

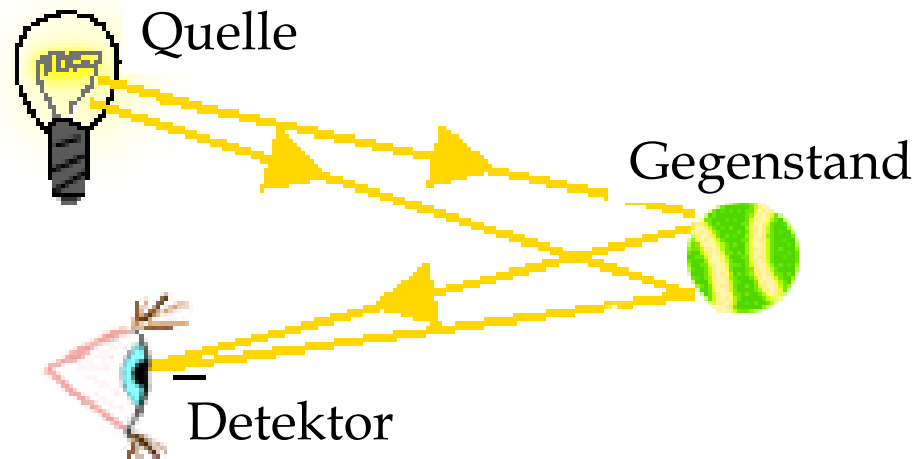
Das Unsichtbare sichtbar machen



Ullrich Schwanke
Humboldt-Universität zu Berlin



Detektoren – die Augen der Teilchenphysiker



- Teilchen sind zu klein, um sie mit bloßen Auge zu sehen
- Teilchen müssen wechselwirken, um nachweisbar zu sein.

Voraussetzung für den Nachweis: Wechselwirkung der Teilchen mit Materie

Verschiedene Arten der Wechselwirkung:

- **Schwerkraft:** gut für den Nachweis von Kometen,
für Teilchen nicht sehr hilfreich
- **Elektromagnetisch:** Ionisation, Szintillationslicht
Photoeffekt
elektromagnetische Schauer (e^\pm, γ)
Aussendung von Tscherenkow-Licht
- **Stark:** Kern-WW (Neutron-Nachweis),
hadronische Schauer
- **Schwach:** Neutrino-Nachweis (inverser β -Zerfall)

Tscherenkow-Strahlung

Teilchen kann in einem Medium mit Brechungsindex n **schneller** sein **als Licht**:

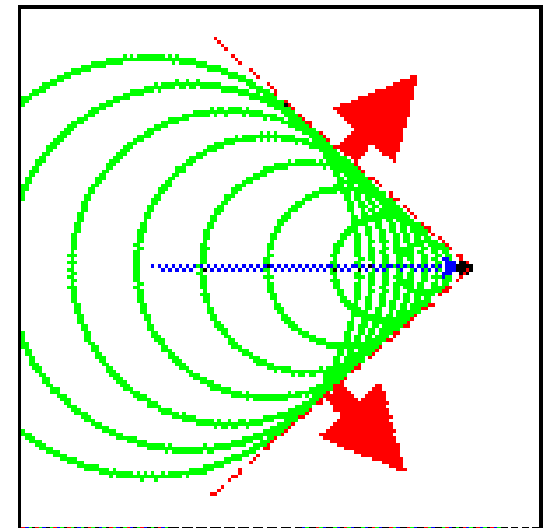
$$c_{\text{medium}} = c_{\text{vakuum}} / n$$

- Wasser: $n = 1,33$
- Eis: $n = 1,3$
- Diamant: $n = 2,4$
- Gase: $n \approx 1 + 0,001..$

⇒ Effekt wie bei Schall: „Schallmauer“ (Machscher Kegel)

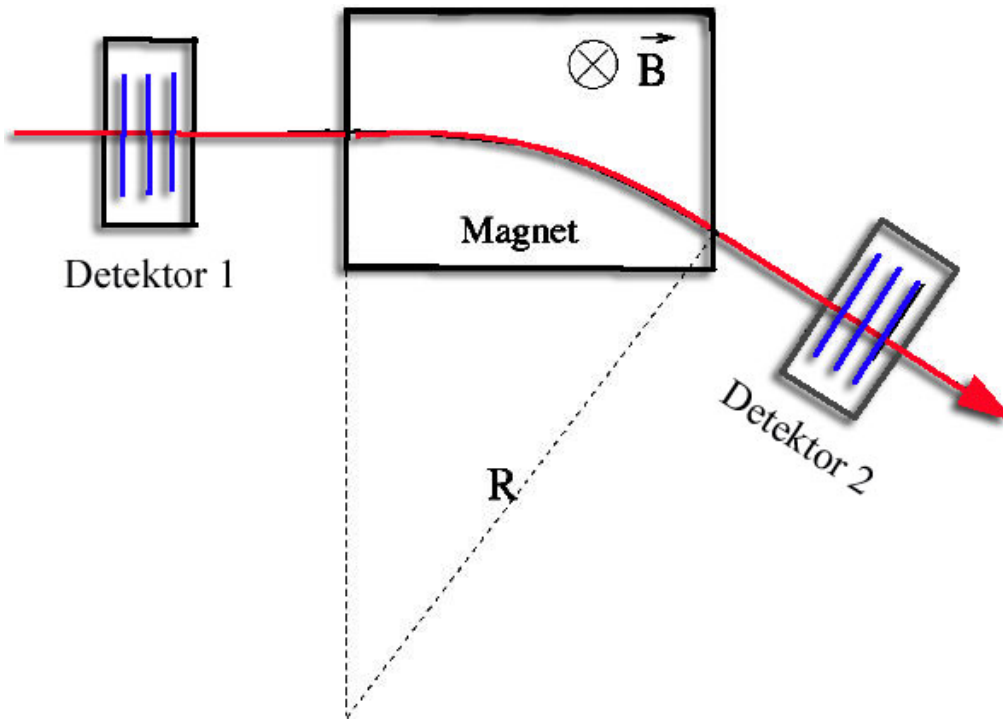


Cherenkov-Kegel



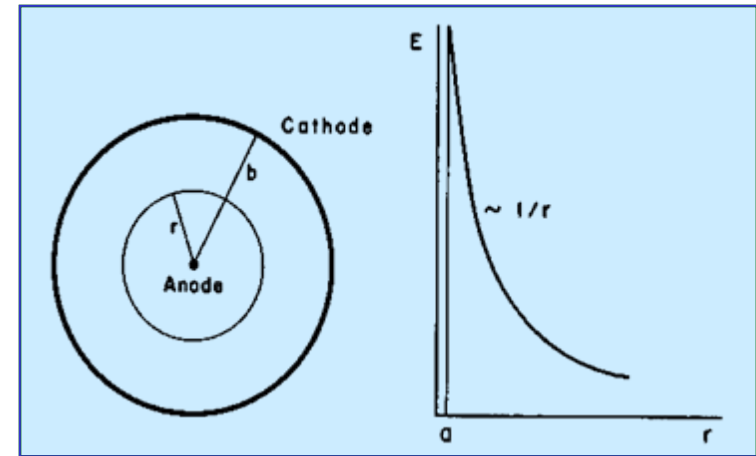
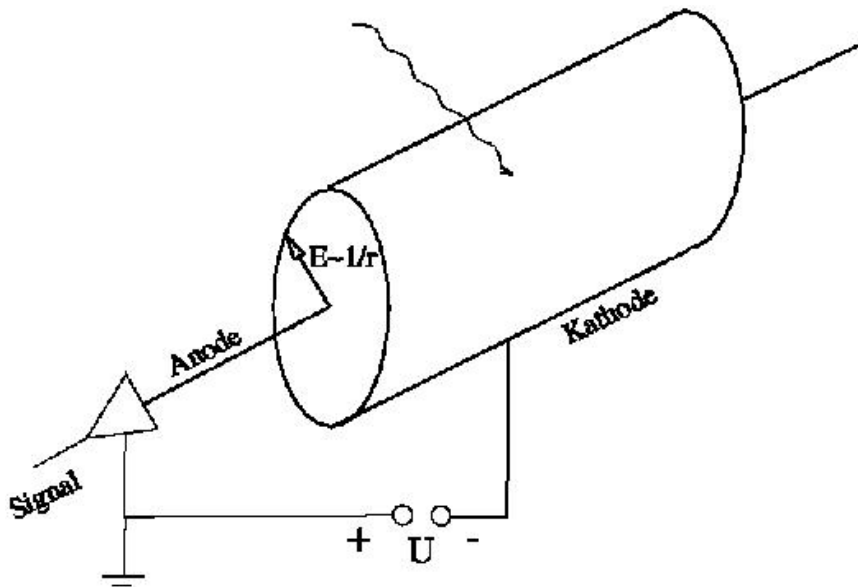
Impulsmessung: Prinzip

Impuls = Masse \times Geschwindigkeit

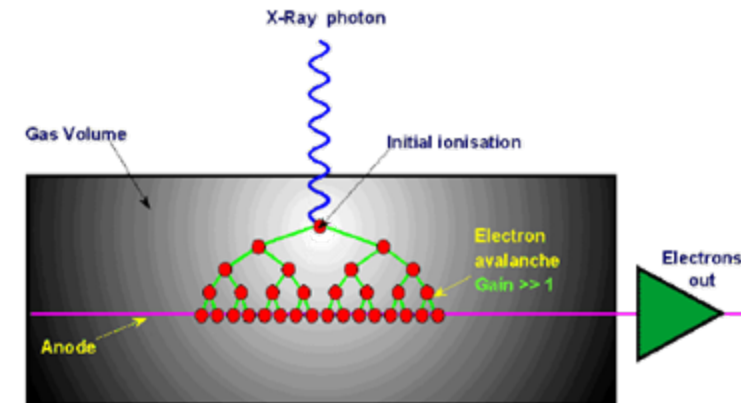


- Stärke der Krümmung \rightarrow Impuls
- Richtung der Krümmung \rightarrow Ladung
- Rückführung der Impulsmessung auf eine Ortsmessung
- Häufig ganze Detektoren im Magnetfeld

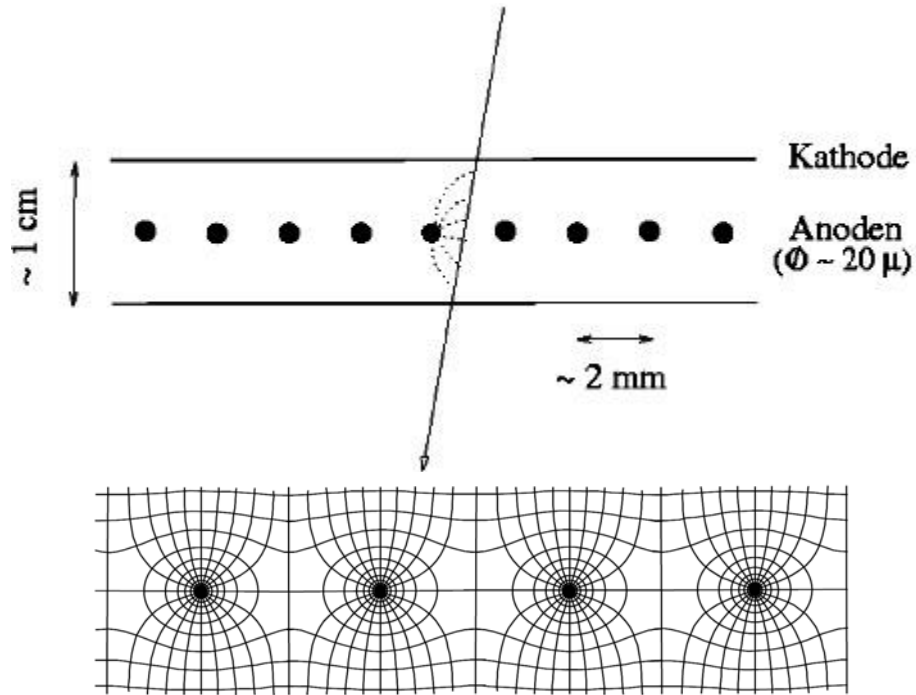
Ortsmessung: z.B. Geiger-Müller-Zähler



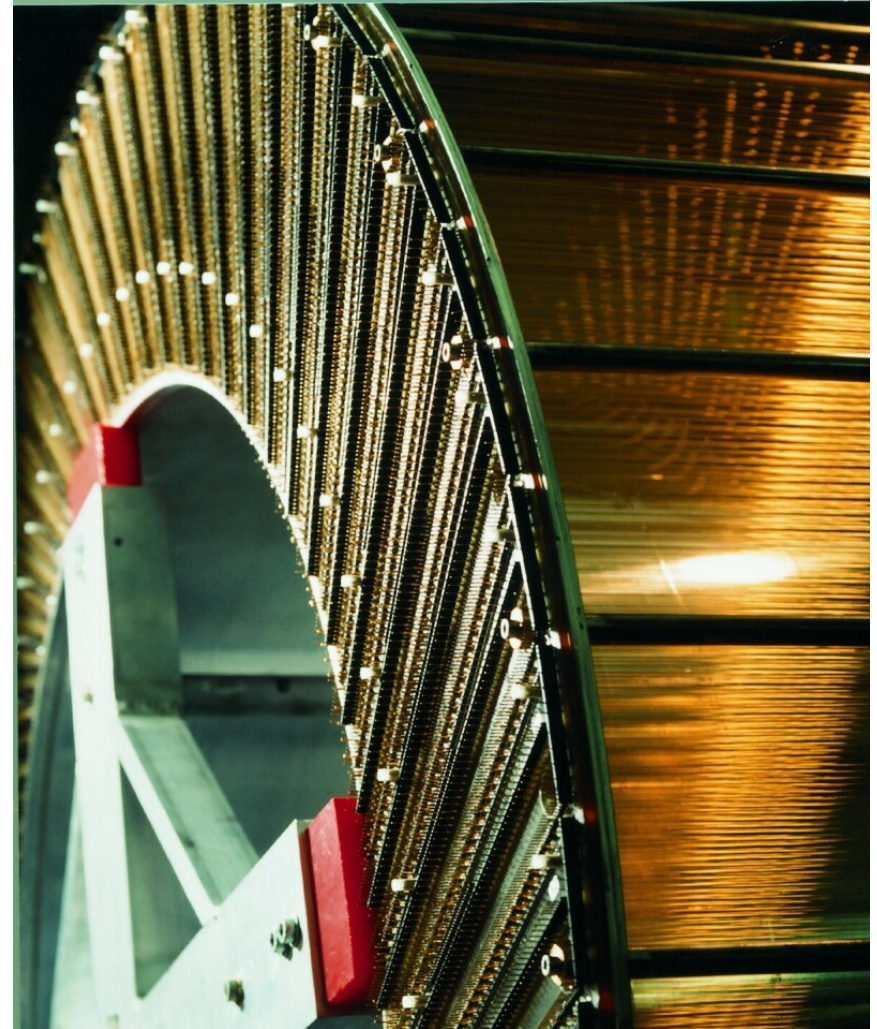
- Ionisationsladungen driften zum Anodendraht → elektrisches Signal durch Gasverstärkung
- Elektronische Auslese



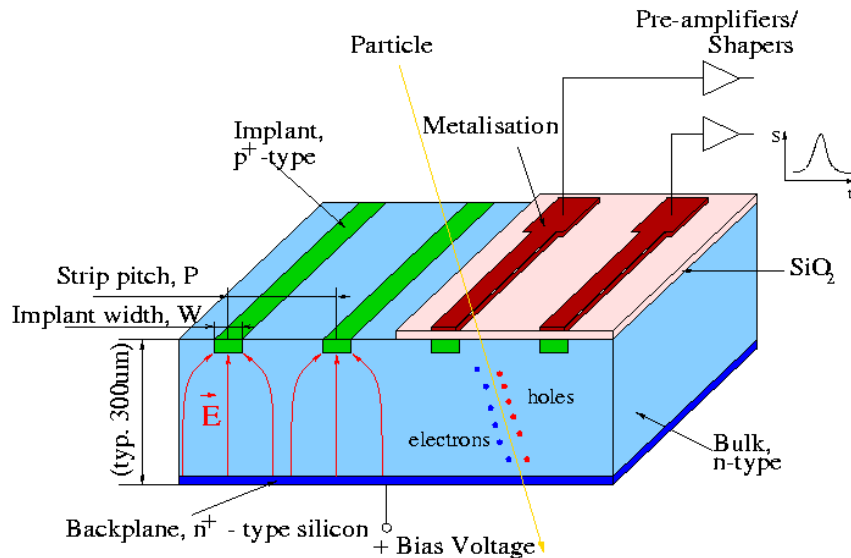
Ortsbestimmung: Spurkammern



- Oft mehrlagig
- Messung von Flugrichtung und Zerfallsstrecke



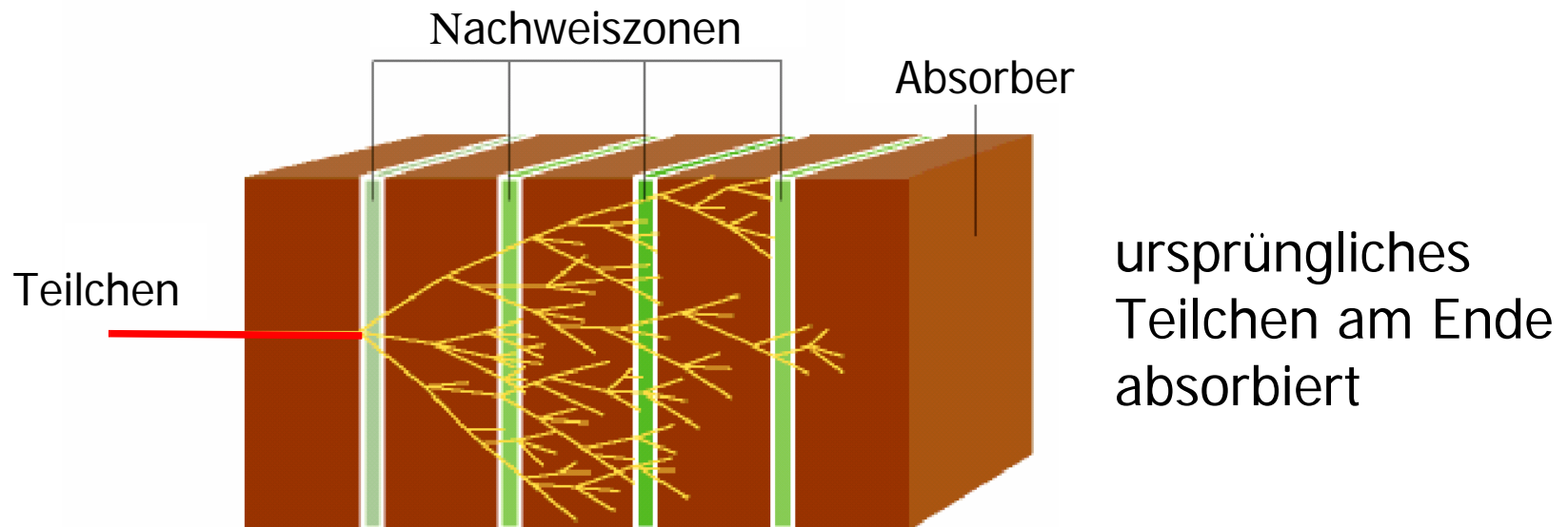
Ortsbestimmung: Siliziumdetektoren



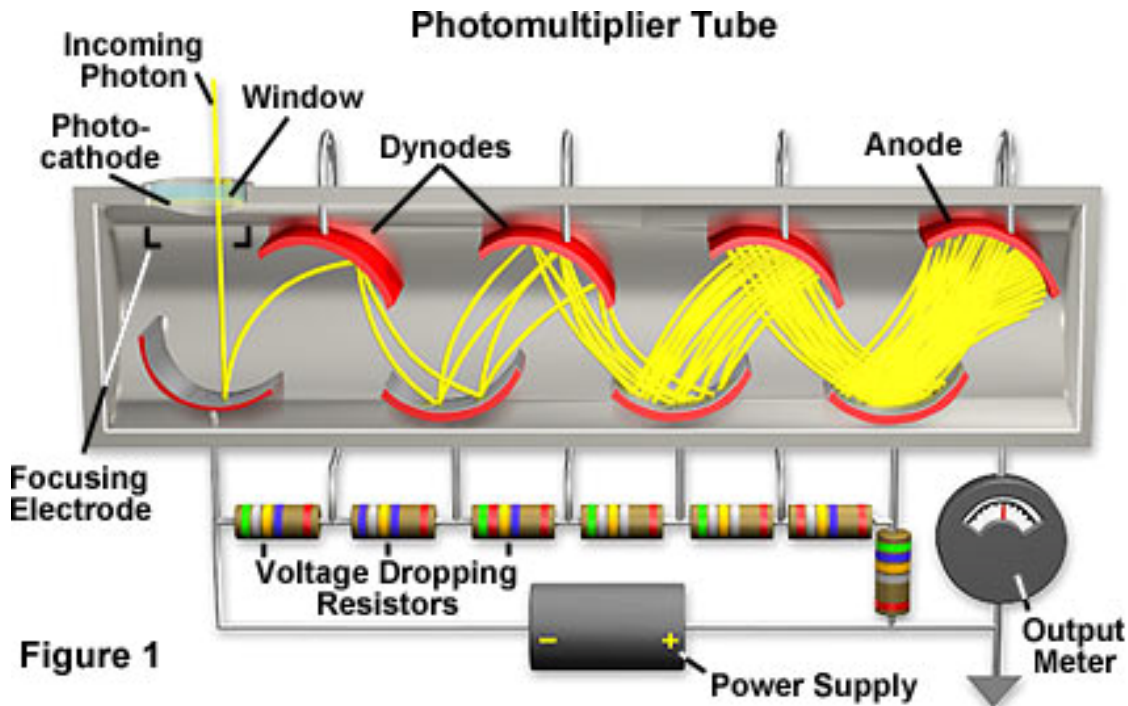
- Funktionsweise ähnlich zu einer in Sperrrichtung geschalteten Diode
- Ionisierende Teilchen erzeugen Elektron-Loch-Paare in Halbleiter, die über Elektronen abgesaugt werden
- Bessere Auflösung (Genauigkeit) als Drahtkammern (Streifenbreite $\sim 20 \mu\text{m}$)
- Oft in der Nähe des Wechselwirkungspunktes angebracht

Energiemessung: Prinzip

- Teilchen geben in Materie ihre Energie durch Produktion neuer Teilchen ab → Schauer
- Anzahl der Teilchen im Schauer ist proportional zur Energie
- Messung von Szintillationslicht in den Nachweiszonen



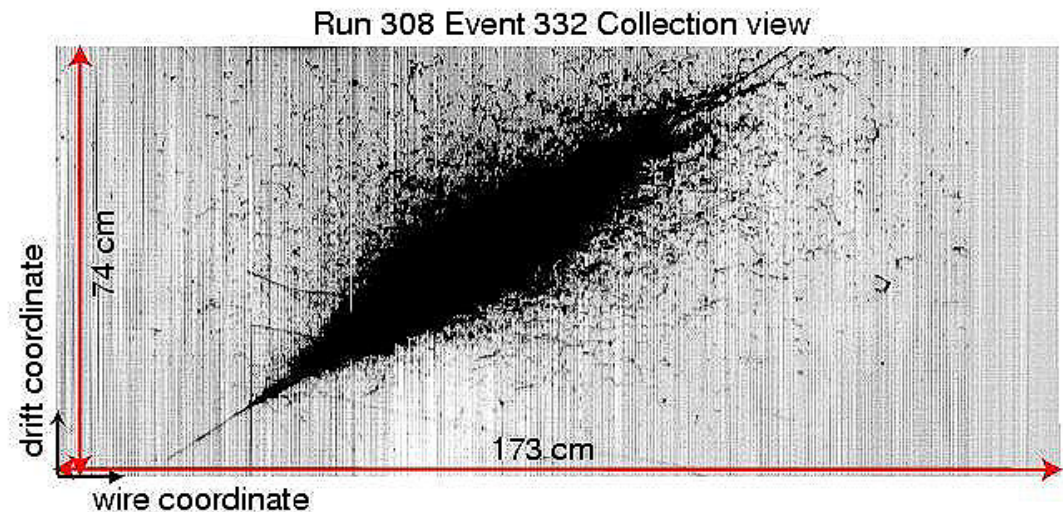
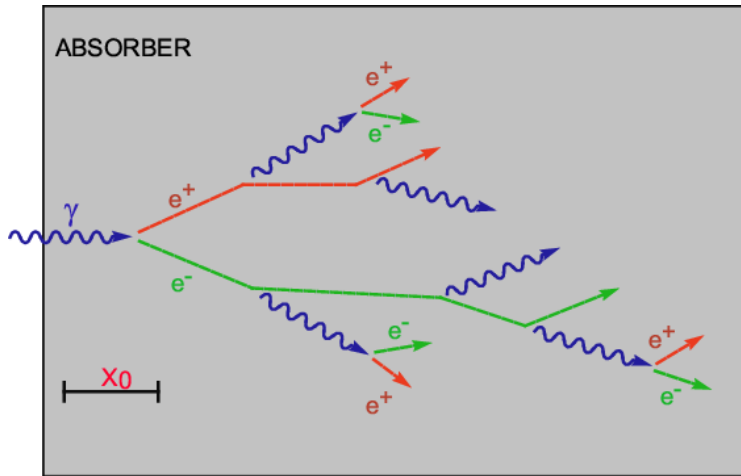
Photovervielfacher-Röhren



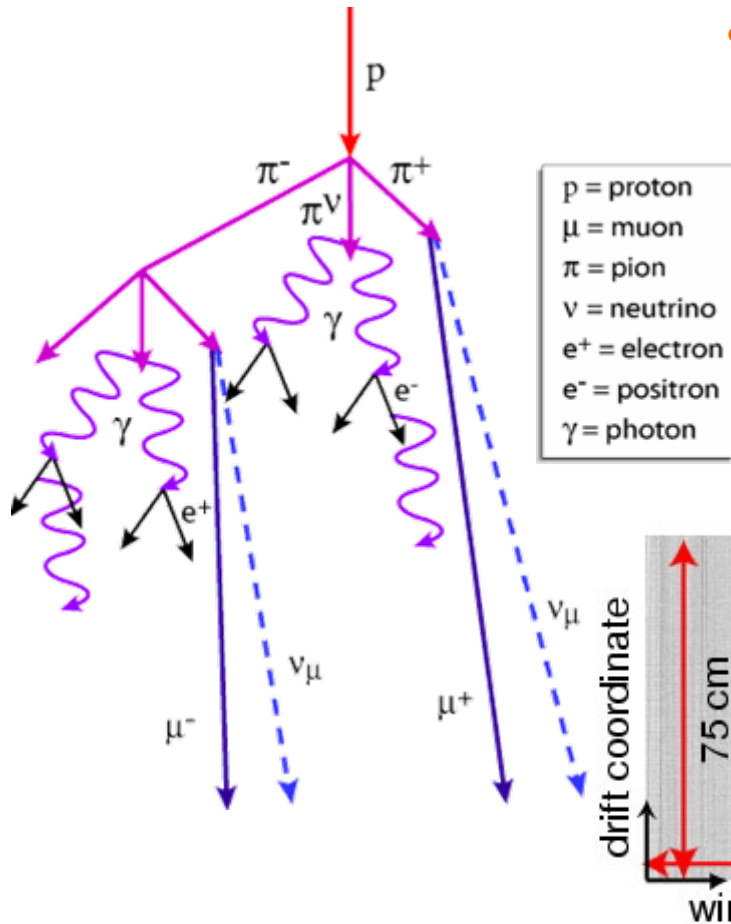
- Auch PMT ("photo multiplier tube") genannt
- Umwandlung von Licht in Spannungspuls
- Nachweis von Szintillations- und Tscherenkow-Licht

Messung der Energie: Kalorimeter (1/3)

- elektromagnetisches Kalorimeter
 - Elektronen/Positronen und Photonen verursachen in Materie Schauer aus Photonen und Elektron-Positron-Paaren
 - kurze, kompakte Schauer



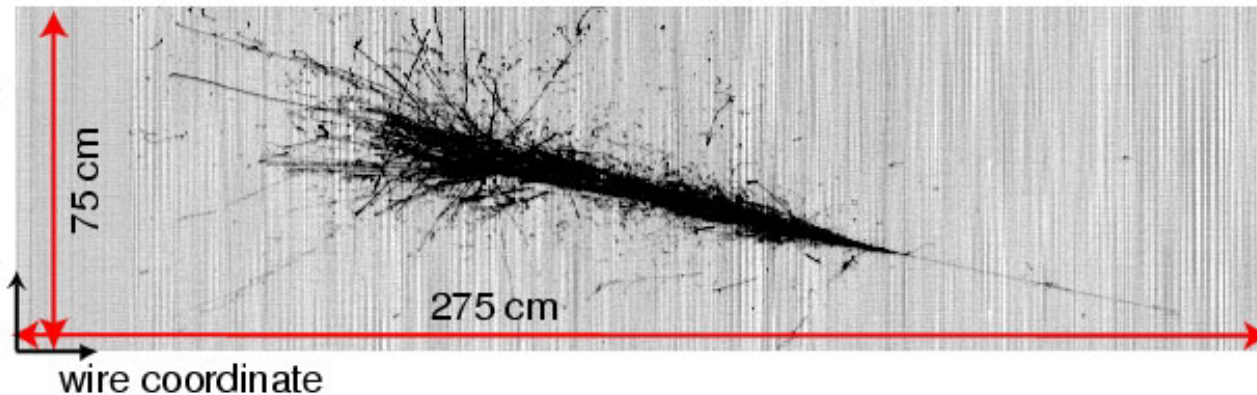
Messung der Energie: Kalorimeter (2/3)



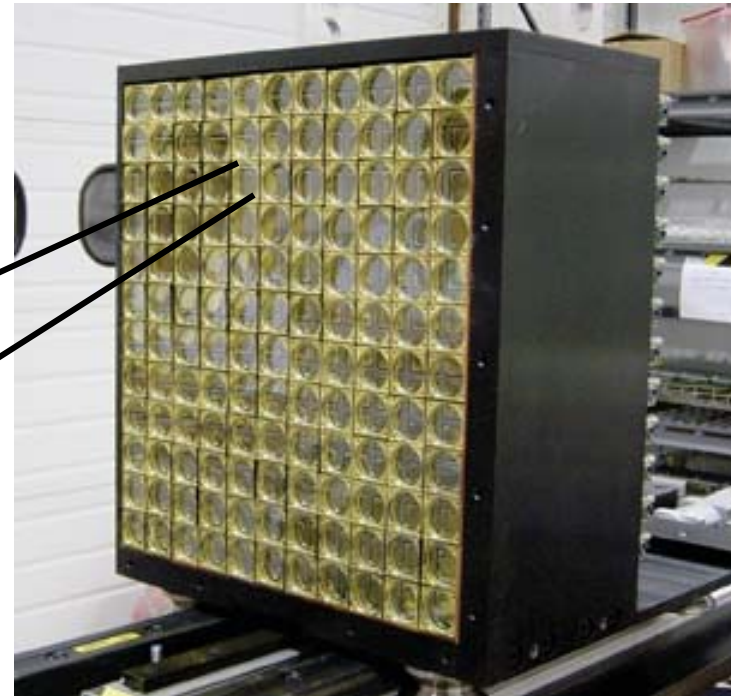
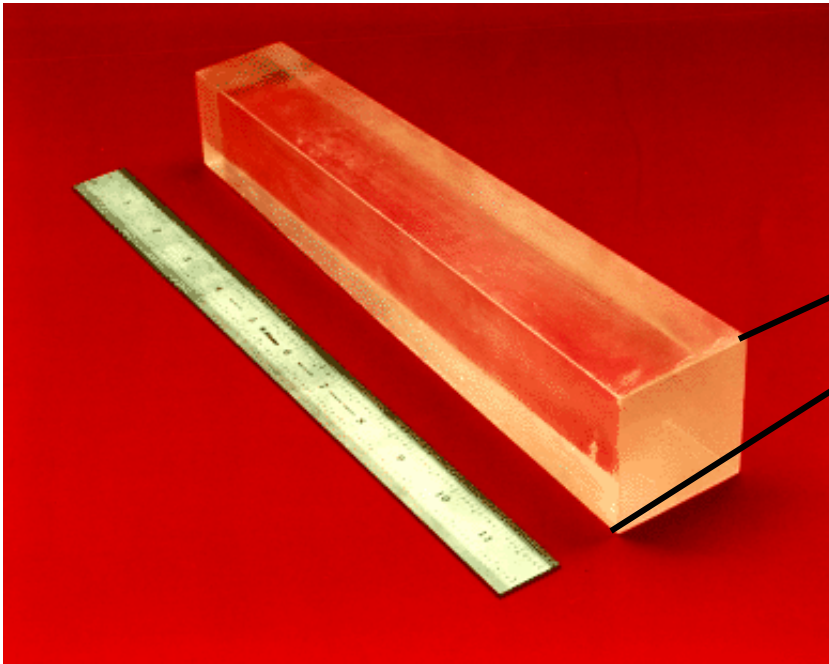
- hadronisches Kalorimeter

- Hadronen (z.B. Protonen, Pionen, Neutronen) verursachen in Materie Schauer aus weiteren Hadronen
- tiefe, ausgedehnte Schauer

Run 308 Event 7 Collection view



Kalorimeter (3/3)



1 m

- Kalorimeter-Materialien: Kristalle, Blei, ...
- Ortsauflösung: ~ 5 cm

„Besondere“ Teilchen



Myon (1/10 Protonmasse)



Neutrinos (fast masselos)



Tau (~2 Protonmassen)

- Schwerere Ausgabe des Elektrons
 - wenig Wechselwirkung mit Materie
 - durchdringen fast alles
 - hinterlassen nur wenig Energie
-
- elektrisch neutral, schwache Wechselwirkung mit Materie
 - entkommen unerkannt und machen sich durch „verschwundene“ Energie bemerkbar
-
- Schwerere Ausgabe des Myons
 - Viele Zerfallskanäle, Zerfallskaskaden
 - Neutrinos, leichtere Leptonen und Hadronen entstehen

Tau-Zerfälle

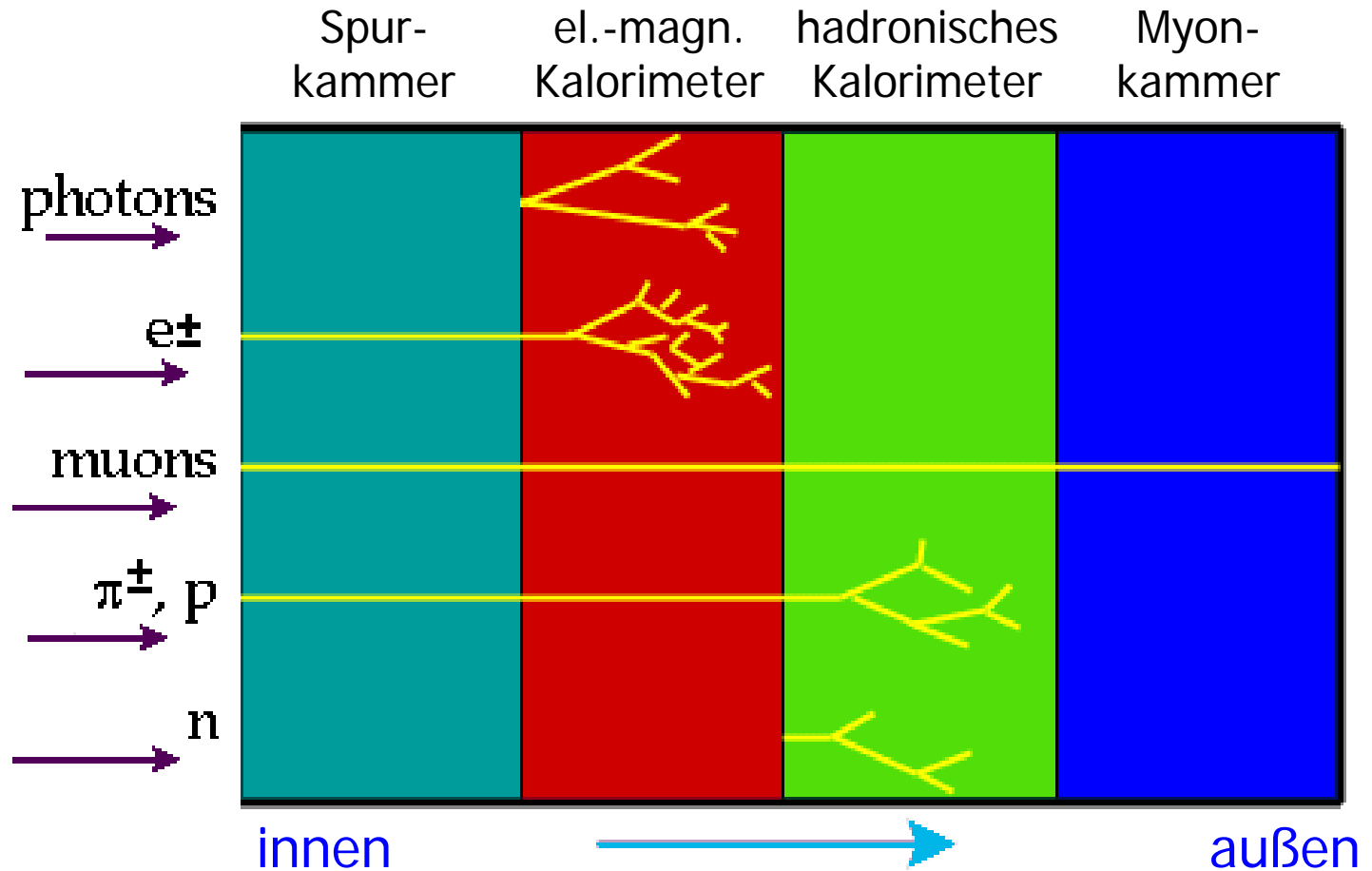


- Hadronen und Leptonen unter den Zerfallsprodukten – mit entsprechenden Schauern
- Neutrinos verraten sich durch "fehlende" Energie
- Schwierig!

Tabelle: Die Zerfallsmodi des Tau-Leptons mit den größten Verzweungsverhältnissen am Beispiel des τ^- -Zerfalls.

| Zerfallsmodus | Verzweungsverhältnis | |
|------------------------------------|----------------------|---------|
| $\pi^- \pi^0 \nu_\tau$ | $24.0\% \pm 0.6\%$ | 1-prong |
| $e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau$ | $17.9\% \pm 0.3\%$ | 1-prong |
| $\mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$ | $17.6\% \pm 0.3\%$ | 1-prong |
| $\pi^- \nu_\tau$ | $11.6\% \pm 0.4\%$ | 1-prong |
| $\pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ | $5.6\% \pm 0.7\%$ | 3-prong |
| $\pi^- \pi^- \pi^+ \pi^0 \nu_\tau$ | $4.4\% \pm 1.6\%$ | 3-prong |
| $\pi^- \pi^0 \pi^0 \pi^0 \nu_\tau$ | $3.0\% \pm 2.7\%$ | 1-prong |

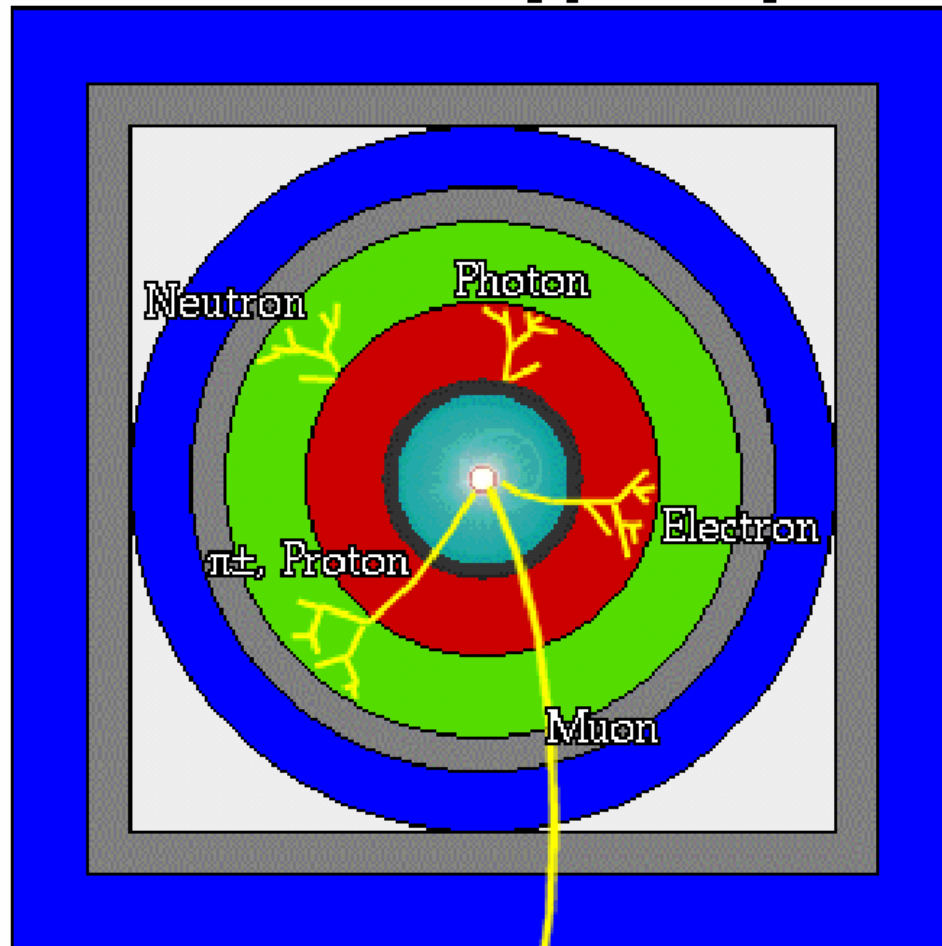
Unterscheidung der Teilchensorten



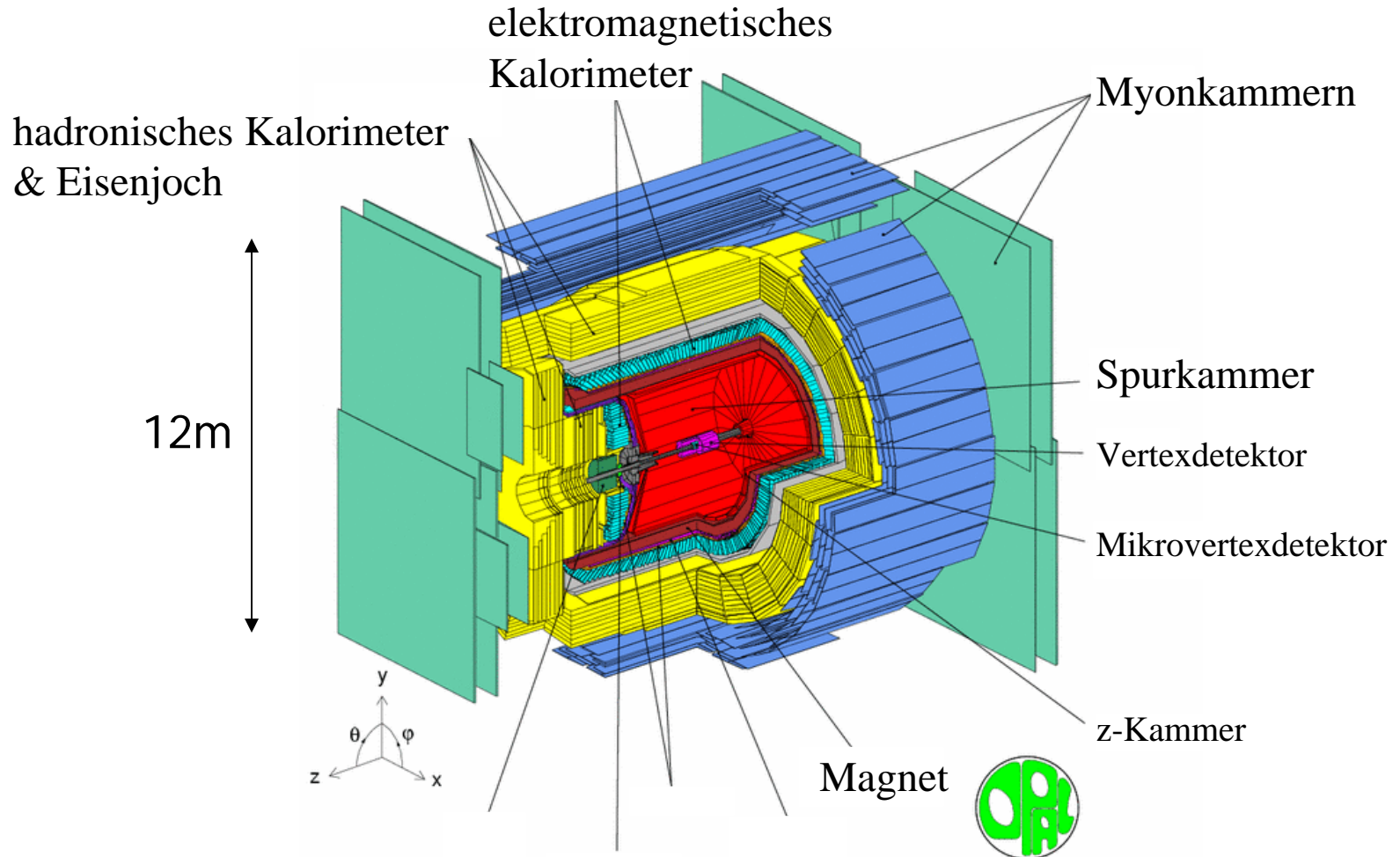
Schematischer Aufbau eines Detektors

Zwiebelschalenartiger Aufbau aus verschiedenen Komponenten

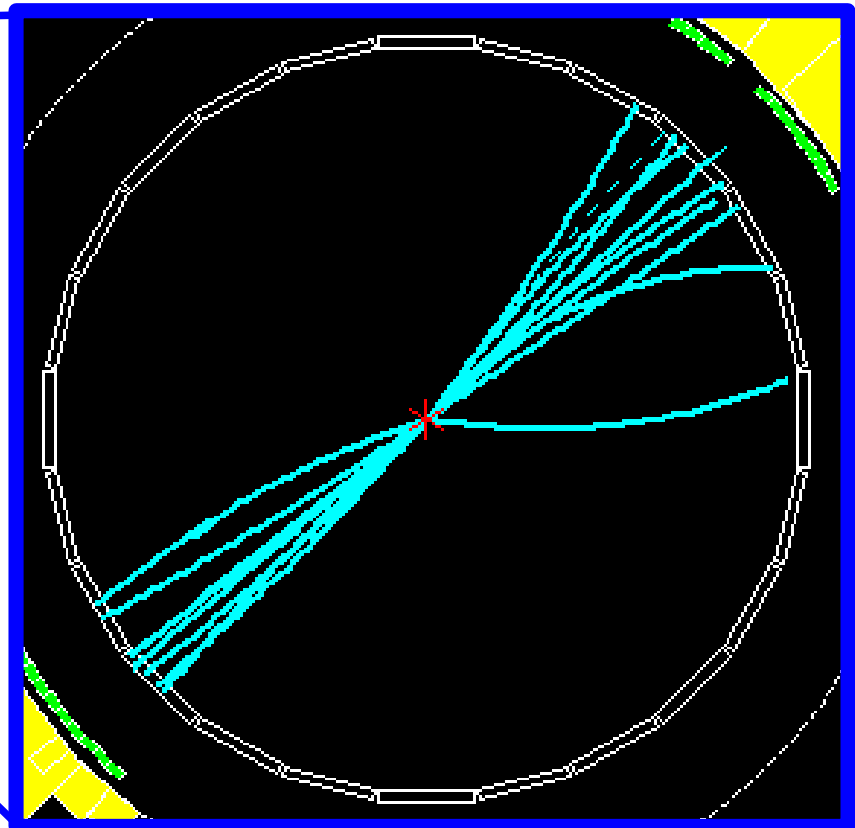
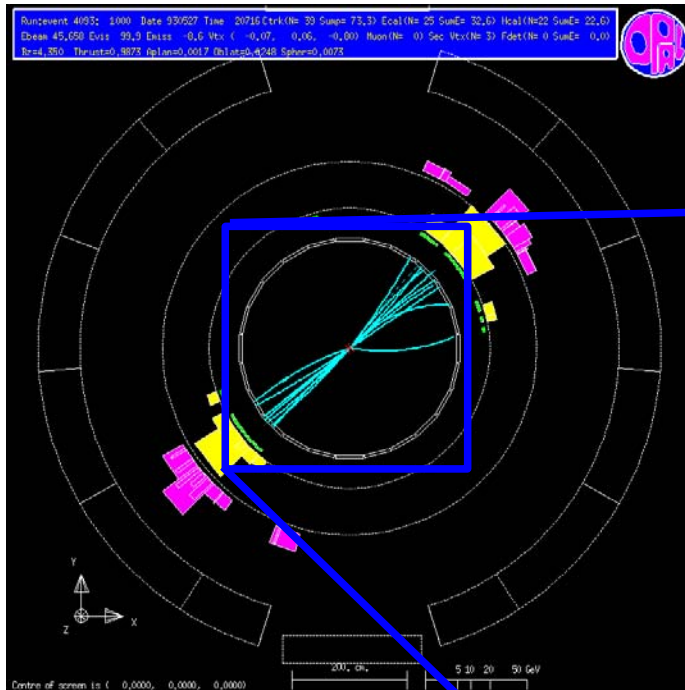
- Strahlrohr
- Spur-
kammer
- Magnet
- el.-magn.
Kalorimeter
- hadron.
Kalorimeter
- Eisenjoch
- Myon-
kammer



Der OPAL-Detektor



Ein Ereignis im OPAL-Detektor



PC-Übung

- Viel Spass beim Klassifizieren der Z-Zerfälle bei der PC-Übung!
 - Bitte Eingang zur Bibliothek im Erwin-Schrödinger-Zentrum benutzen
 - Sachen müssen an der Garderobe abgegeben werden

Von Berlin nach Genf, Afrika und zum Südpol - Teilchenphysik in Berlin/Brandenburg



Martin zur Nedden
Ullrich Schwanke
Humboldt-Universität zu Berlin





DESY Hamburg

CERN, Genf

HU Berlin /
DESY Zeuthen

Reiseplan

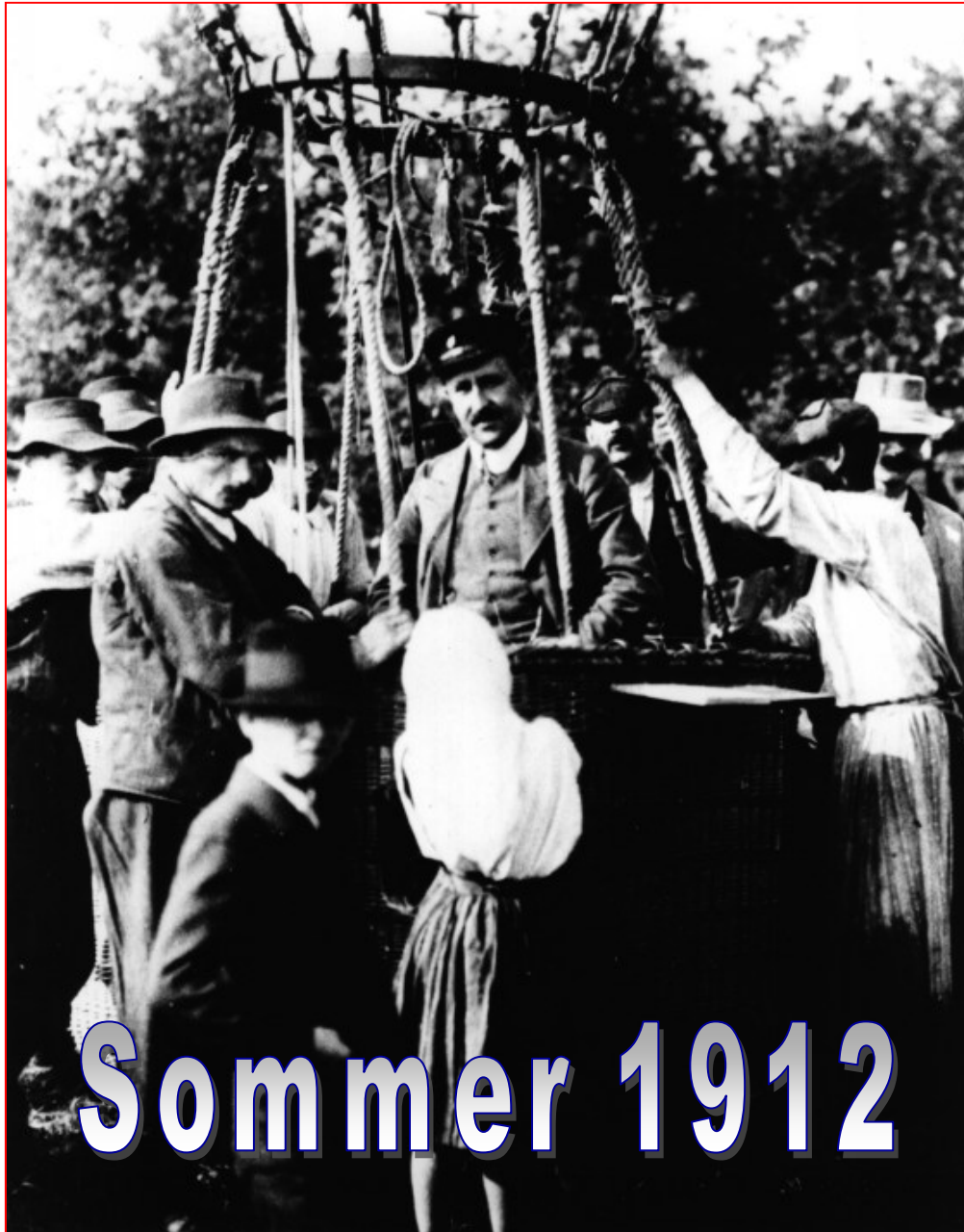
Namibia

Südpol

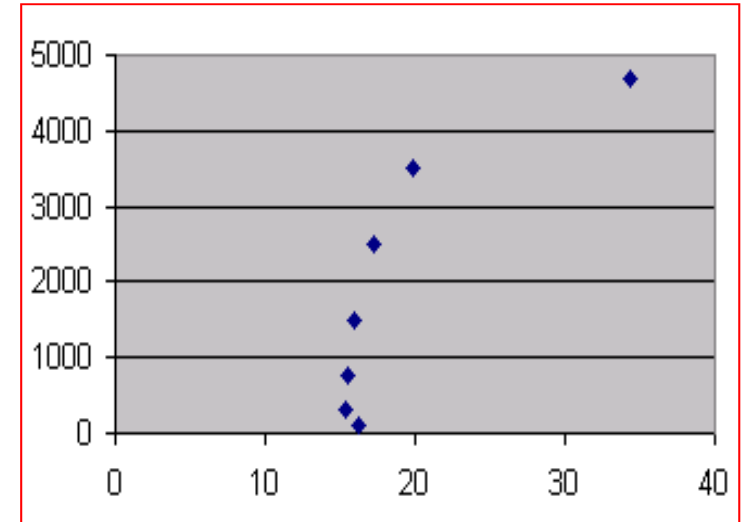
Übersicht

- Motivation: Die Suche nach den Quellen der Kosmischen Strahlung
- Gammastrahlungs-Astronomie mit dem H.E.S.S.-Experiment
- Neutrino-Astronomie mit dem AMANDA/IceCube-Experiment





Höhe (m)



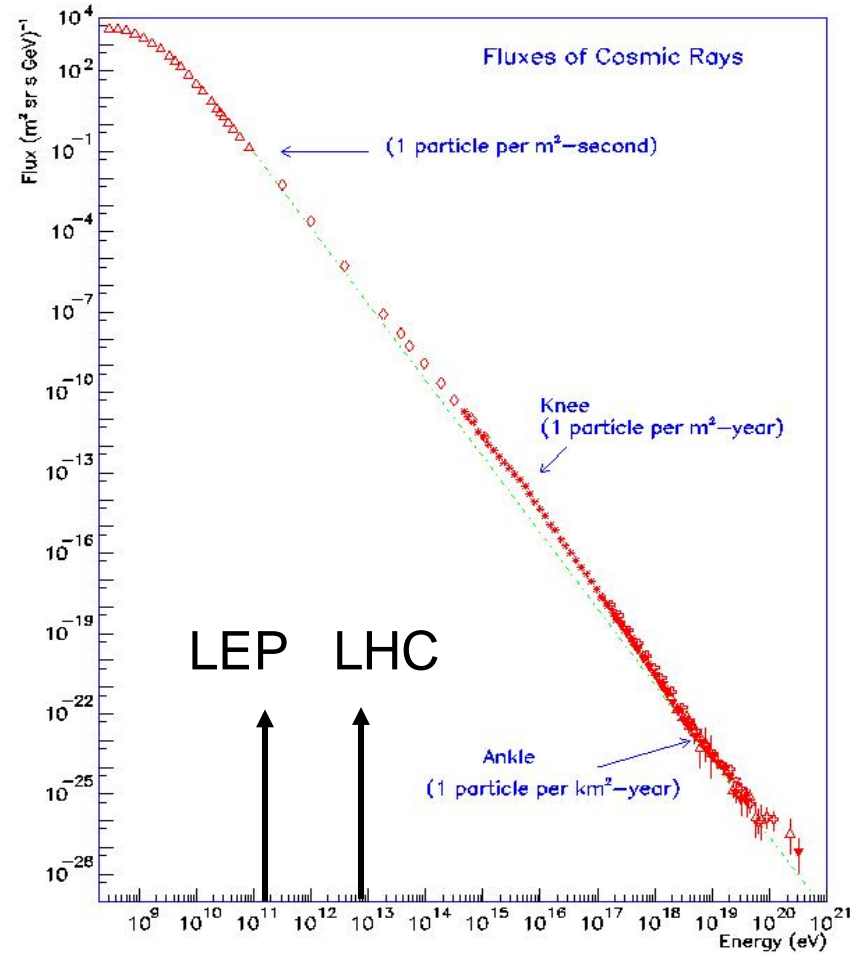
Ionisation

Viktor Hess

Nobelpreis 1936

Kosmische Strahlung

- Nicht-thermisches Spektrum (Potenzgesetz $E^{-\Gamma}$)
- Beachtliche Leistung: 10^{34} Watt ($\sim 10^9$ Sonnen) in der Milchstraße
- Zusammensetzung recht gut bekannt: vorwiegend Protonen, aber auch Kerne
- **Quellen unbekannt**

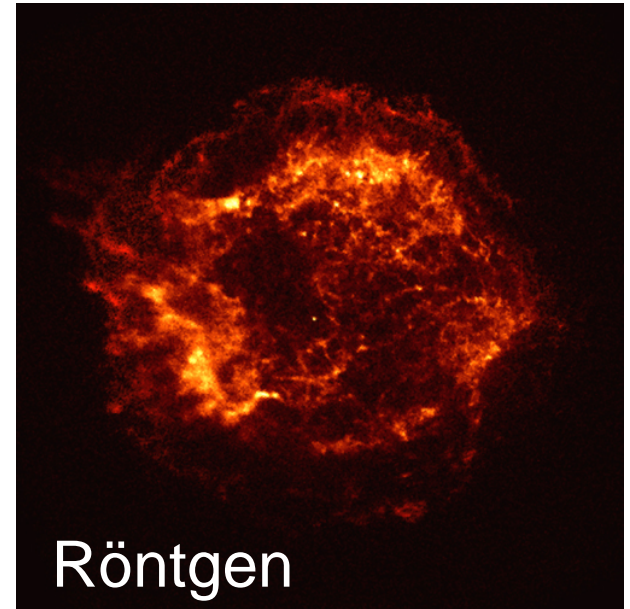


Sind Supernovaresten die Quellen?

- Ausreichende Energiefreisetzung

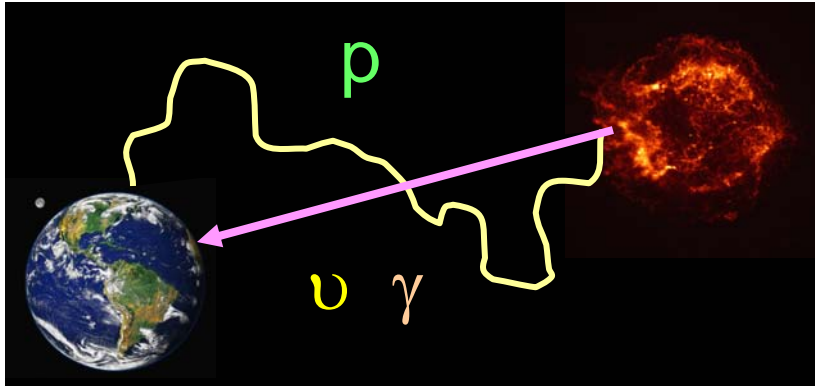
$$(dE/dt)_{SN} = 10 \cdot (dE/dt)_{CR}$$

- Elementzusammensetzung passt
- Diffusiver Schockbeschleunigungs-Mechanismus



Kassiopeia A Supernova,
 $d = 2.8 \text{ kpc}$

Lokalisierung der Quellen?



Protonen und Kerne

- Isotrope Verteilung durch Ablenkung in Magnetfeldern

Neutrinos

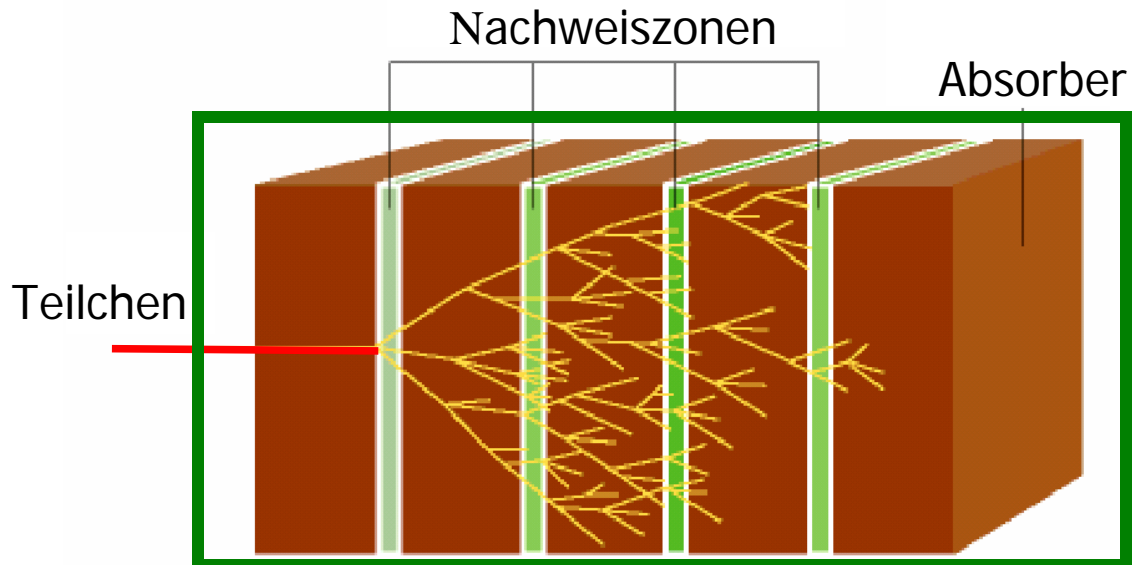
- Die Signatur zum Nachweis hadronischer Wechselwirkungen
- Praktisch keine Absorption in der Quelle oder bei der Ausbreitung

Gammastrahlung

- Entsteht in hadron. und elektromagnet. Wechselwirkungen
- Relativ einfacher Nachweis

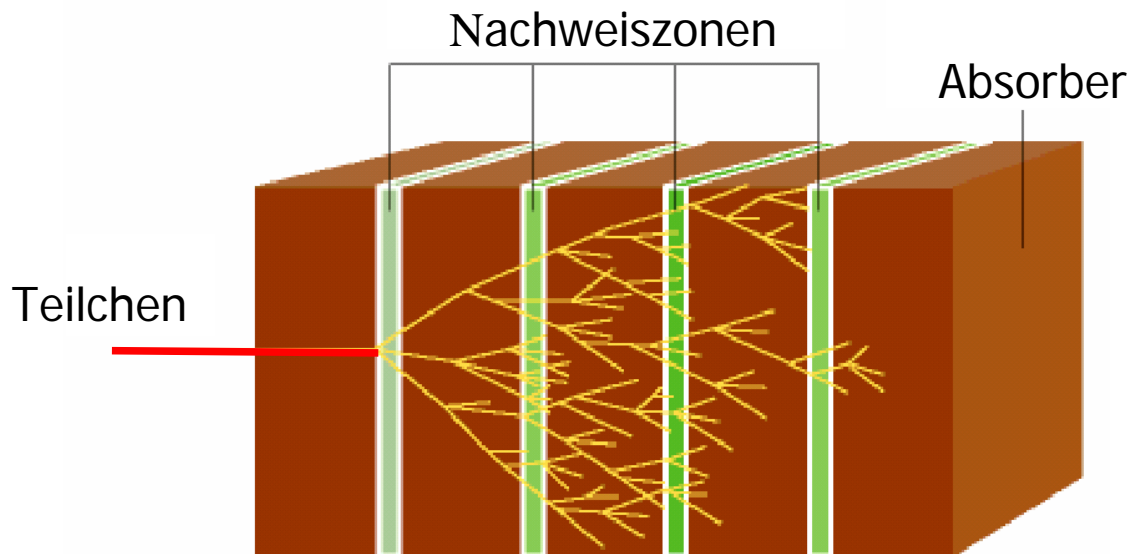
Die abbildende Tscherenkow-Technik

- Nachweis von Gammastrahlung
- Erdatmosphäre wird als Kalorimeter benutzt

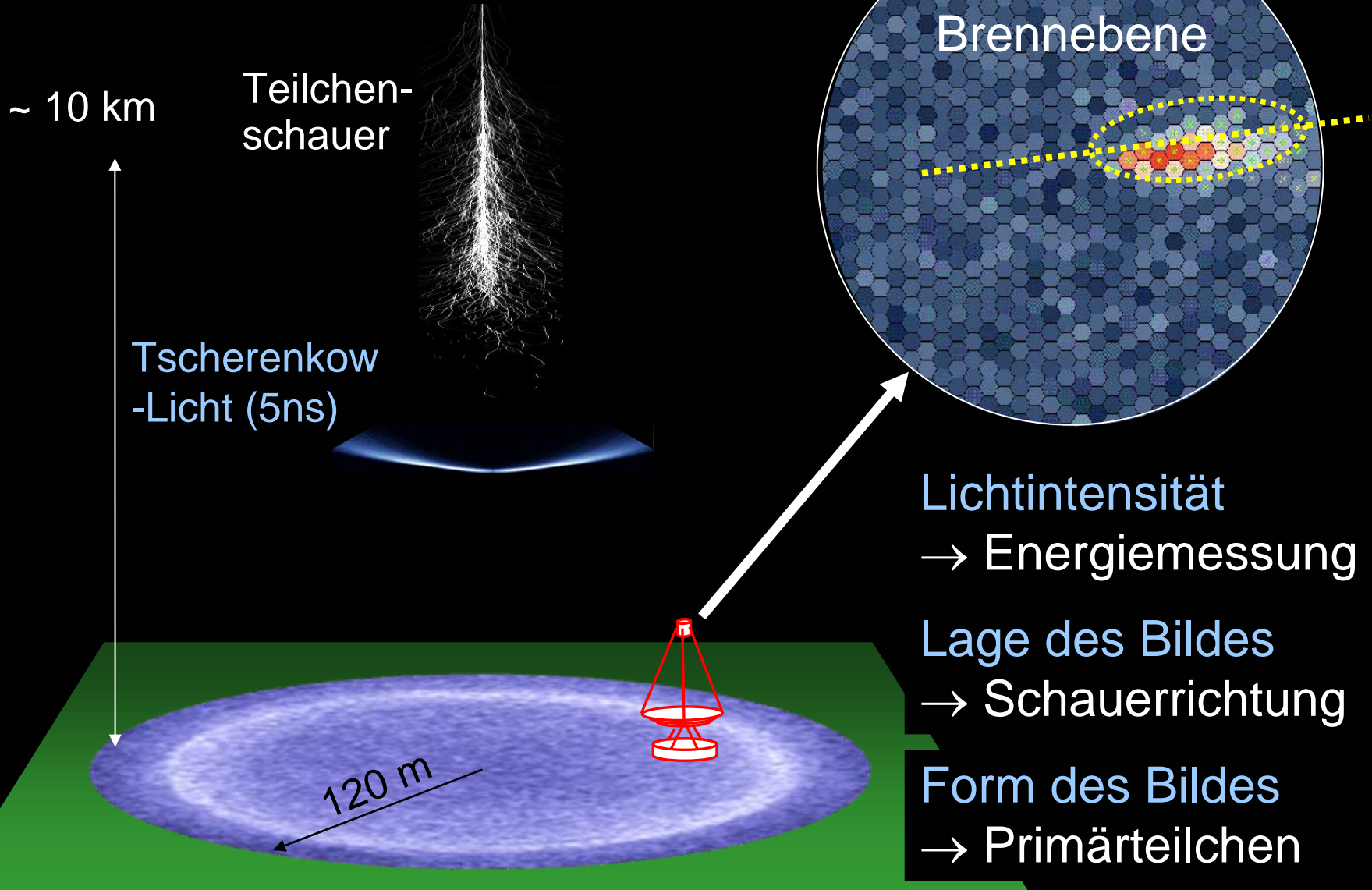


Die abbildende Tscherenkow-Technik

- Nachweis von Gammastrahlung
- Erdatmosphäre wird als Kalorimeter benutzt



Schauerdetektion



High Energy Stereoscopic System

MPI für Kernphysik, Heidelberg

Humboldt-Universität zu Berlin

Ruhr-Universität Bochum

Universität Hamburg

Universität Kiel

Ecole Polytechnique, Palaiseau

College de France, Paris

Universite Paris VI-VII

LEA Saclay

CESR Toulouse

GAM Montpellier

LAOG Grenoble

Paris Observatory

Durham University

Dublin Inst. for Advanced Studies

Charles University Prag

Yerewan Physics Institute

North-West University, Potchefstroom

University of Namibia, Windhoek

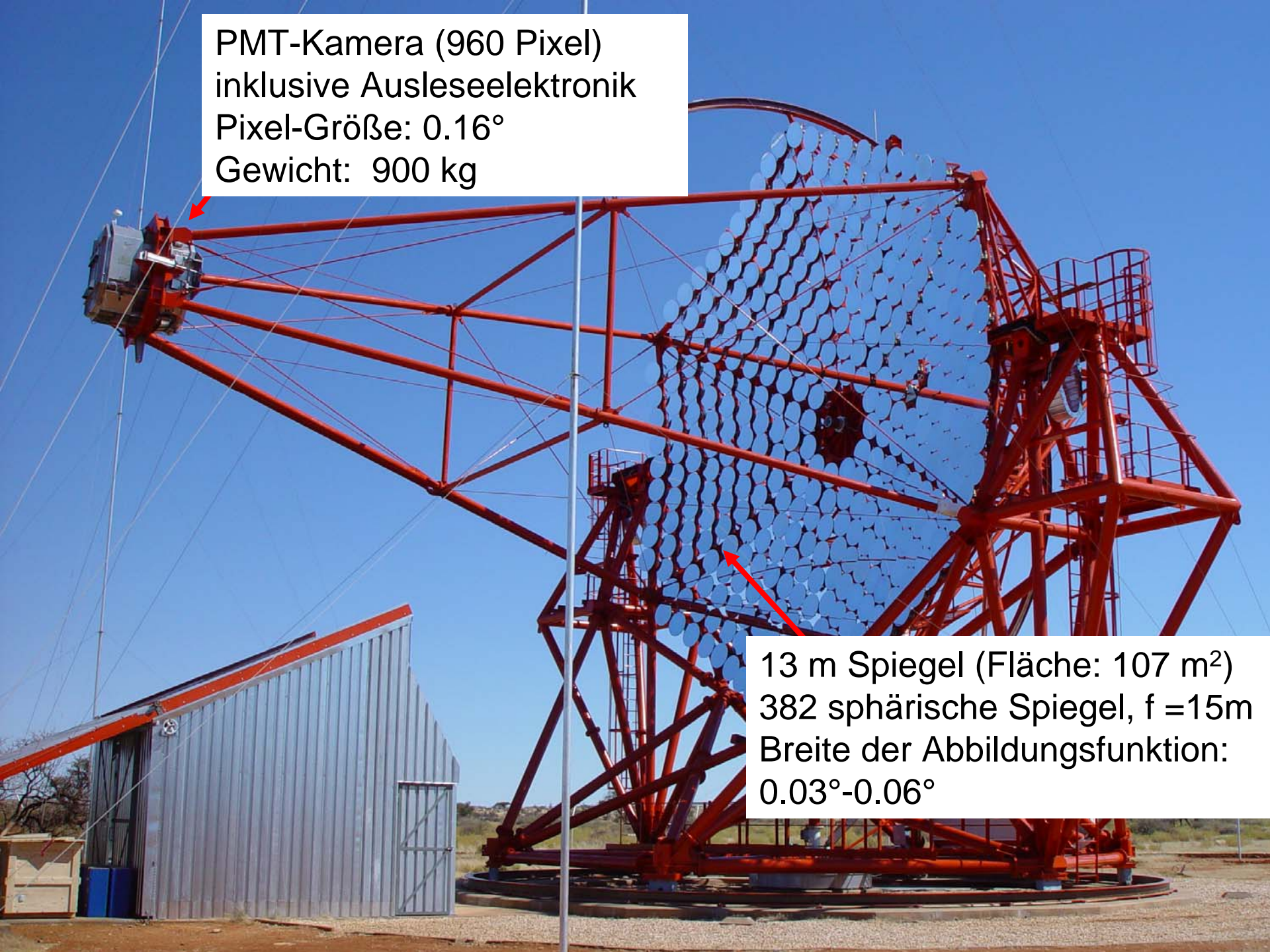


Warum Namibia?

- Klarer Himmel
 - 1000 h pro Jahr
- Galaktisches Zentrum kulminiert im Zenit
- Mildes Klima
- Einfacher Zugang

Farm Göllschau,
Khomas Hochland,
100 km von Windhoek

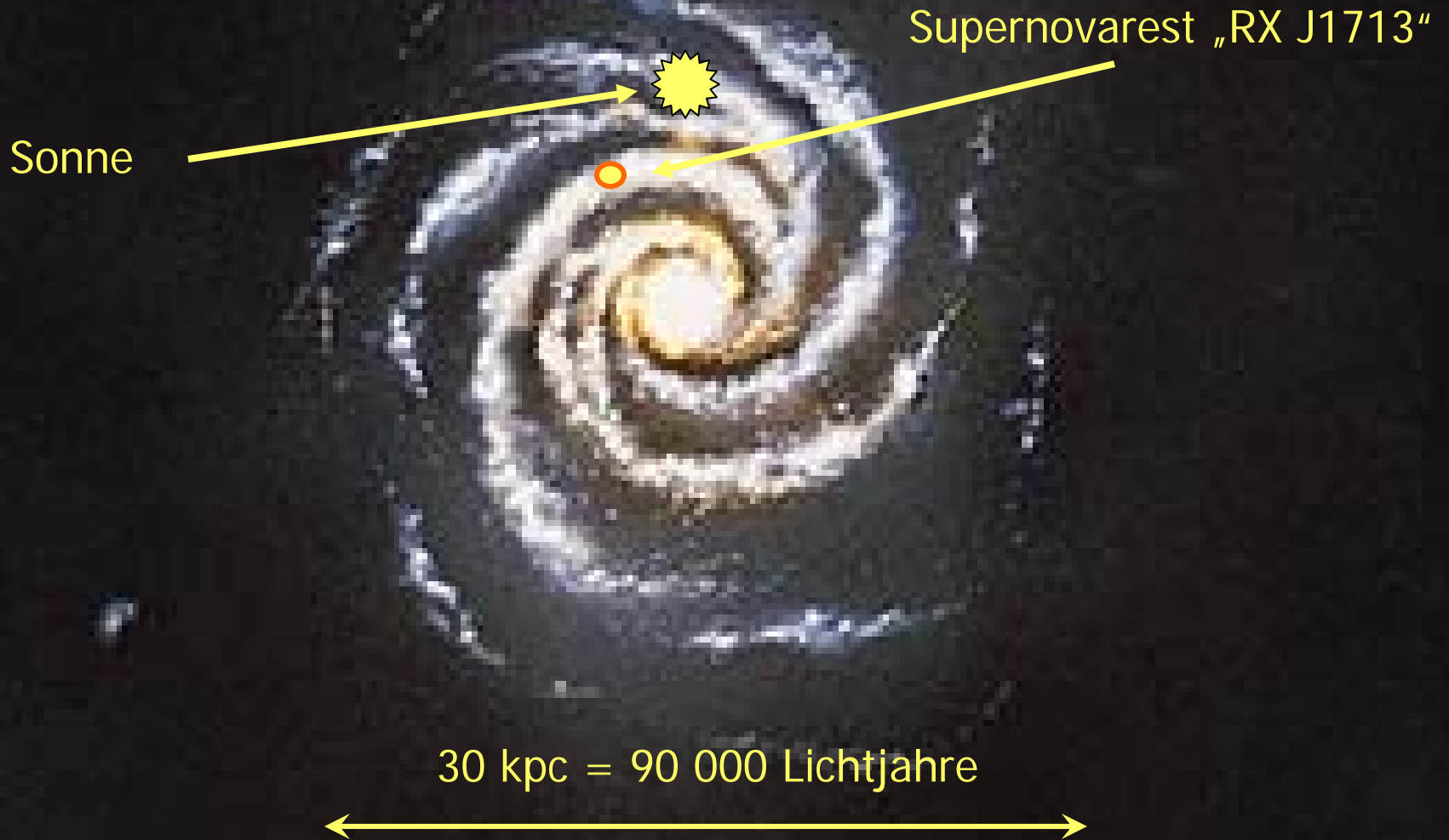




PMT-Kamera (960 Pixel)
inklusive Ausleseelektronik
Pixel-Größe: 0.16°
Gewicht: 900 kg

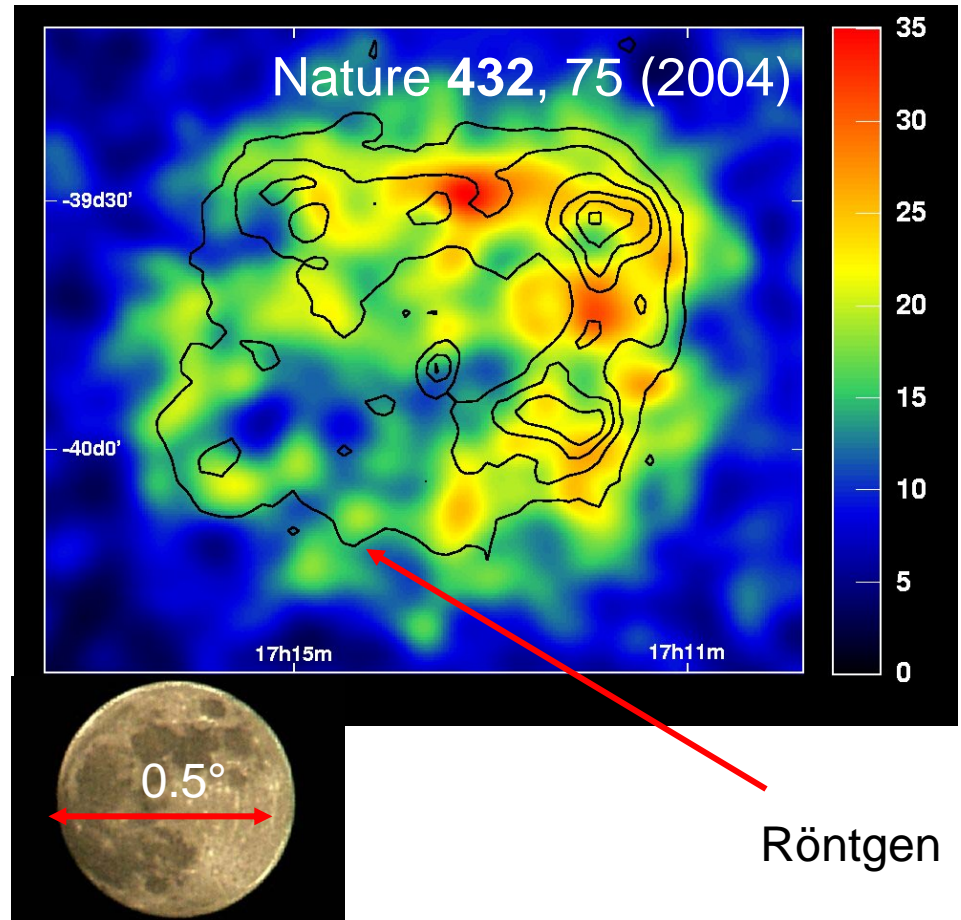
13 m Spiegel (Fläche: 107 m^2)
382 sphärische Spiegel, $f = 15 \text{ m}$
Breite der Abbildungsfunktion:
 $0.03^\circ - 0.06^\circ$

Die Milchstraße



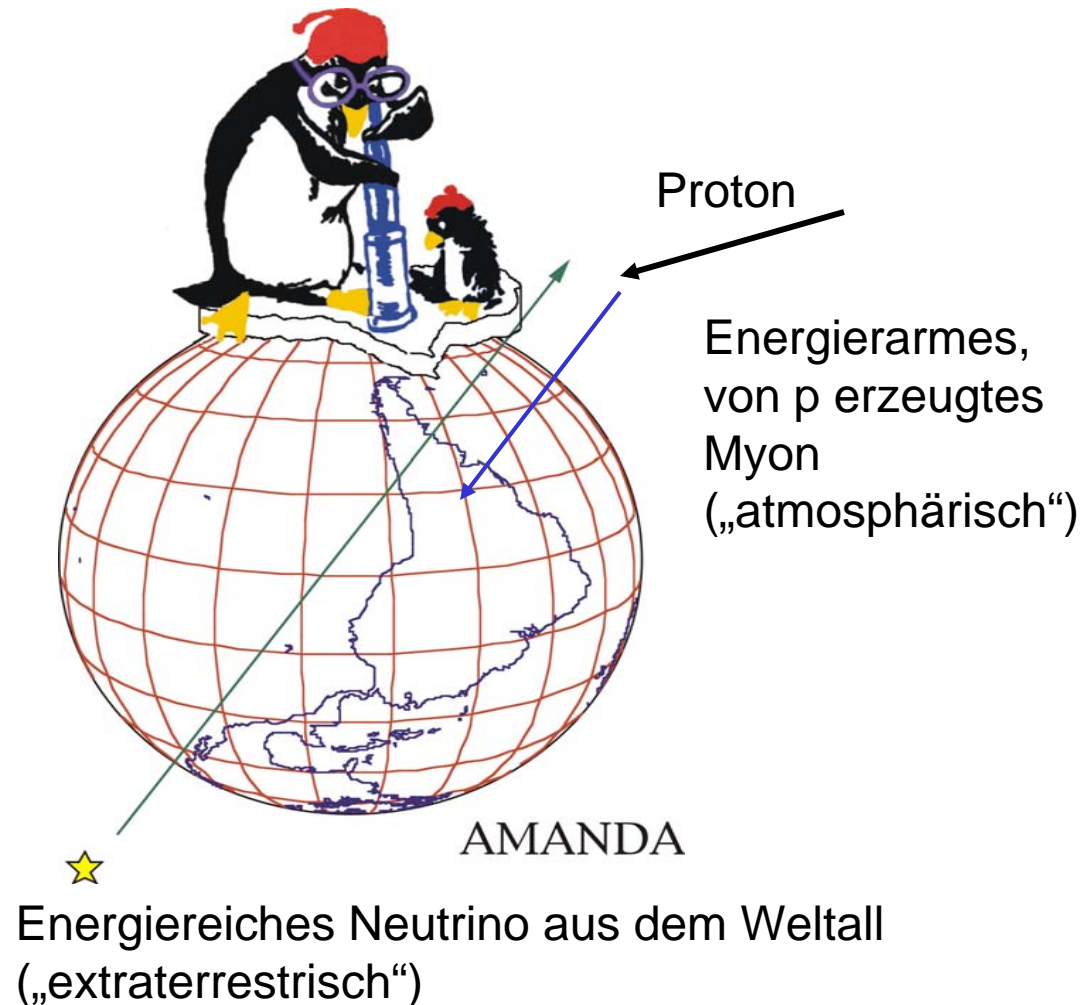
Erstes Bild von „RX J1713“

- in TeV-
Gammastrahlung
- $E_{\text{Schwelle}} = 1 \text{ TeV} = 1000 \text{ GeV}$
- Erstmals Gamma-Quelle über Morphologie identifiziert
- Wir sind noch nicht 100% sicher, dass die Gammastrahlung von Protonen und nicht von Elektronen stammt
- Nachweis von Neutrinos wäre gut....

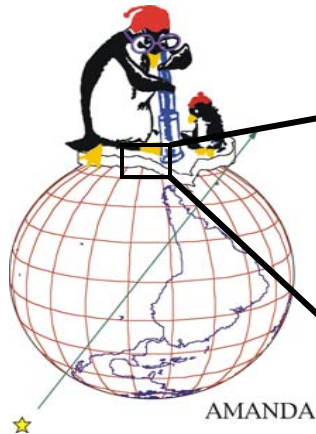


Neutrino-Astronomie

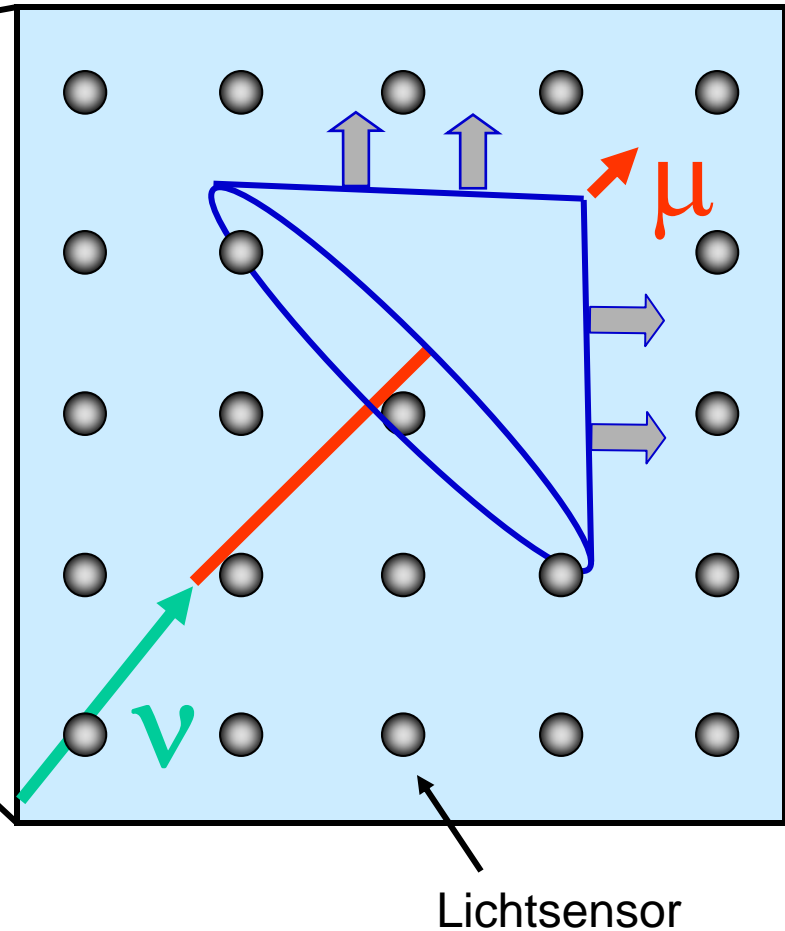
- Benutze Wasser oder Eis als Wechselwirkungsmedium
- Erde als Absorber von atmosphärischen Myonen
- Zurückweisung der von oben kommenden Myonen
- Schwache Wechselwirkung der Neutrinos → Großes Detektorvolumen ($\sim 0.1 \text{ km}^3$) benötigt



Nachweis in Wasser oder Eis



- Beobachte Umwandlung von Neutrinos in z.B. Myonen
- Nachweis: Tscherenkow-Licht



Am Südpol

Ski-Loipe

AMANDA

Station

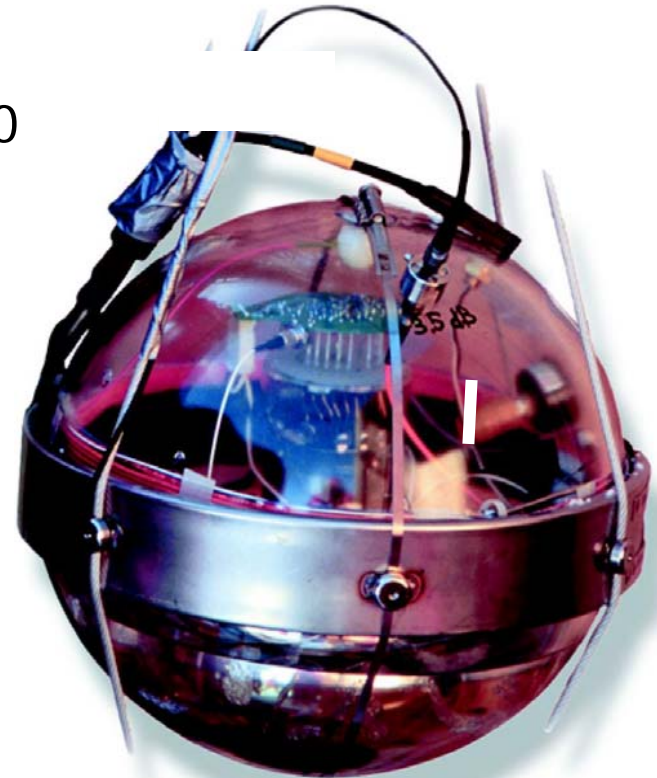
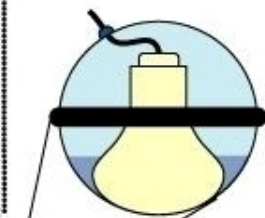
1.5-2.0 km Tiefe

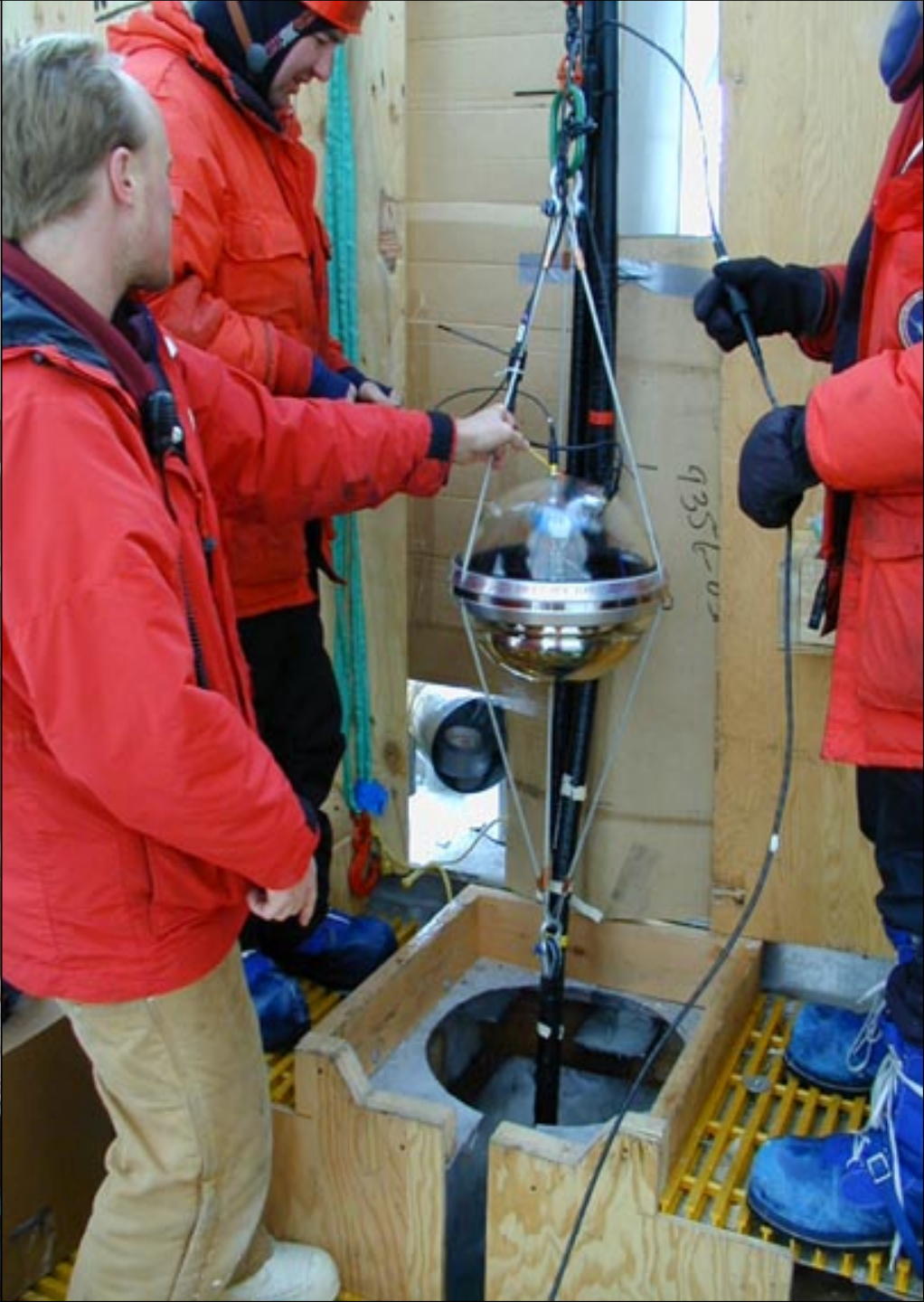


Der AMANDA Detektor

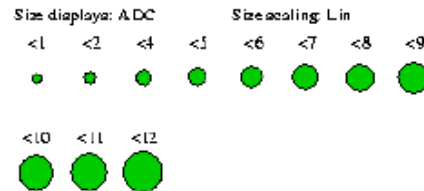
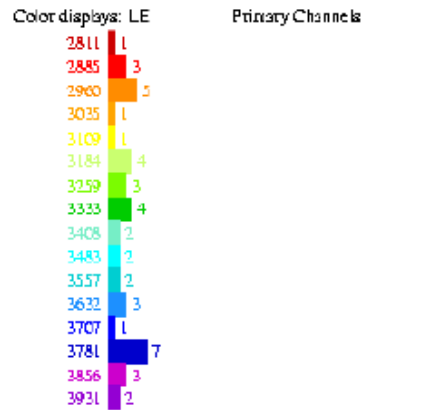
- 677 Optische Module an 19 Strängen
- Installation 1996-2000

Depth





Ein Myon-Ereignis im AMANDA Detektor



No external geometry file is opened.
 Detector: amanda-b-10, 10strings, 302 modules
 Data file: /home/itsboards/anim_events/str19.fzk
 File contains 19 events.
 Displaying data event 1197960 from run 0
 Recorded y/ty: 1997/285
 18132.0091381 seconds past midnight.
 Before cuts: 44 hits, 44 OMs
 After cuts: 44 hits, 44 OMs
 An11moun

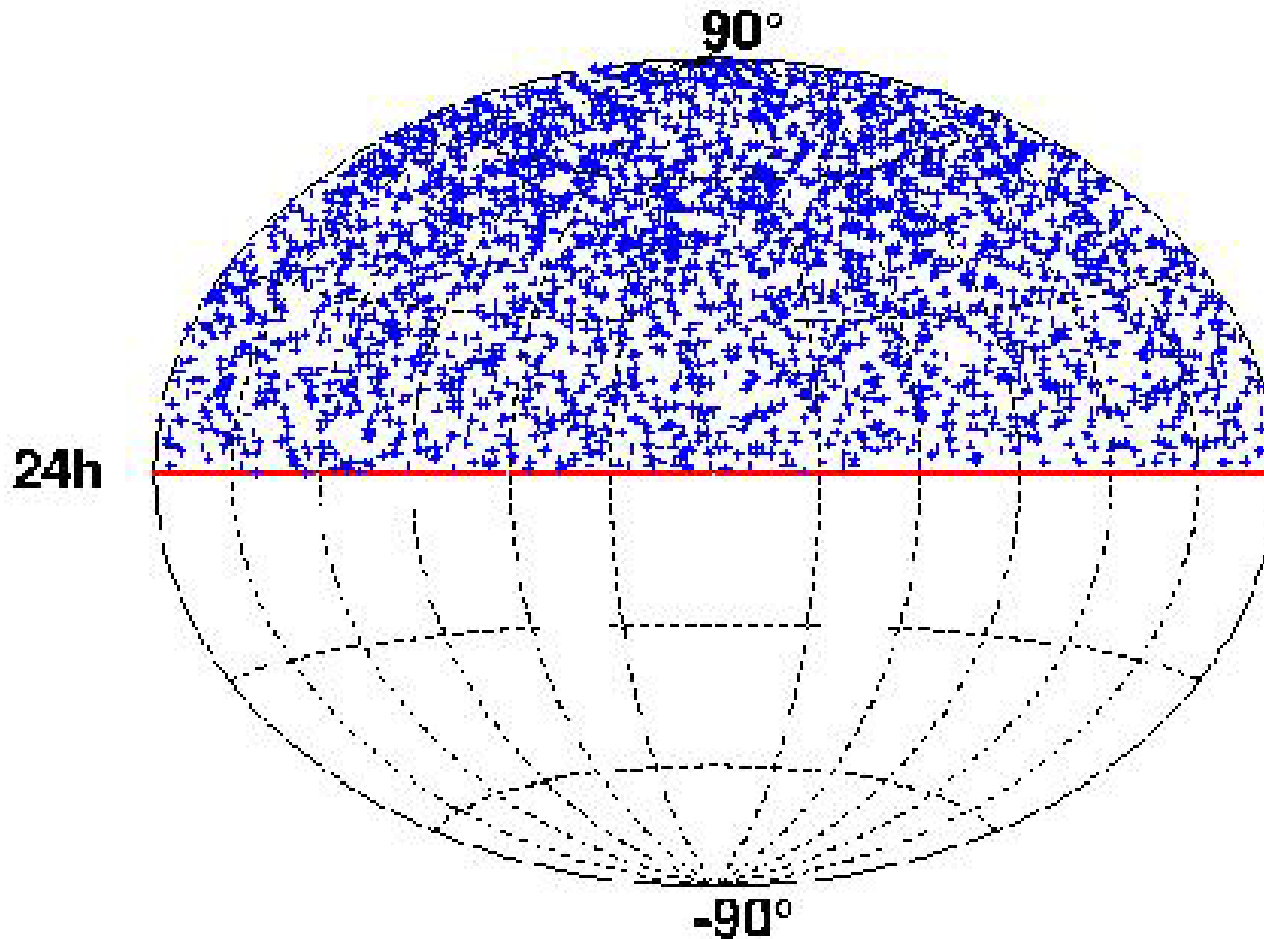
| | x | y | z |
|--------------|----------------|---------|---------|
| Vertex pos : | 12.4 | -16.1 | 6.8 m |
| Direction : | 0.03970 | 0.41614 | 0.90844 |
| Length : | Inf m | | |
| Energy : | ? GeV | | |
| Time : | 3205.100000 ns | | |
| Zenith : | 155.3° | | |
| Azimuth : | 264.6° | | |



- Reaktion: $\nu_{\mu} + N \rightarrow \mu + X$
- Display:
 - Durchmesser \sim Signalstärke
 - Farbe entspricht zeitlicher Abfolge
- Ein Myon (und damit Neutrino) von unten!!



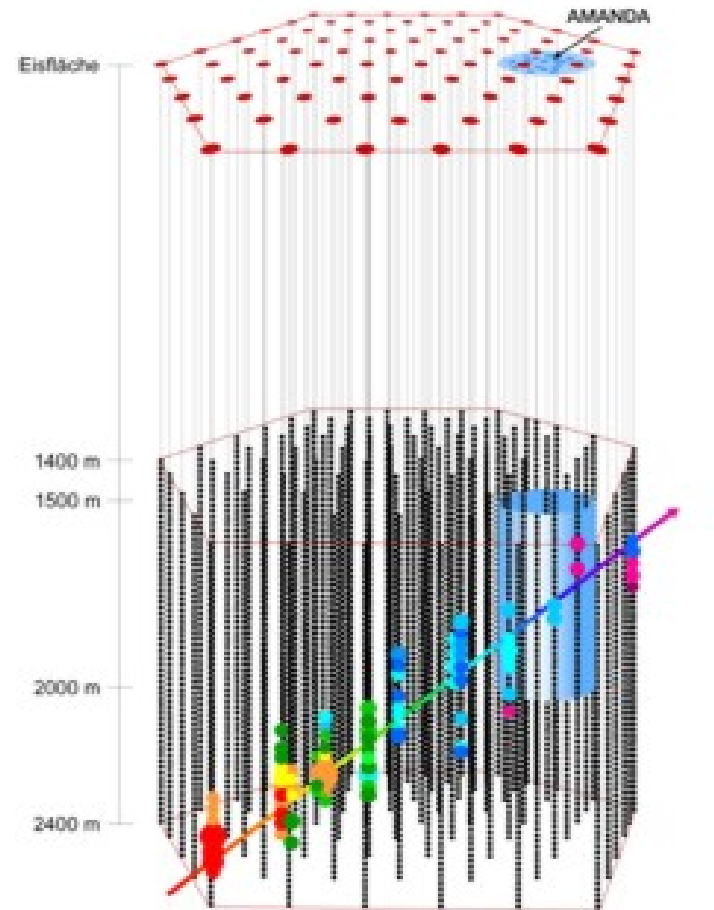
Nachgewiesene Neutrinos



- Mehr als 3300 nachgewiesene Neutrino-Ereignisse nach einigen Jahren der Datennahme
- Nachweistechnik funktioniert
- Aber: Fast alle Neutrinos sind terrestrischen Ursprungs
- Brauchen größeren Detektor ($\sim 1 \text{ km}^3$)

Die Zukunft: IceCube

- Faktor 10 größeres Detektorvolumen ($\sim 1 \text{ km}^3$)
- 80 Stränge, 4800 PMTs
- Installation 2005-2010
- Physik:
 - Suche nach extraterrestrischen Neutrinos von Quellen in der Milchstrasse
 - Dunkle Materie
 - Andere Galaxien als Neutrino-Quellen

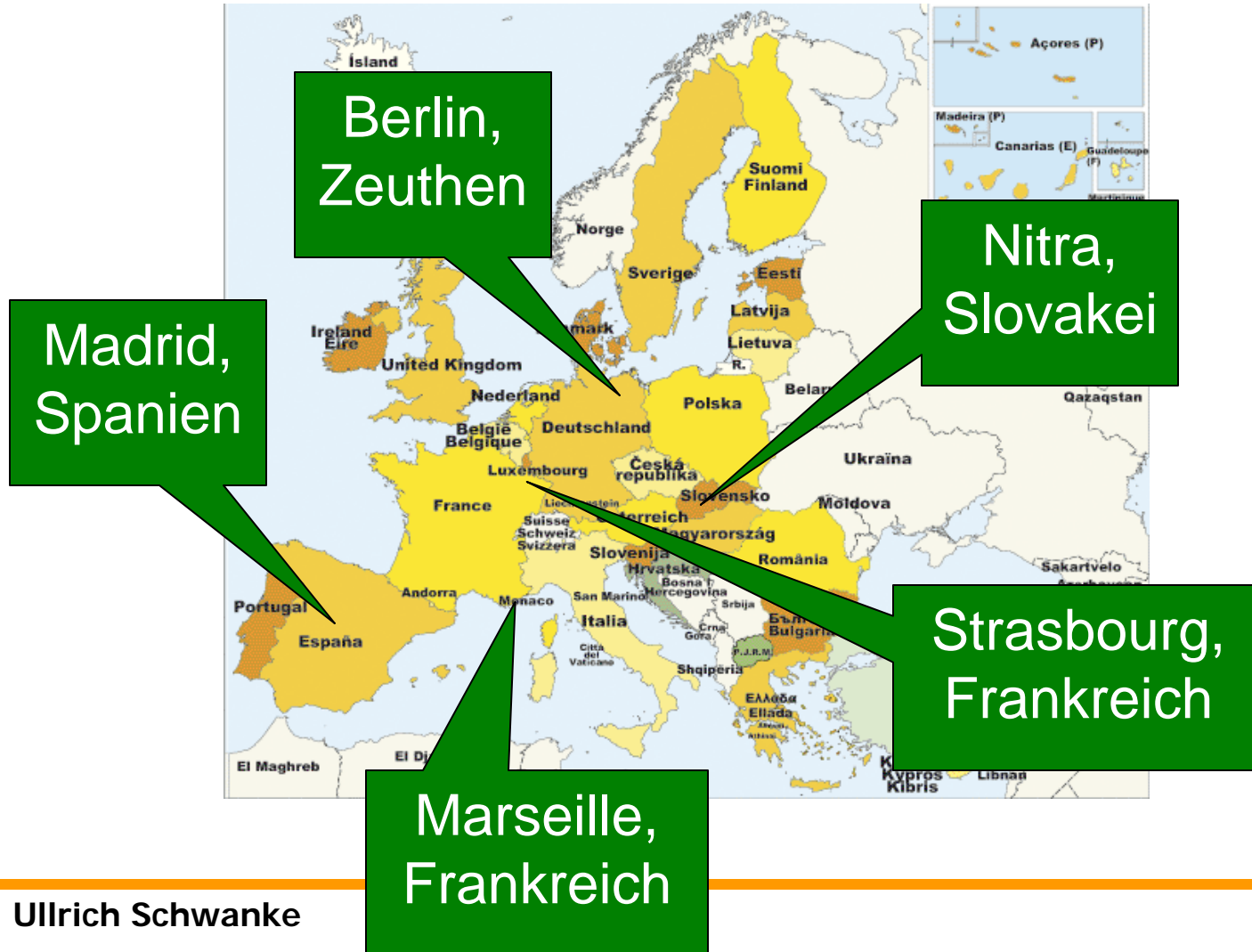


Computer-Simulation

Zusammenfassung

- Methoden des Teilchennachweises aus der Teilchenphysik werden in der Astroteilchenphysik eingesetzt
- Teilchenphysik liefert Erkenntnisse auf kleinen (elementare Bausteine) UND großen Skalen (Universum)
- Gammastrahlungs- und Neutrino-Astronomie sind spannende Forschungsgebiete

Videokonferenz (1/2)



Videokonferenz (2/2)

- Vier weitere Standorte, die an der Videokonferenz teilnehmen
- Überblick der Videokonferenz:
 - Austausch der Ergebnisse
 - Besprechung
 - Quiz
- Suchen zwei Freiwillige, die unsere Ergebnisse (auf Englisch) übermitteln
- Stellen Sie Fragen, wenn Sie wollen!

Dank

- An Adelheid Sommer, Ulrike Behrens - für die grossartige Organisation
- Martin zur Nedden ... Für die gute Zusammenarbeit ;-)