



WIE ARBEITEN  
WISSENSCHAFTLER:INNEN  
IN DER  
ASTROTEILCHENPHYSIK?

# Astroteilchenphysik und Cosmic@Web

Philipp Lindenau, Tobias Treczoks

Forschung trifft Schule

27.09.2024 | Dillingen



NETZWERK  
TEILCHENWELT

## Warm-up

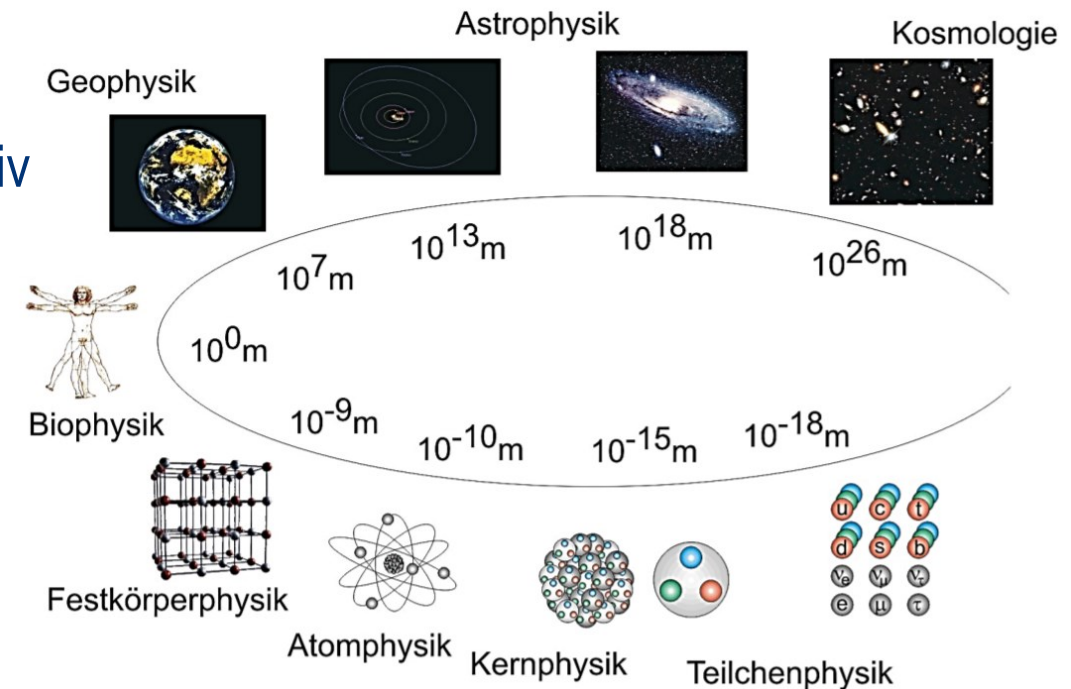
Was fällt Euch zum Wort „Astroteilchenphysik“ ein? Welche Begriffe oder Phänomene verbinden Ihr damit?

<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>

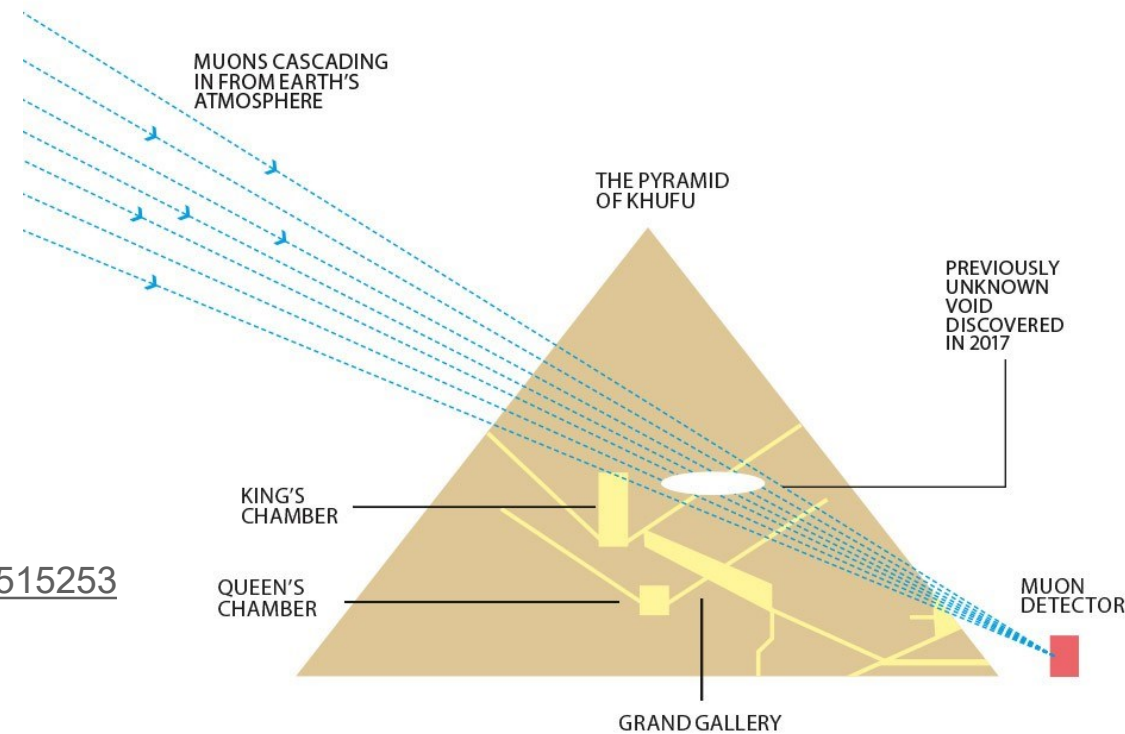
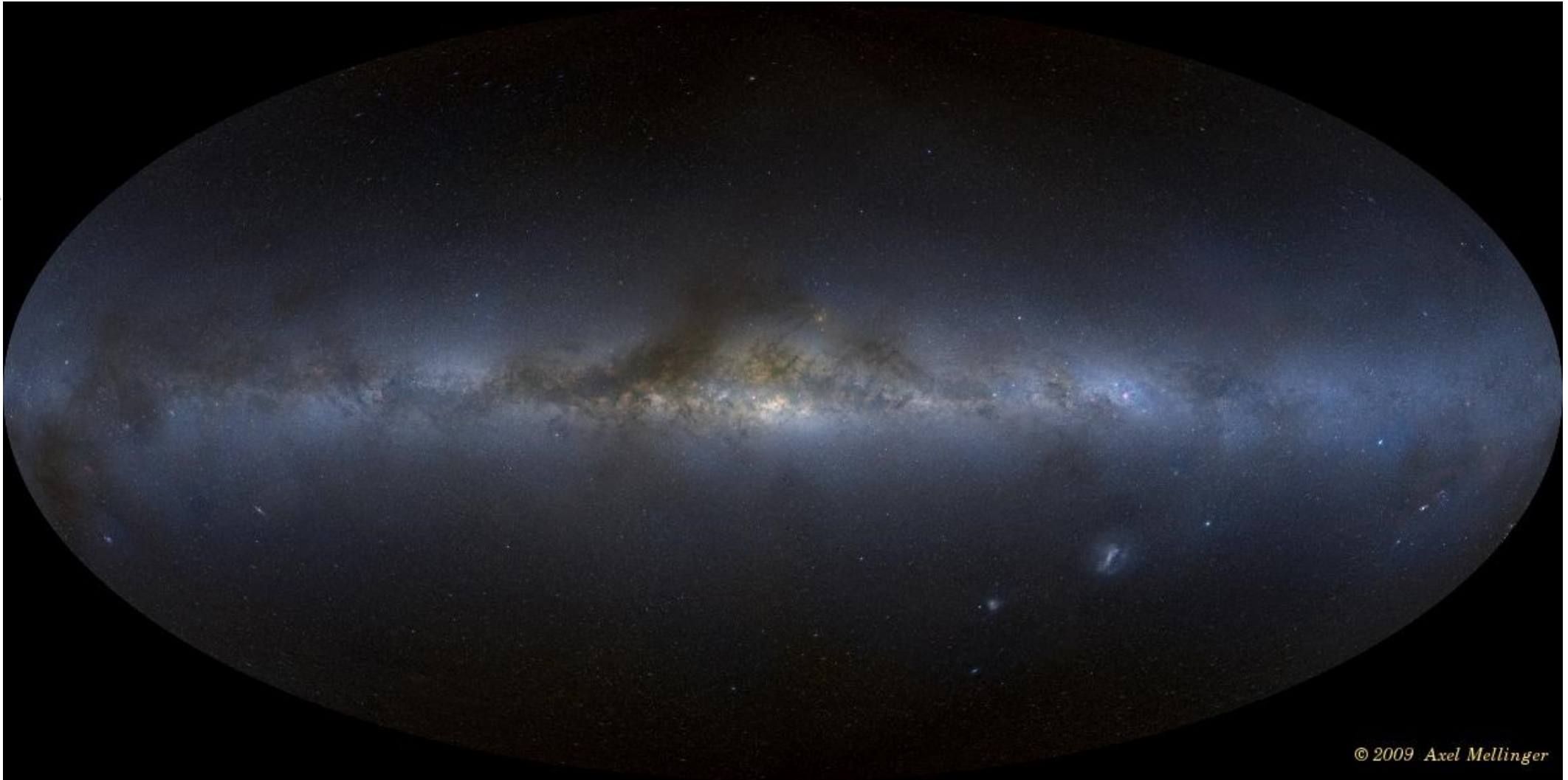


Bild: <https://www.sciencefocus.com/future-technology/how-scientists-are-using-cosmic-radiation-to-peek-inside-the-pyramids>

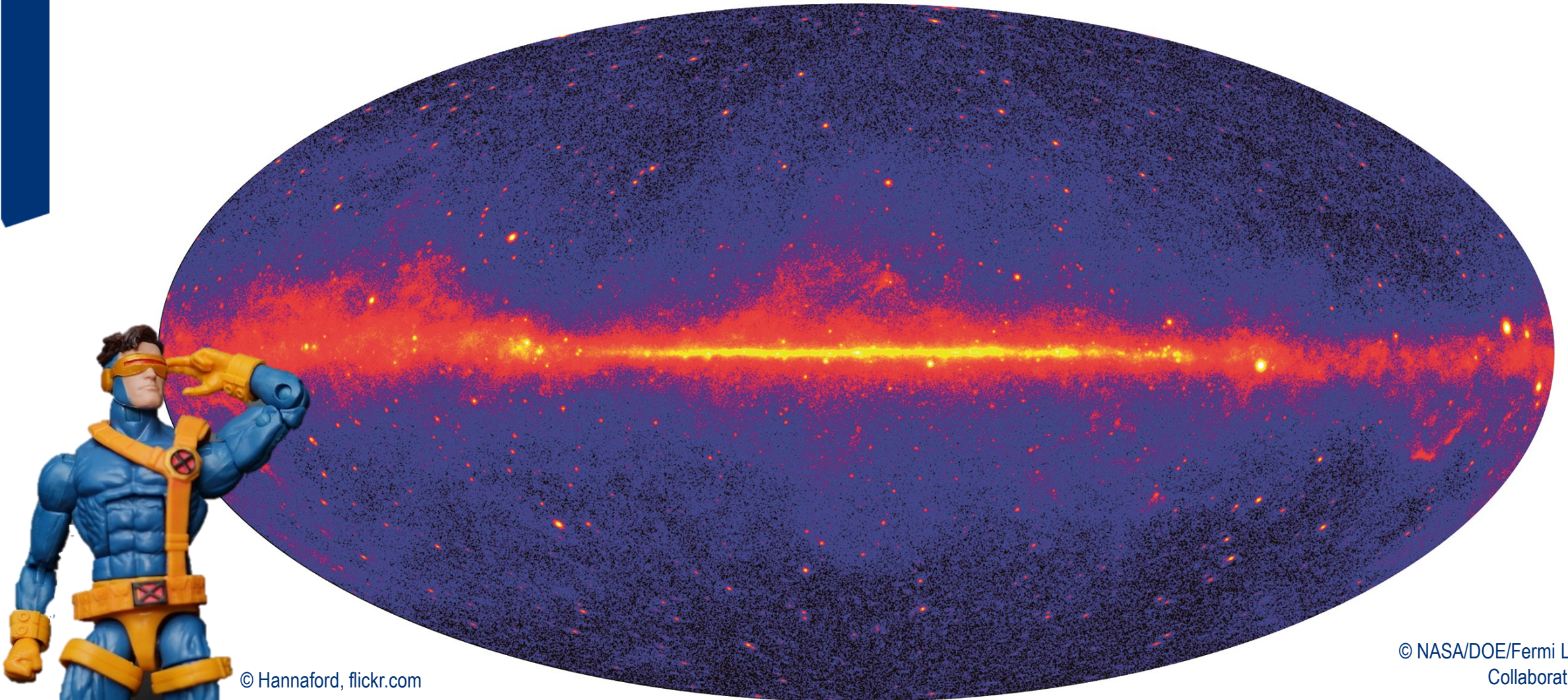


# Unser Universum – Foto des nächtlichen Himmels





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

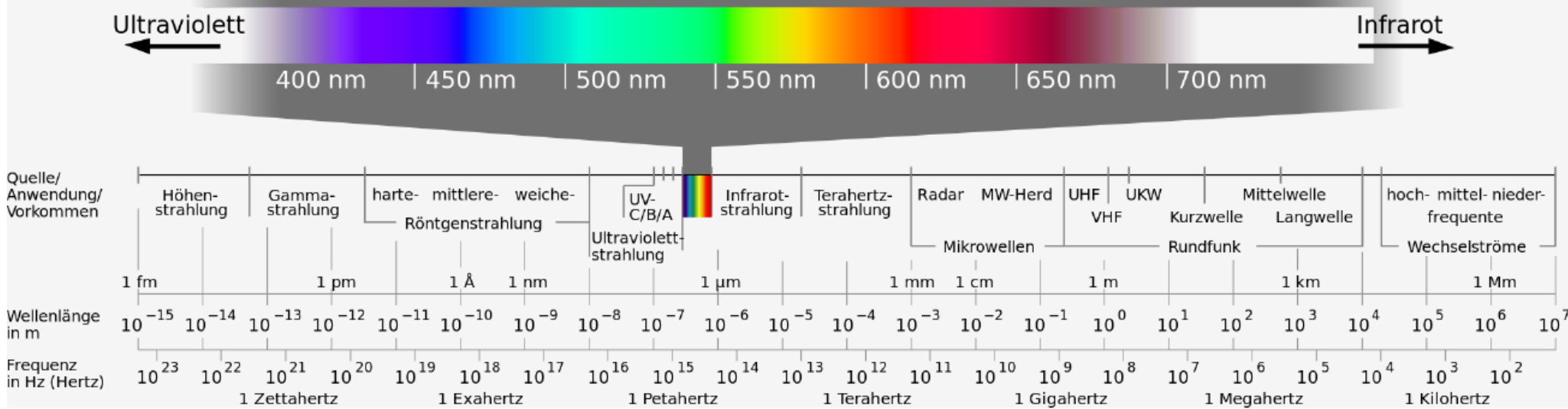


© Hannaford, flickr.com

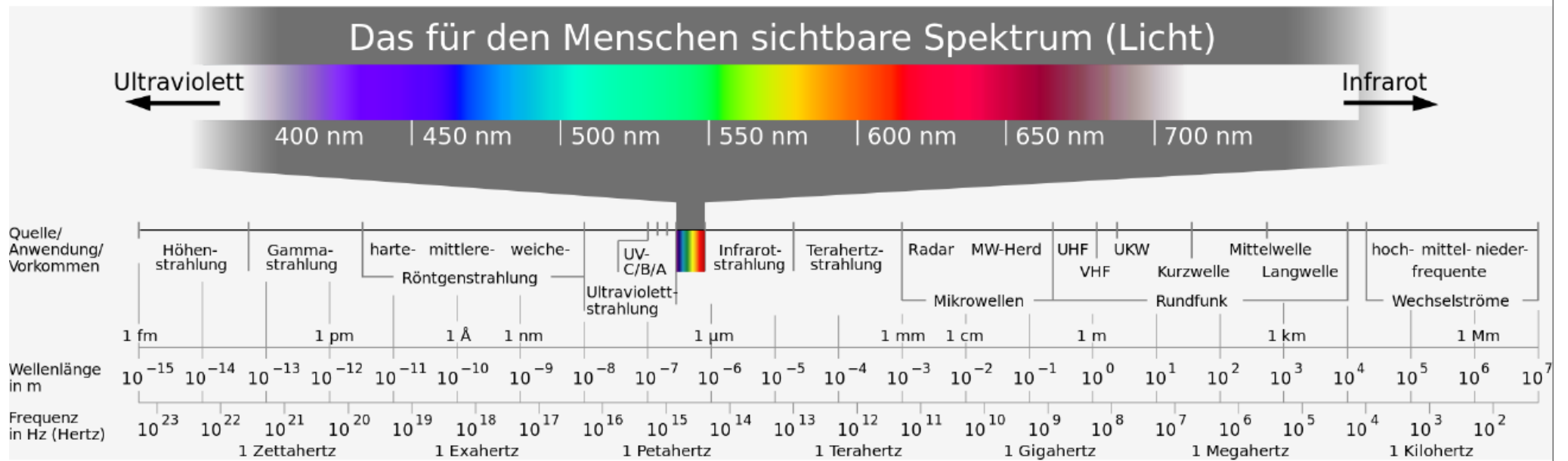
© NASA/DOE/Fermi LAT  
Collaboration



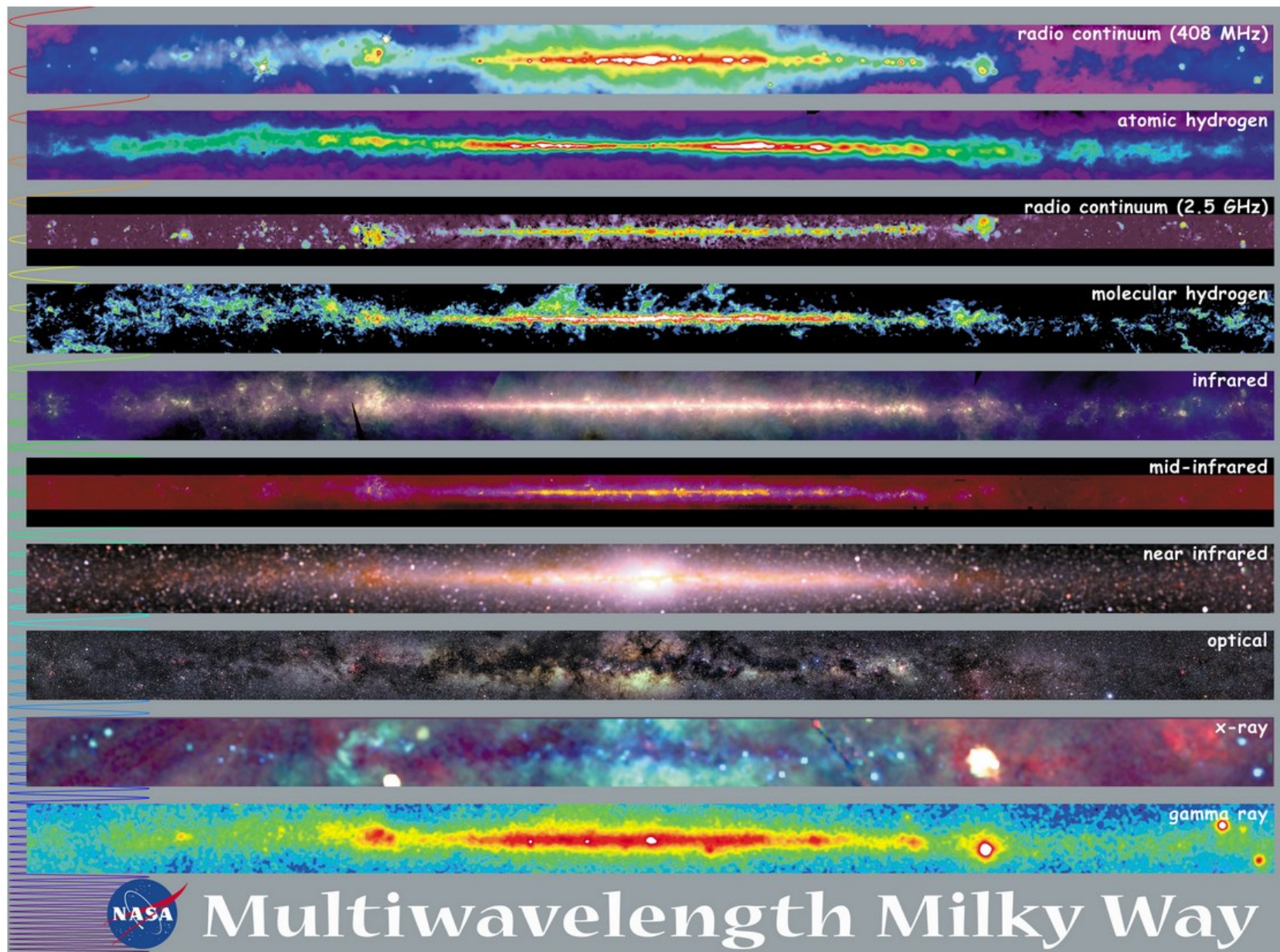
# Das für den Menschen sichtbare Spektrum (Licht)







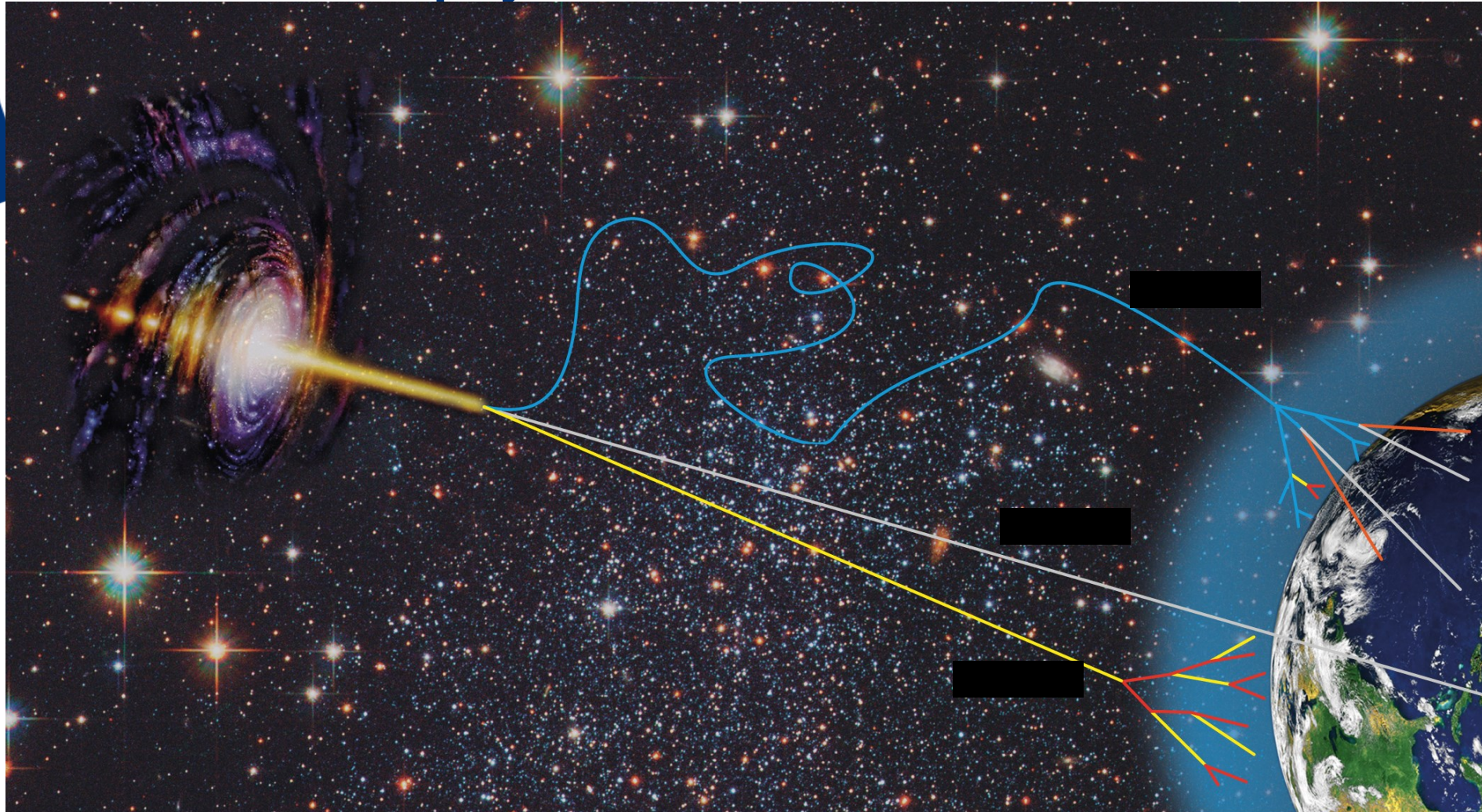
- Nicht nur sichtbares Licht erreicht die Erde, sondern auch Photonen anderer Energiebereiche ( $E = h\nu$ ,  $\lambda = c/\nu$ )



Bilder: NASA  
Grafik: Dieter Hartmann

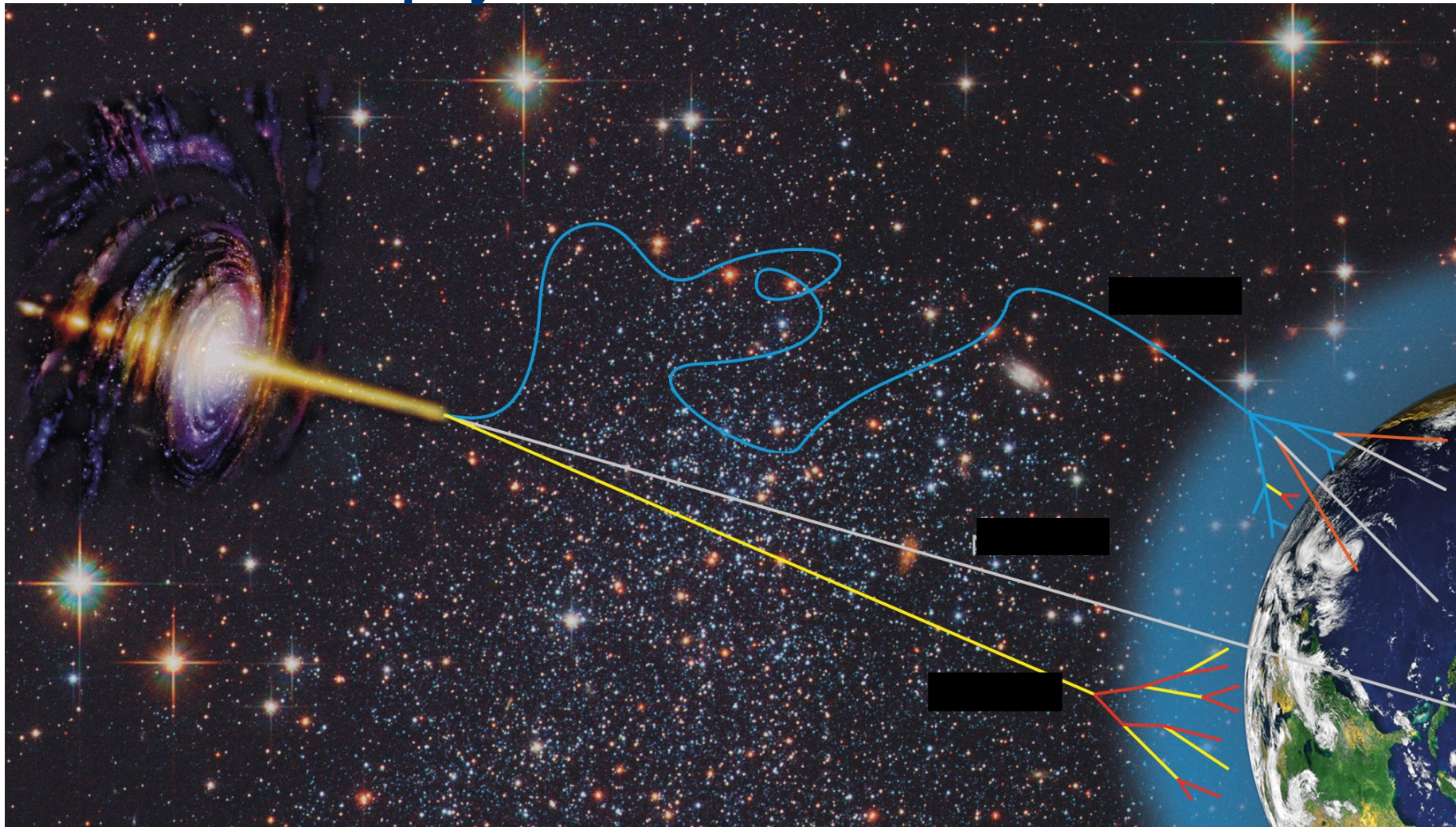


# Astroteilchenphysik – Kosmische Boten





# Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



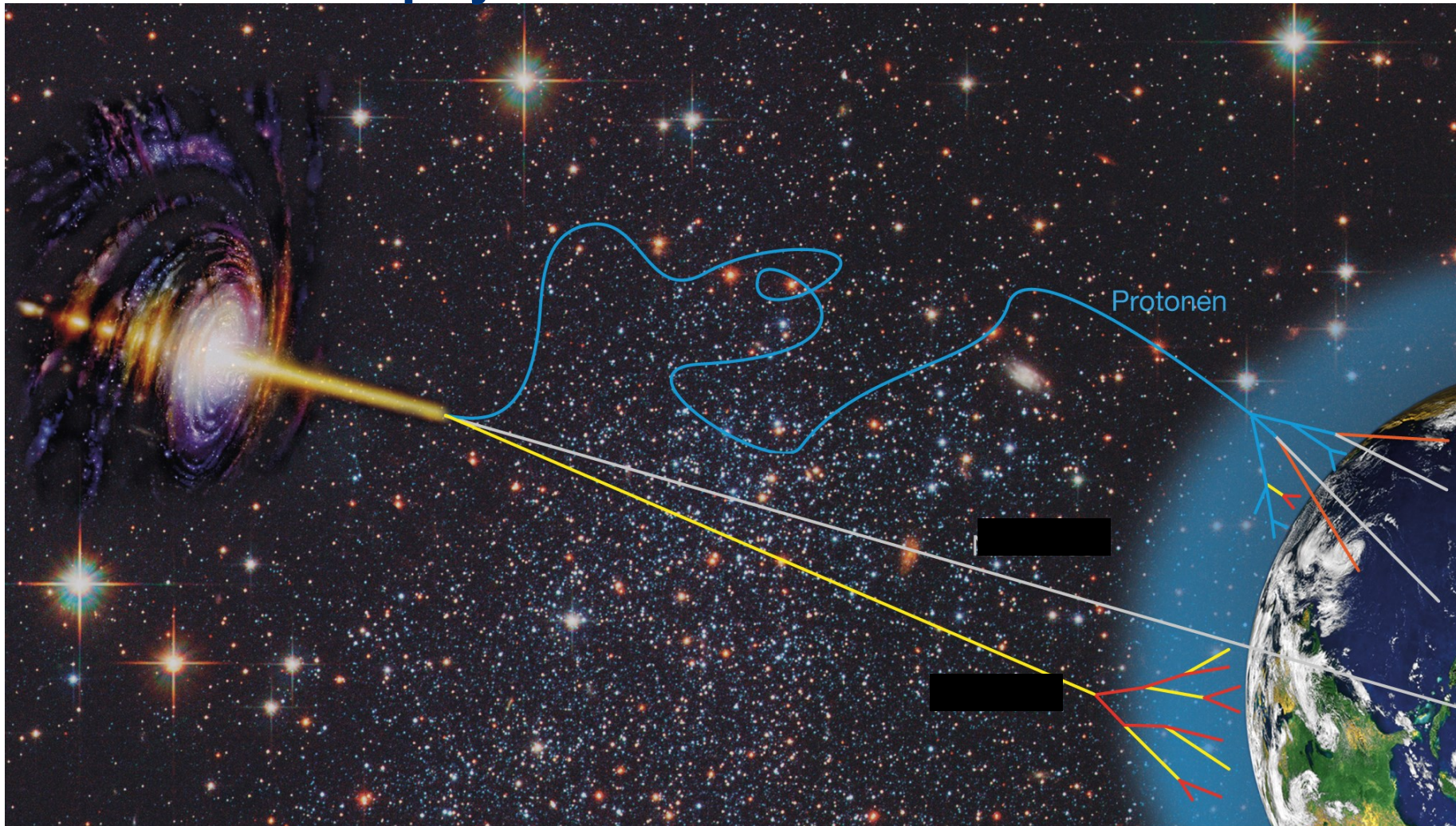
## Quiz

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

- Proton
- Up-Quark
- Photon
- Neutrino



# Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



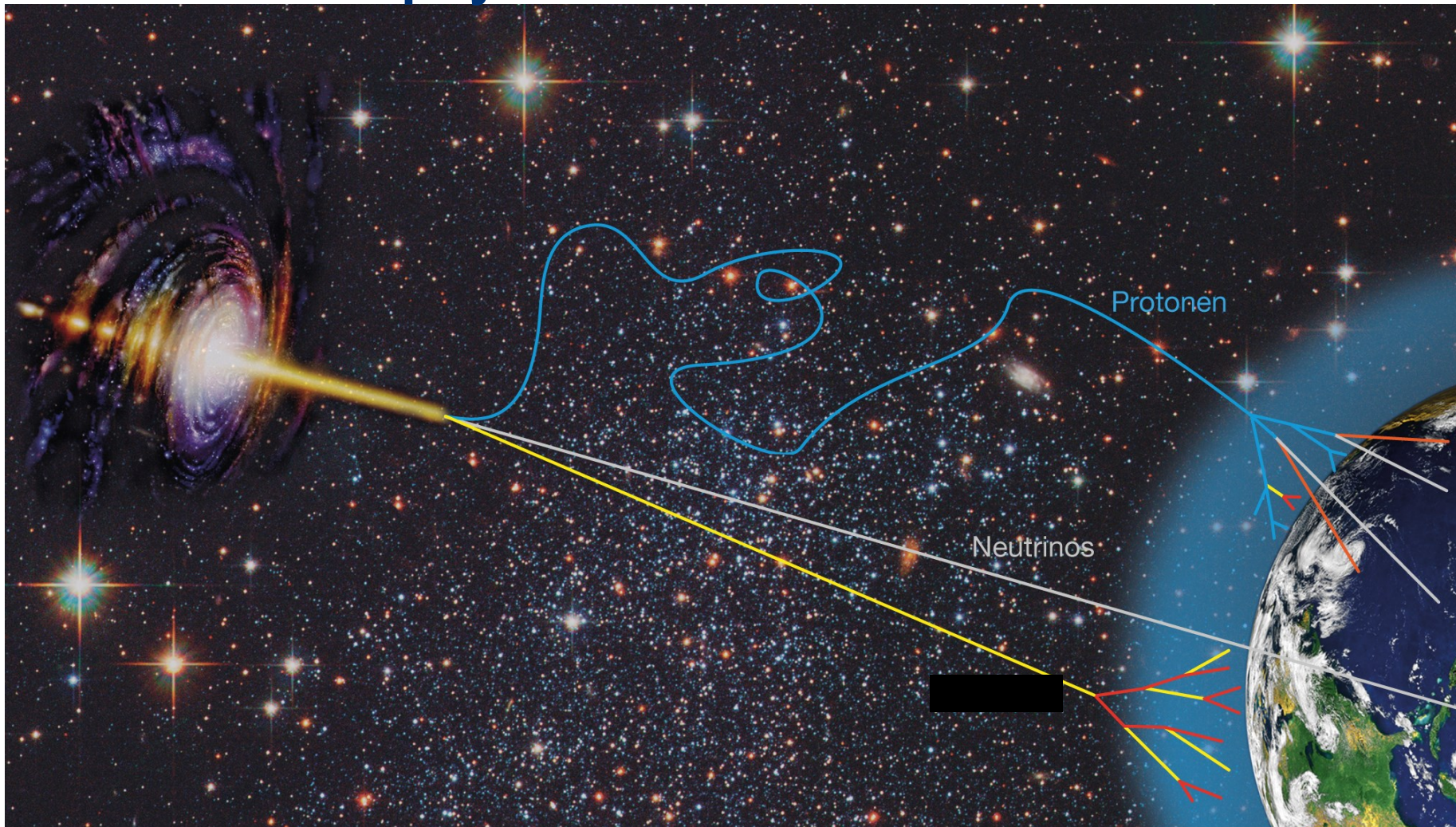
## Quiz

Welches Teilchen passt zur grauen welcher Linie?

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



# Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



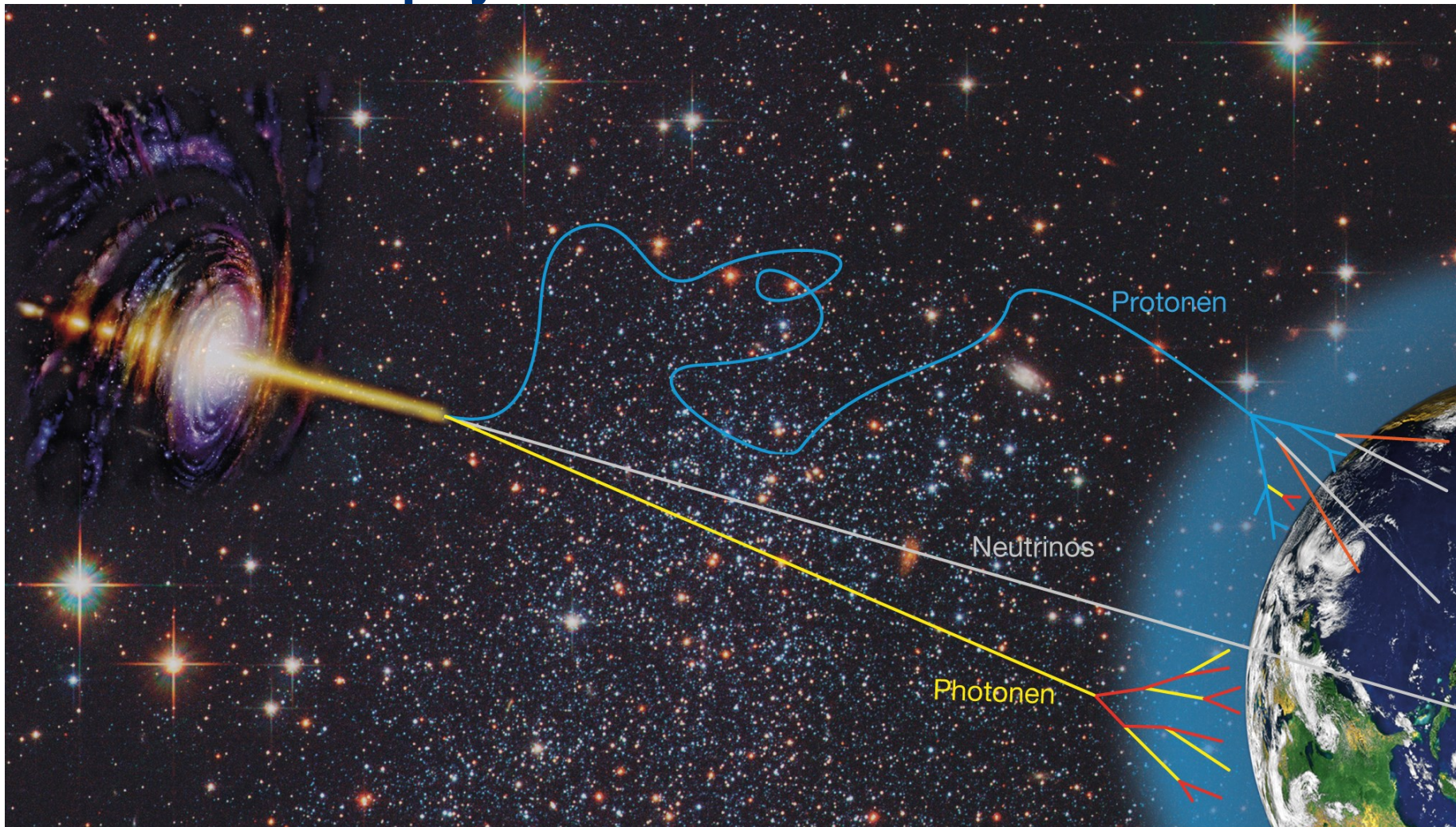
## Quiz

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

- Proton
- Up-Quark
- Photon
- Neutrino



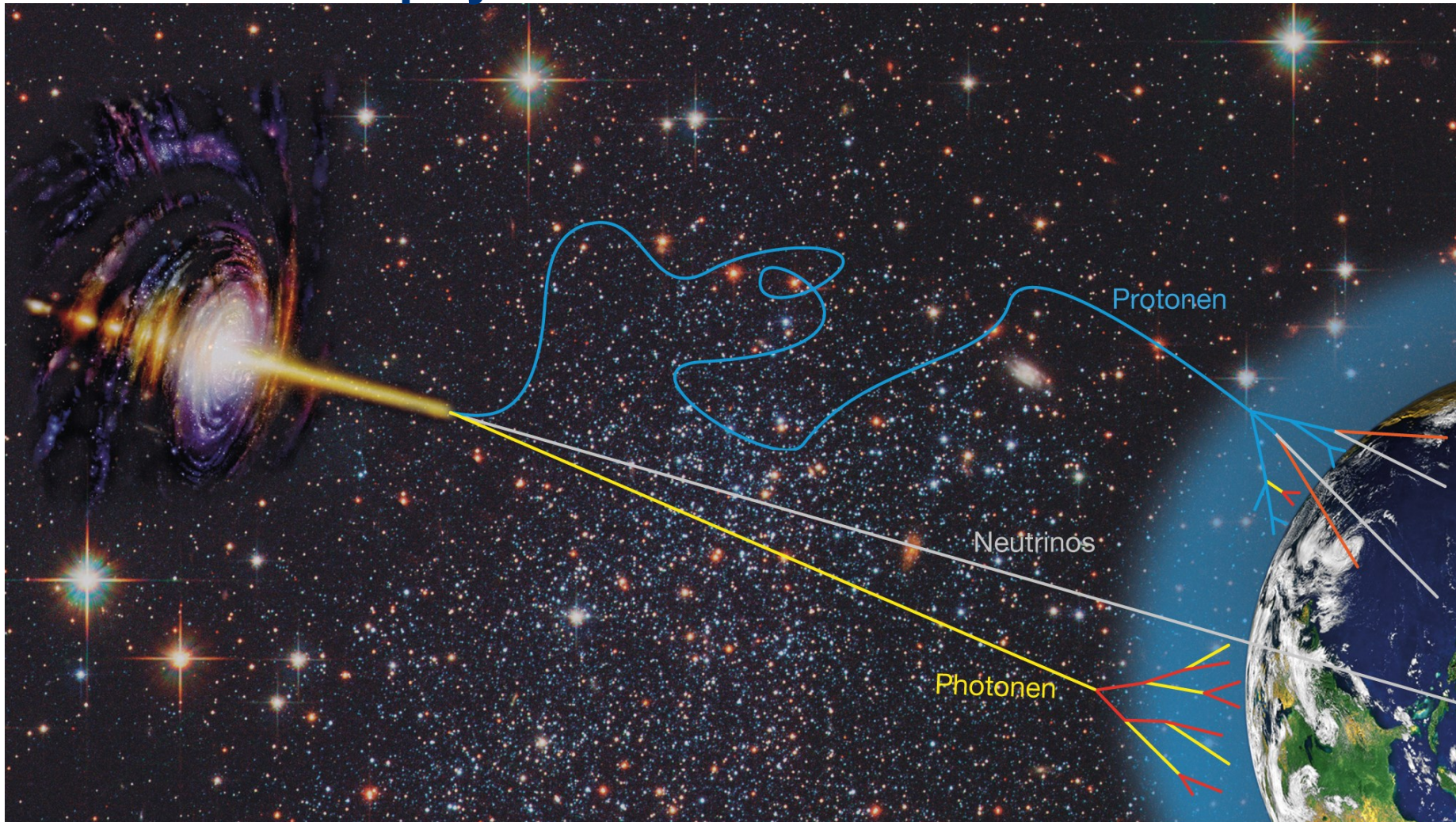
# Astroteilchenphysik – Kosmische Boten



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



# Astroteilchenphysik – Kosmische Boten

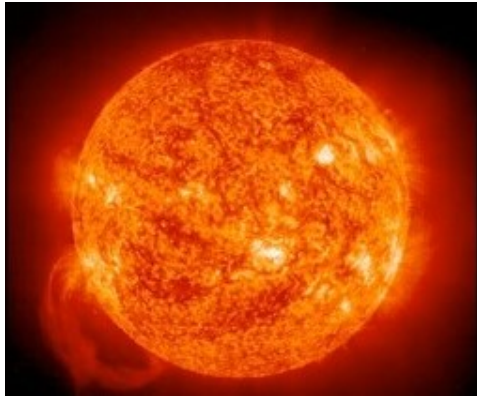


Quarks bewegen sich niemals einzeln durchs Universum sondern immer mit anderen Quarks als zusammengesetzte Teilchen (Confinement)

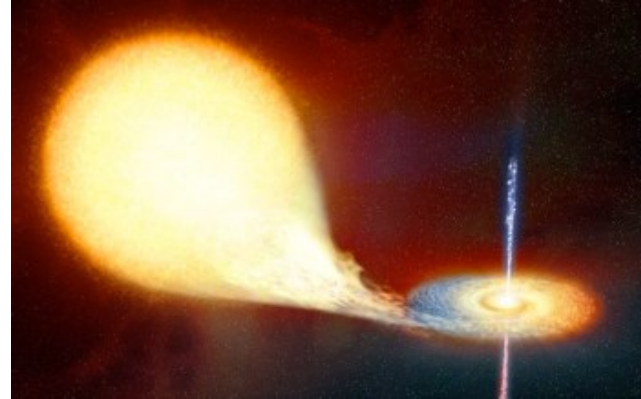


# (Mögliche) Quellen kosmischer Teilchen

Sonne



Supernovaüberreste  
(SN1006, optisch, Radio, Röntgen)

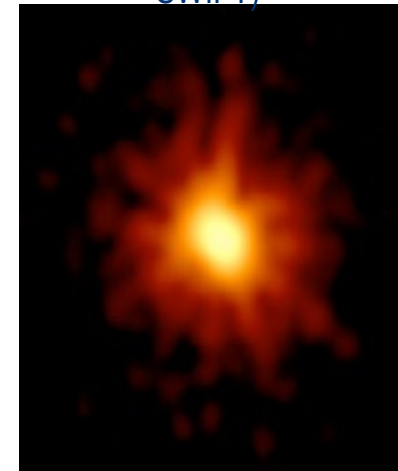


Doppelsternsysteme  
(künstlerische Darstellung)

Aktive Galaxienkerne  
(künstlerische Darstellung)



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

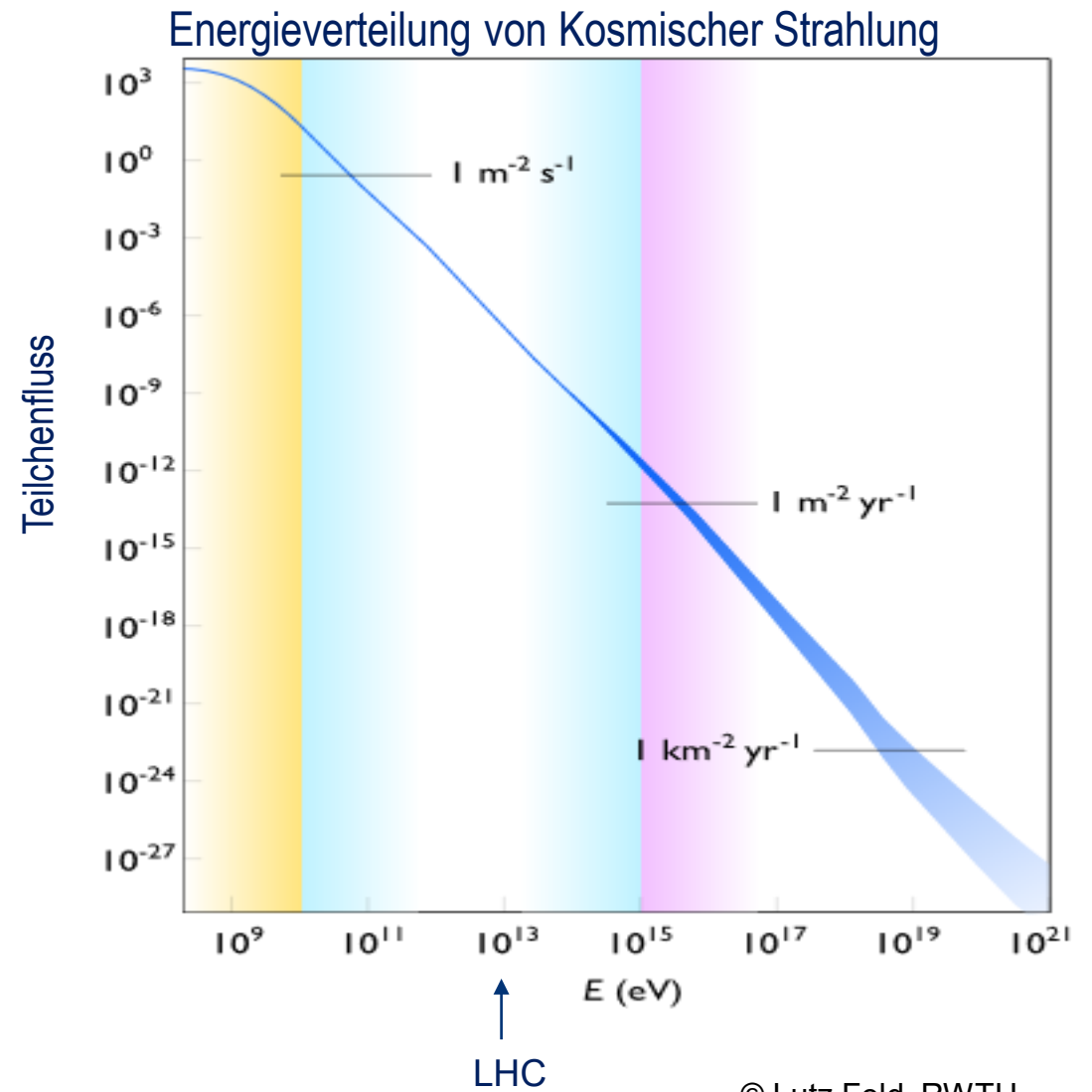


# Kosmische Strahlung

- **Primäre Strahlung:**

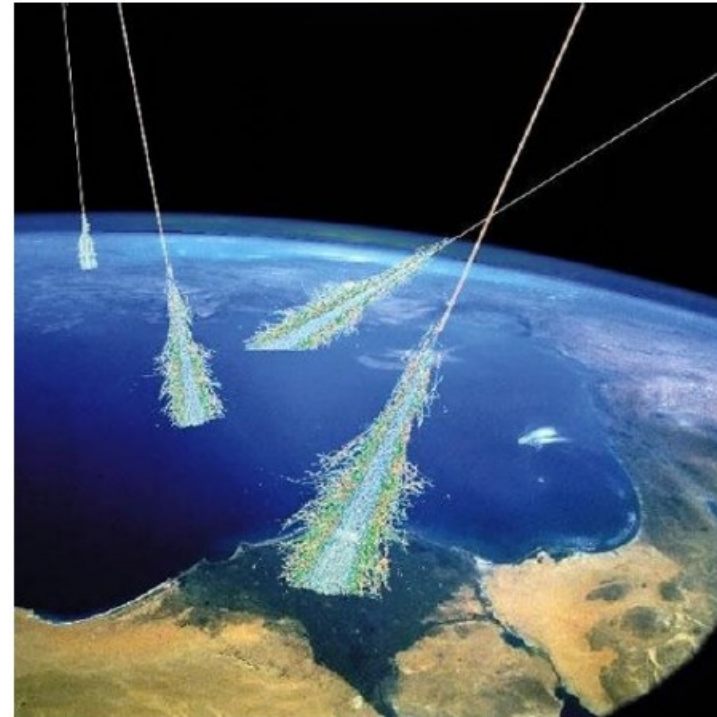
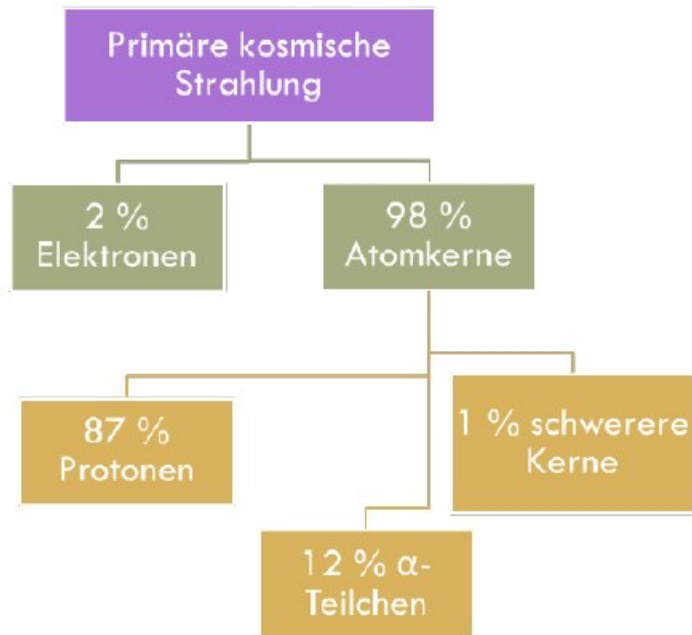
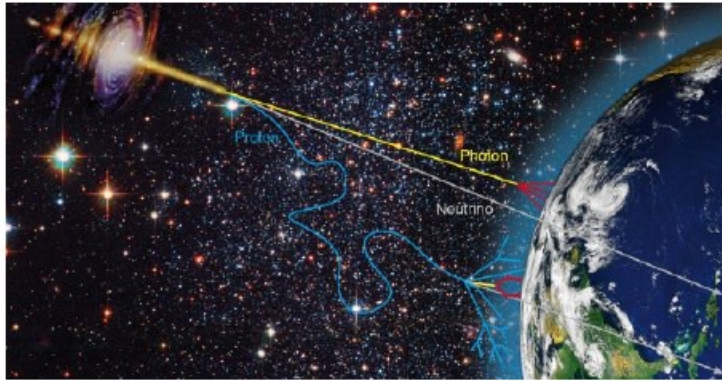
Teilchen stammend von...

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



© Lutz Feld, RWTH

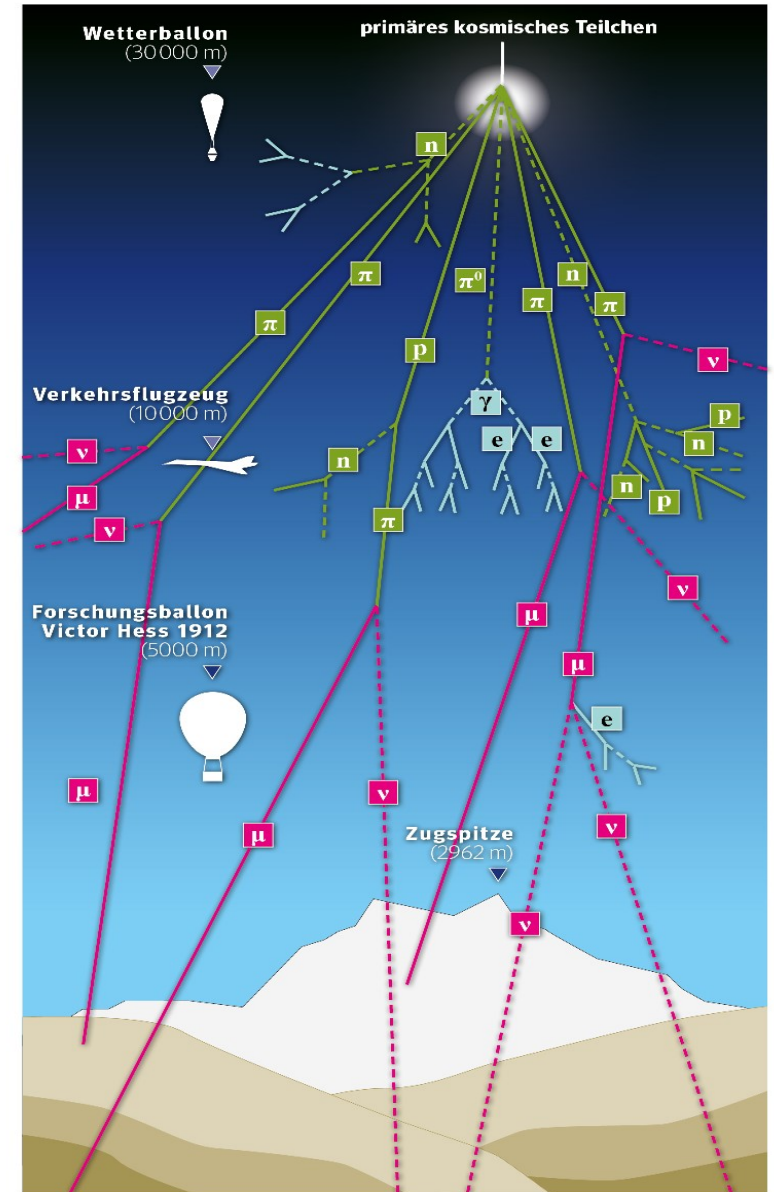
# Kosmische Strahlung



Unterscheidung in primäre und sekundäre kosmische Strahlung

# 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.

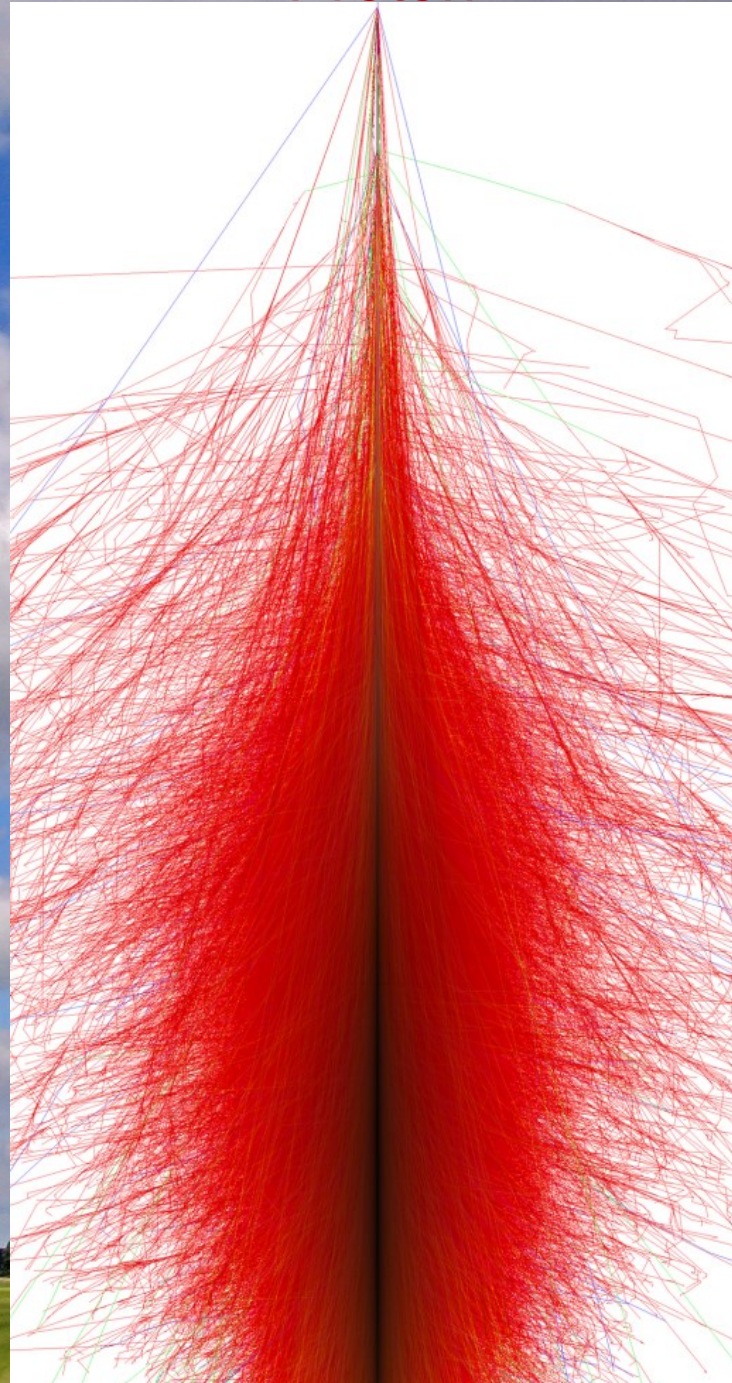




ca. 1000 hochenergetische  
Teilchen pro Sekunde und  $\text{m}^2$   
erreichen äußere Erdatmosphäre

ca. 1 Myon pro Minute und  
 $\text{cm}^2$  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



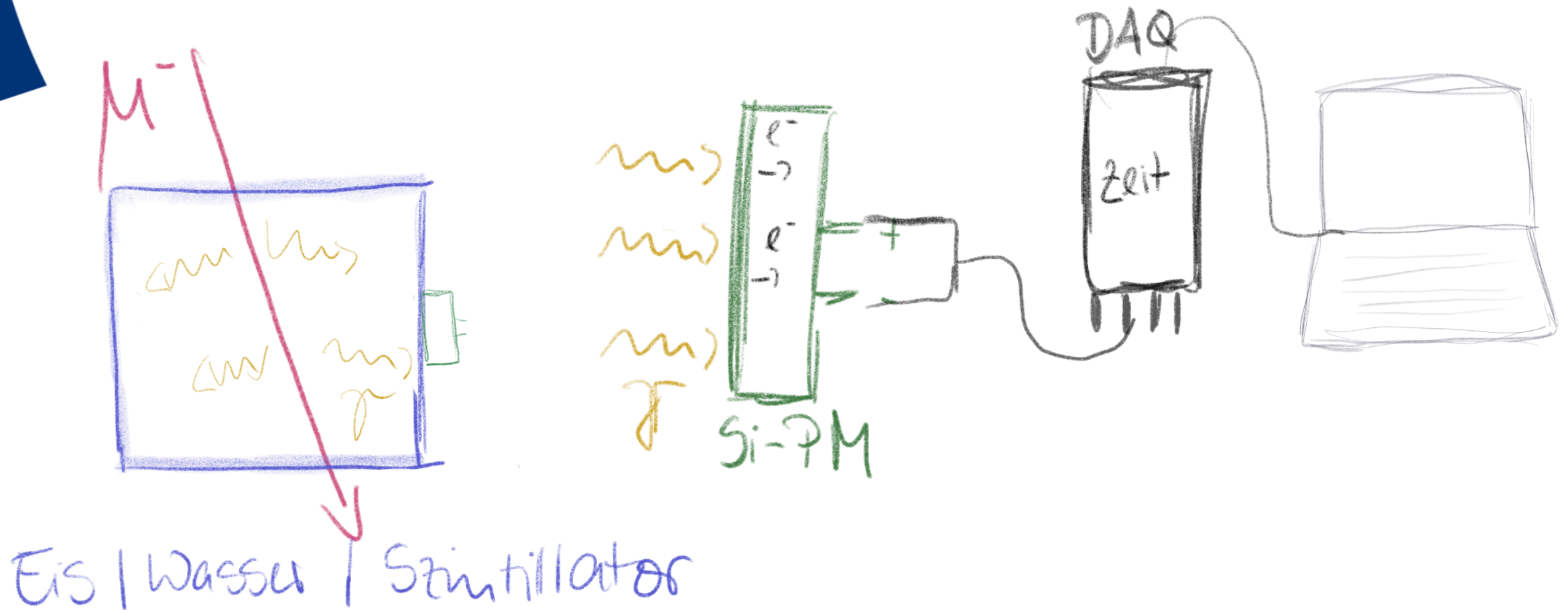
# Messung kosmischer Teilchen



NETZWERK  
TEILCHENWELT

# Messung kosmischer Strahlung

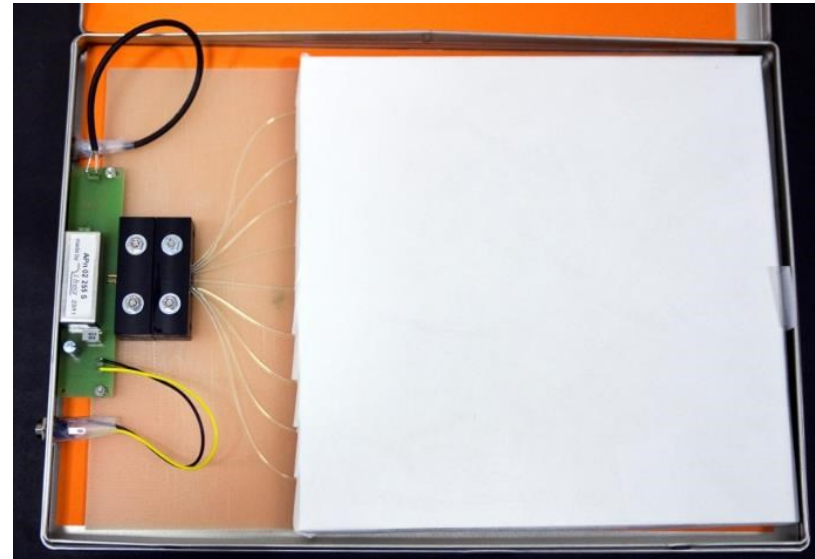
## Grundsätzlicher Aufbau eines Astroteilchen-Experimentes



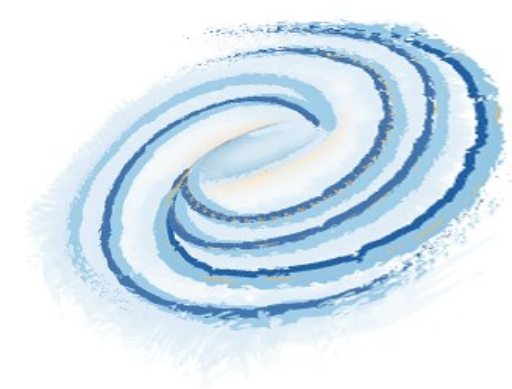
# Messung kosmischer Strahlung

## ► Anknüpfungspunkte Schulunterricht:

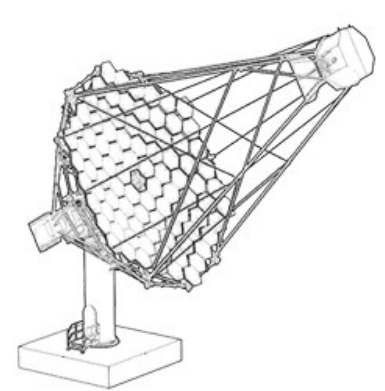
- Szintillation: Atome werden durch elektr. geladene Teilchen angeregt, Abstrahlung von Licht
- Lichtleitung über Totalreflexion (im Szintillator und Lichtleitfasern)
- Nachweis durch äußeren Photoeffekt im Sensor



CosMO-Detektor  
von Außen und Innen



# Instrumente





# Weltweit verteilte Experimente

Pierre Auger Observatorium (Argentinien)



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



Fermi Gamma-Ray Space Telescope (Weltraum)

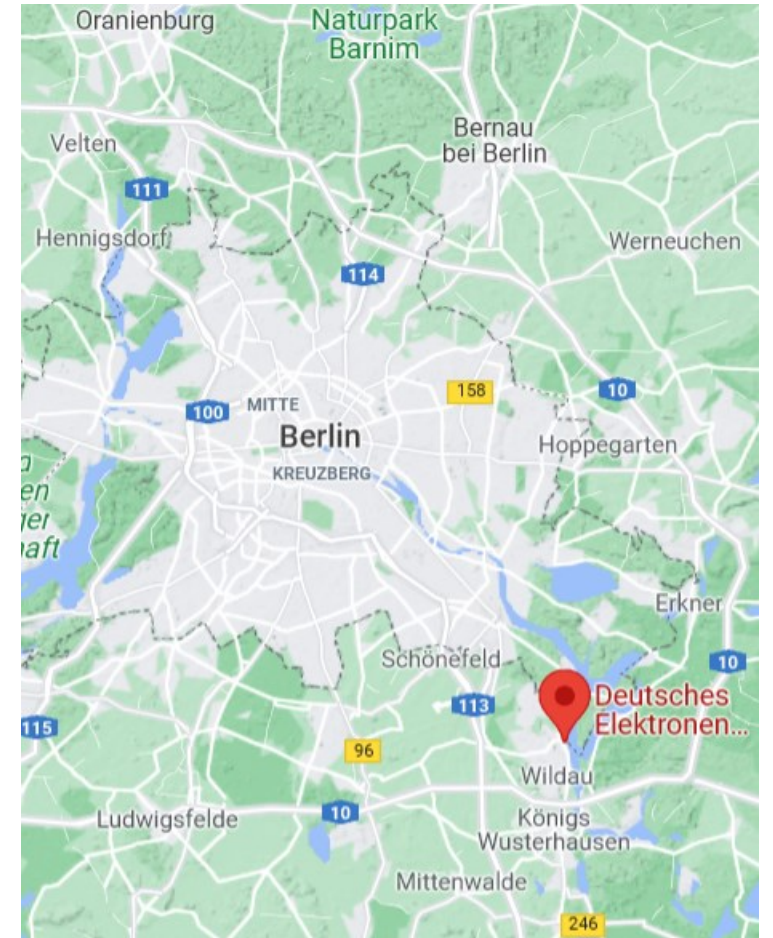


ICE-Cube Experiment (Antarktis)

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



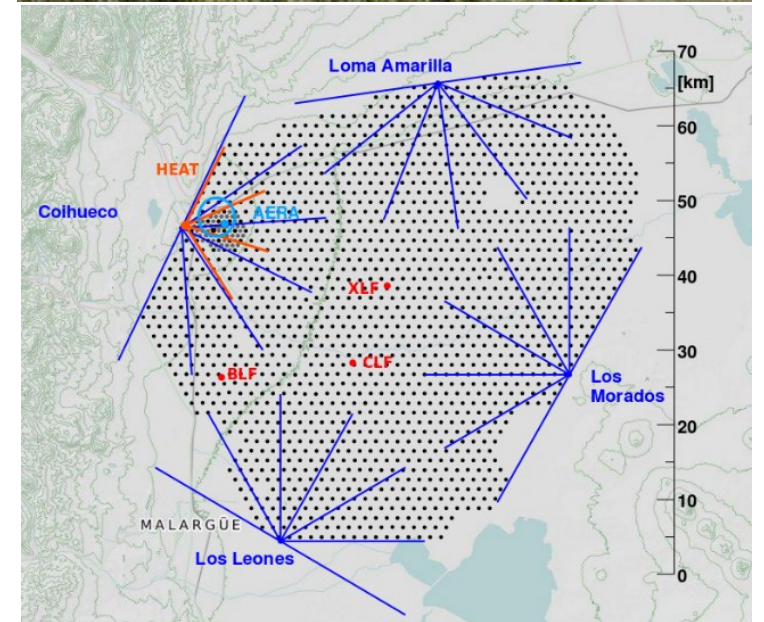
# Und weltweit verteilte Arbeitsplätze

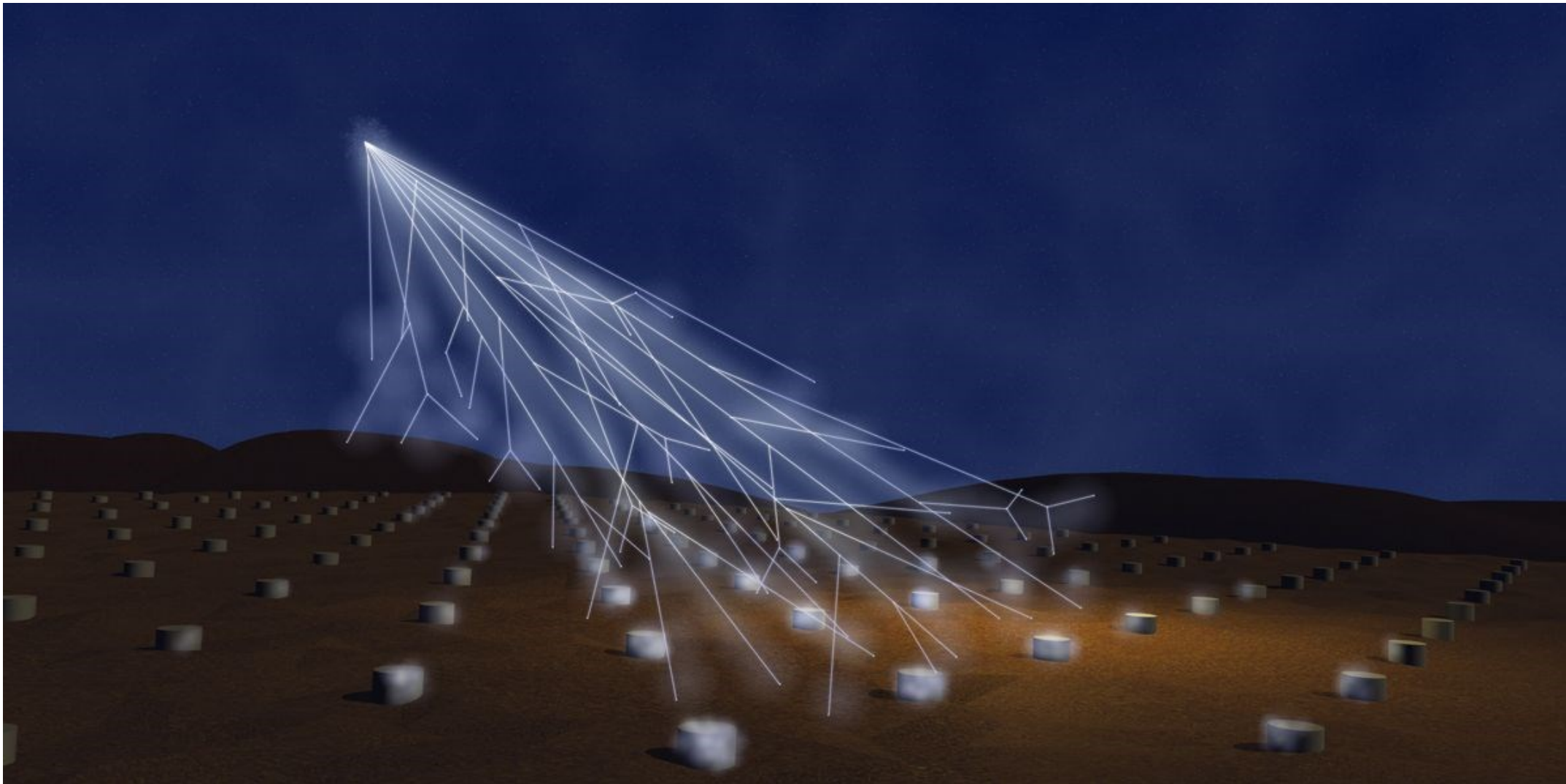




# Pierre Auger Observatorium

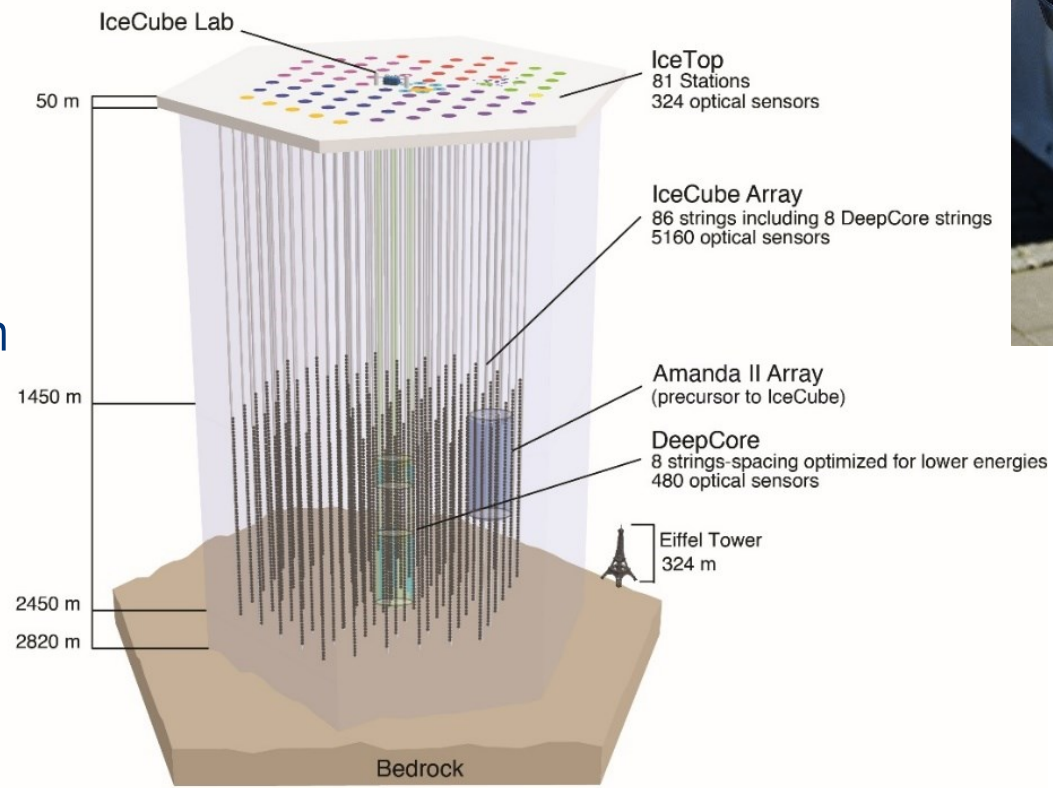
- Versuchsanlage besteht aus
  - Oberflächendetektor (1660 Stationen)
  - dem Fluoreszenzdetektor (27 Teleskope)
  - Radioantennen (150 Antennen)
  - Myonen-Detektoren
- ▶ Fläche Insgesamt 3000 km<sup>2</sup>
- ▶ Lage: Argentinien, Pampa
- (Indirekte) Messung von Protonen mit Energien von  $10^{17}$  eV bis  $10^{20}$  eV





# IceCube – Neutrinos messen am Südpol

- ▶ 5160 Sensoren an 86 Kabelsträngen
- ▶ 1450 -2450 Metern tiefe
- ▶ Volumen: 1 km<sup>3</sup>
- ▶ Lage: Amundsen-Scott-Südpolstation
- ▶ Messung von Neutrinos
  - Energien von: 10<sup>12</sup> - 10<sup>14</sup> eV





# IceCube – Neutrinos messen am Südpol

- Versuchsanlage besteht aus
  - insgesamt 5160 Sensoren
  - An 86 Kabelsträngen
  - In 1450 -2450 Metern tiefe
- ▶ Volumen: 1 km<sup>3</sup>
- ▶ Lage: Amundsen-Scott-Südpolstation
- ▶ Messung von Neutrinos
  - mit Energien von:  
10<sup>12</sup> eV bis 10<sup>14</sup> eV

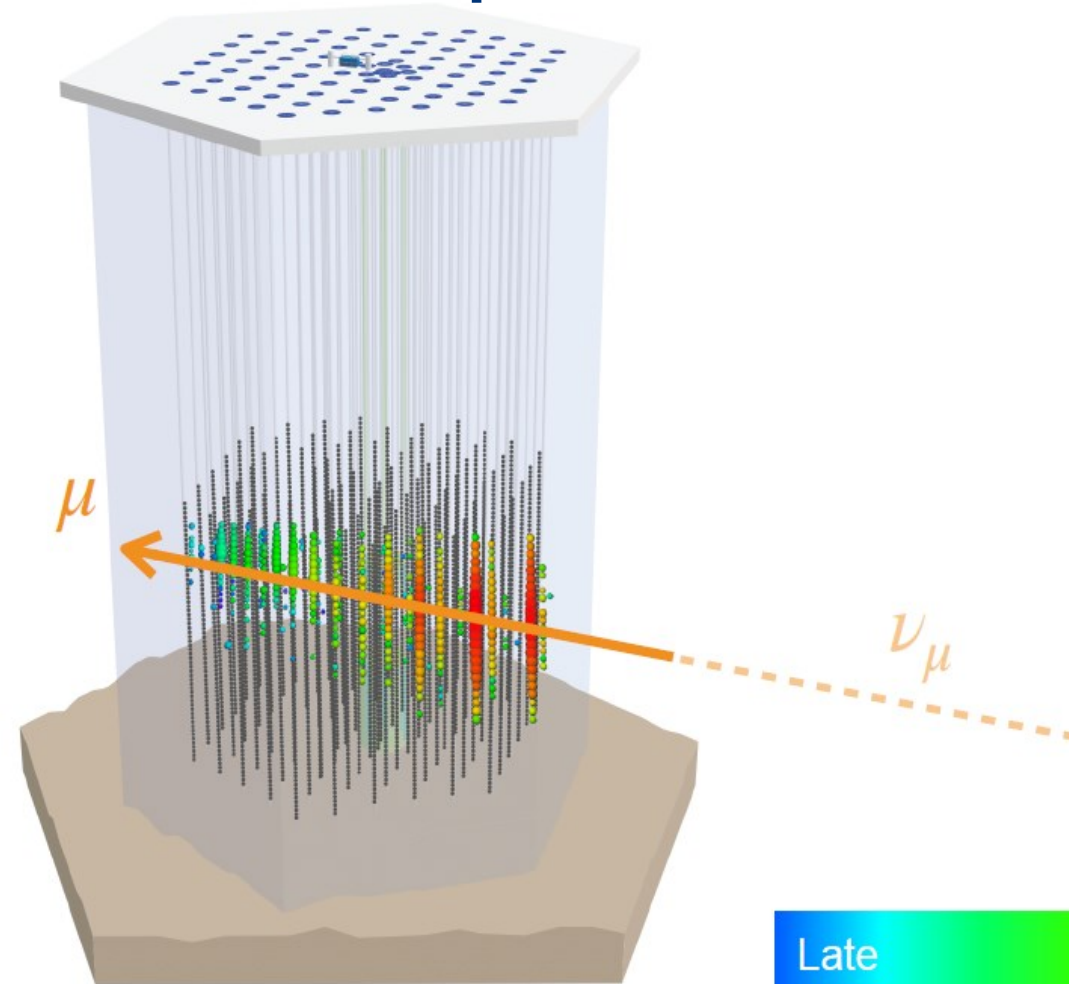
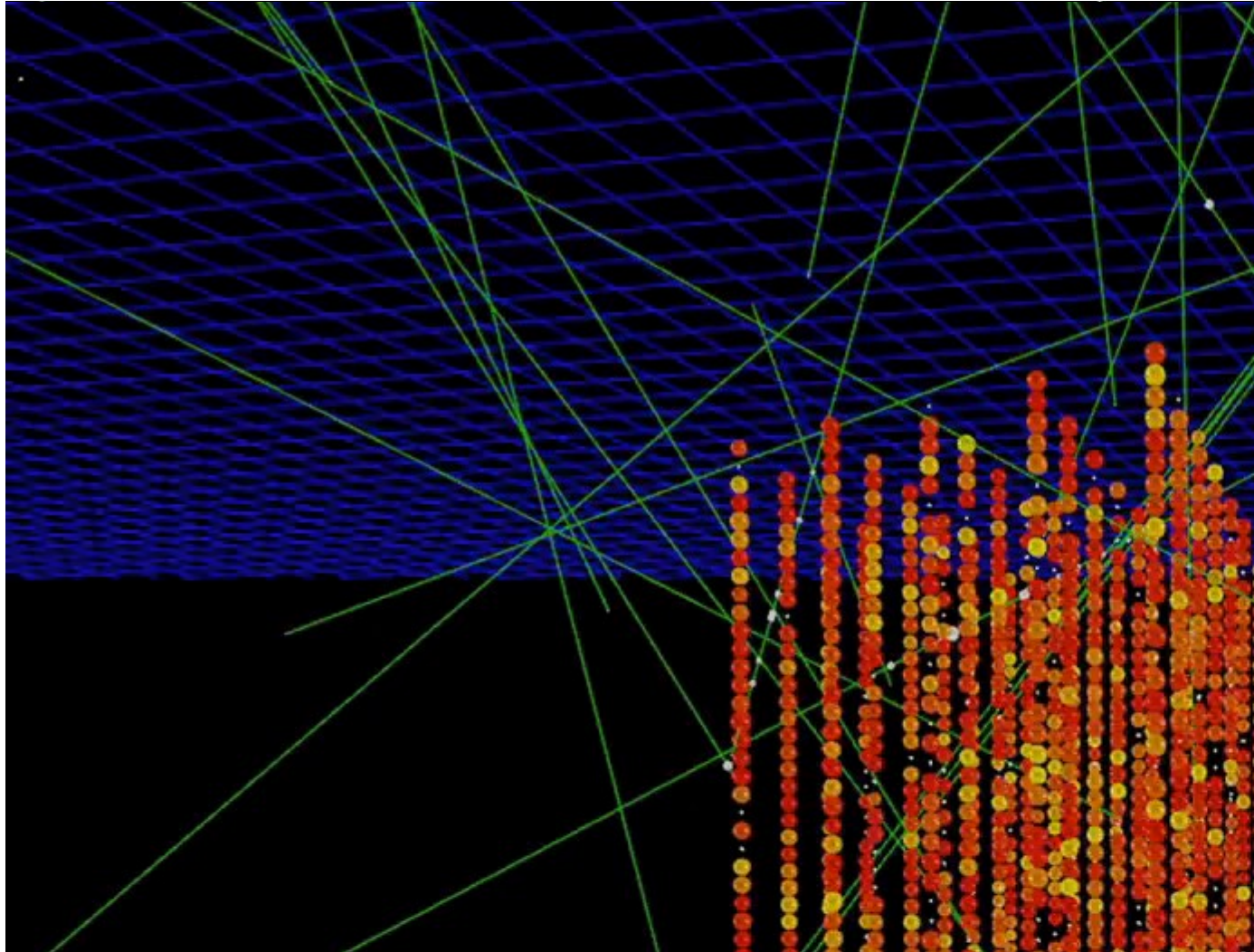


Abb.: Cristina Lagunas Gualda,  
<https://arxiv.org/abs/1612.05093>

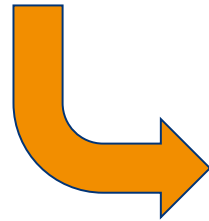
## IceCube – 0.01 Sekunden Daten (ungefiltert)



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

# 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

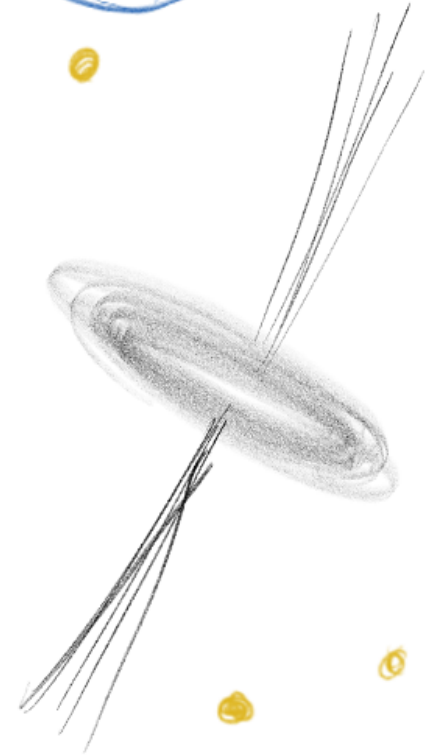
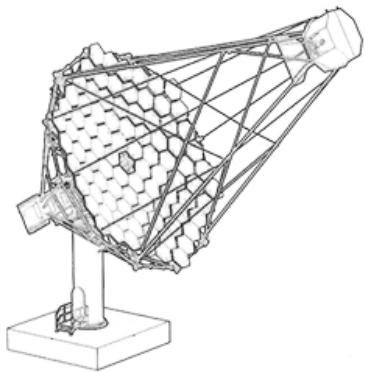
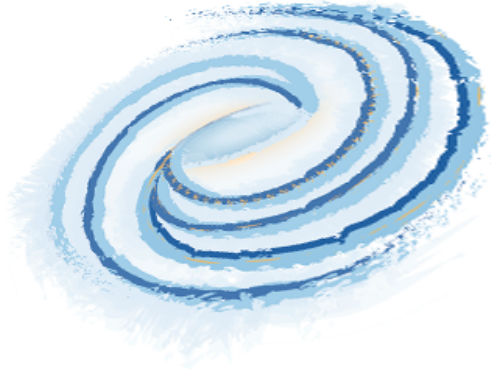




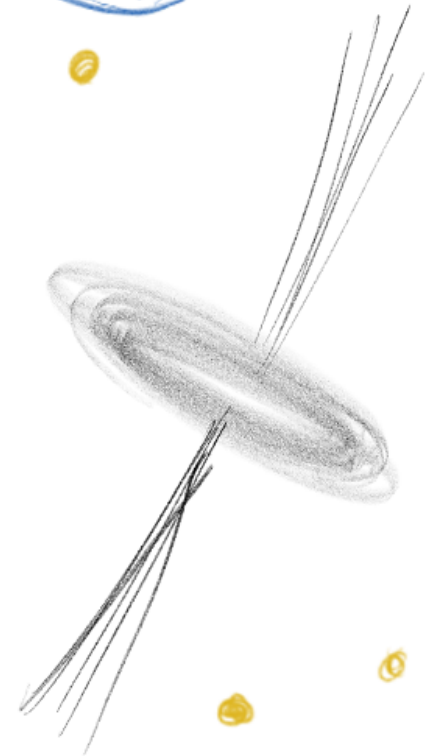
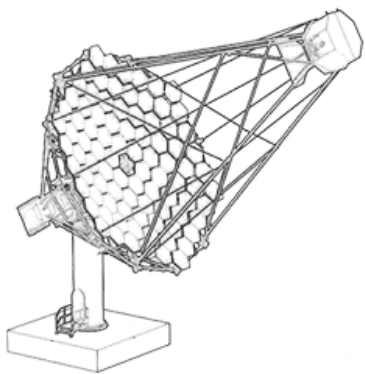
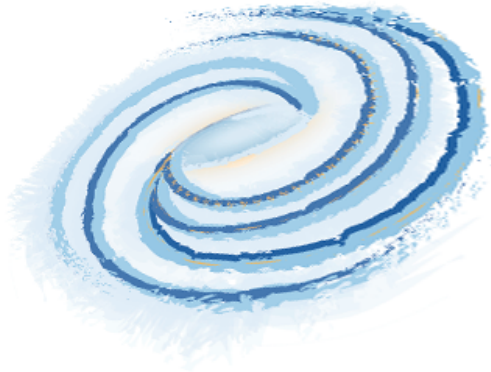
# Aktualität und Interesse

- 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

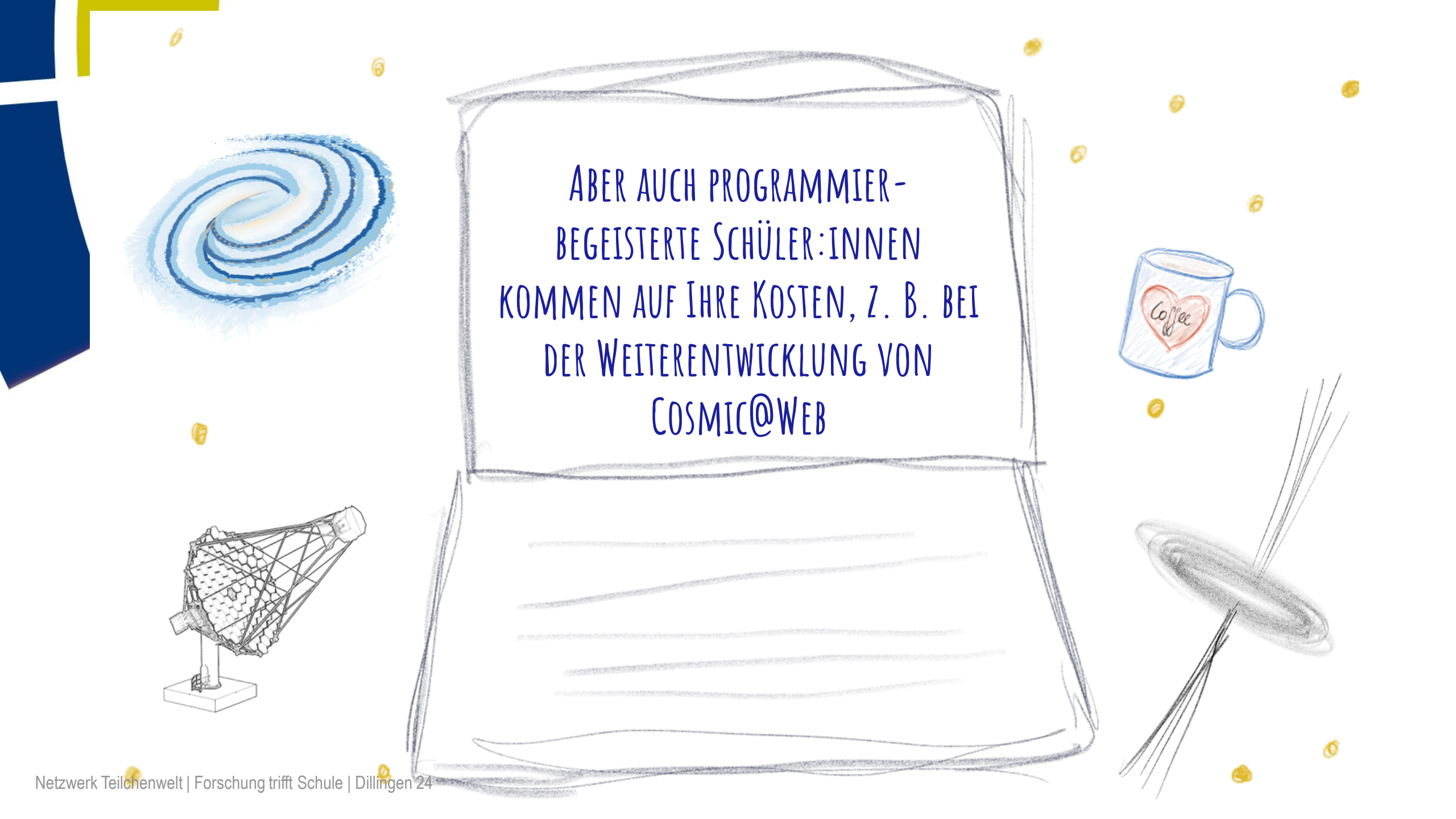
# Cosmic@Web - Tools zur Online-Analyse



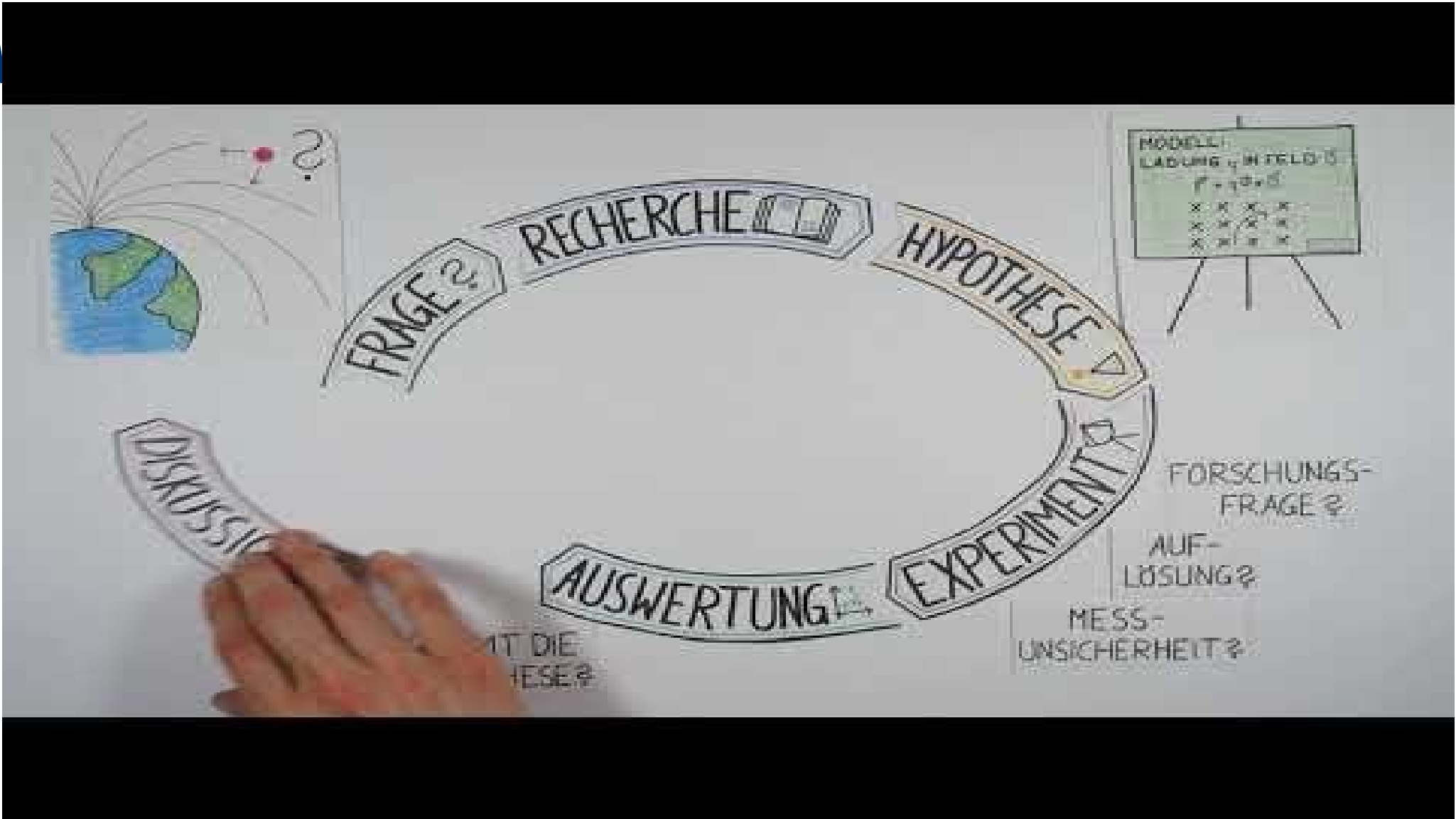
OHNE PROGRAMMIERKENNTNISSE UND  
TROTZDEM MIT  
DEN MEISTEN ESSENZIELLEN  
MÖGLICHKEITEN ZUR DATENANALYSE







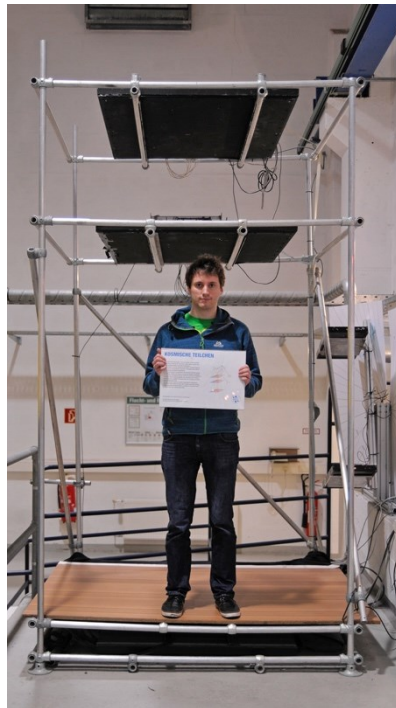
ABER AUCH PROGRAMMIER-  
BEGEISTERTE SCHÜLER:INNEN  
KOMMEN AUF IHRE KOSTEN, Z. B. BEI  
DER WEITERENTWICKLUNG VON  
COSMIC@WEB



# 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**

Dieses Unterrichtsmaterial ist inhaltlich mit dem Lehrplan für die Klassenstufe 11/12 in der Physik verbunden. Die Themenfelder sind:

- **2.1.1 Kosmische Strahlung:** Die kosmische Strahlung ist ein Teil der Materie, die aus dem Weltall auf die Erde einstrahlt. Sie besteht aus geladenen Teilchen, die durch die Wechselwirkung mit der Atmosphäre sekundäre Teilchen erzeugen. Die kosmische Strahlung ist ein Beispiel für die Wechselwirkung von Materie und Strahlung.
- **2.1.2 Teilchenphysik:** Die Teilchenphysik beschäftigt sich mit der Struktur der Materie auf der Ebene der Elementarteilchen. Sie untersucht die Eigenschaften und die Wechselwirkungen dieser Teilchen.

**2.2 VORWISSEN**

Die Schüler sollten vor der Bearbeitung dieses Materials folgende Kenntnisse haben:

- Grundlagen der Teilchenphysik (Teilchen, Antiteilchen, Wechselwirkungen)
- Grundlagen der Relativitätstheorie (Lichtgeschwindigkeit, Zeitdilatation, Lorentztransformation)
- Grundlagen der Statistik (Histogramme, Mittelwert, Standardabweichung)

**2.3 LEHRMATERIAL**

Dieses Material ist in drei Teile unterteilt:

1. Ein Text, der die Grundlagen der Kosmischen Strahlung und die Eigenschaften von Myonen beschreibt.
2. Ein Text, der die Grundlagen der Teilchenphysik und die Eigenschaften von Myonen beschreibt.
3. Ein Text, der die Grundlagen der Statistik und die Eigenschaften von Myonen beschreibt.

### 3.3 WOHER KOMMEN DIE MYONEN?


Myonen sind ein Teil der Kosmischen Strahlung, die aus dem Weltall auf die Erde einstrahlt. 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 benötigt, um sich von der Erzeugung bis zum Zerfall zu bewegen. Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird.

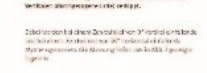
**3.3.2 Bestimmung der Lebensdauer von Myonen**

Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird. Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird.



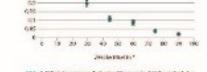
**3.3.3 Bestimmung der Lebensdauer von Myonen**

Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird. Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird.



**3.3.4 Bestimmung der Lebensdauer von Myonen**


Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird. Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird.



### AUFGABEN

**1. EXPERIMENTELLE ERMITTLUNG DER MITTLEREN LEBENSDAUER VON MYONEN**

Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird. Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird.



**2. BERECHNUNG DER LEBENSDAUER VON MYONEN**

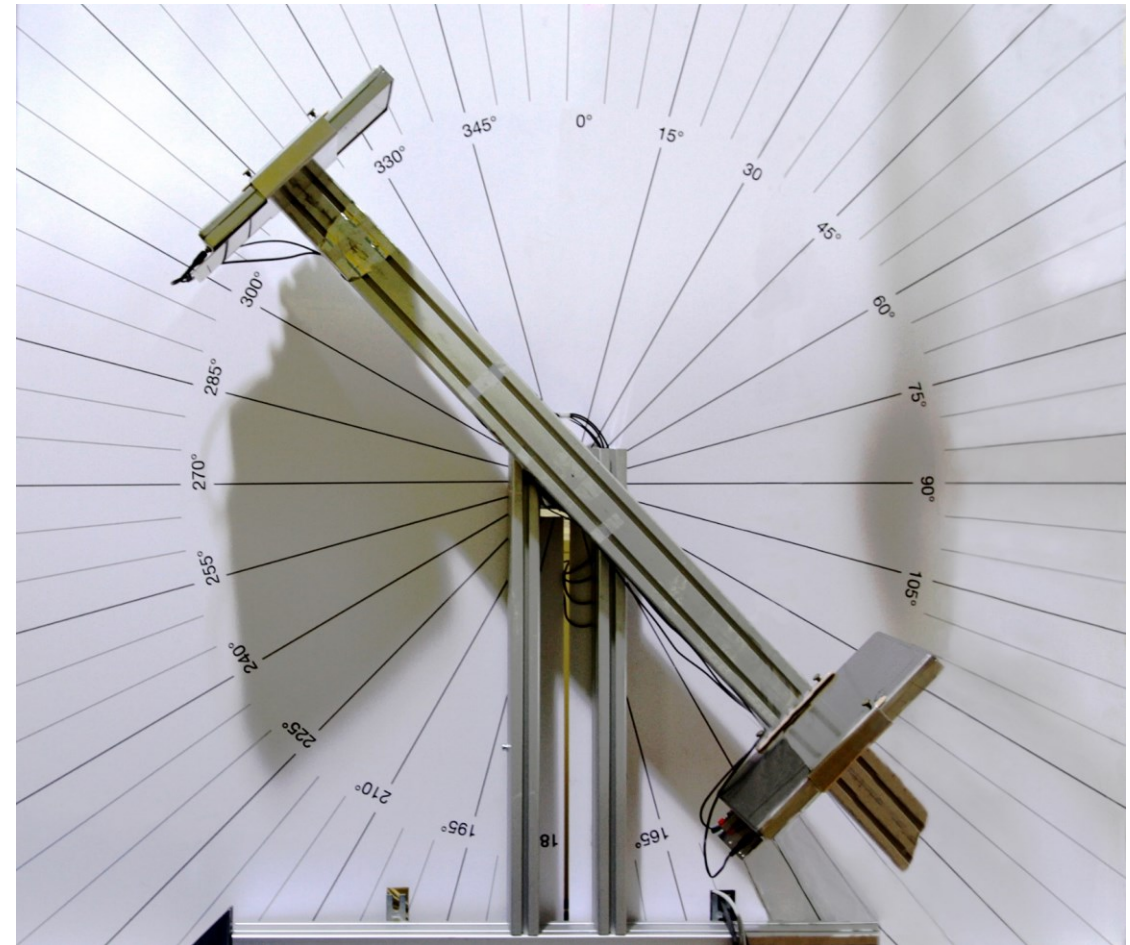
Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird. Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird.

$$L = L_0 \cdot \gamma$$
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird. Die Lebensdauer eines Myons ist eine Zufallsgröße, die durch die Relativitätstheorie beschrieben wird.

# 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.

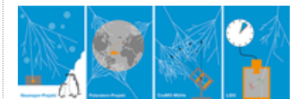


### Erklärvideo

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





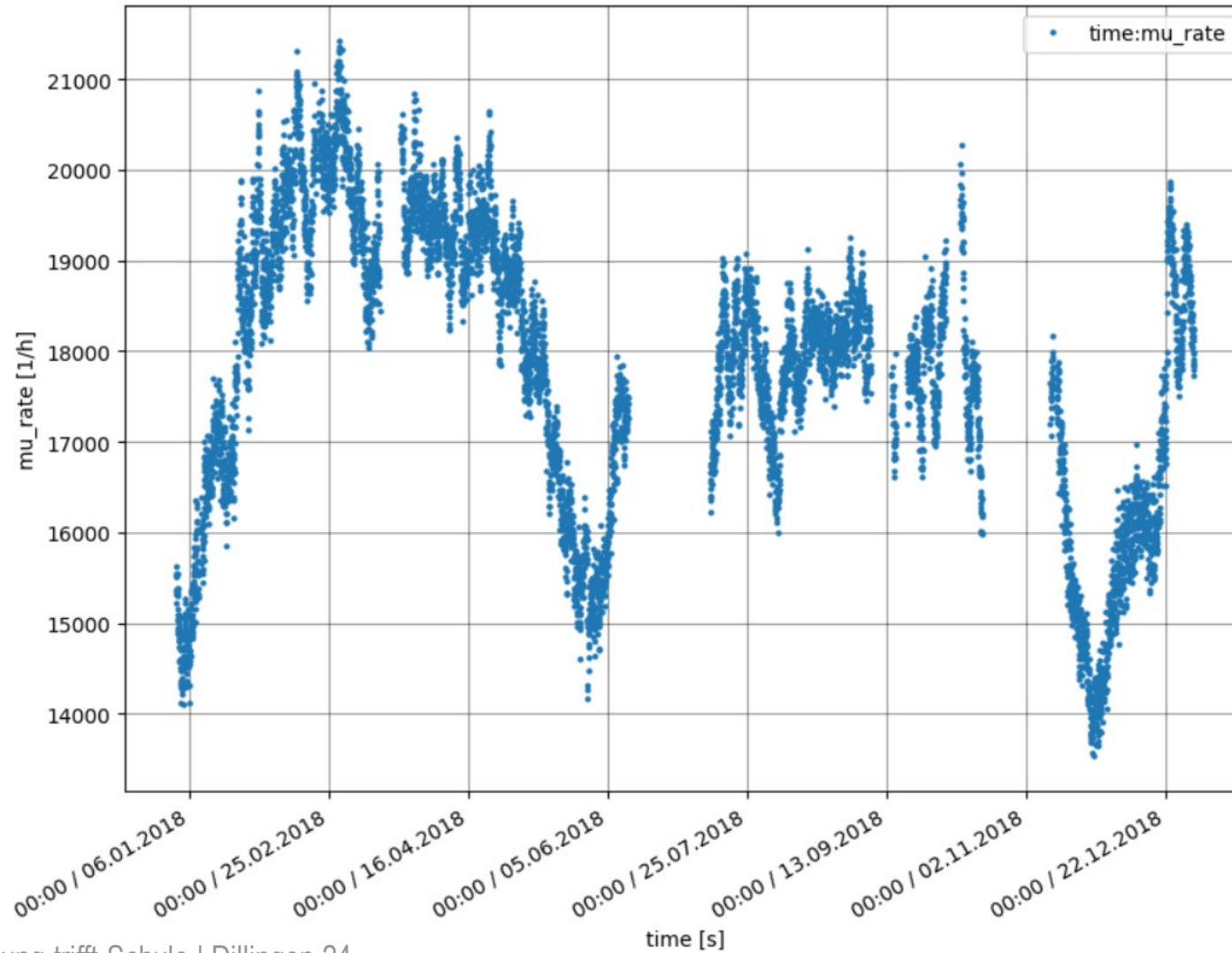
# Aufgabe

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)





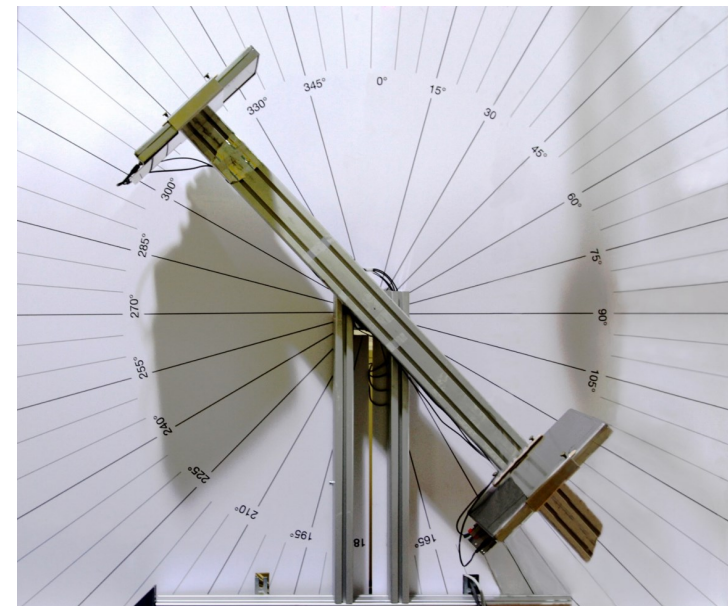
# Einsatzmöglichkeiten in der Schule

- 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

