

# Das Forschungsgebiet Astroteilchenphysik

Max-Planck-Institut für Physik  
17.02.2020

Moritz Hütten, [mhuetten@mpp.mpg.de](mailto:mhuetten@mpp.mpg.de)



Max-Planck-Institut für Physik  
(Werner-Heisenberg-Institut)



NETZWERK  
TEILCHENWELT



# Heute Vormittag erwartet euch...

- Einblick in ein hochaktuelles Forschungsfeld
- Kennenlernen einer Forschungseinrichtung
- Kennenlernen eines Astroteilchen-Experiments
- Erleben wie Physikerinnen und Physiker arbeiten



# Was ist Astroteilchenphysik?

Folie von A. Schönwald, DESY

- ## Astroteilchenphysik



# Was ist Astroteilchenphysik?

Folie von A. Schönwald, DESY

- ## Astroteilchenphysik

- - ▾ Die Physik (von griechisch φυσική physikē, wissenschaftliche Erforschung der Naturerscheinungen, Naturforschung', lateinisch physica ‚Naturlehre‘)

(Wikipedia)

# Was ist Astroteilchenphysik?

Folie von A. Schönwald, DESY

- Aufbau der Materie (Teilchenarten)  
fundamentale Kräfte zwischen den Teilchen



- **Astroteilchenphysik**



- Die Physik (von griechisch φυσική  
physikē, wissenschaftliche Erforschung  
der Naturerscheinungen, Natur-  
forschung', lateinisch physica ‚Naturlehre‘)

(Wikipedia)

# Was ist Astroteilchenphysik?

Folie von A. Schönwald, DESY

- Aufbau der Materie: Teilchenarten.  
fundamentale Kräfte zwischen den Teilchen



- ## Astroteilchenphysik



- **Bestimmungswort:**  
**Gestirn-, Stern-, Weltraum-**  
**von griechisch ástron = Stern(bild)**

(Duden)



- Von griechisch φυσική  
physikḗ, wissenschaftliche Erforschung  
der Naturerscheinungen, Natur-  
forschung', lateinisch physica ‚Naturlehre‘

(Wikipedia)

# Was ist Astroteilchenphysik?

Folie von A. Schönwald, DESY

Nachweismethoden der Teilchenphysik und Verwendung von **Botenteilchen** um etwas über Sterne, Galaxien und exotische Objekte im Universum zu lernen.

Botenteilchen:

1. **hochenergetische Photonen**  
(„**Gammateilchen**“)
2. **Atomkerne, Elektronen, Positronen**  
(„**kosmische Strahlung**“)
3. **Neutrinos**



# **Teil 1: Die Welt der kleinsten (Boten-)Teilchen**

Alles Gute kommt von oben!



# Ko(s)mische Teilchen

„Meine Beobachtungen lassen sich am besten erklären, wenn man annimmt, daß eine durchdringende Strahlung von oben in unsere Atmosphäre eindringt.“

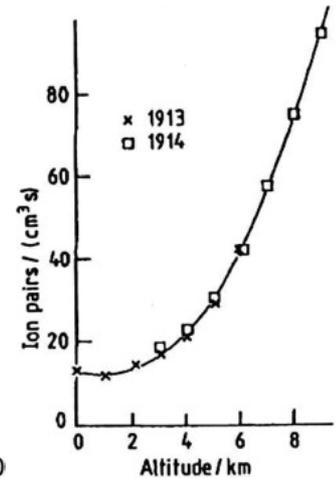
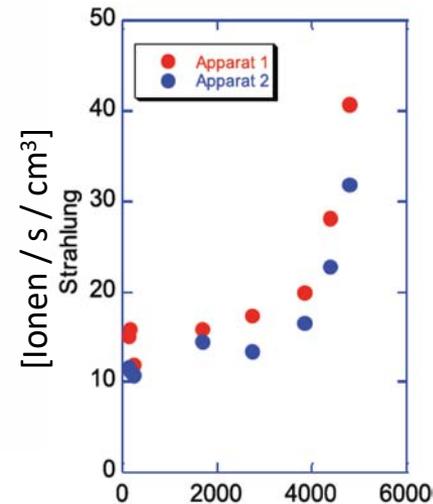
V.F. Hess, 1912



Deutschland

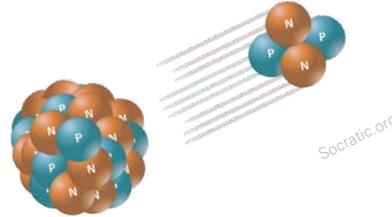
**Strahlung  
= hochenergetische Teilchen  
aus dem Weltraum**

Aussig  
an der Elbe



# Ko(s)mische Teilchen

- ▶ 87% Protonen
- ▶ 12%  $\alpha$ -Teilchen
- ▶ 1% schwere Kerne
- ▶ < 1% Elektronen



massive Teilchen,  
elektrisch geladen

- ▶ < 1% Gammastrahlung  
energiereiche Photonen = Licht



- ▶ < 1% Neutrinos  
neutrale „Geisterteilchen“



# Ko(s)mische Teilchen

Im Weltraum:

50 Teilchen

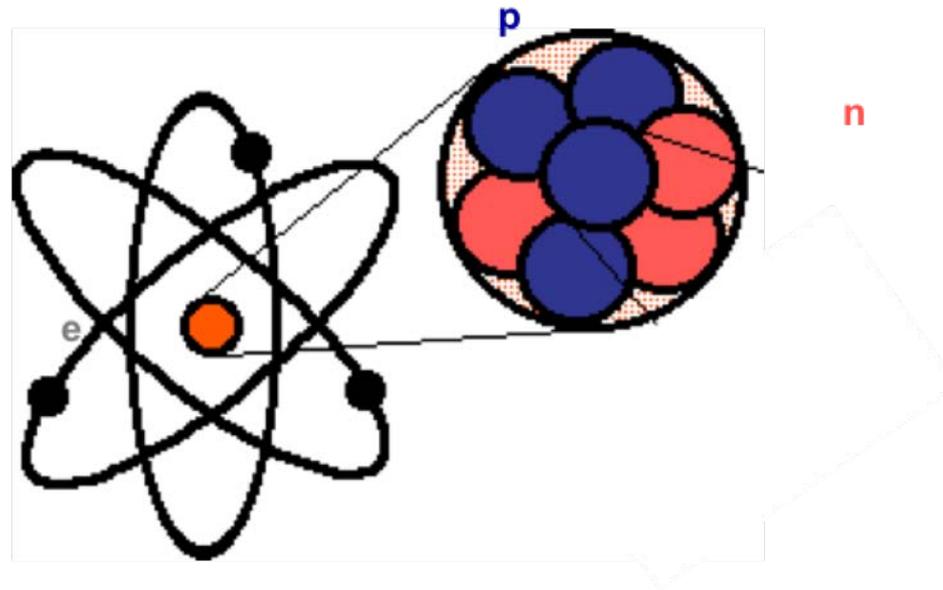
mit Energien  $> 1\text{GeV}$

pro Sekunde & Handfläche



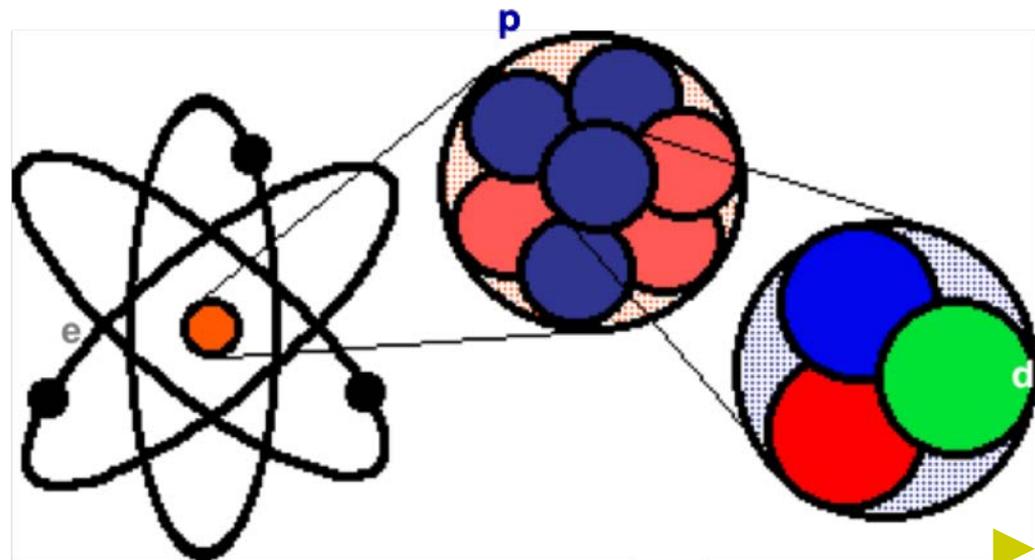
# Was sind die kleinsten Teilchen?

- ▶ Vor 100 Jahren: alles besteht aus Protonen und Elektronen (später auch Neutronen)



# Was sind die kleinsten Teilchen?

- ▶ Vor 100 Jahren: alles besteht aus Protonen und Elektronen (später auch Neutronen)
- ▶ Nicht ganz...



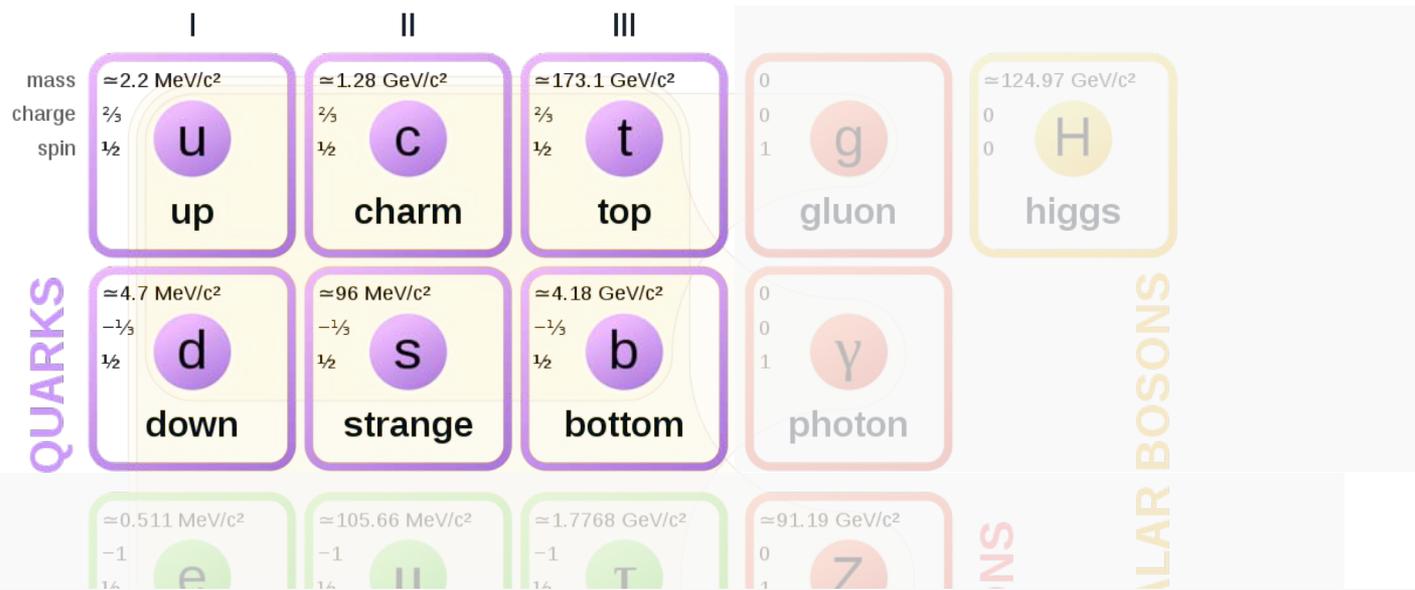
▶ Quarks

# Was sind die kleinsten Teilchen?

	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> higgs
<b>QUARKS</b>	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b><math>\gamma</math></b> photon	
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b>Z</b> Z boson	
<b>LEPTONS</b>	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	
	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	$\pm 1$	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
					<b>GAUGE BOSONS</b> <b>VECTOR BOSONS</b>
					<b>SCALAR BOSONS</b>

► „Standardmodell“ der Teilchenphysik

# Was sind die kleinsten Teilchen?



Quarks tauchen immer im „Mehrfachpack“ auf:

- ▶ Zwei Quarks kombiniert: Mesonen (z.B. Pionen)
- ▶ Drei Quarks kombiniert: **Hadronen** (z.B. Protonen, Neutronen)

▶ „Standardmodell“ der Teilchenphysik



## **Teil 2: Woher stammen die kosmischen Teilchen?**

# Rätselhafte Energien

- ▶ Meiste Teilchen mindestens 1000x energetischer als in radioaktiven Zerfällen
- ▶ Manche Teilchen energetischer als die schnellsten Teilchen, die wir auf der Erde erzeugen können.



Protonenstrahl aus  
Teilchenbeschleuniger



# Rätselhafte Energien

Stammen die kosmischen Teilchen aus thermischen Quellen = Sternen?

- Temperatur eines Objekts, das Strahlung mit einer Energie von  $10^{12}$  eV abstrahlt: 1.000.000.000.000.000 K =  $10^{15}$  K
- Nichts im Universum ist oder war so heiß (außer der Urknall selbst)

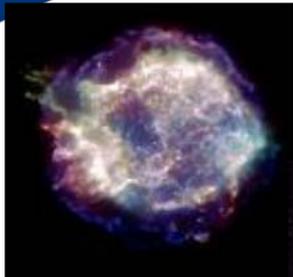
Die Teilchen der kosmischen Strahlung sind Boten des nicht-thermischen Universums.

Was sind die Quellen?



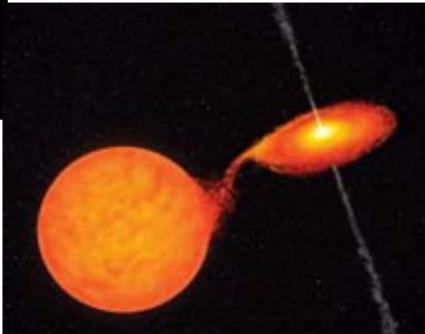
# Die Quellen

**Galaktisch:**



Supernova Überreste

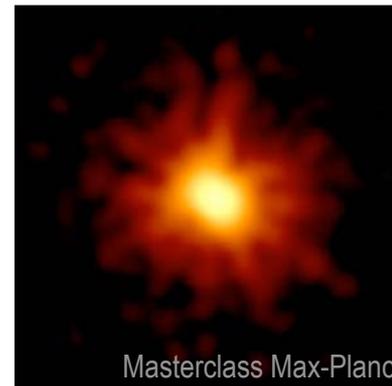
Binäre Systeme



Pulsare

**Extra-galaktisch:**

Aktive Galaktische Kerne: Schwarze Löcher



Gammastrahlen-Blitze

**Exotische Teilchen:**



Dunkle Materie

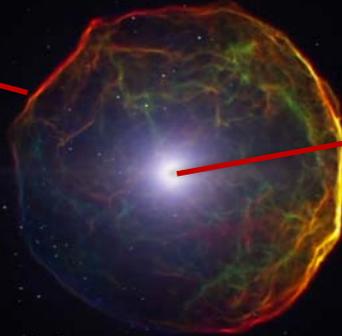
# Supernova-Explosionen

## Supernova-Überreste

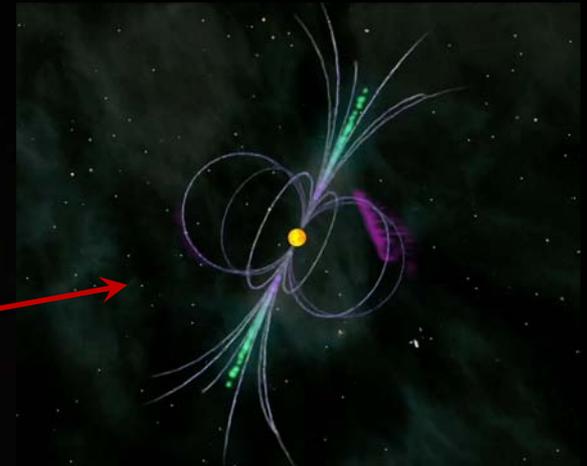
SN 1006



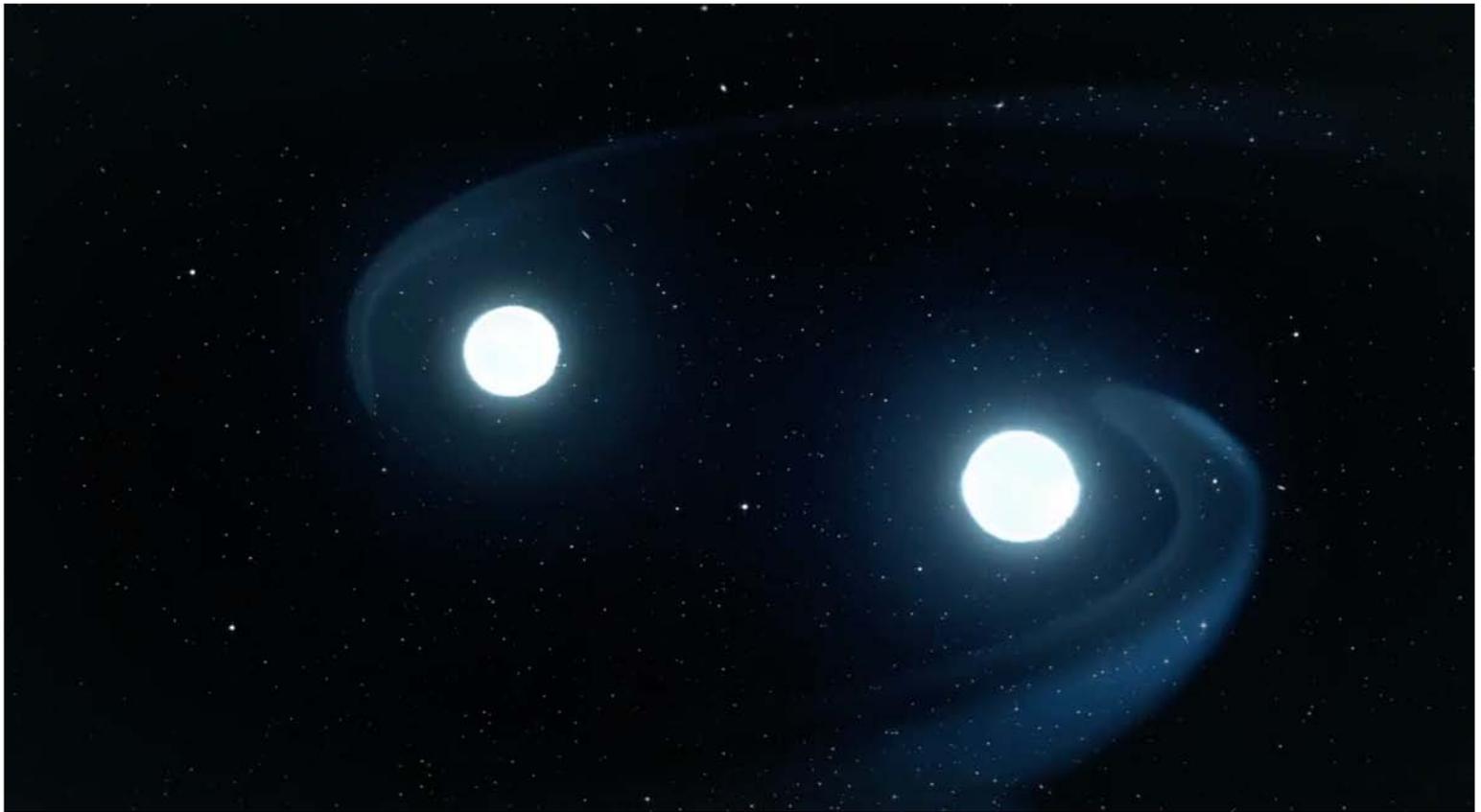
Künstlerische Darstellung



## Rotierende Neutronensterne



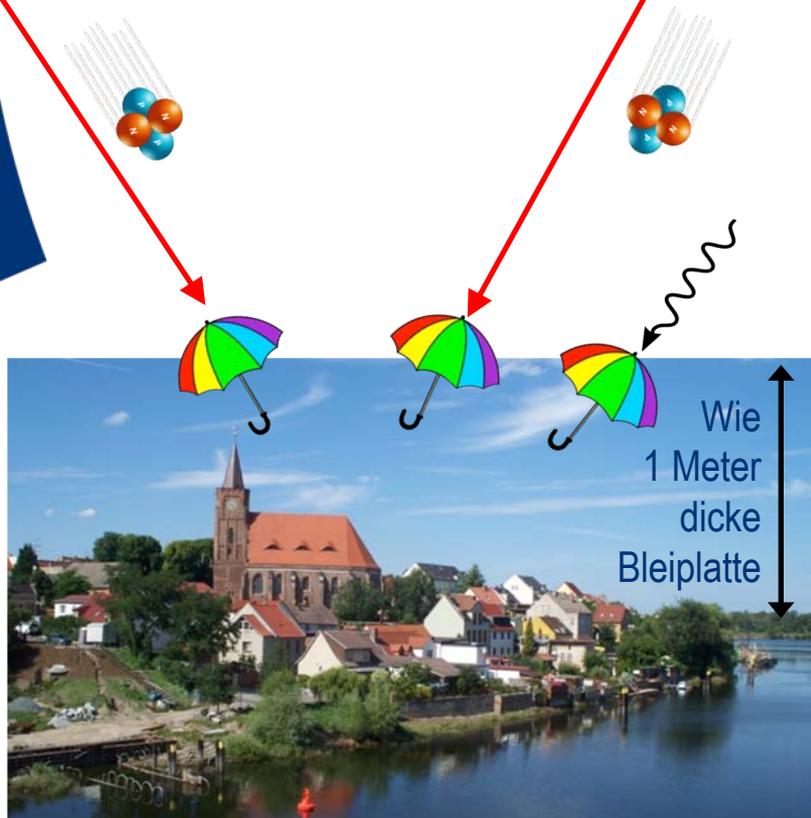
# Gammastrahlen-Blitze





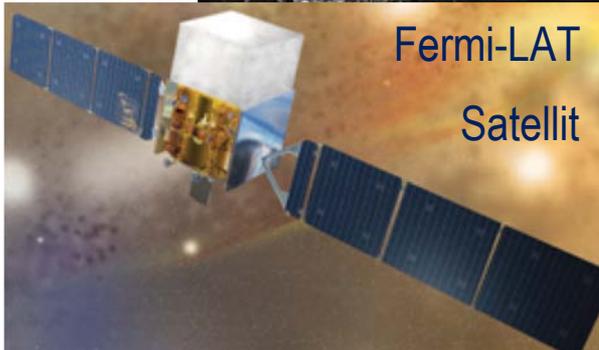
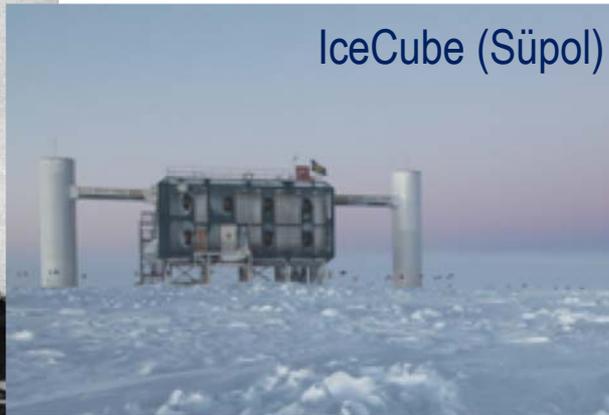
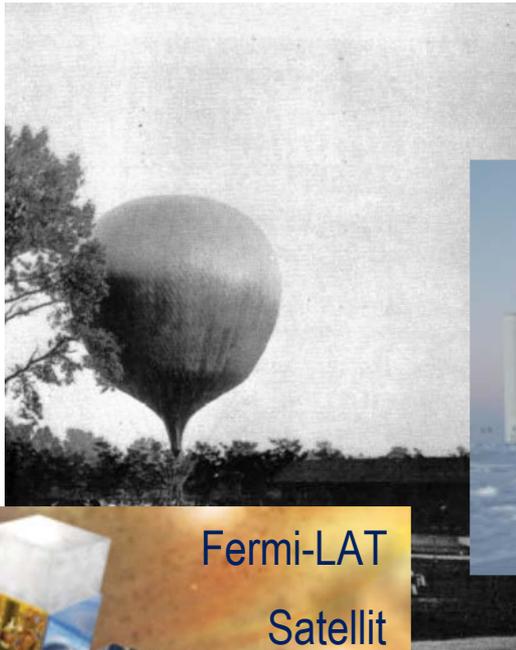
# **Teil 3: Wie können wir die kosmischen Teilchen messen?**

# Alles Gute kommt von oben?



Unsere Erdatmosphäre bietet einen einzigartigen Schutz im All

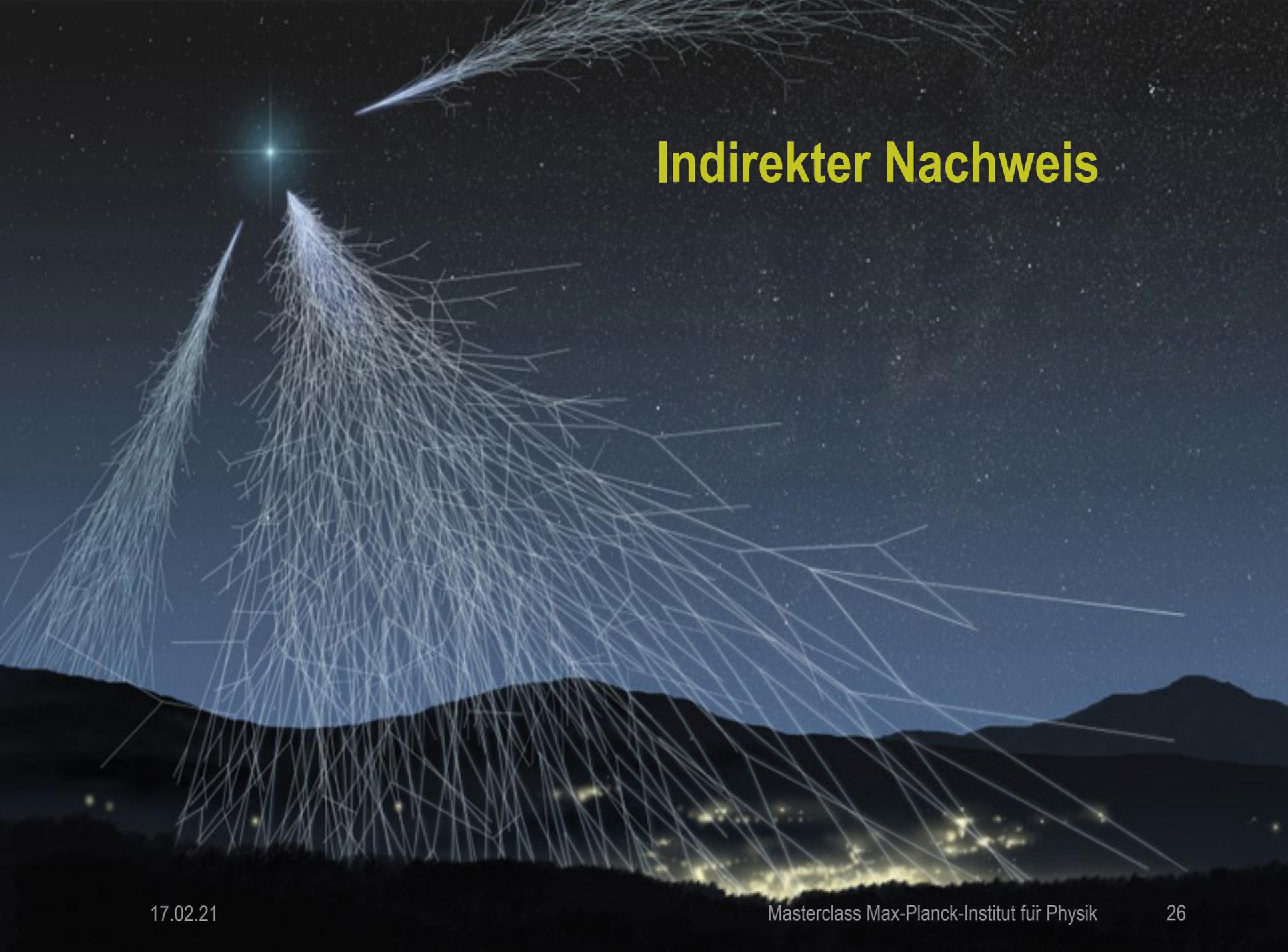
# Untersuchungsmethoden



↓  
**direkt**

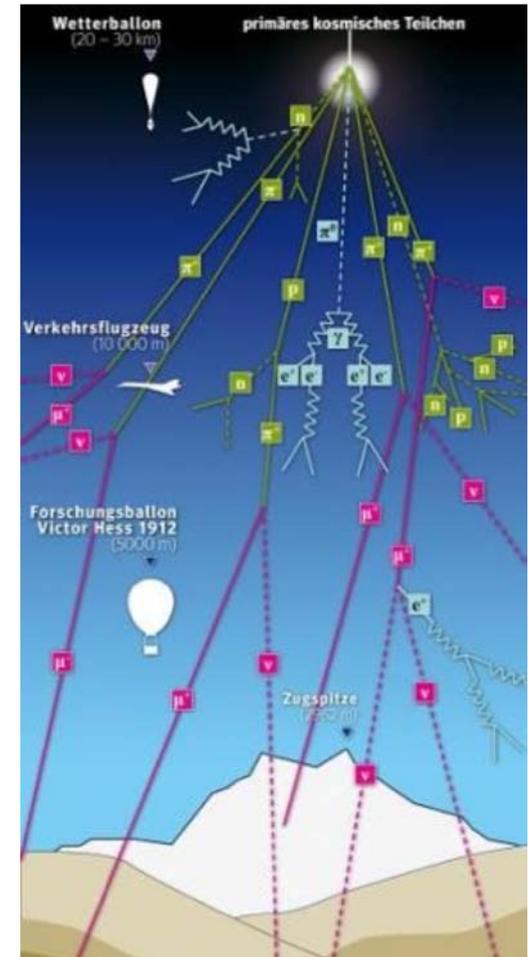
↓  
**indirekt**

# Indirekter Nachweis



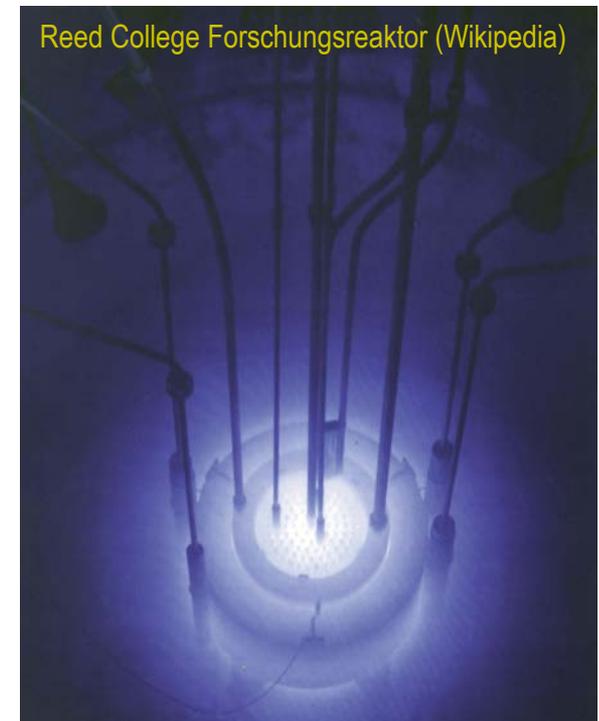
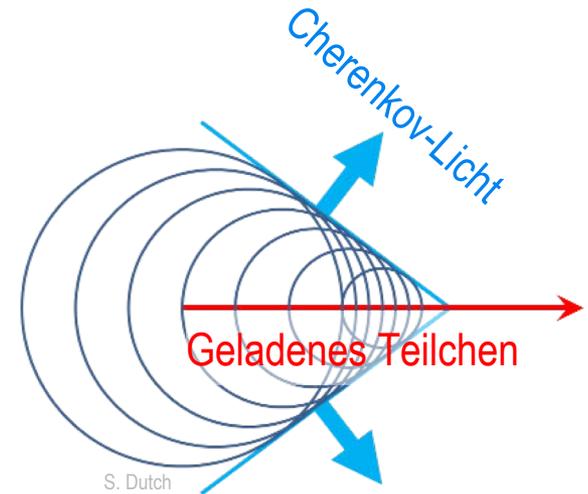
# Teilchenschauer

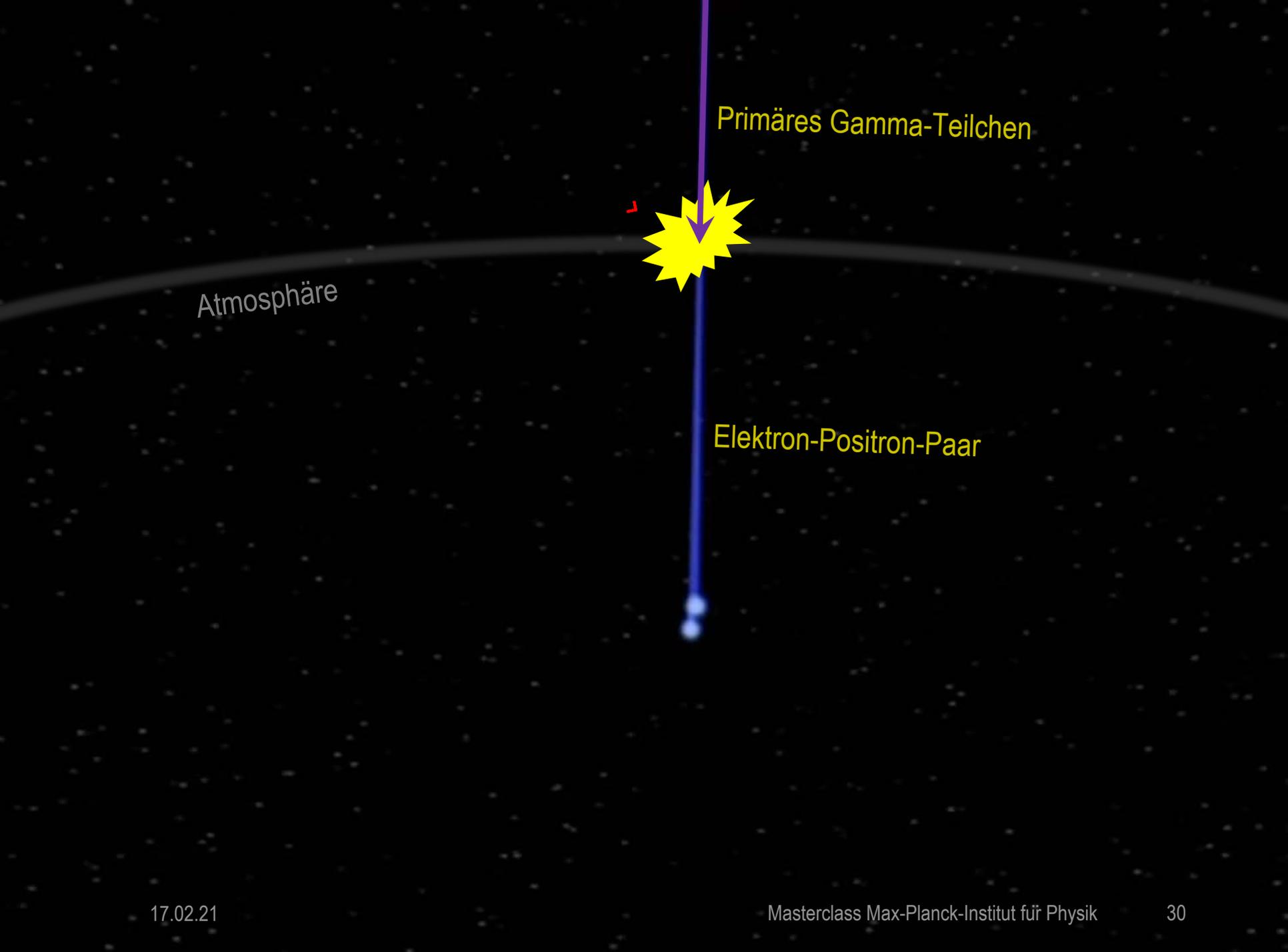
- ▶ Atmosphäre absorbiert alle kosmischen Primärteilchen (außer Neutrinos)
- ▶ Schauer aus vielen Sekundärteilchen mit niedrigeren Energien
- ▶ Nur einige sekundäre Myonen (und Neutrinos) erreichen Erdoberfläche
- ▶ Je höher die Energie des Primärteilchens, desto größer ist der Luftschauer



# Das blaue Leuchten

- Schauerteilchen bewegen sich schneller als Licht durch die Atmosphäre
- „Optischer Überschallknall“: blaues Cherenkov-Licht
- Cherenkov-Licht erreicht Erdoberfläche



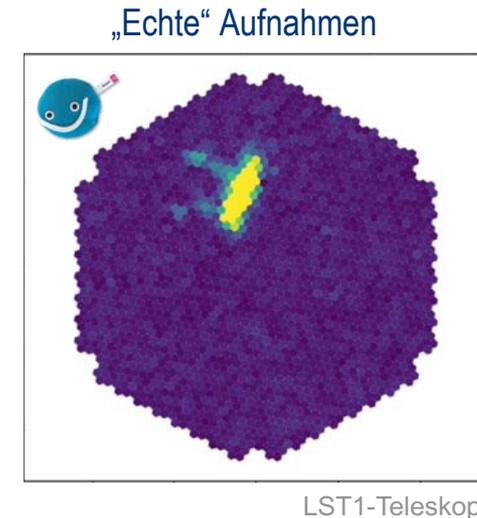


Primäres Gamma-Teilchen

Atmosphäre

Elektron-Positron-Paar

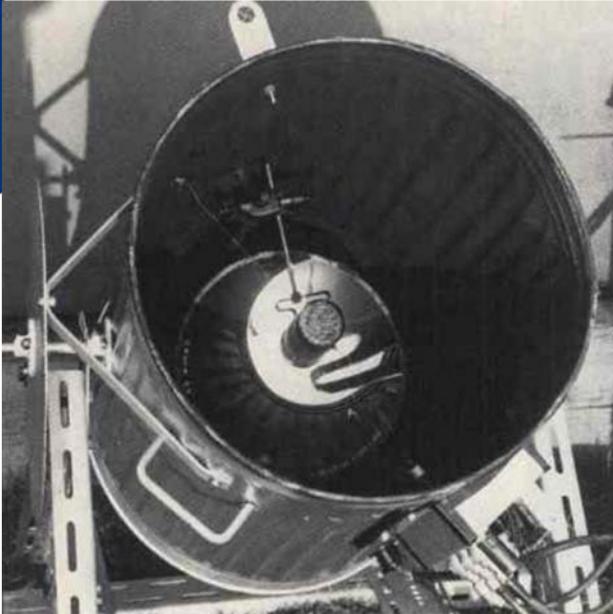
# Cherenkovlicht beobachten



- Teilchenschauer-Cherenkov-Blitze sind sehr lichtschwach
- Die Blitze dauern nur 0,000000001 Sekunden
- Spezielle Kameras entwickelt, um Bilder aufzunehmen

# Cherenkovlicht-Detektoren früher und heute...

Akira Okumura



1952

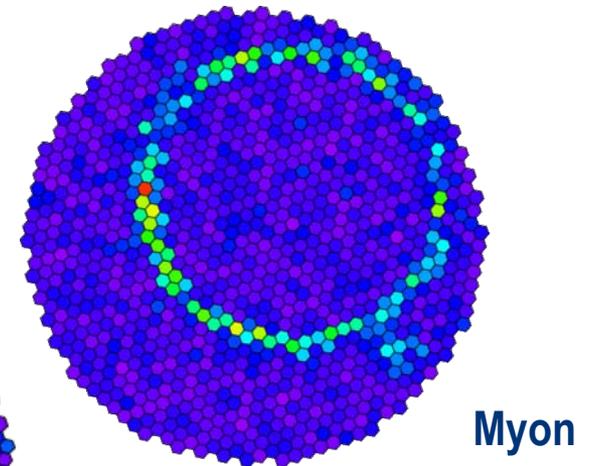
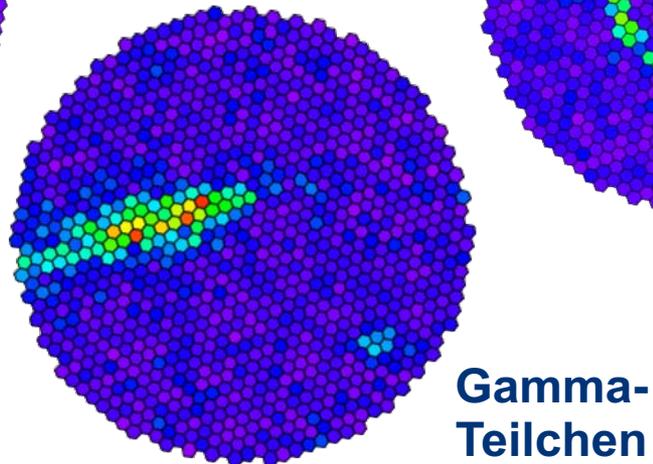
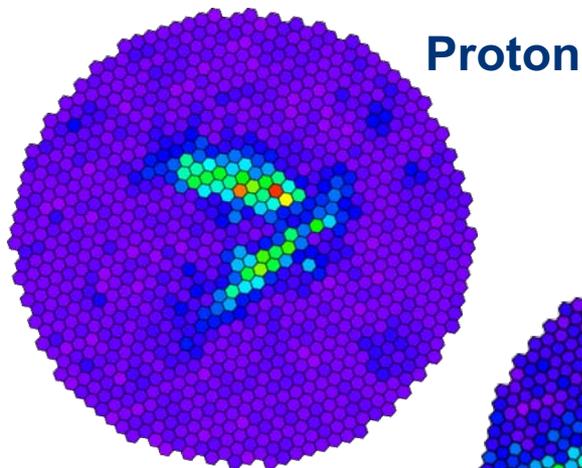


2021

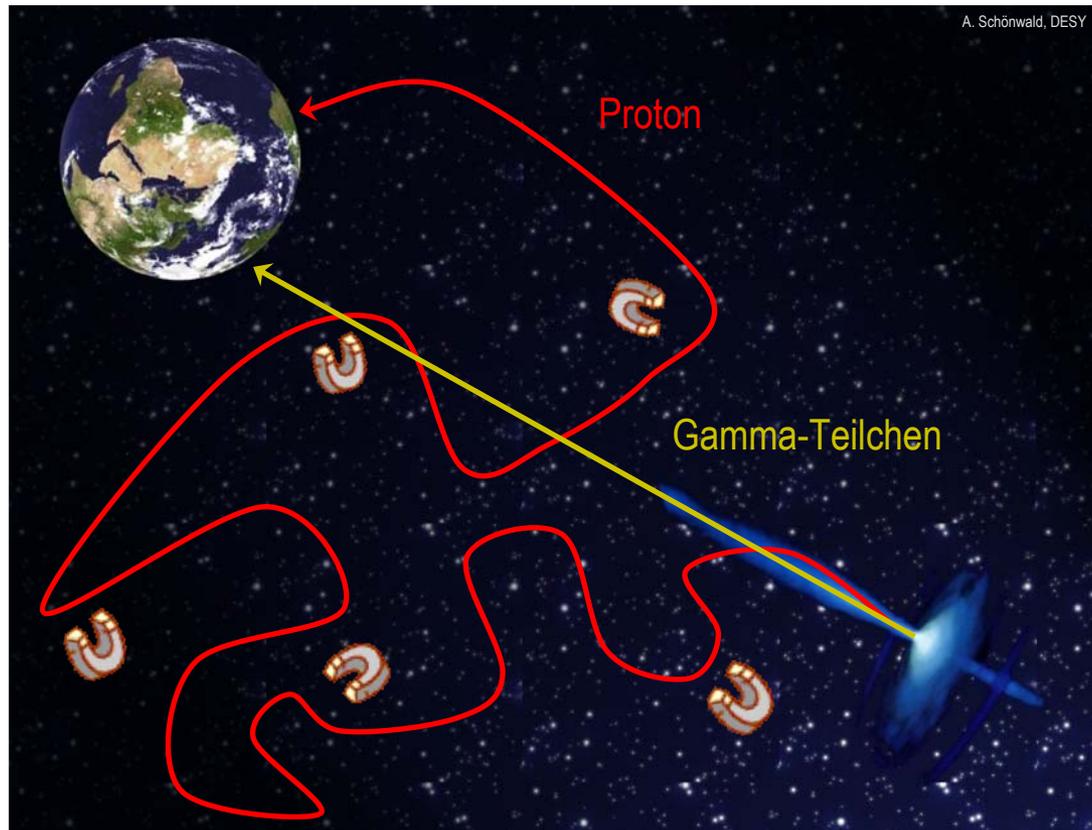
Alles Weitere im Vortrag von Marine!

# Cherenkovlicht-Bilder

- ▶ ... verraten Richtung, aus der Primärteilchen kam
- ▶ ... verraten Energie des Primärteilchens
- ▶ ... verraten, was für ein Teilchen das Primärteilchen war:



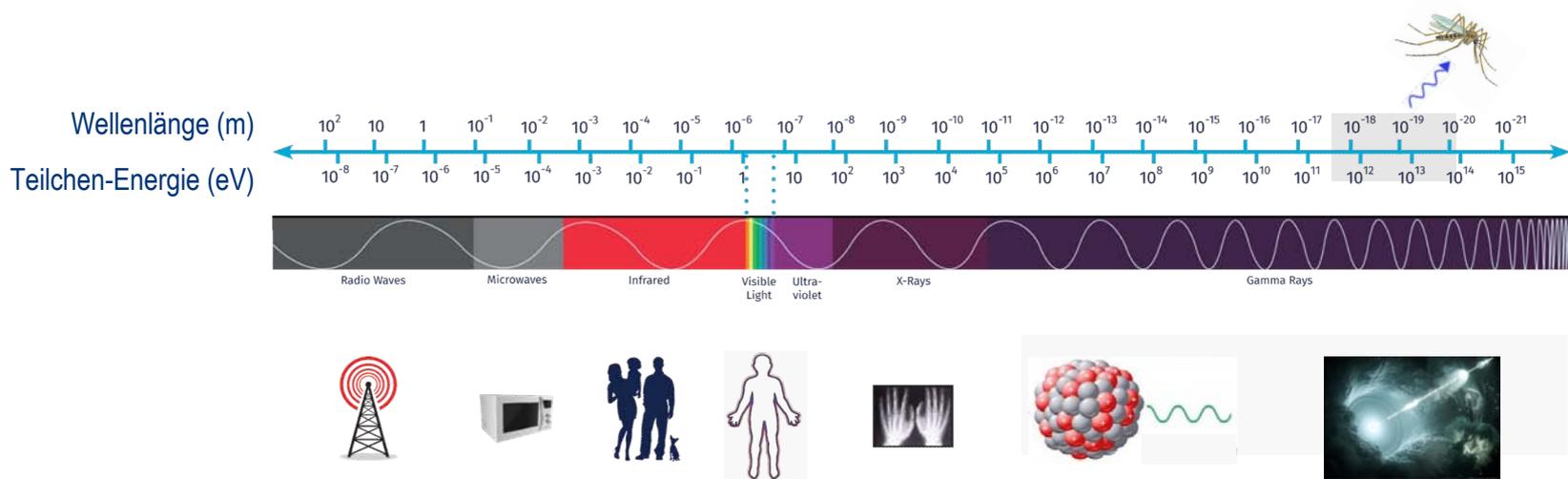
# Gamma-Teilchen verraten die Quellen



Lichtteilchen werden nicht magnetisch abgelenkt

# Gamma-Teilchen verraten die Quellen

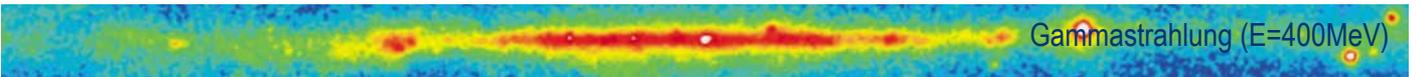
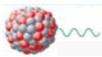
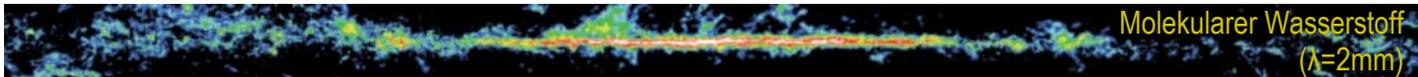
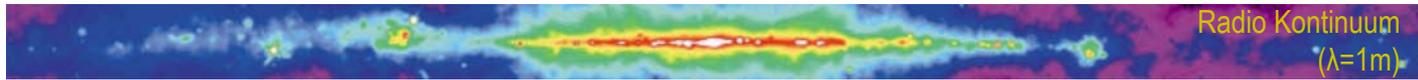
- Sichtbare Farben nur kleiner Teil des elektromagnetischen Spektrums
- Albert Einstein: Auch Licht besteht aus Teilchen (kleinen Energiepaketen)



# Alles Gute kommt von oben: „optisches“ Licht

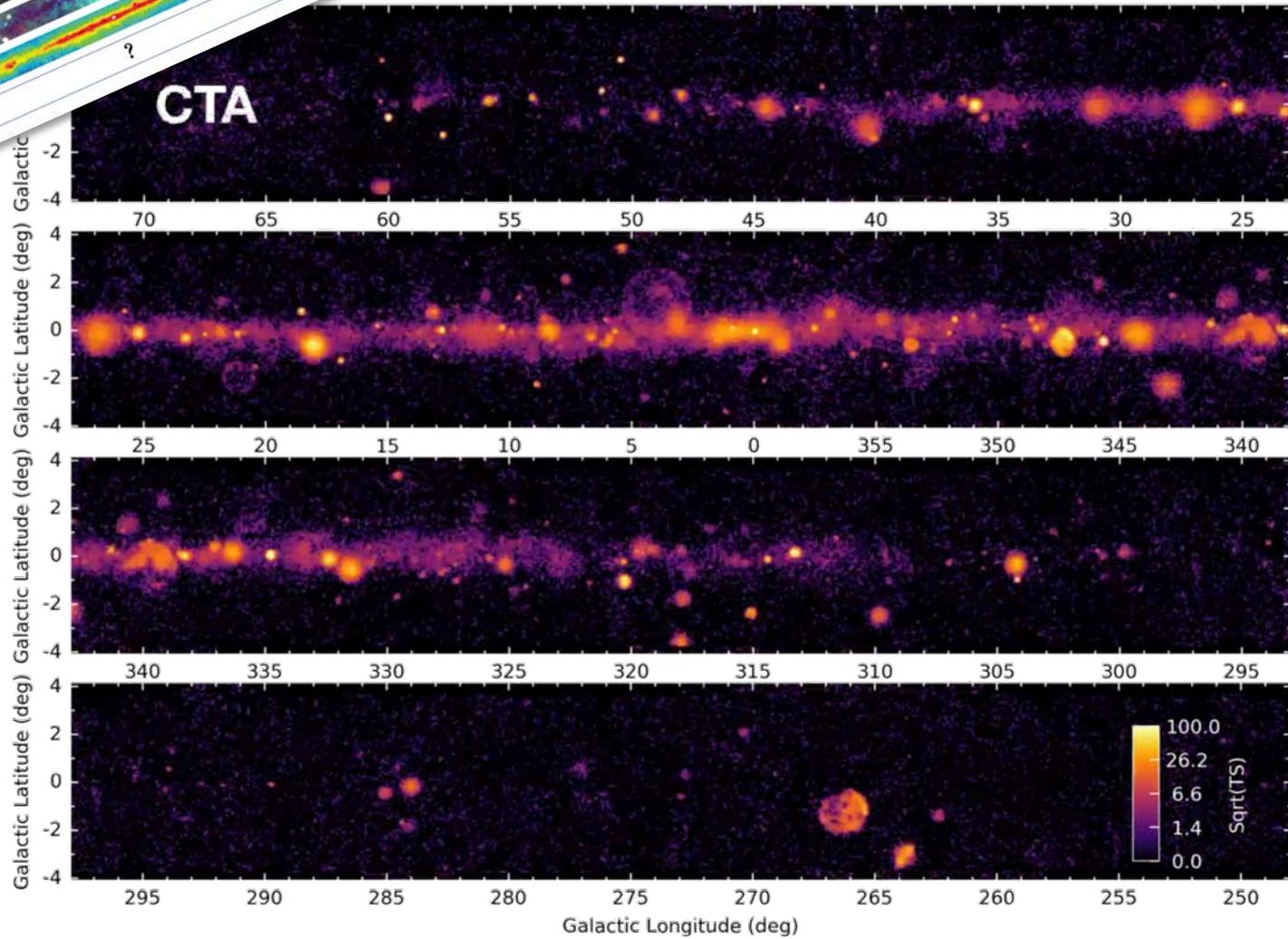
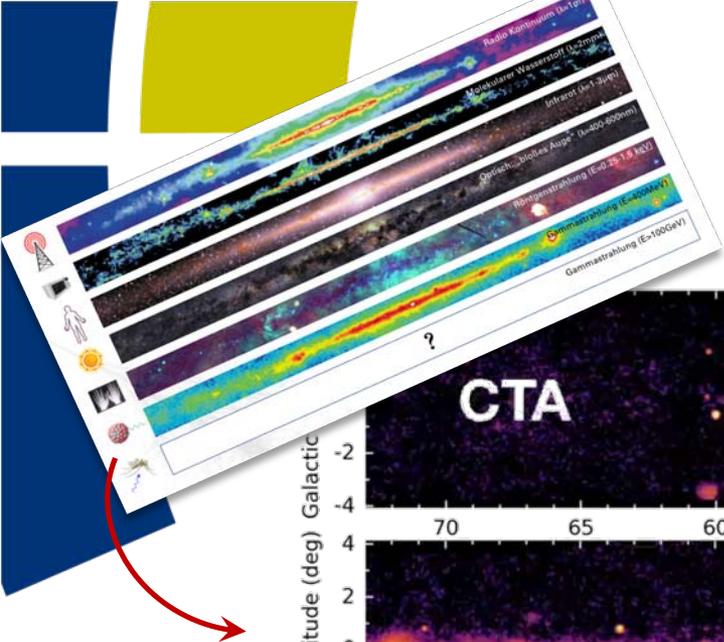


# Alles Gute kommt von oben: andere Wellenlängen



# Simulation

Roberta Zanin, Christoph Deil



Viele Fragen noch offen:

- ▶ Welche Quellen produzieren Protonen, Elektronen, Neutrinos?
- ▶ Was genau erzeugt einen Gammablitz?
- ▶ Was ist die Dunkle Materie?



**Ihr seid gefragt!**