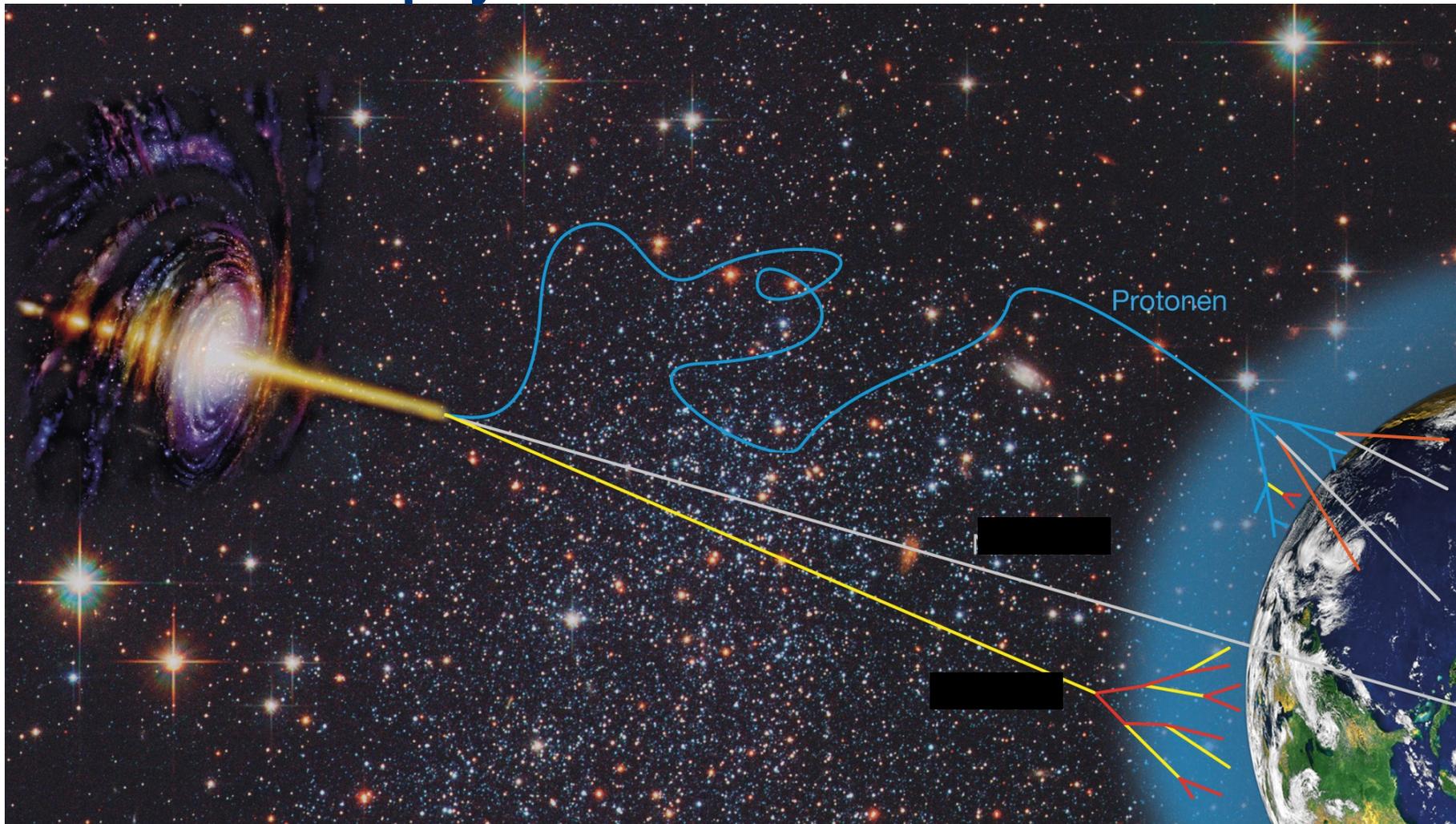


Quiz

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

- Proton
- Up-Quark
- Photon
- Neutrino

Astroteilchenphysik – Kosmische Boten

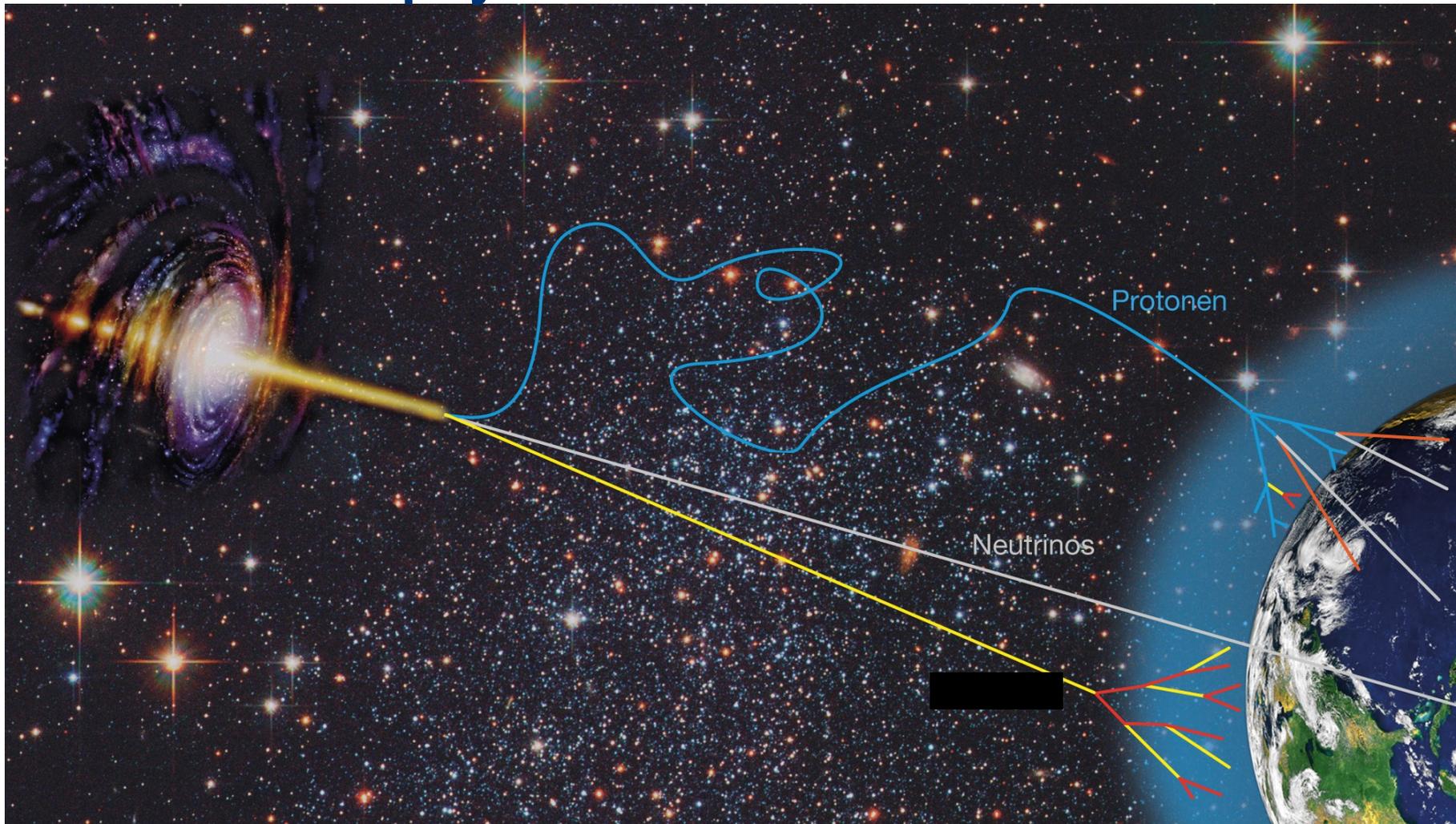


Quiz

Welches Teilchen passt zur grauen welcher Linie?

- ~~Proton~~
- Up-Quark
- Photon
- Neutrino

Astroteilchenphysik – Kosmische Boten

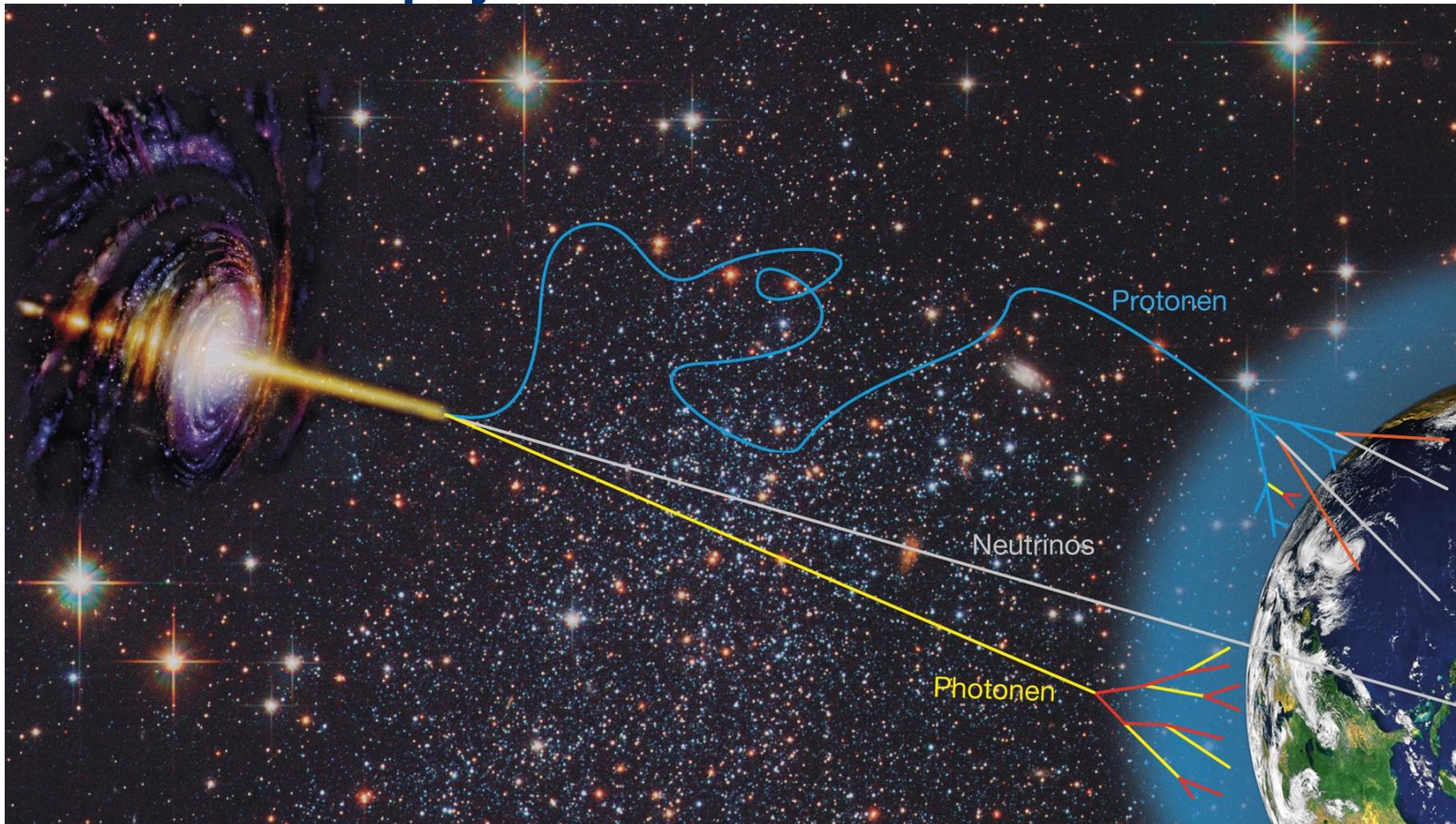


Quiz

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

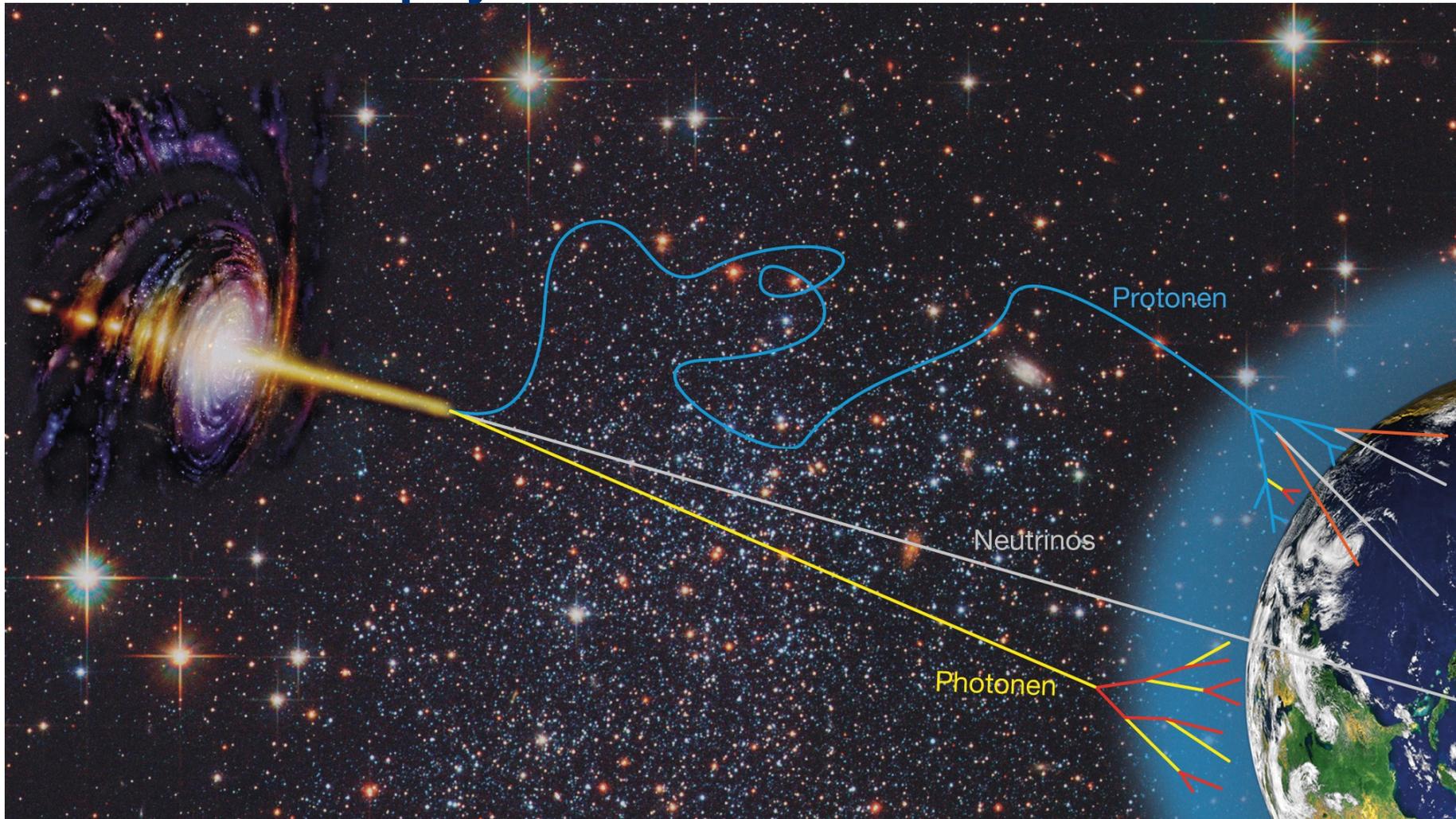
- Proton
- Up-Quark
- Photon
- Neutrino

Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



- ~~Proton~~
- **Up-Quark?**
- ~~Photon~~
- ~~Neutrino~~

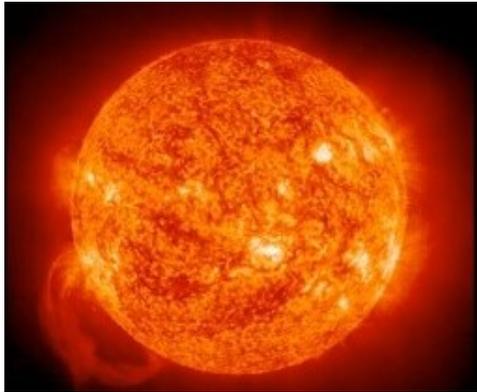
Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



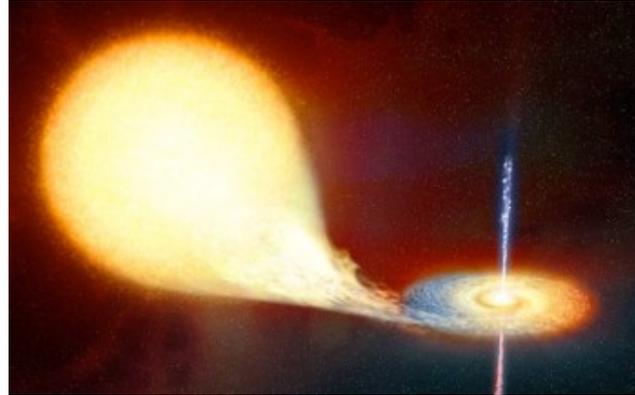
Quarks bewegen sich niemals einzeln durchs Universum sondern immer mit anderen Quarks als zusammengesetzte Teilchen (Confinement)

(Mögliche) Quellen kosmischer Teilchen

Sonne

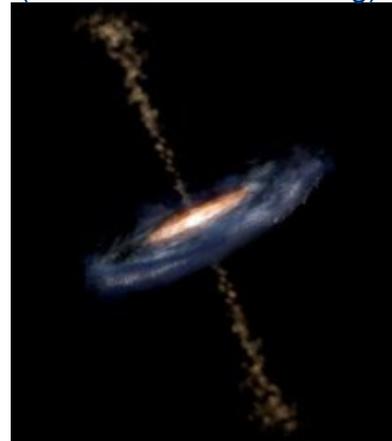


Supernovaüberreste
(SN1006, optisch, Radio, Röntgen)

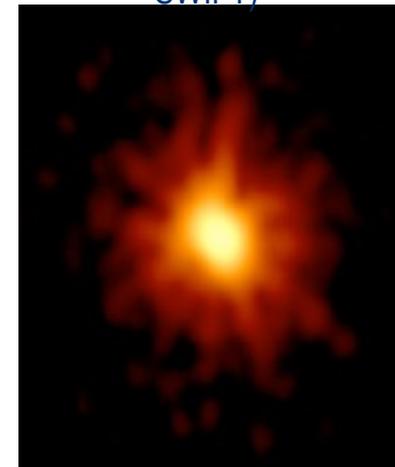


Doppelsternsysteme
(künstlerische Darstellung)

Aktive Galaxienkerne
(künstlerische Darstellung)



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

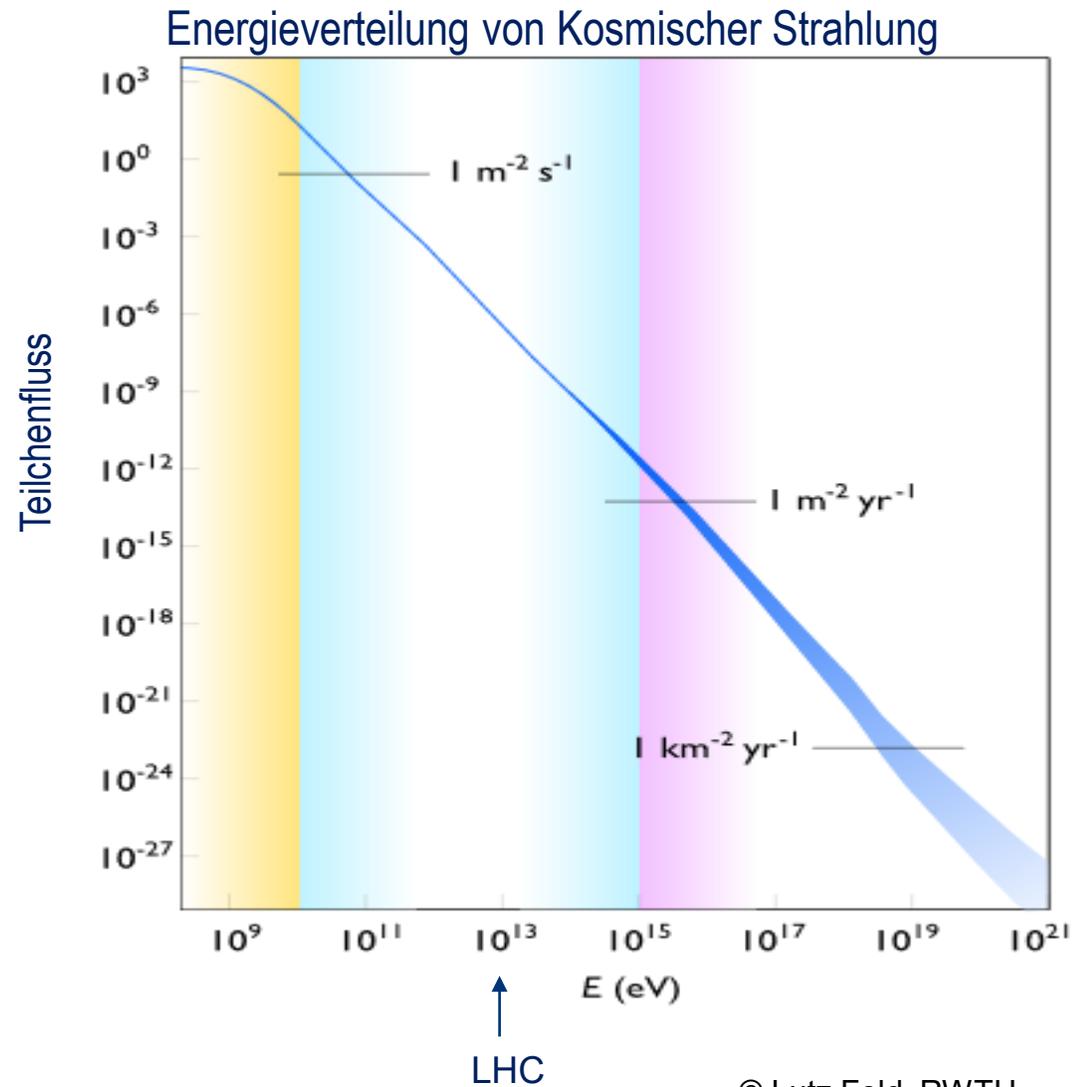


Kosmische Strahlung

- **Primäre Strahlung:**

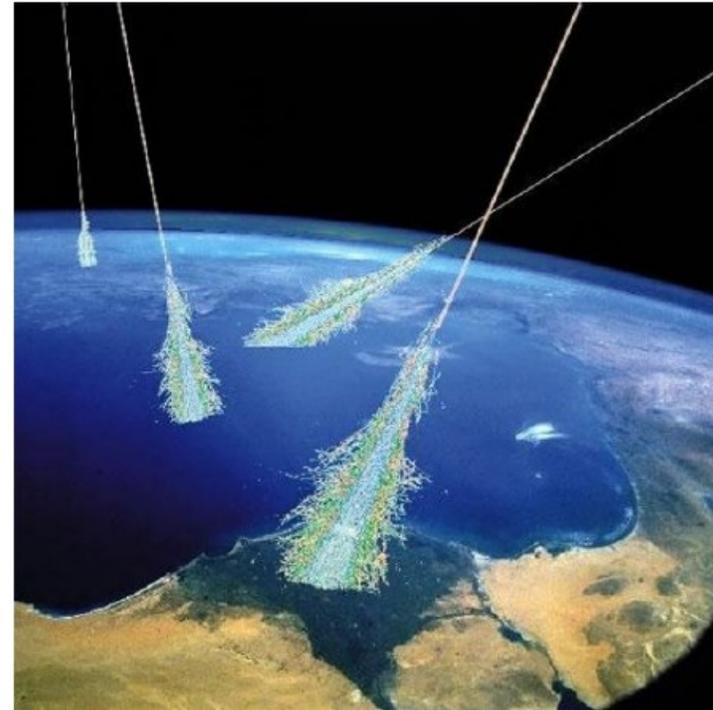
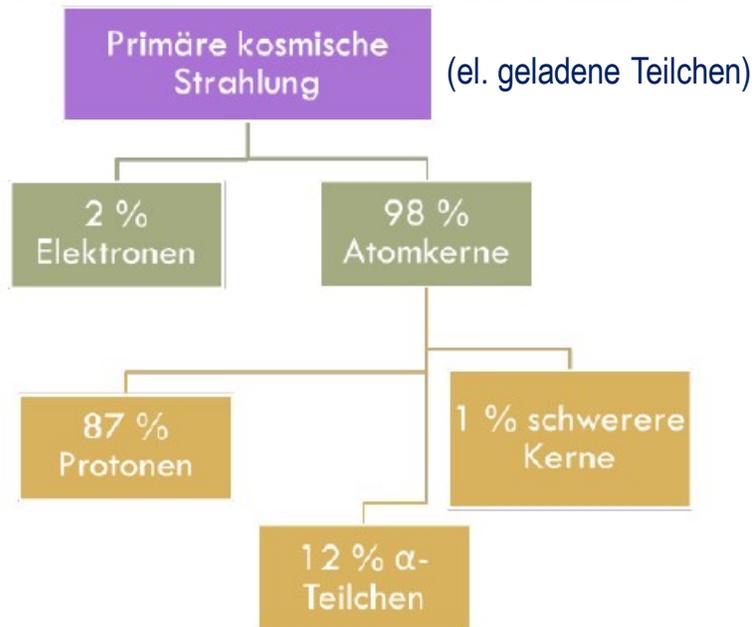
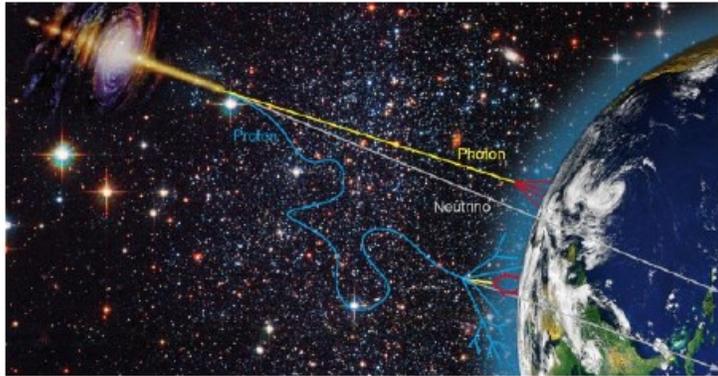
Teilchen stammend von...

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



© Lutz Feld, RWTH

Kosmische Strahlung

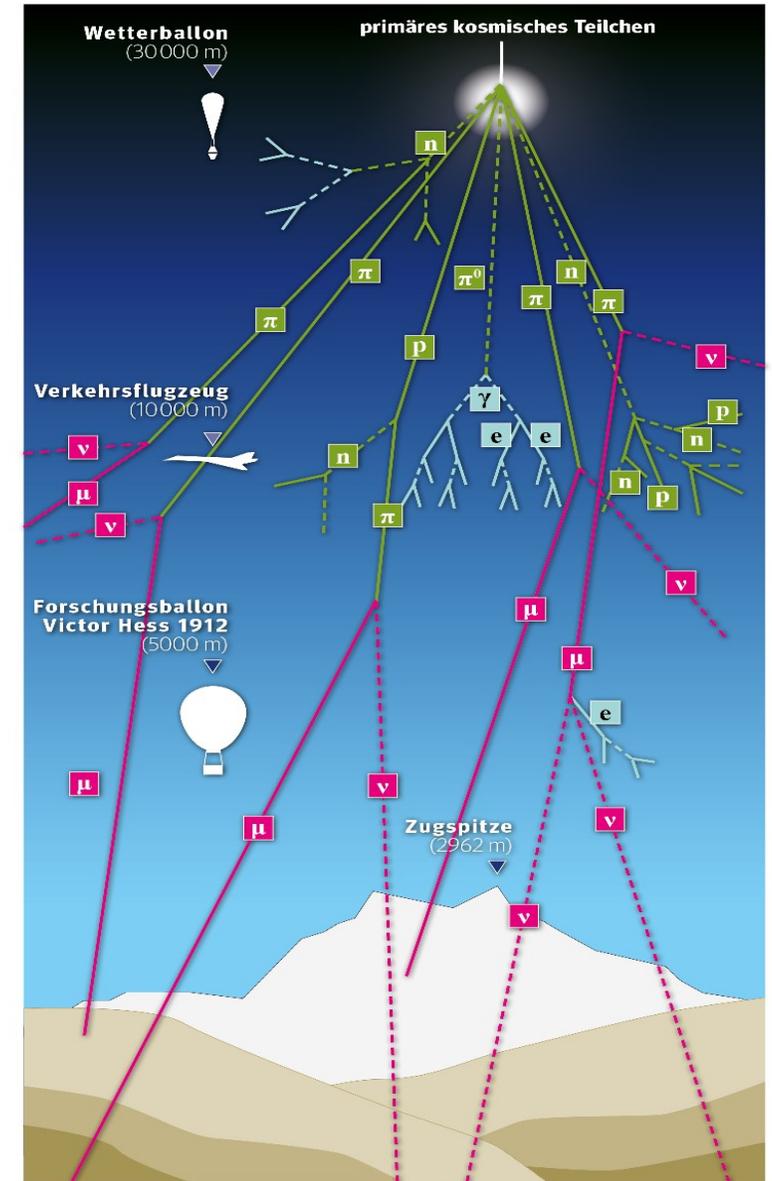


Unterscheidung in primäre und sekundäre kosmische Strahlung

Sekundäre kosmische Strahlung

Teilchenschauer

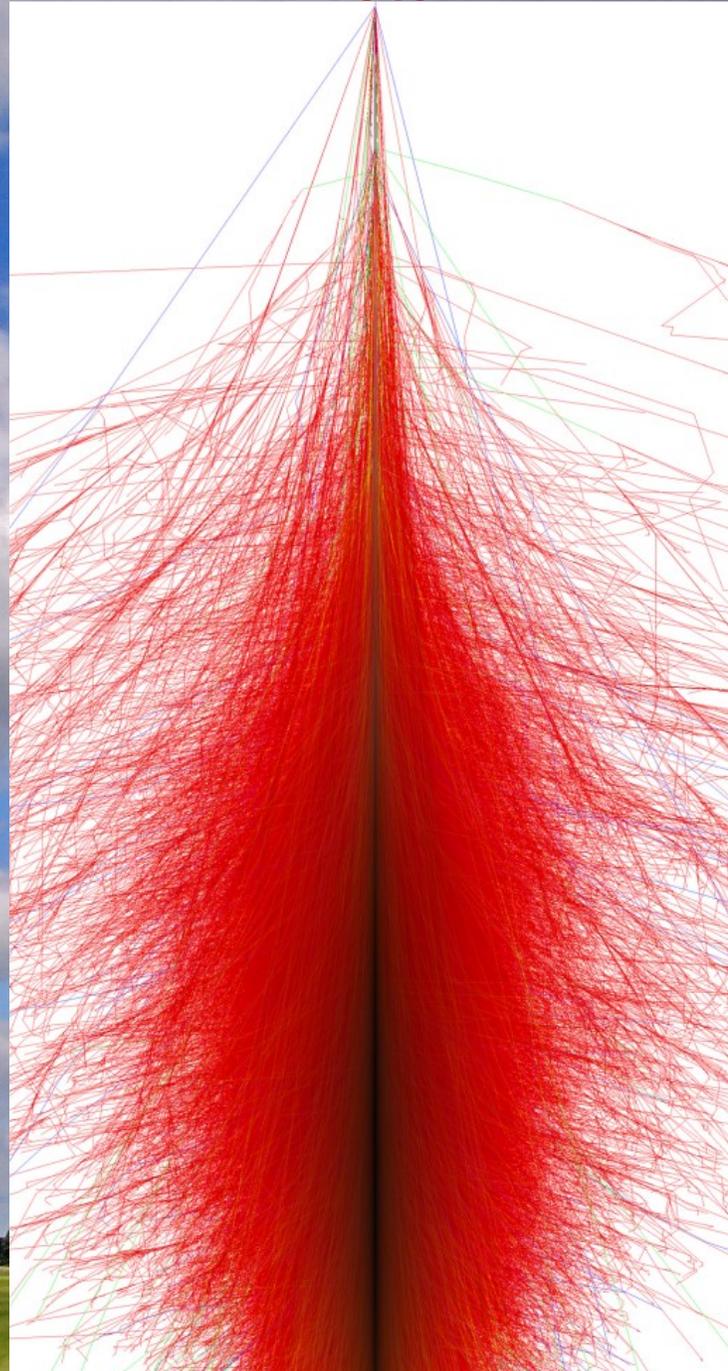
- ▶ Aus Kollision von Protonen mit Atomkernen der Luft entstehen Pionen, Kaonen und Nukleonen.
- ▶ Diese wechselwirken weiter oder wandeln sich um.
- ▶ Erdoberfläche erreichen hauptsächlich Myonen und Neutrinos.



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

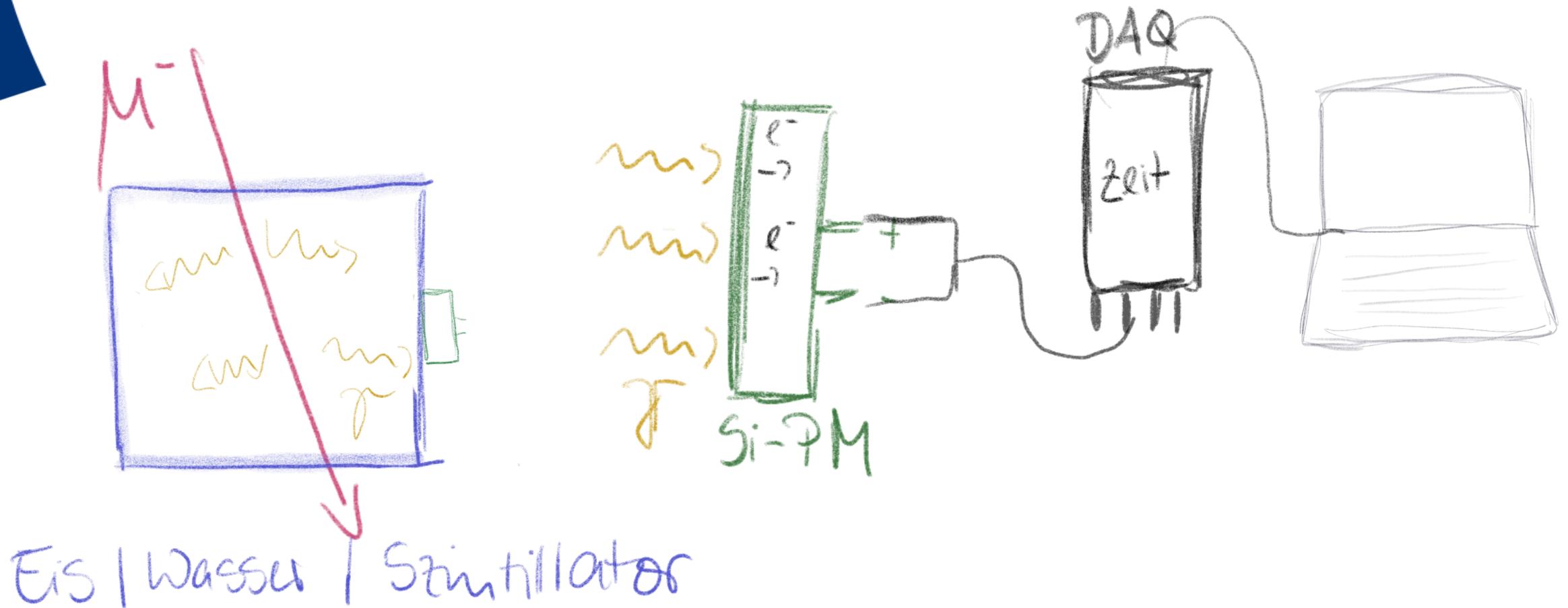
Messung kosmischer Teilchen



NETZWERK
TEILCHENWELT

Messung kosmischer Strahlung

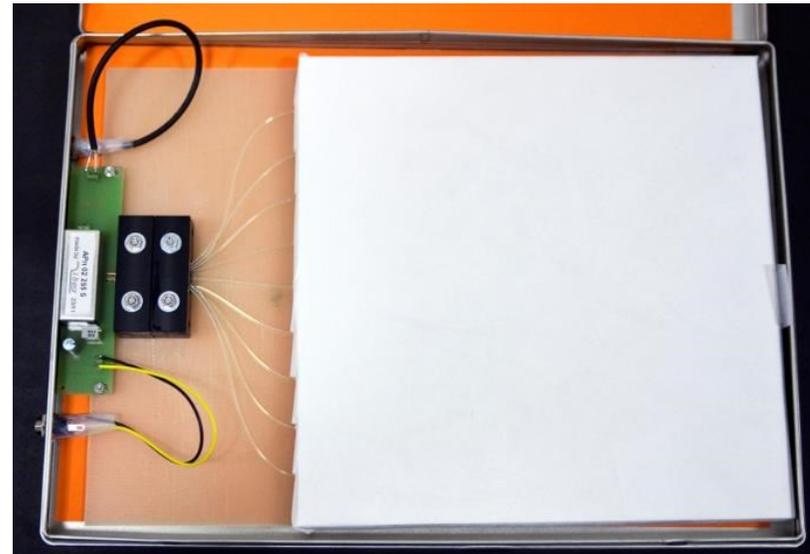
Grundsätzlicher Aufbau eines Astroteilchen-Experimentes



Messung kosmischer Strahlung

► Anknüpfungspunkte Schulunterricht:

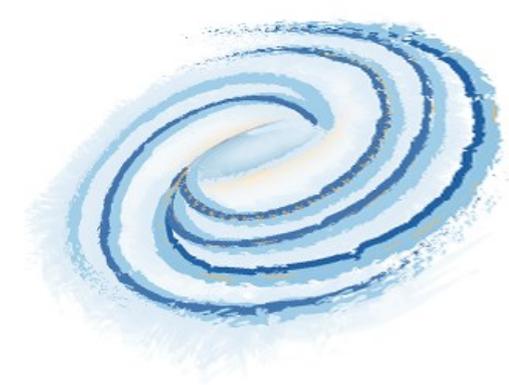
- Szintillation: Atome werden durch elektr. geladene Teilchen angeregt, Abstrahlung von Licht
- Lichtleitung über Totalreflexion (im Szintillator und Lichtleitfasern)
- Nachweis durch äußeren Photoeffekt im Sensor



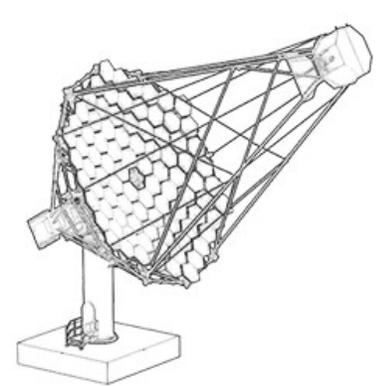
CosMO-Detektor:

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)



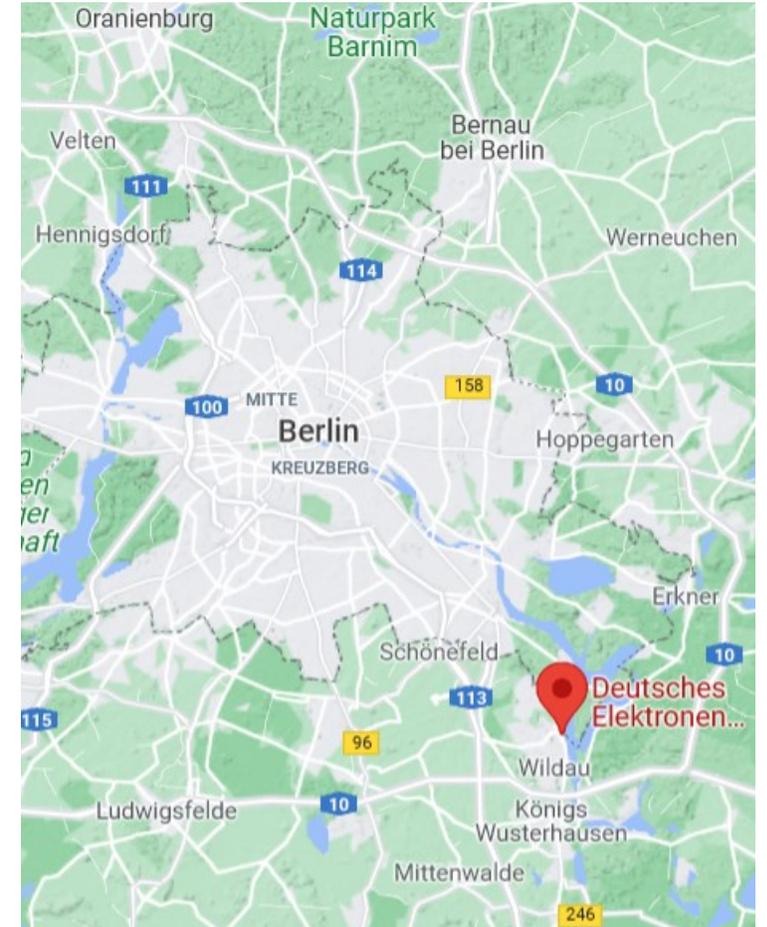
Fermi Gamma-Ray Space Telescope (Weltraum)



ICE-Cube Experiment (Antarktis)

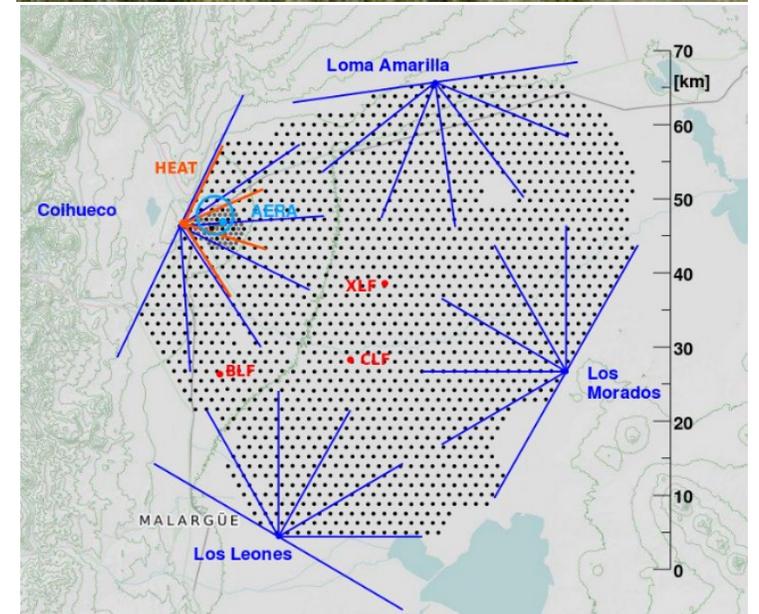
H.E.S.S. – High Energy Stereoscopic System (Namibia)

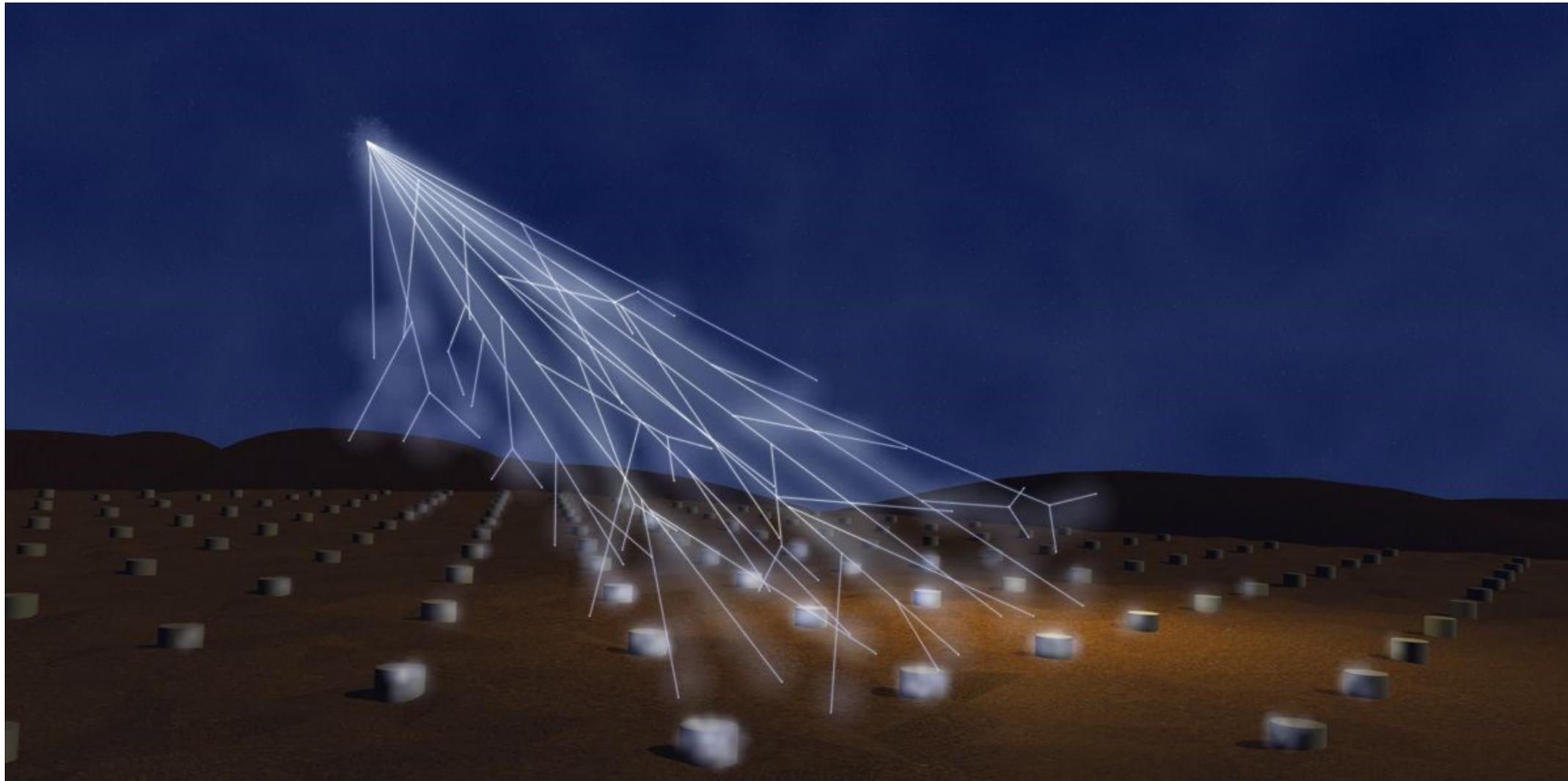
Und weltweit verteilte Arbeitsplätze



Pierre Auger Observatorium

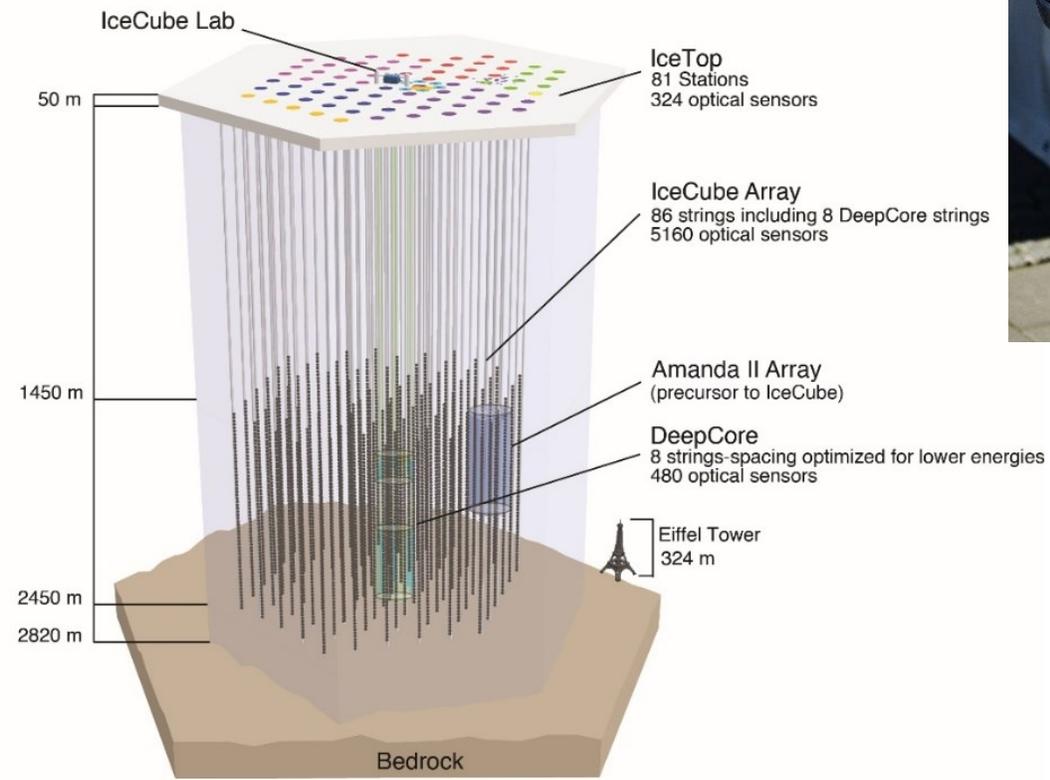
- Versuchsanlage besteht aus
 - Oberflächendetektor (1660 Stationen)
 - dem Fluoreszenzdetektor (27 Teleskope)
 - Radioantennen (150 Antennen)
 - Myonen-Detektoren
- ▶ Fläche Insgesamt 3000 km²
- ▶ Lage: Argentinien, Pampa
- (Indirekte) Messung von Protonen mit Energien von 10^{17} eV bis 10^{20} eV





IceCube – Neutrinos messen am Südpol

- 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



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

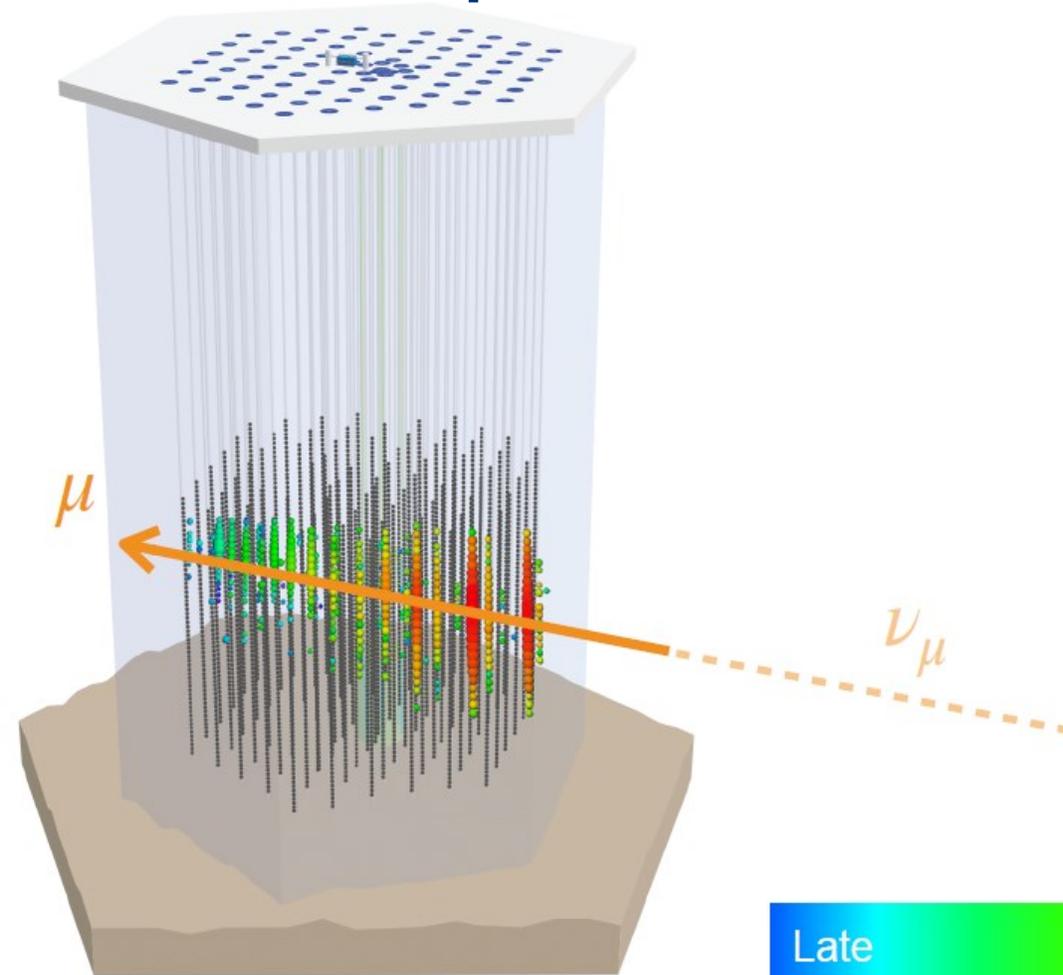
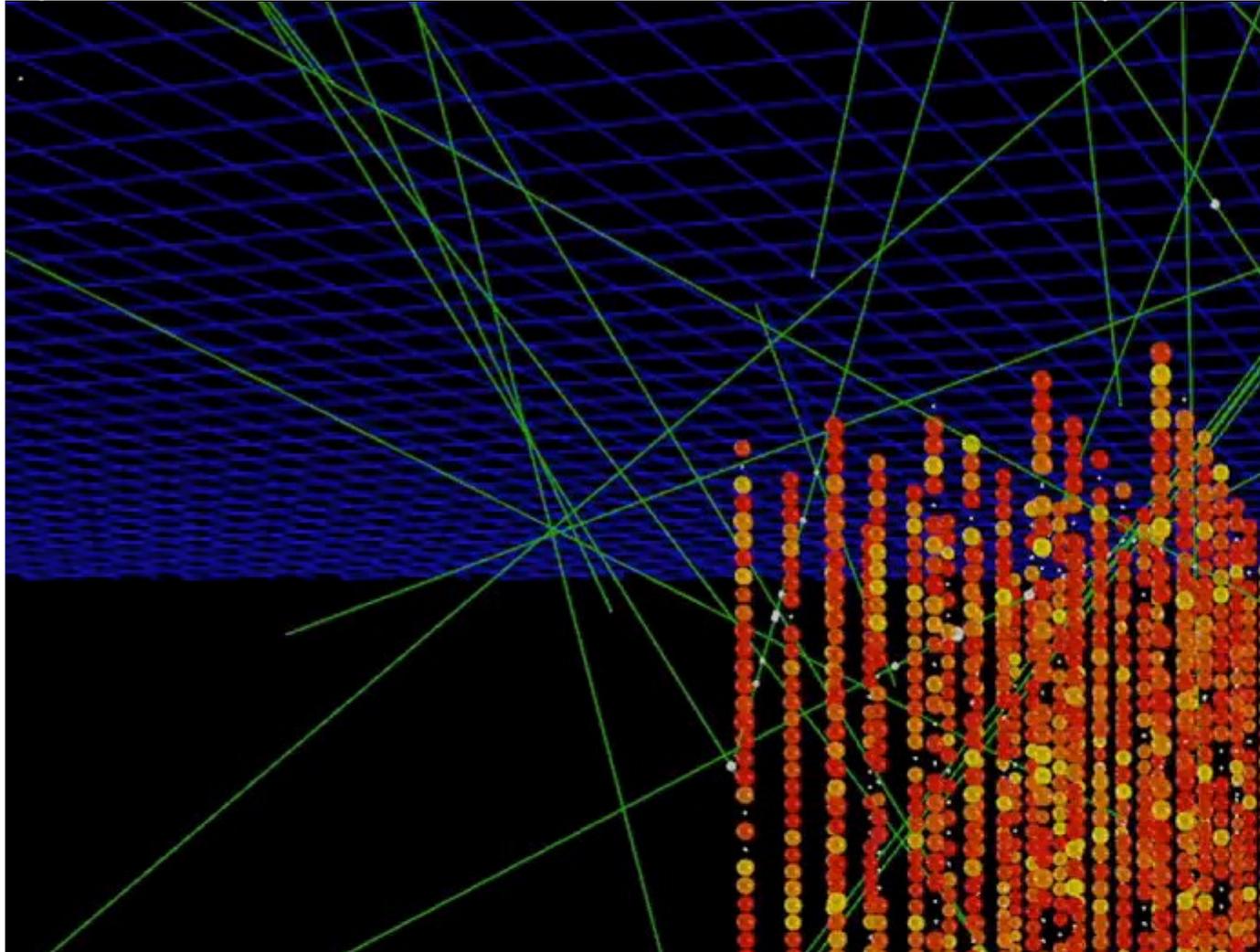


Abb.: Cristina Lagunas Gualda,
<https://arxiv.org/abs/1612.05093>

Late

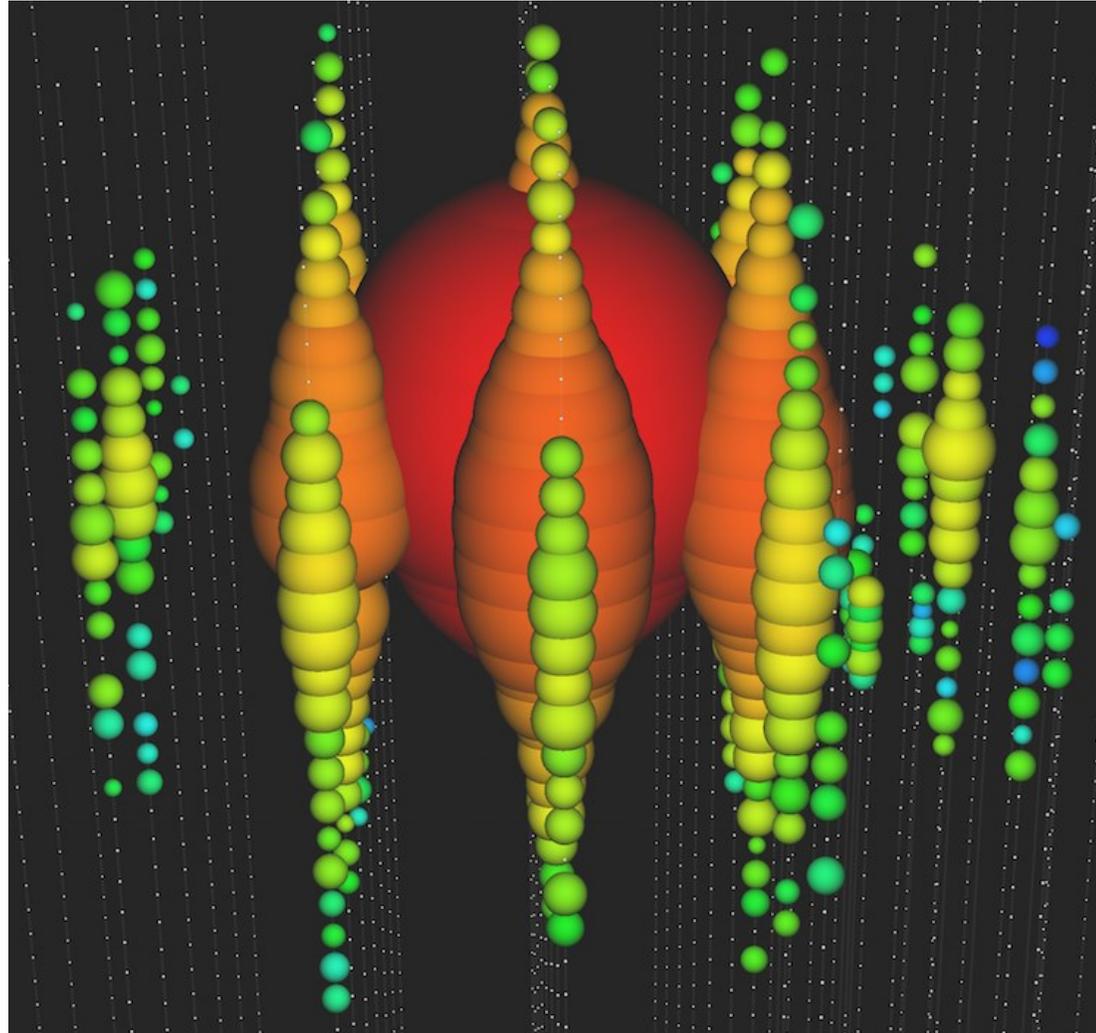
Early

IceCube – 0.01 Sekunden Daten (ungefiltert)



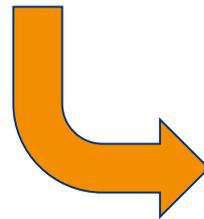
Mehr zu IceCube:
<https://icecube.wisc.edu>

IceCube – ein Ereignis



Aktualität und Interesse

- In der Vergangenheit war die Higgs-Suche und -Entdeckung öffentlichkeitswirksam und hat Interesse bei Jugendlichen und der Gesellschaft erzeugt.
- In jüngster Vergangenheit waren es eher astrophysikalische Themen: Gravitationswellen, Multimessenger-Astronomie, „Foto“ vom schwarzen Loch.
- Gerade in der Multimessenger-Astronomie sind in der Zukunft bahnbrechende Beobachtungen zu erwarten.



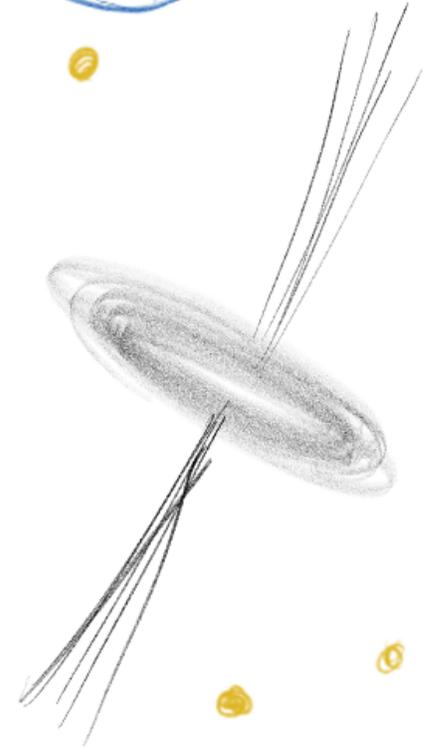
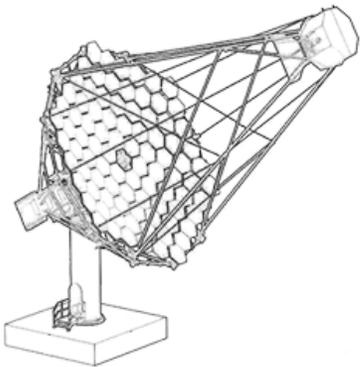
Studium eines kosmischen Objektes durch verschiedene kosmische Boten und durch Forschende aus unterschiedlichen Disziplinen



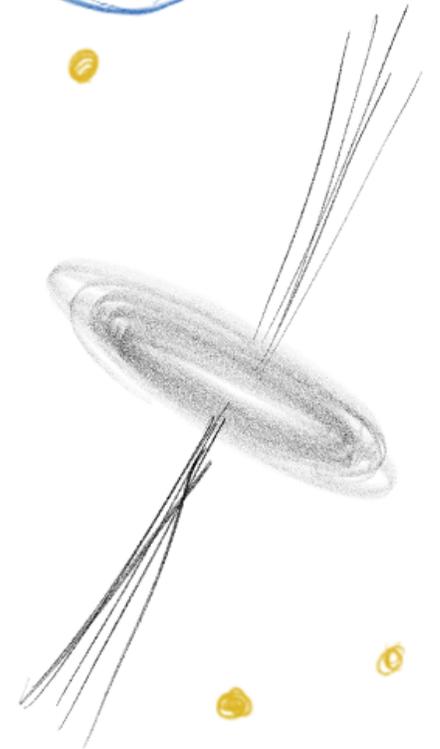
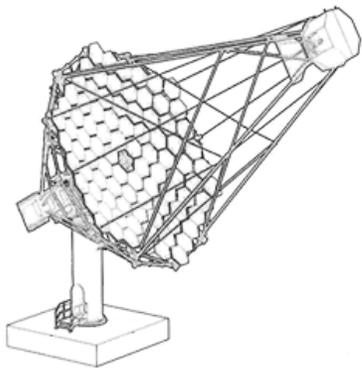
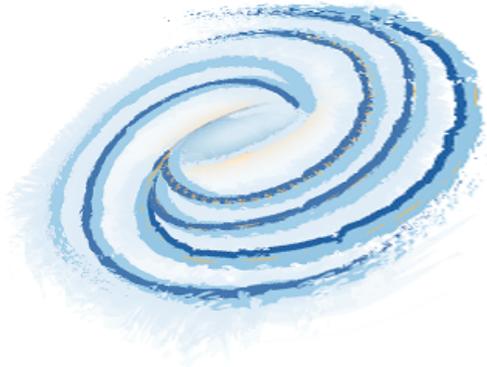
Aktualität und Interesse

- Interesse von Jugendlichen an astrophysikalischen Themen und offenen Fragen ist hoch (z. B. ROSE-Studie, siehe auch Elster, D. (2007). *In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant.* Plus Lucis, 3(2007), 2-8.)
- Astroteilchenphysikalische Forschung scheint guter Kontext für den Schulunterricht zu sein

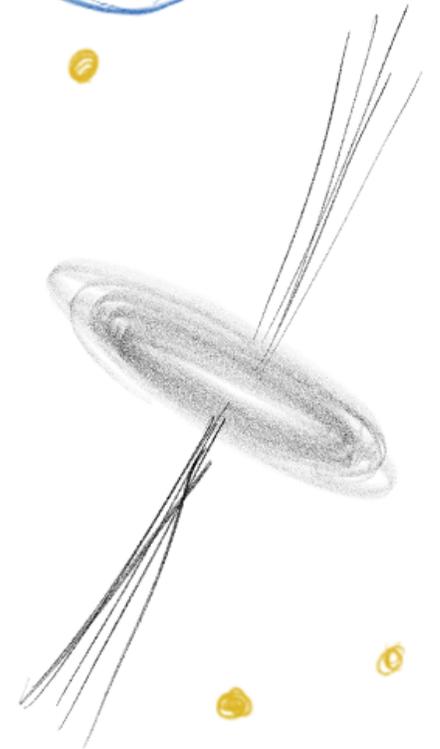
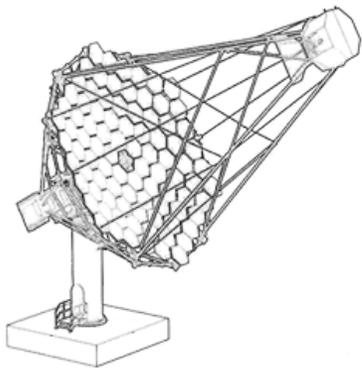
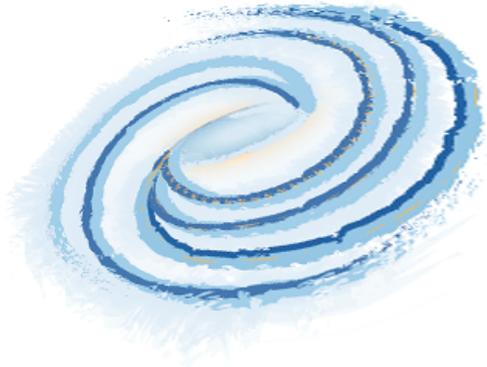
Cosmic@Web - Tools zur Online-Analyse

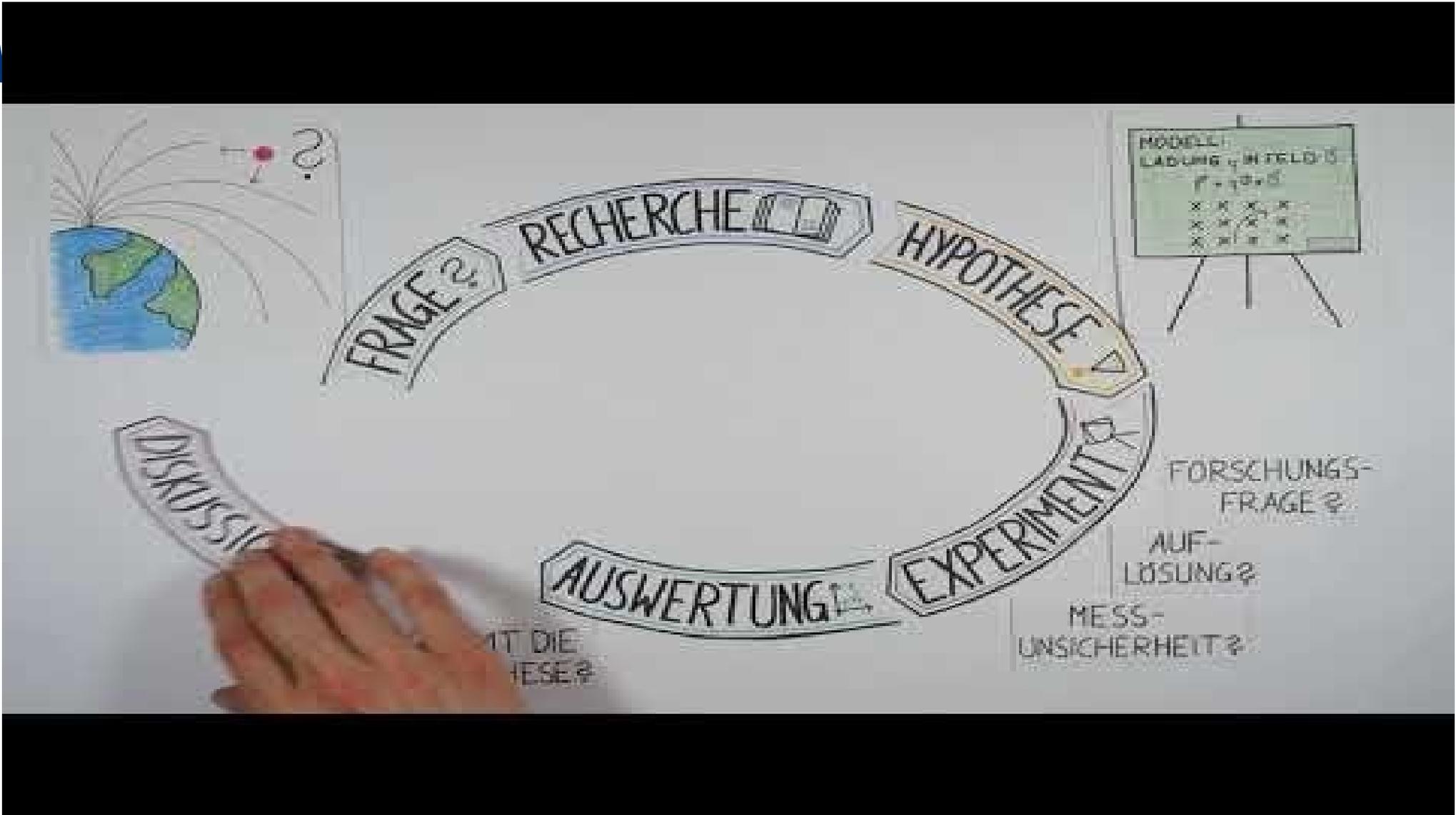


OHNE PROGRAMMIERKENNTNISSE UND
TROTZDEM MIT
DEN MEISTEN ESSENZIELLEN
MÖGLICHKEITEN ZUR DATENANALYSE



ABER AUCH PROGRAMMIER-
BEGEISTERTE SCHÜLER:INNEN
KOMMEN AUF IHRE KOSTEN, Z. B. BEI
DER WEITERENTWICKLUNG VON
COSMIC@WEB

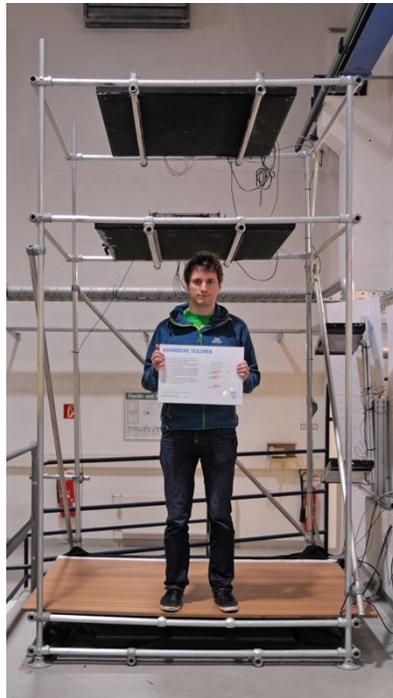




Experimente bei Cosmic@Web

Experimentelle Daten zur Untersuchung von kosmischen Teilchen, u. a.:

- Lebensdauer von Myonen
- Abhängigkeiten der Myonenrate von unterschiedlichen Faktoren



Unterstützendes Unterrichtsmaterial

Netzwerk Teilchenwelt, Band 3: Kosmische Strahlung

- 32 Seiten
- Fokus: Untersuchung von Myonen
- Hintergrundinfos für Lehrkräfte
- Fachtext für Schüler/innen
- Aktivitäten, Aufgaben und Lösungen
- <https://www.teilchenwelt.de/material/band3/>

2 INFORMATIONEN FÜR LEHRKRÄFTE

2.1 INHALTLICHE ANKNÜPFUNGSPUNKTE IM LEHRPLAN

Siehe untenstehende Tabelle für die im Lehrplan der gymnasialen Mittelstufe (Klassenstufe 10) enthaltenen Inhalte.

2.2 VORLEHRERZEUGE

Die Schüler sollen sich eine Vorstellung von der Natur der Myonen machen können. Sie sollen die folgenden Punkte verstehen können:

- Beziehung von Myonen zur Kosmischen Strahlung
- Myonen sind Teilchen der Kosmischen Strahlung
- Myonen sind Teilchen der Kosmischen Strahlung
- Myonen sind Teilchen der Kosmischen Strahlung

2.3 LEHRMATERIAL

Das Material enthält Hintergrundinformationen zur Kosmischen Strahlung und Myonen. Es enthält auch Aufgaben und Lösungen.

3.3 WOHER KOMMEN DIE MYONEN?

Myonen sind Teilchen der Kosmischen Strahlung. Sie entstehen durch die Wechselwirkung von hochenergetischen Teilchen mit der Atmosphäre.

3.3.1 Bestimmung der Lebensdauer von Myonen

Die Lebensdauer eines Myons ist die Zeit, die es lebt, bevor es zerfällt. Sie kann durch die Messung der Anzahl der Myonen vor und nach einer bestimmten Strecke bestimmt werden.

3.3.2 Berechnung der Lebensdauer von Myonen

Die Lebensdauer eines Myons kann durch die Messung der Anzahl der Myonen vor und nach einer bestimmten Strecke bestimmt werden. Die Lebensdauer ist die Zeit, die ein Myon lebt, bevor es zerfällt.

3.3.3 Berechnung der Lebensdauer von Myonen

Die Lebensdauer eines Myons kann durch die Messung der Anzahl der Myonen vor und nach einer bestimmten Strecke bestimmt werden. Die Lebensdauer ist die Zeit, die ein Myon lebt, bevor es zerfällt.

AUFGABEN

1. EXPERIMENTELLE ERMITTLUNG DER MITTLEREN LEBENSDAUER VON MYONEN

Die Lebensdauer eines Myons kann durch die Messung der Anzahl der Myonen vor und nach einer bestimmten Strecke bestimmt werden. Die Lebensdauer ist die Zeit, die ein Myon lebt, bevor es zerfällt.

2. BERECHNUNG DER LEBENSDAUER VON MYONEN

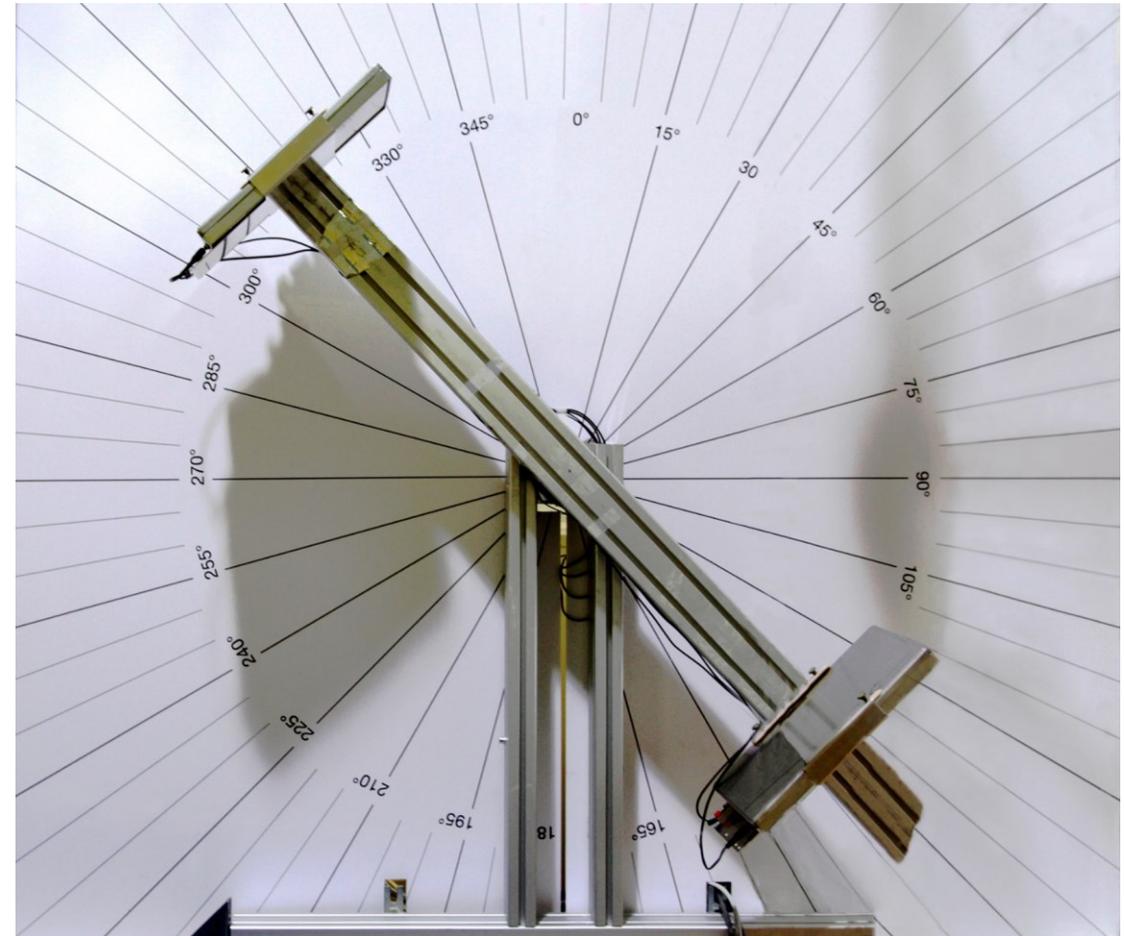
Die Lebensdauer eines Myons kann durch die Messung der Anzahl der Myonen vor und nach einer bestimmten Strecke bestimmt werden. Die Lebensdauer ist die Zeit, die ein Myon lebt, bevor es zerfällt.

3. BERECHNUNG DER LEBENSDAUER VON MYONEN

Die Lebensdauer eines Myons kann durch die Messung der Anzahl der Myonen vor und nach einer bestimmten Strecke bestimmt werden. Die Lebensdauer ist die Zeit, die ein Myon lebt, bevor es zerfällt.

Anknüpfungspunkte an Curriculumsinhalte

- ▶ Mit CoSMO-Detektoren aufgenommene Daten sind auch in Cosmic@Web zugänglich.
- ▶ Hier aber insbesondere zur Bestimmung der Abhängigkeit der Myonenrate vom Einfallswinkel.
- ▶ Bezug zu:
 - Wechselwirkung kosmischer Strahlung mit Materie
 - Anwendung: Myonentomografie



Anknüpfungspunkte an Curriculumsinhalte

- ▶ Bestimmung der Lebensdauer von Myonen in Cosmic@Web mit LiDO-Experiment. (Liquid Scintillation Muon Decay Observer)
- ▶ Bezug zu:
 - Spezielle Relativitätstheorie (Zeitdilatation)
 - Zerfallsgesetz
 - Regressionsanalyse





<https://cosmicatweb.desy.de>



Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

Suche:



[DESY HOME](#) | [FORSCHUNG](#) | [AKTUELLES](#) | [ÜBER DESY](#) | [KARRIERE](#) | [KONTAKT](#)



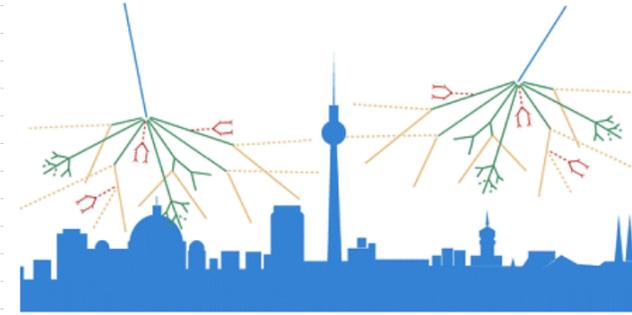
- [HOME](#)
- [DESY-TOUR](#)
- [SCHÜLERLABORE](#)
 - [Standort Hamburg](#)
 - [Standort Zeuthen](#)
 - [Aktuelles](#)
 - [Luft und Vakuum](#)
 - [Kosmische Teilchen](#)
 - [Grundlagen](#)
 - [Experimente](#)
 - [Cosmic@Web](#)
 - [> Tools zur Online Analyse](#)
 - [> Dokumentation](#)
 - [> Datensatzbeschreibungen](#)
 - [Wissenschaftlich Arbeiten](#)
 - [Glossar](#)
 - [Materialien und Links](#)
 - [Lehrerfortbildung](#)
 - [Erklärvideos](#)
 - [Unterrichtsmaterialien](#)
 - [Studentenjobs](#)
 - [Mitarbeiter](#)
 - [Anfahrt](#)

- [LEHRERFORTBILDUNG](#)
- [BETRIEBSPRAKTIKUM](#)
- [ÖFFENTLICHE VORTRÄGE](#)
- [MINT FÜR MÄDCHEN](#)
- [SPECIAL EVENTS](#)
- [PARTNER UND NETZWERKE](#)
- [MEHR WISSEN](#)



Home / Schülerlabore / Standort Zeuthen / Kosmische Teilchen / Cosmic@Web

Cosmic@Web - Tools zur Online-Analyse



Ganz ohne Programmierkenntnisse und bequem vom heimischen Laptop aus können nun auch Schülerinnen und Schüler wie ein Astroteilchenphysiker arbeiten. Daten von vereinfachten Experimenten zur Messung kosmischer Teilchen, die zum Großteil am DESY in Zeuthen betrieben werden, fließen in Cosmic@Web ein und bieten so einen einfachen Zugriff auf reale Langzeitmessungen.

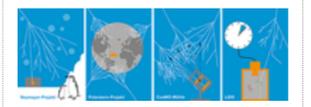
Sowohl in der Wissenschaft als auch an Schulen ist es nicht immer möglich, das Experiment, mit dem man forschen möchte, vor Ort zu haben. Vor allem Großexperimente in der Teilchen- und Astroteilchenphysik sind so komplex und teuer, dass sie jeweils nur einmal gebaut werden und dafür alle beteiligten Forschungsgruppen zusammenarbeiten. Beispiele für die Beteiligung von DESY an solchen Projekten sind das IceCube-Experiment in der Antarktis, die Experimente am Large Hadron Collider (LHC) am CERN und das geplante Cherenkov Telescope Array (CTA). Bei Astroteilchenexperimenten gibt es außerdem zusätzliche Einschränkungen für die Standortwahl. Faktoren wie z.B. Platzbedarf, vorhandene Infrastruktur, jährliche Wetterbedingungen oder der Einfluss von Streulicht spielen dabei eine entscheidende Rolle. Oft liegen dadurch mehrere Stunden Flug- und Reisezeit zwischen Büro und Forschungsstation. Allerdings ist es auch nicht immer notwendig, seinen Arbeitsplatz neben dem Experiment zu haben. Für die Betrachtung und Erforschung der kosmischen Teilchen sind insbesondere Langzeitmessungen erforderlich, um eine geeignete Statistik zu erhalten.



Erklärvideo
In diesem Video erklären wir, was Astroteilchenphysik ist und wie du mit Cosmic@Web arbeiten kannst.



[Datenauswertung](#)



[Dokumentation](#)

Fragen zur Nutzung?
[Dann schreib uns!](#)



Heute: Myonenmessung auf der Polarstern



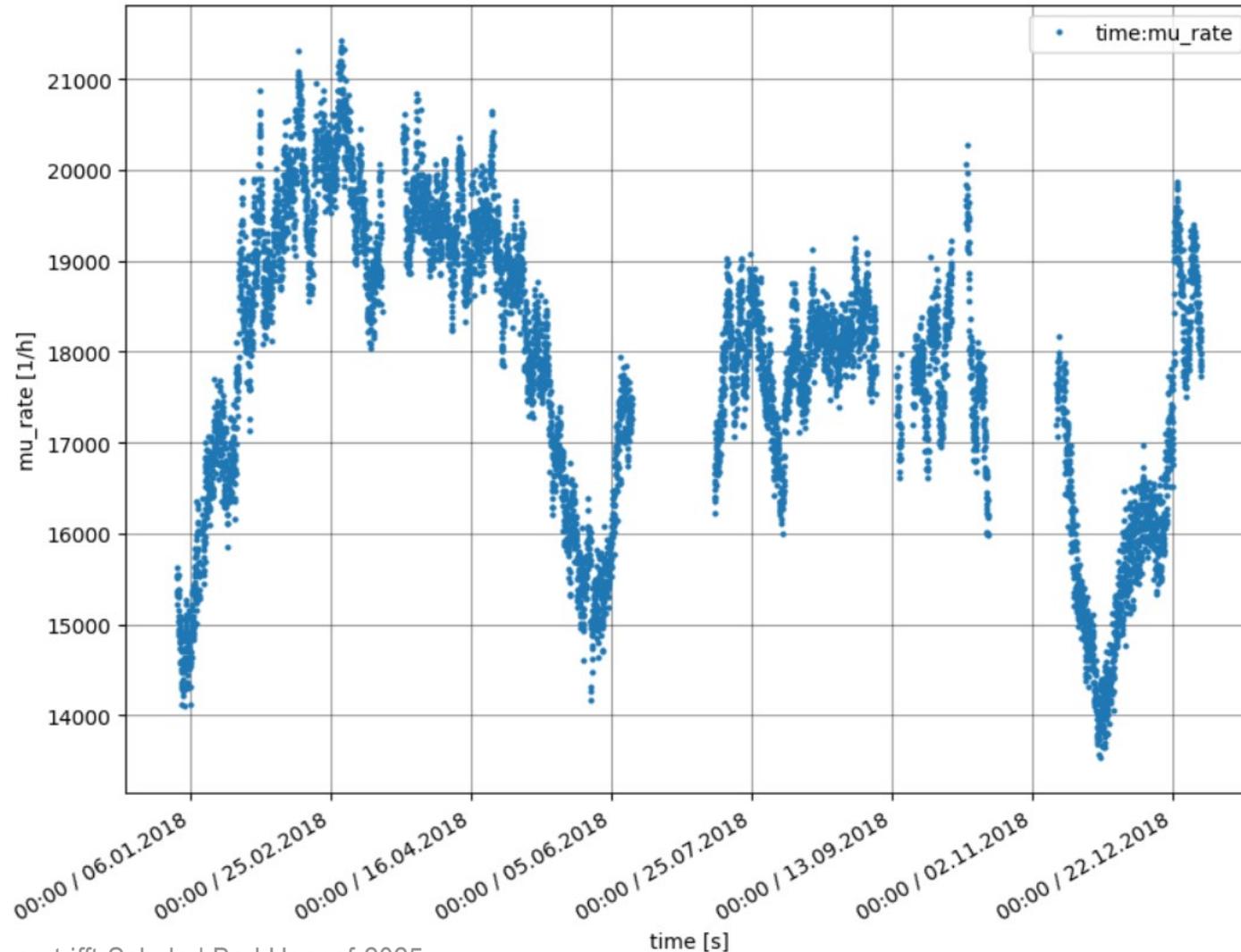


Aufgabe

Diskutiert darüber, was im Diagramm dargestellt ist und wie das Diagramm interpretiert werden kann.

Formuliert eine Hypothese, wie ein für euch interessanter Aspekt der Datenverteilung erklärt werden könnte.

Myonenrate in Abhängigkeit der Zeit (Datensatz 2018)



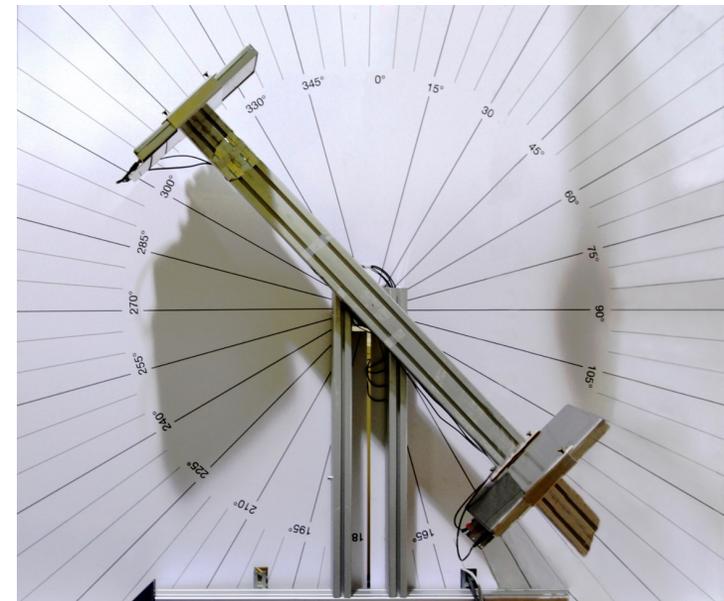


Einsatzmöglichkeiten in der Schule

- Gemeinsame Hypothesenbildung und -überprüfung im Unterrichtsgespräch bzw. Kleingruppen analog zum Vorgehen heute
 - Auswertung und Vergleich verschiedener Datensätze eines Experiments durch verschiedenen Gruppen
 - Bearbeitung gleicher Fragestellungen mit Daten unterschiedlicher Experimente und anschließender Vergleich
 - Umfassende Auseinandersetzung mit Fragestellungen durch einzelne Schüler:innen
- Unterrichtsvortrag, Besondere Lernleistung, Jugend Forscht Arbeit, ...

Aufgabenstellung – CosMO-Mühle

- ▶ Informiert euch in der „Dokumentation“ unter dem Punkt „Experimente“ über den Versuchsaufbau der CosMO-Mühle
- ▶ Führt die Auswertung eines Datensatzes in Cosmic@Web durch. Entscheidet dafür selbst, welche Variablen ihr verwenden wollt und welcher Diagrammtyp geeignet sein könnte.
- ▶ Interpretiert die dargestellten Daten.



FOLLOW US

on Social Media

