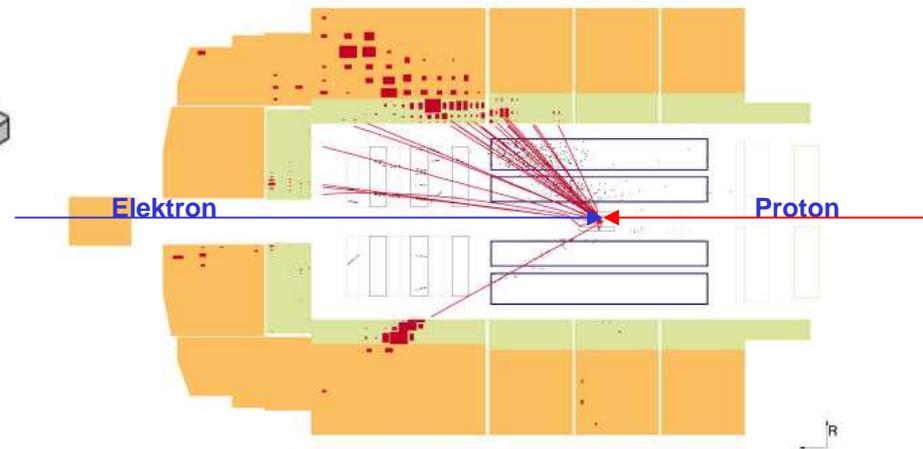
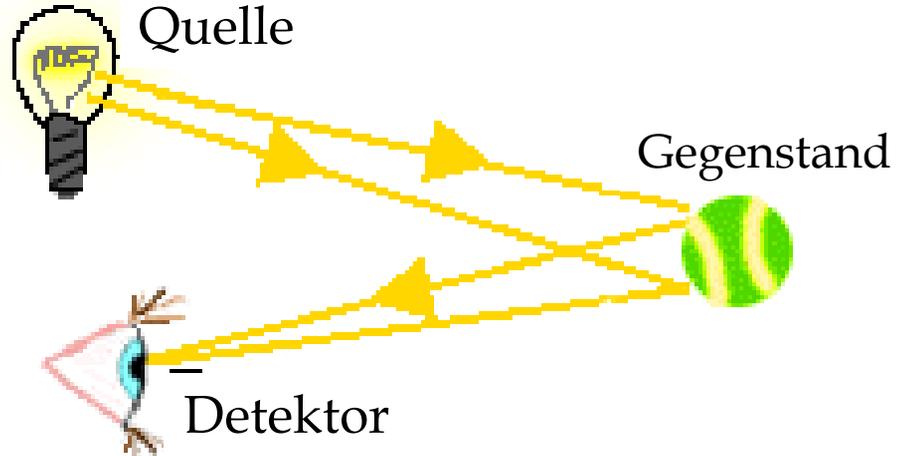
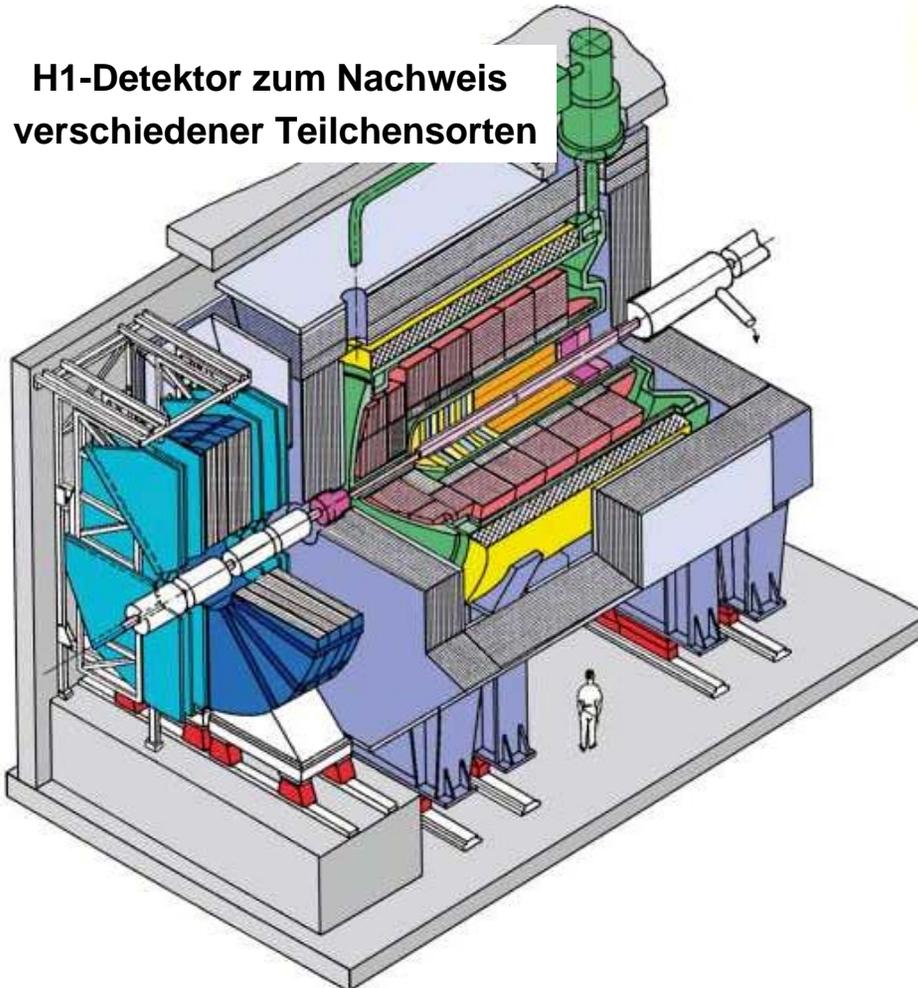


Detektoren

– die Augen der Teilchenphysiker

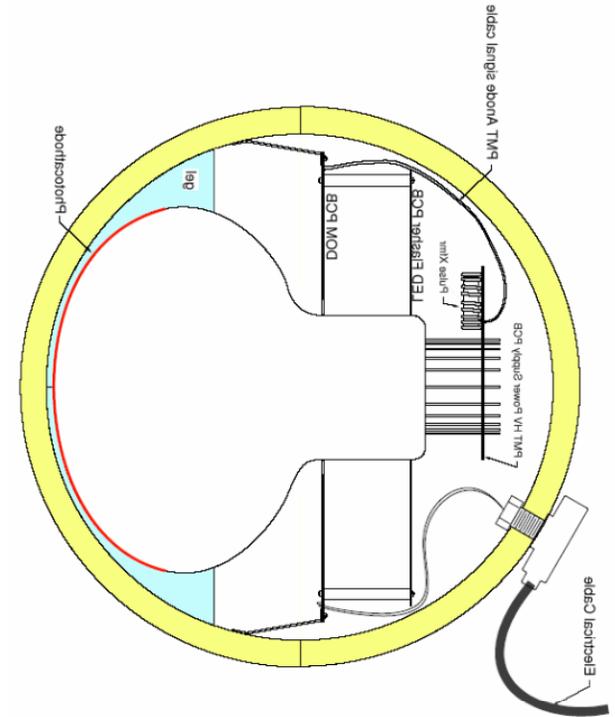
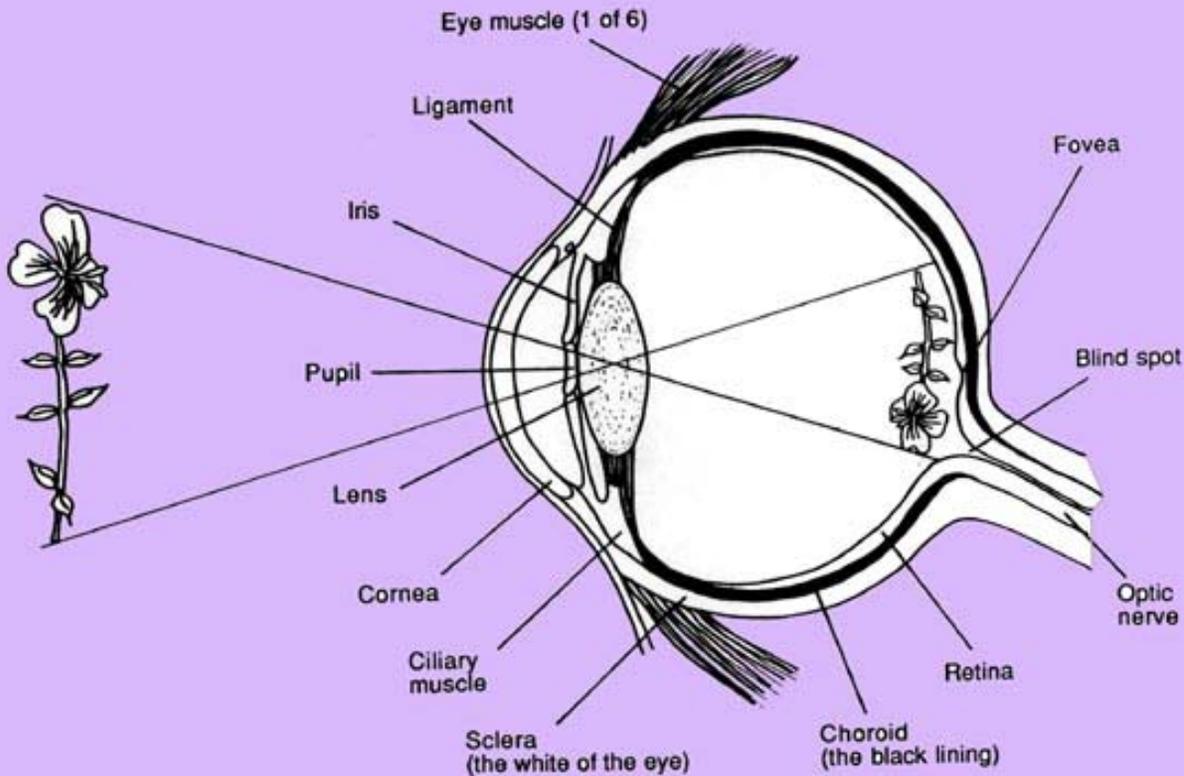
Hermann Kolanoski
Humboldt Universität zu Berlin and DESY Zeuthen

H1-Detektor zum Nachweis
verschiedener Teilchensorten



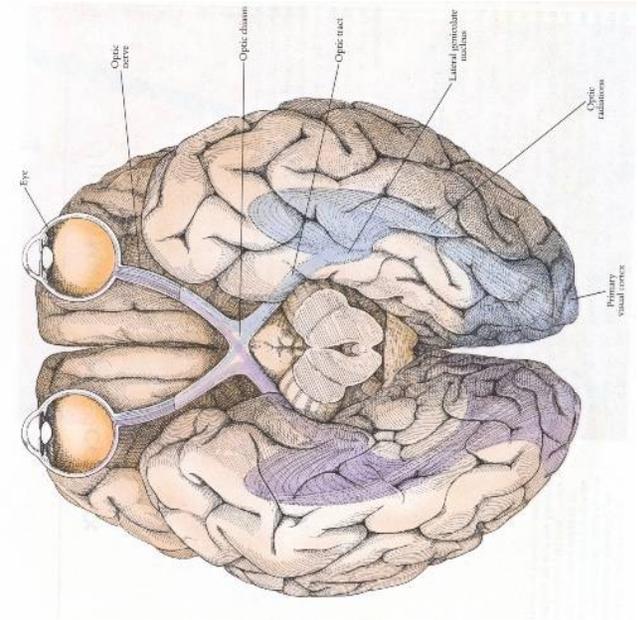
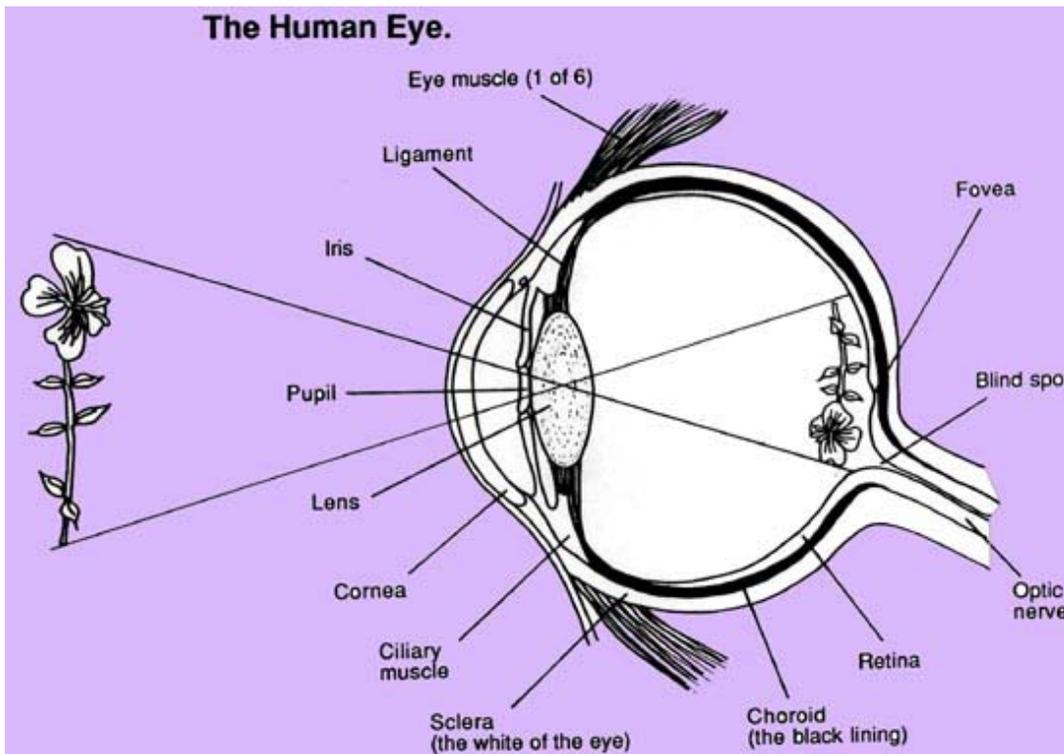
Zwei „Optische Module“

The Human Eye.



„Digital Optical Module“
von IceCube

Seh-Apparat verglichen mit einem Detektor



Strahlung

Licht

Teilchenstrahlen

Fokussierung

Linse

Magnete

**Wechselwirkung
mit Sensor**

Netzhaut

Detektor

Signaltransfer

Nerven

Kabel

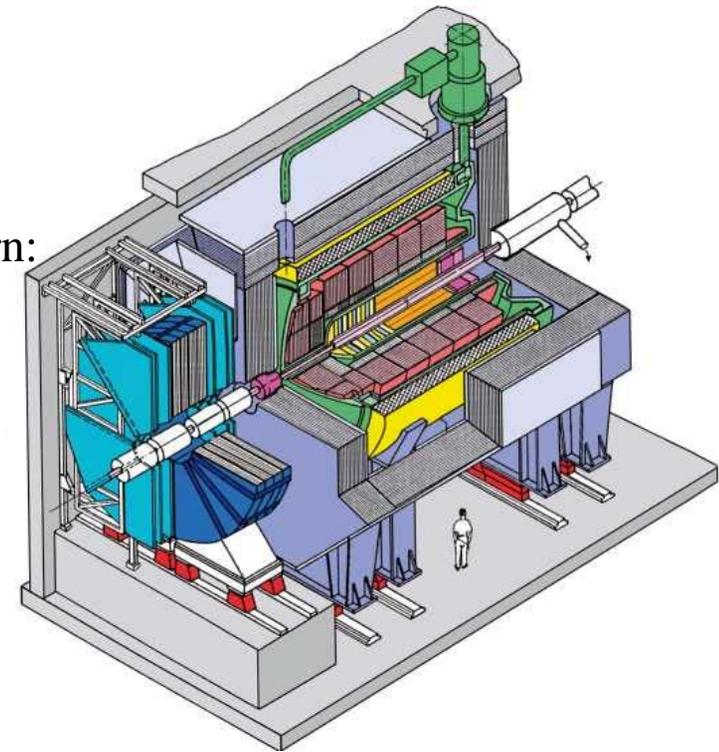
Datenverarbeitung

Gehirn

Computer

Einsatz von Teilchen- oder Strahlungsdetektoren

Experimente an Beschleunigern:



Experimente mit kosmischer Strahlung:



Nachweis von Strahlung
in Medizin, Geologie, Archeologie, ...



(Teilchen-) Strahlung

Strahlung = Teilchen: Detektoren sehen meistens einzelne Teilchen

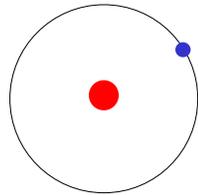
Beispiele:

Geladene Teilchen:

- Proton, Ladung +
- Elektron, Ladung -

- Myonen μ^+ und μ^-

} Wasserstoffatom



Kosmische Strahlung

Neutrale Teilchen:

Photonen = „Licht“quant γ



- ...
- ...
- Neutrinos

- Radiowellen
- Licht
- Röntgen-Strahlung
- γ -Strahlung

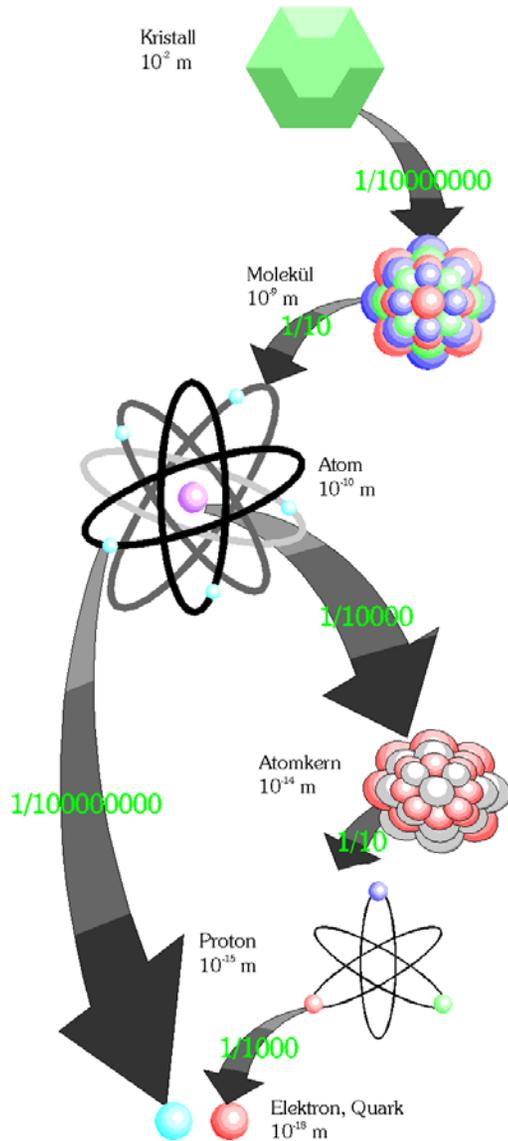
Energie



„Geisterteilchen“

Aufbau der Welt aus Teilchen

oder das **Nichts**, das durch **Kräfte** zusammenhält



Detektoren bestehen aus
Atomen, Molekülen, Kristallen.

Die **Wechselwirkung** der Teilchen
mit der Detektormaterie ist
notwendige Voraussetzung für deren Nachweis

Die kleinsten Teilchen haben
keine oder eine **sehr kleine** Ausdehnung!
Wie kann man sie **trotzdem sichtbar** machen??

Alle bekannten Teilchen
üben **Kräfte** auf ihre Umgebung aus
(die das nicht tun sind uns deshalb nicht bekannt)

Voraussetzung für den Nachweis: **Wechselwirkung** der Teilchen mit Materie

Verschiedene Arten der Wechselwirkung: so:



oder so:



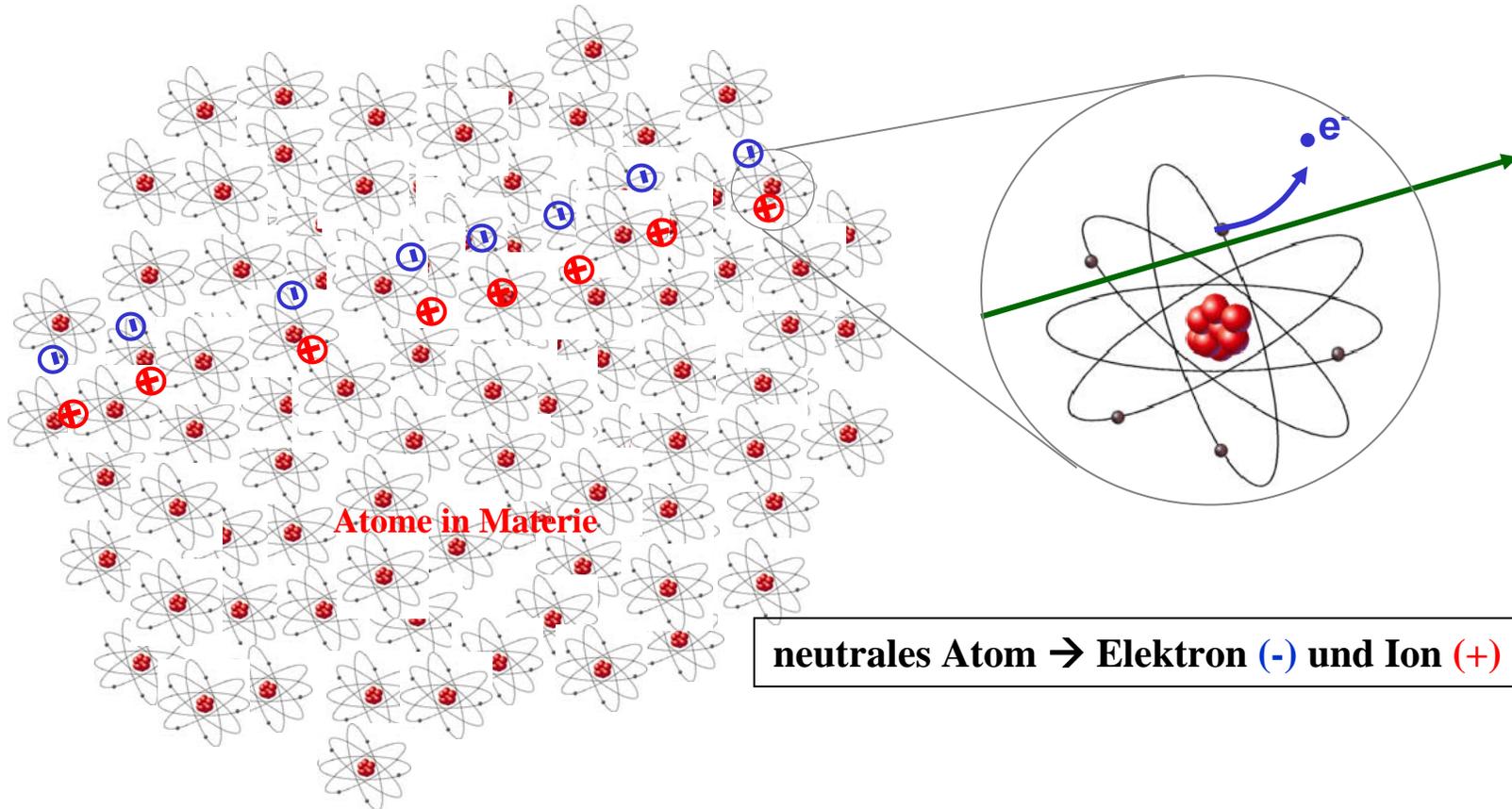
oder ...

- **Schwerkraft:** gut für den Nachweis von Kometen,
für Teilchen nicht sehr hilfreich
- **Elektromagnetisch:** **Ionisation,**
Cherenkov-,
Übergangsstrahlung,
elektromagn. Schauer (e^\pm, γ)
- **Stark:** hadronische Schauer,
Kern-WW (Neutron-Nachweis)
- **Schwach:** Neutrino-Nachweis (inverser β -Zerfall)

← am häufigsten für Detektoren genutzt

← Wichtig für Zeuthen: AMANDA/IceCube

Ionisation: Erzeugung elektrischer Ladungen in Material

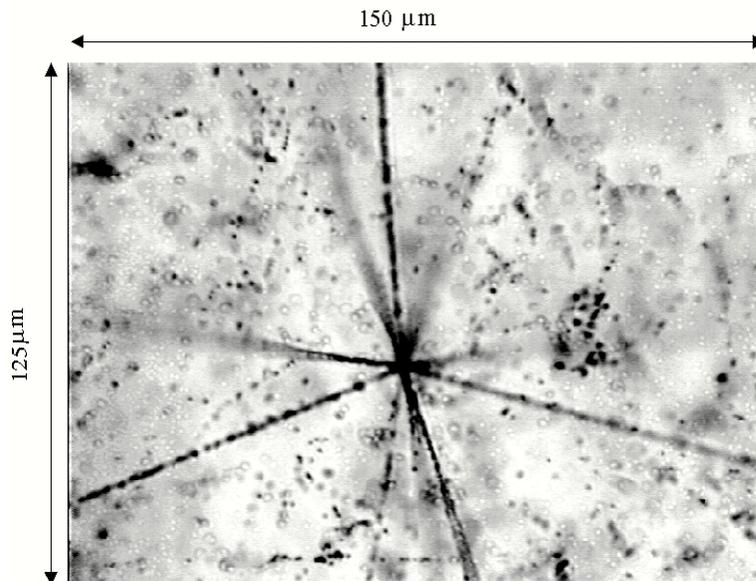


Beispiel: ein Teilchen erzeugt etwa 100 Ionen pro 1 cm in Argon
und etwa 25000 Ionen pro 300 μm in Silizium

\leftarrow Driftkammern
 \leftarrow Si-Detektoren

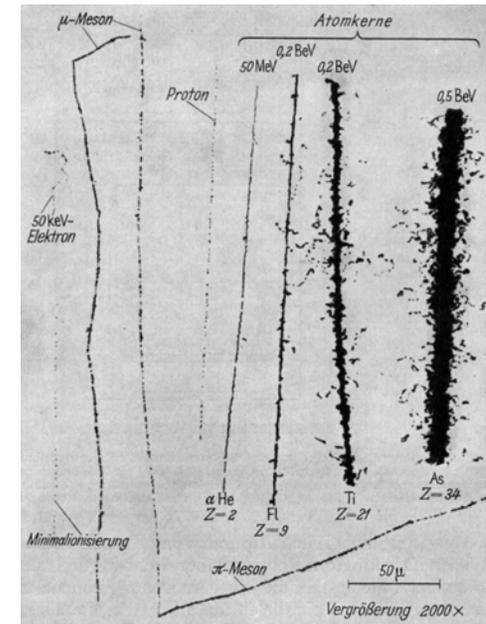
Ionisationsspuren sichtbar machen: **Photoemulsion**

Schwärzung einer Photoemulsion



(about 10^{13} fields like this one!)

Ortsgenauigkeit $\sim 1 \mu\text{m}$
(der ungeschlagene Rekord)

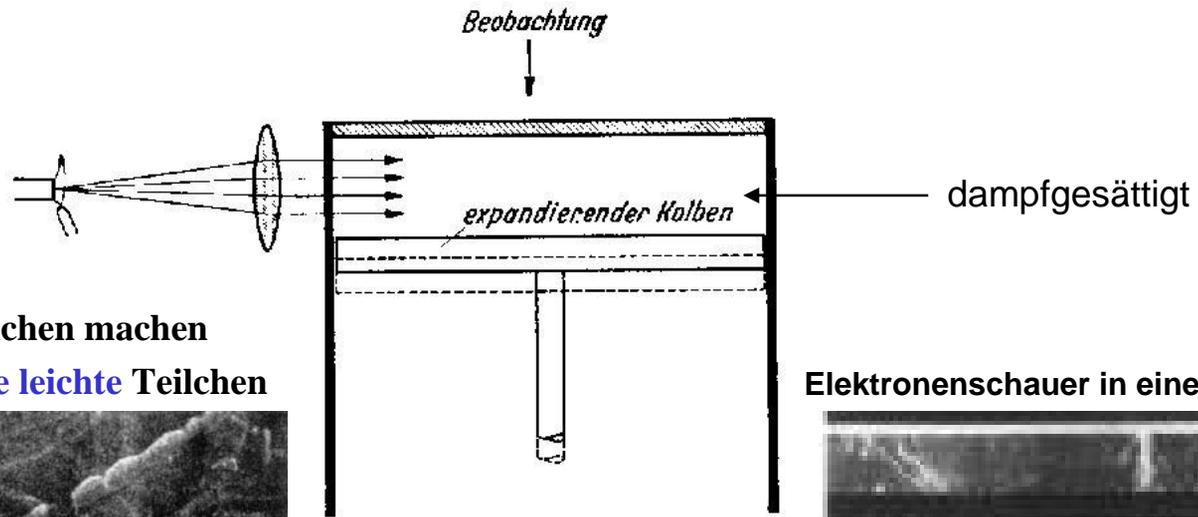


Langsame schwere Teilchen machen
mehr Ionisation als schnelle leichte Teilchen

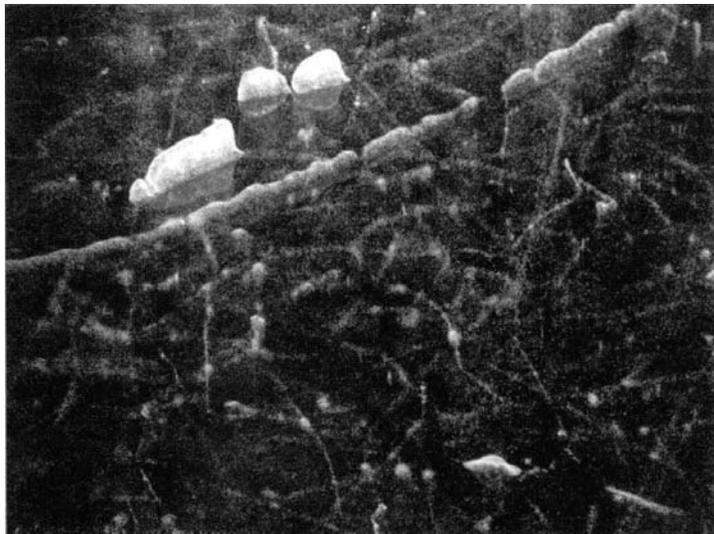
Mikroskopische Vermessung der Spuren

Ionisationsspuren sichtbar machen: Nebelkammer

Ionen als Kondensations- oder Verdampfungskeime: Nebel- und Blasenkammer:

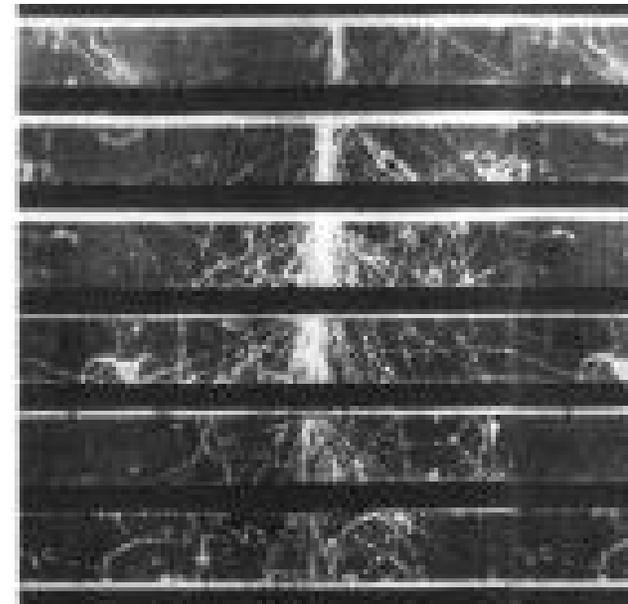


Langsame schwere Teilchen machen
mehr Ionisation als schnelle leichte Teilchen



Zeuthener Nebelkammer

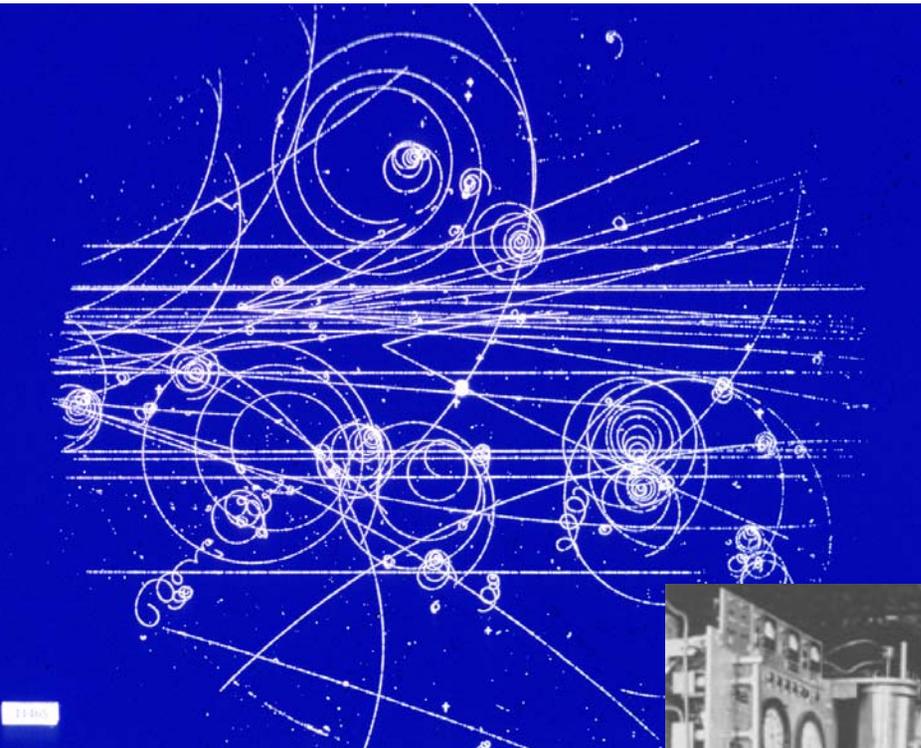
Elektronenschauer in einer Nebelkammer



Schauerdetektoren
oder Kalorimeter
zur Energiemessung

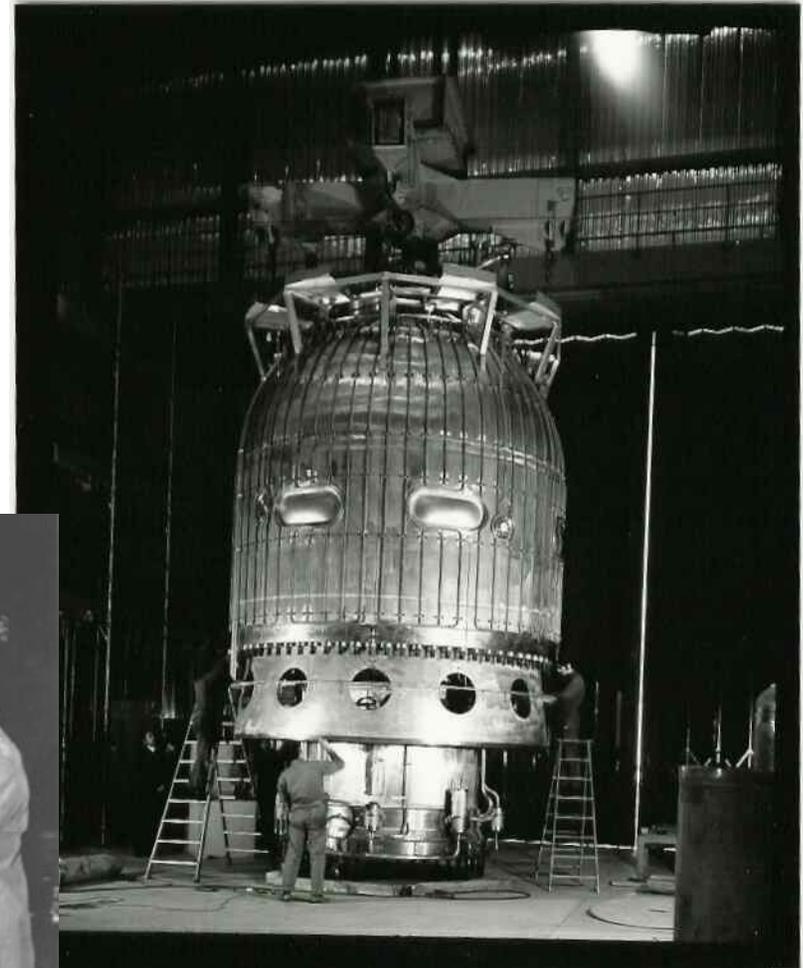
destruktiv!!

Ionisationsspuren sichtbar machen: **Blasen-kammer**



Spuren durch
Magnetfeld gekrümmt

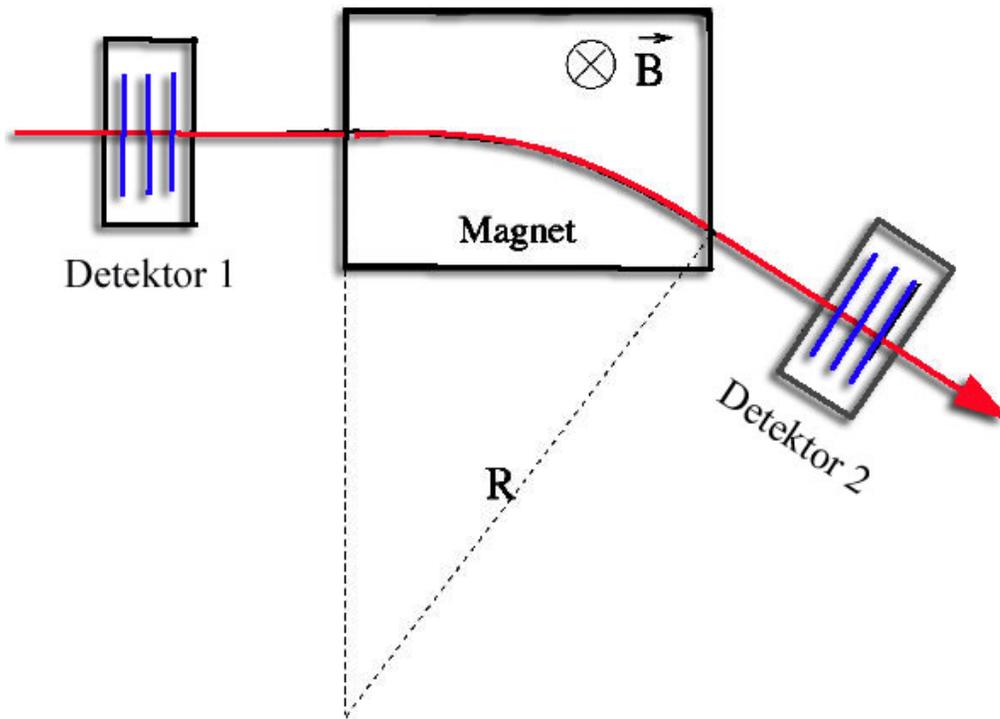
Big European Bubble Chamber



D.A. Glaser, Nobelpreis 1960

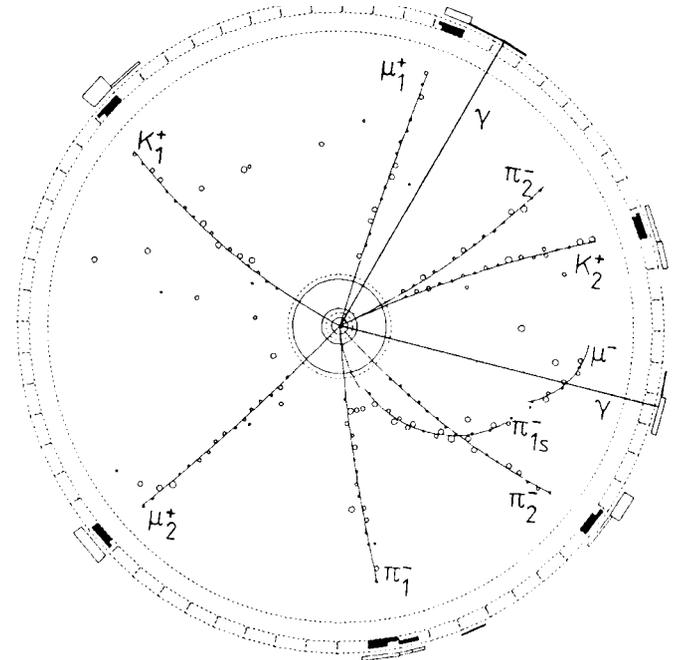
Intermezzo: Impulsmessung

Impuls = Masse × Geschwindigkeit

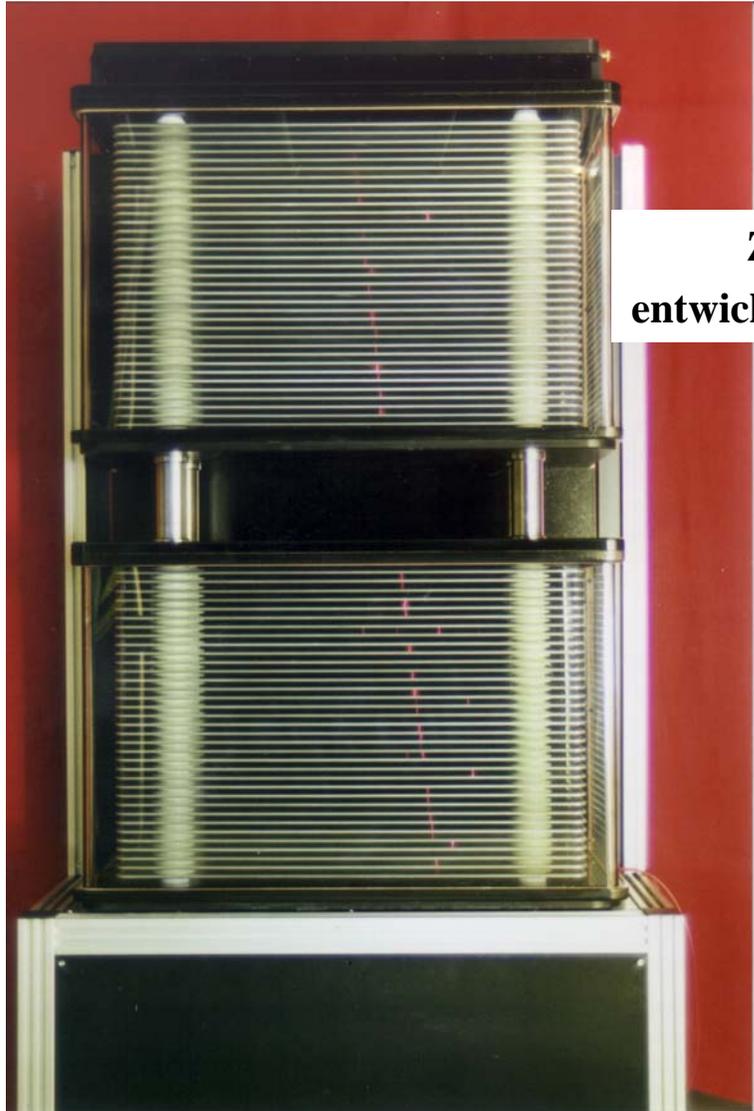


$$R[\text{m}] = \frac{p_T[\text{GeV}]}{0.3 \cdot B[\text{T}]}$$

Häufig auch Detektoren im Magnetfeld



Ionisationsspuren sichtbar machen: **Funkenkammer**



Zwischen 2 Platten mit **Hochspannung**
entwickelt sich ein **Blitz** entlang dem Ionisationsweg

Probleme für moderne Detektoren:

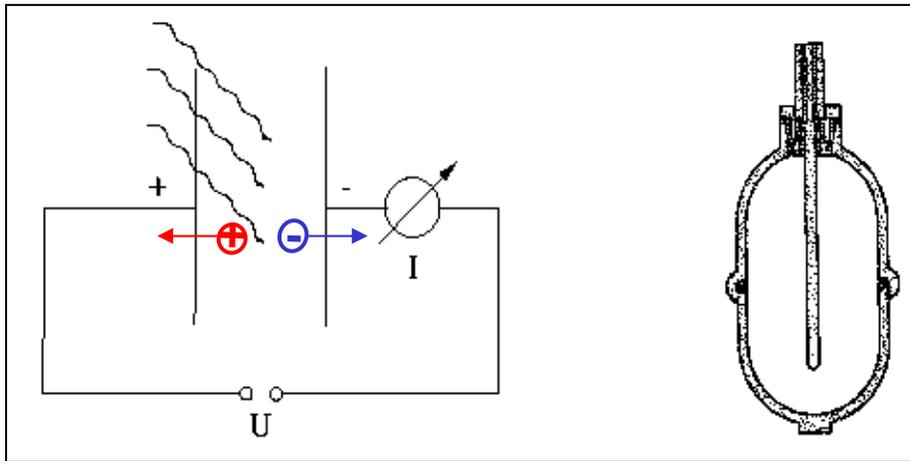
- zu langsam
- **braucht Trigger** (= schneller Auslöser, der Hochspannung auf die Platten legt)
- **Funke macht elektromagnetischen „Dreck“**
- schwierig **elektronisch** auszulesen



Gilt auch für Emulsionen, Nebel- und Blasenkammern

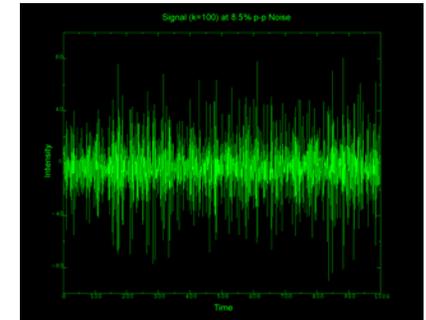
Elektronischer Nachweis von Ionisation: Ionisationskammer

Ladungssammlung ohne Verstärkung



Ionisation in einem Gasvolumen

$I \sim$ Strahlendosis im
Ionisationsvolumen pro Zeit

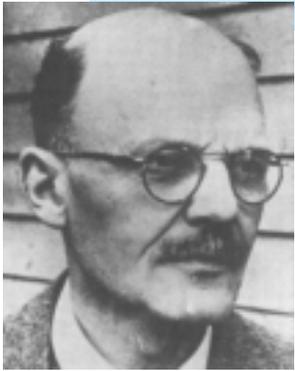


Unmöglich, so eine **einzelne Ionisation** nachzuweisen:

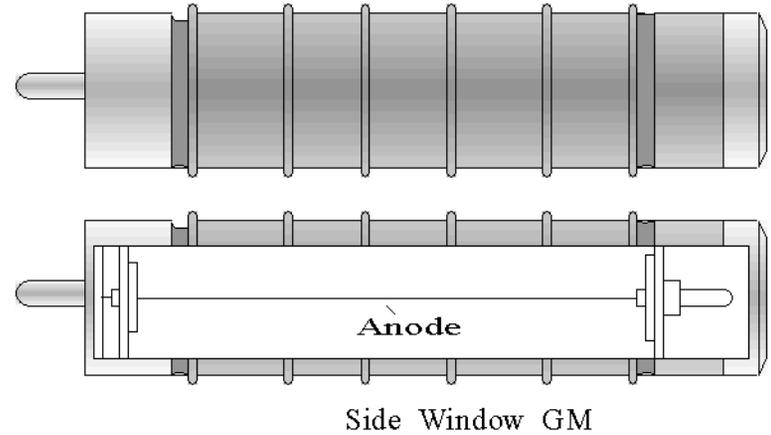
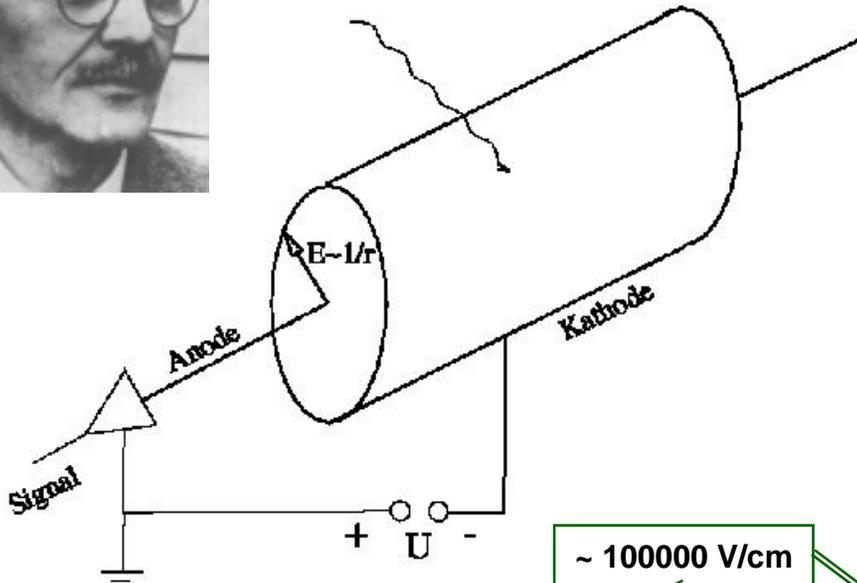
- **Elektronladung (= - Ionladung) = 10^{-19} Coulomb** (für 1 Nanoampere 10000 Ion./Sek.)
- **unserer Elektroniker brauchen mindestens 10^{-15} Coulomb (Femto-Coulomb)**

⇒ wenn wir **einzelne Ionisationen** sehen wollen,
brauchen wir eine **min. 10000-fache Verstärkung**, die das Rauschen nicht mitverstärkt

Das Prinzip der „Gasverstärkung“ Geiger-Müller-Zählrohr

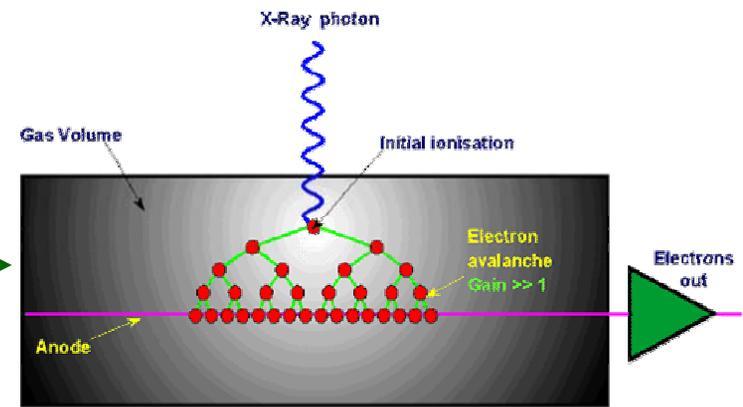
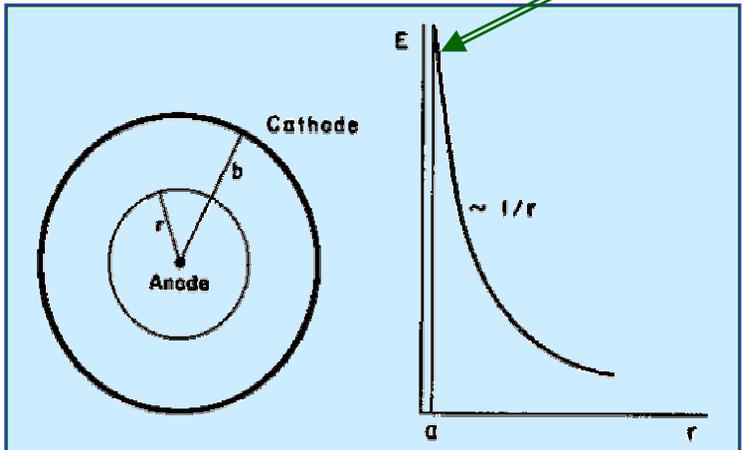


Geiger, Hans, (1882-1945)



$\sim 100000 \text{ V/cm}$

\sim Ladungs-
lawine
am Draht

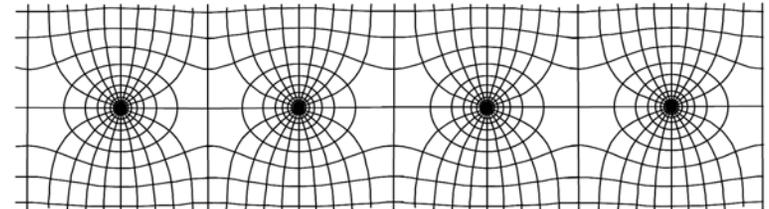
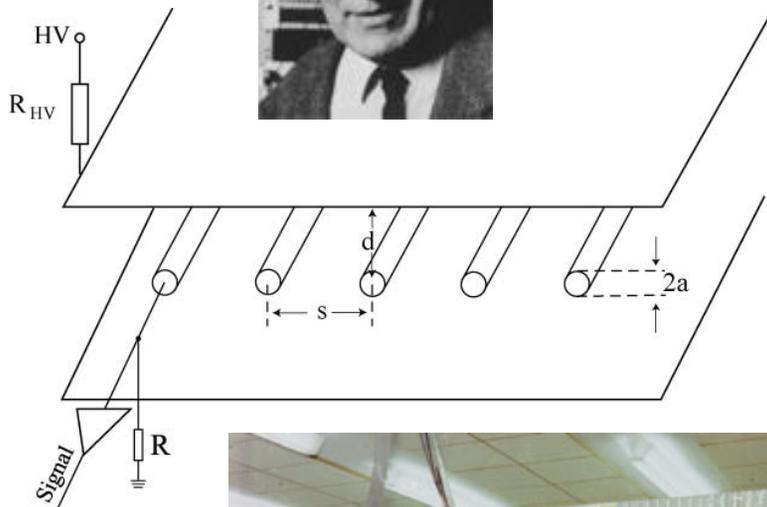


Elektronische Auslese!

Ortsbestimmung: **Vieldrahtproportionalkammer** (MWPC)



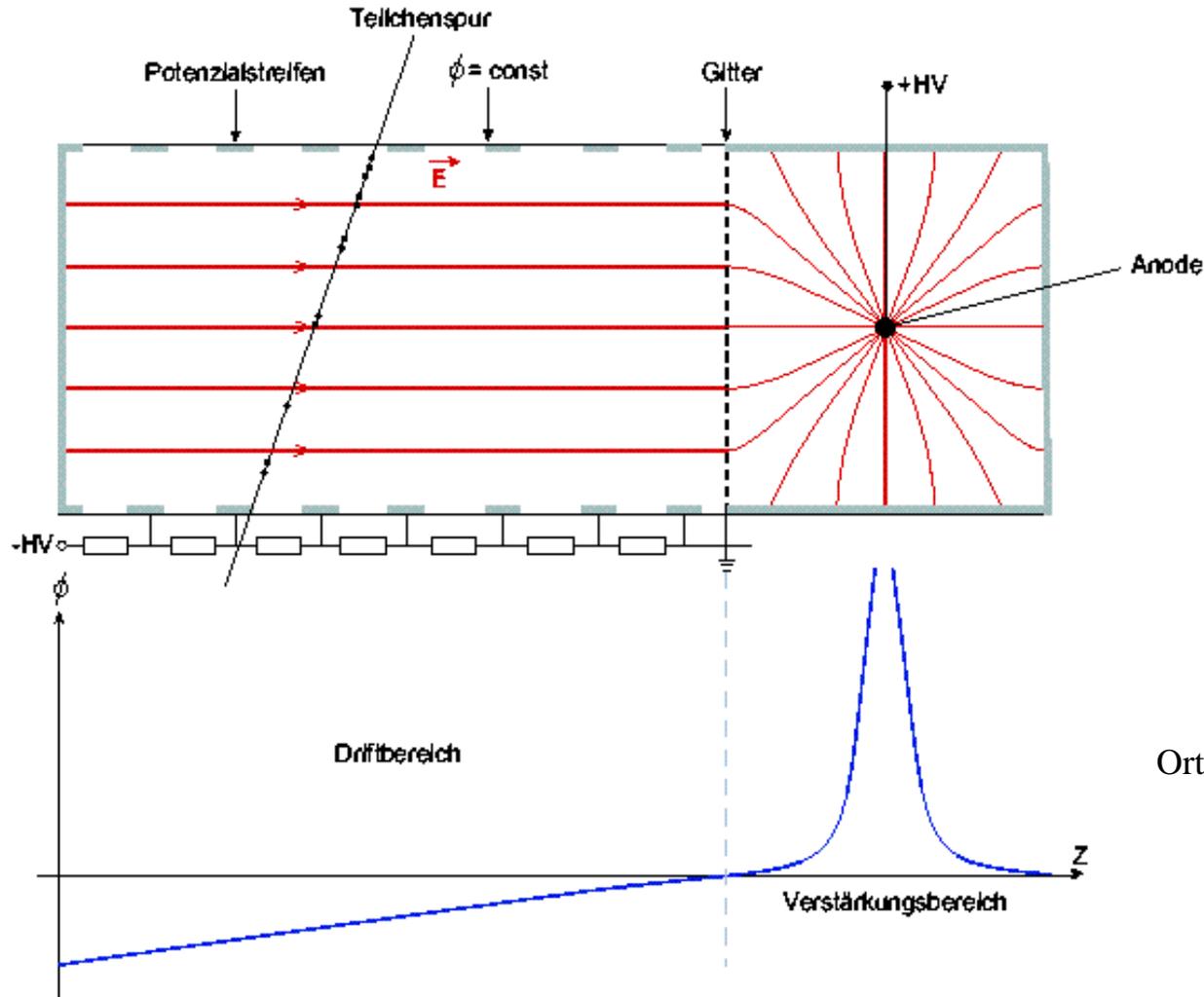
G. Charpak, Nobelpreis 1992



Elektronische Auslese!
Grosse Kanalzahlen möglich
durch **integrierte Schaltungen**

Noch bessere Ortsbestimmung: Driftkammern

(Walenta and Heintze 1971)



$$r(t) = w_{drift} \cdot t_{drift}$$

Ort = Driftgeschwindigkeit \times Driftzeit

Etwa 100-200 μm genau

DC Zelltypen

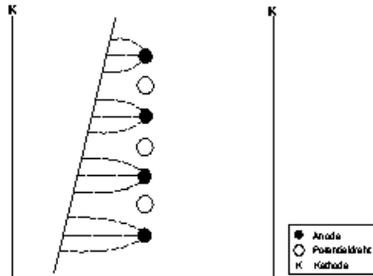


Abbildung 3.34: Driftzelle einer "Jet-Kammer": Die Anoden sind in der Mittelebene zwischen den Kathodenebenen angeordnet. Zur besseren Trennung der Driftwege sind zwischen die Anoden zusätzlich "Potentialdrähte" gespannt.

Beispiel: HERA-B Outer Tracker

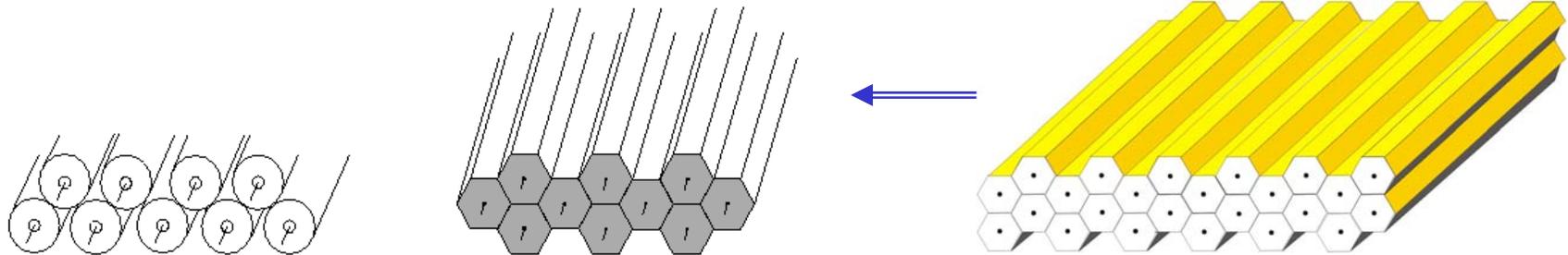


Abbildung 3.35: Querschnitt von runden ("straw") und sechseckigen ("honeycomb") Driftrohren.

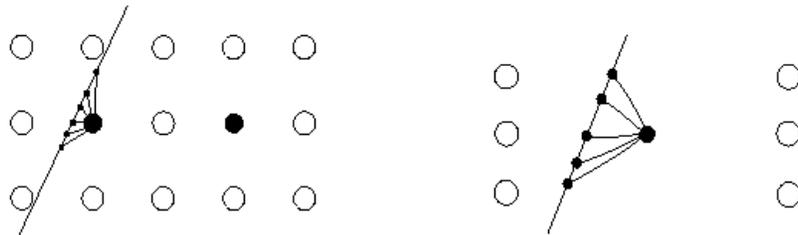
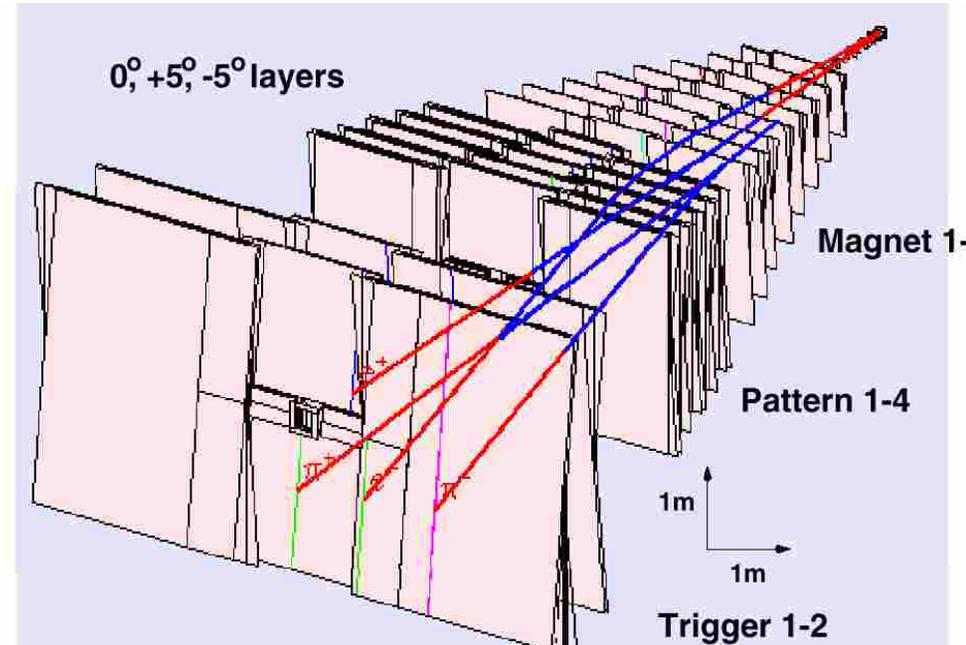
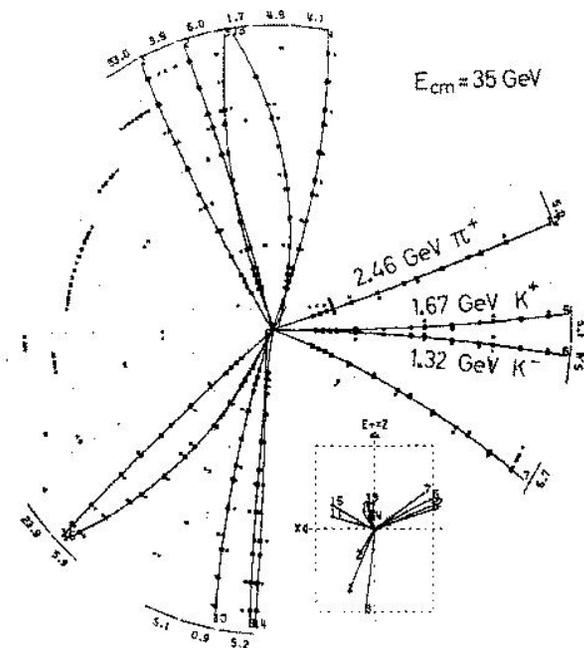
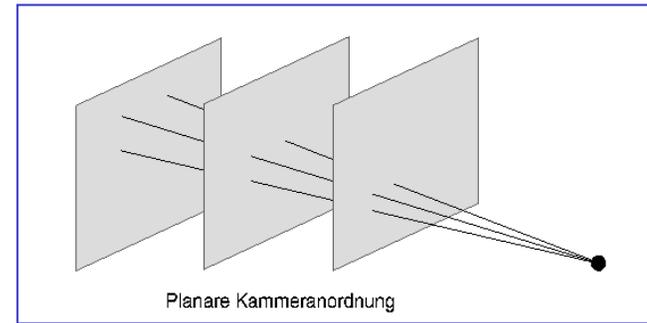
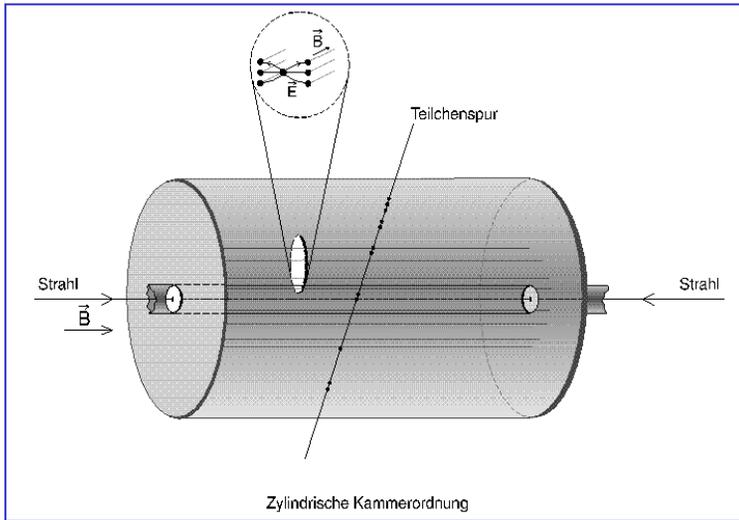
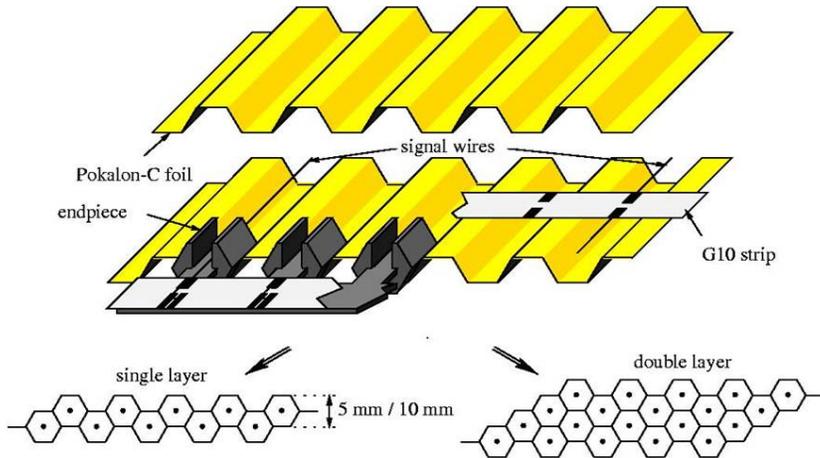


Abbildung 3.36: Zwei Beispiele für Zellen, die aus Anoden- und Kathodendrähten gebildet werden.

Driftkammern (TASSO, HERA-B)



HERA-B Outer Tracker: Honigwaben-Struktur



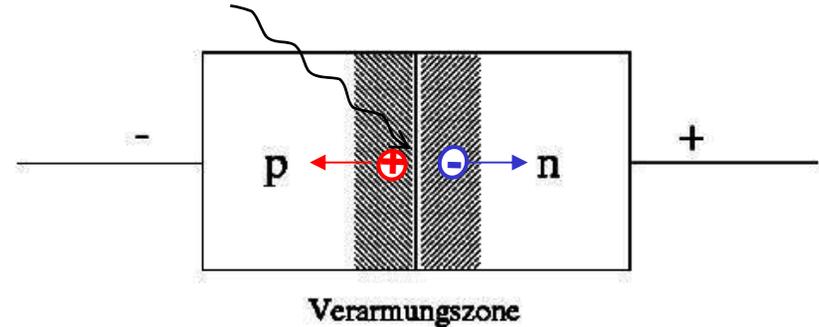
Halbleiterdetektor

Statt Gasverstärkung **mehr Ionen** von Teilchen in **dichtem Medium** erzeugt

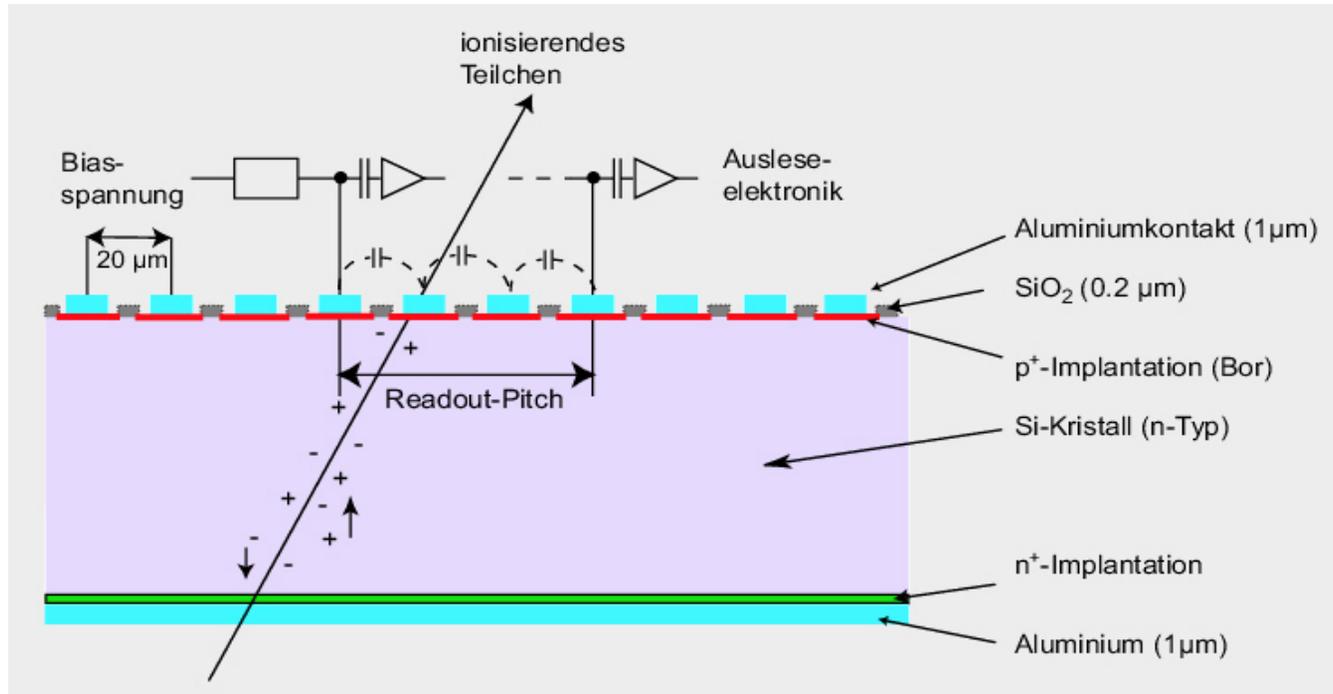
Prototyp des Halbleiter Detektors: **Diode**

z.B. Silizium, Germanium, GaAs, ...

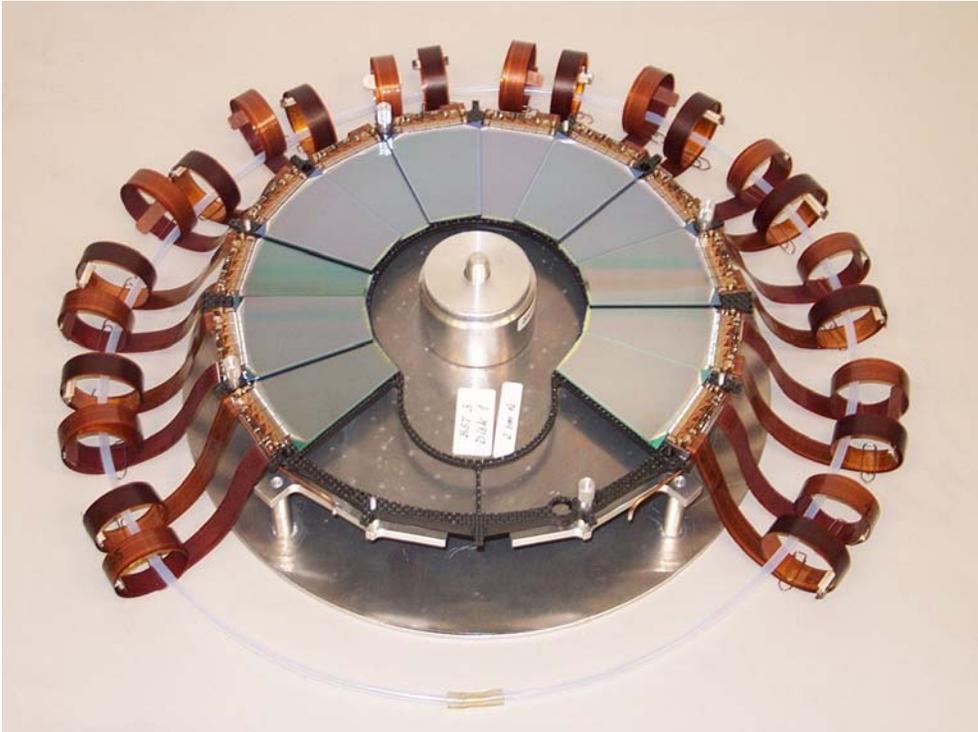
25000 Ionen pro 300 μm in Silizium



Silizium-Streifendetektor:

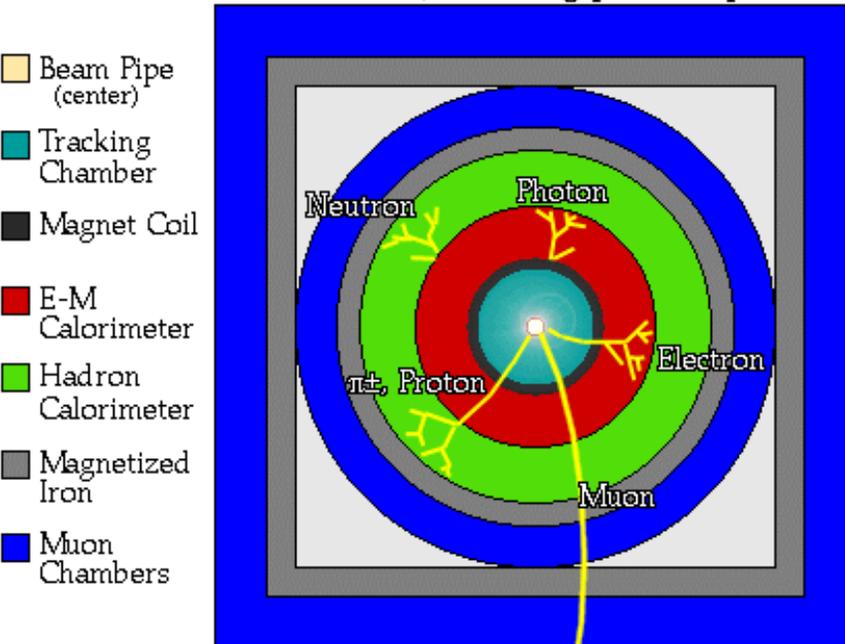


Vorwärts- und Rückwärts- Si-Detektoren bei H1



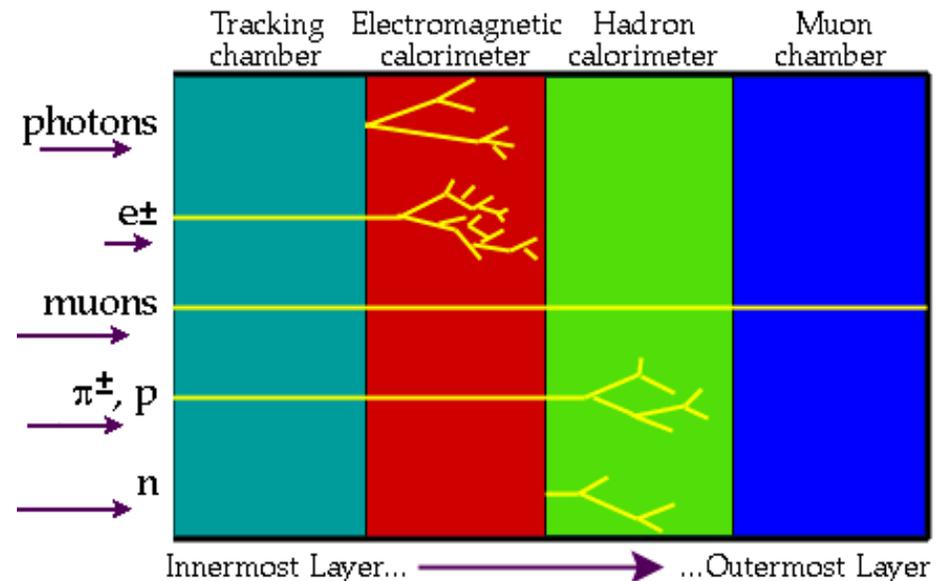
Typischer Detektor an einem Speicherring

A detector cross-section, showing particle paths

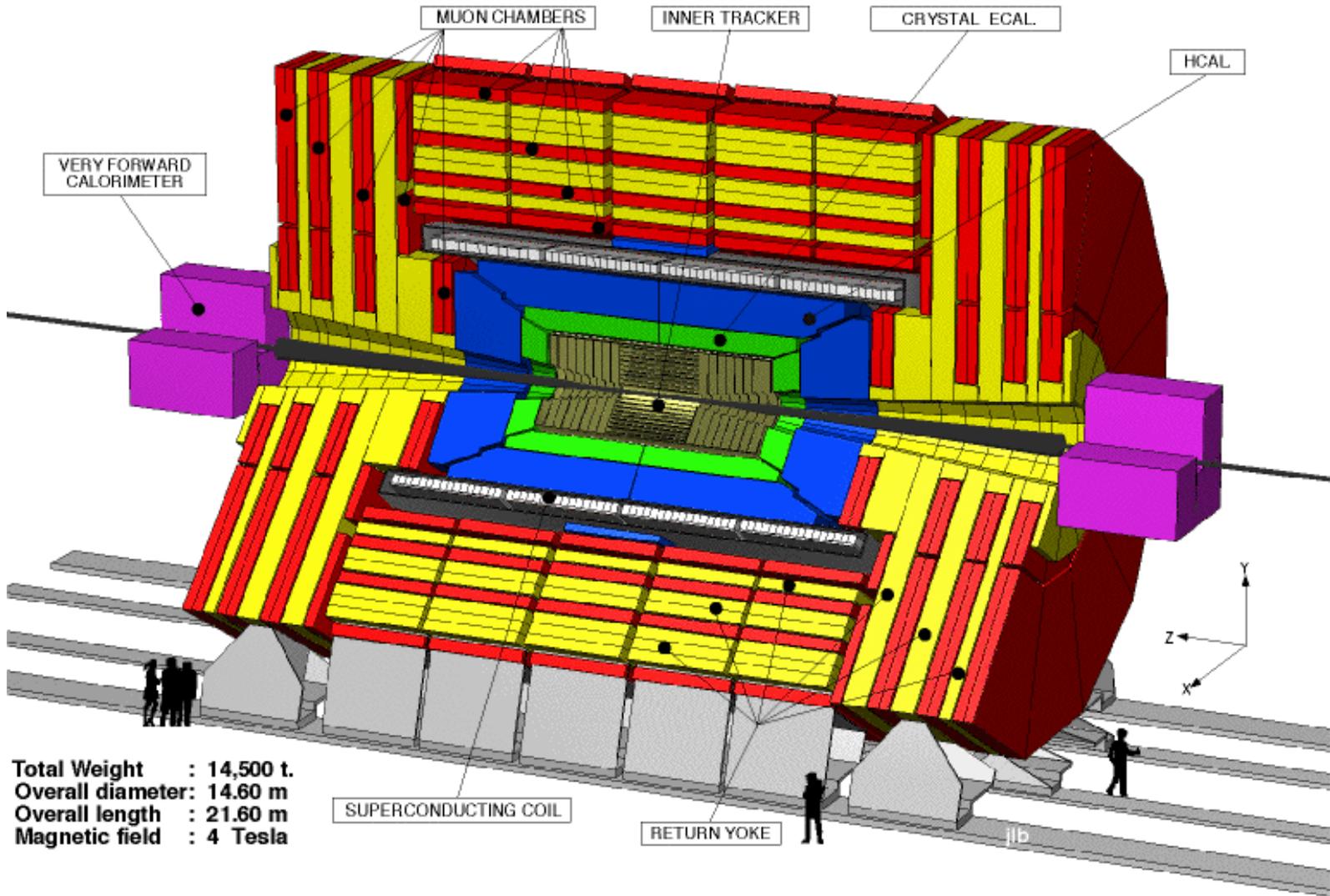


Detektoraufgaben

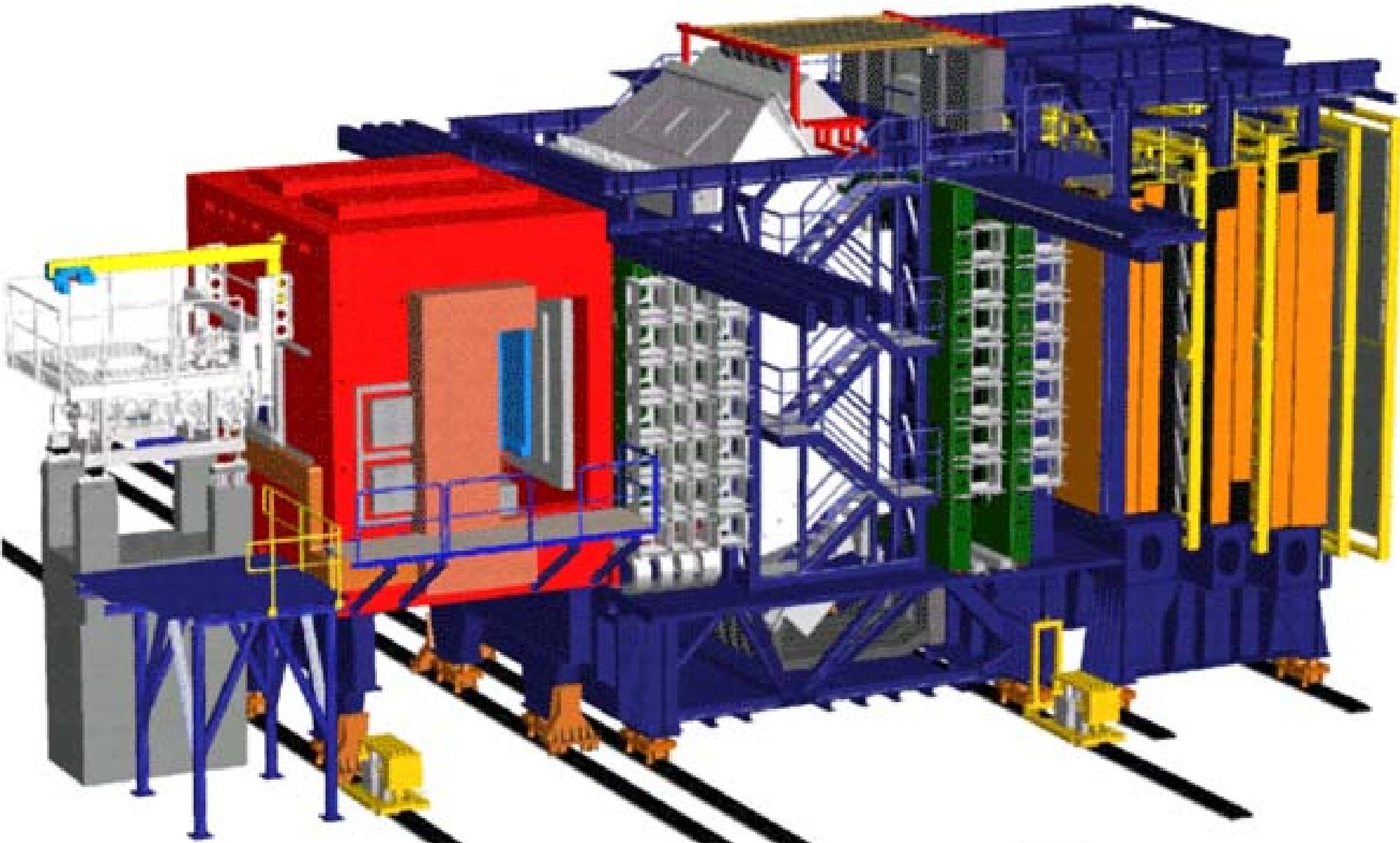
- Nachweis, evt. auch Strahlungsfluss
- Kinematik der Teilchen messen (Energie, Richtung, ...)
- Teilchen identifizieren (z.B. Masse bestimmen)



CMS-Detektor am LHC



HERA-B-Detektor (fixed target)



at DESY

Cherenkov-Strahlung

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

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

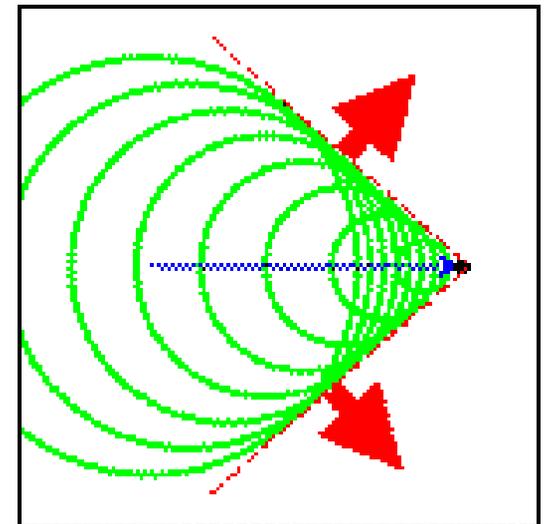
- Wasser: $n = 1,33$
- Eis: $n = 1,3$
- Diamant: $n = 2,4$
- Gase: $n \approx 1 + 0,001..$

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

[..\..\ALBERT\mach.exe](#)

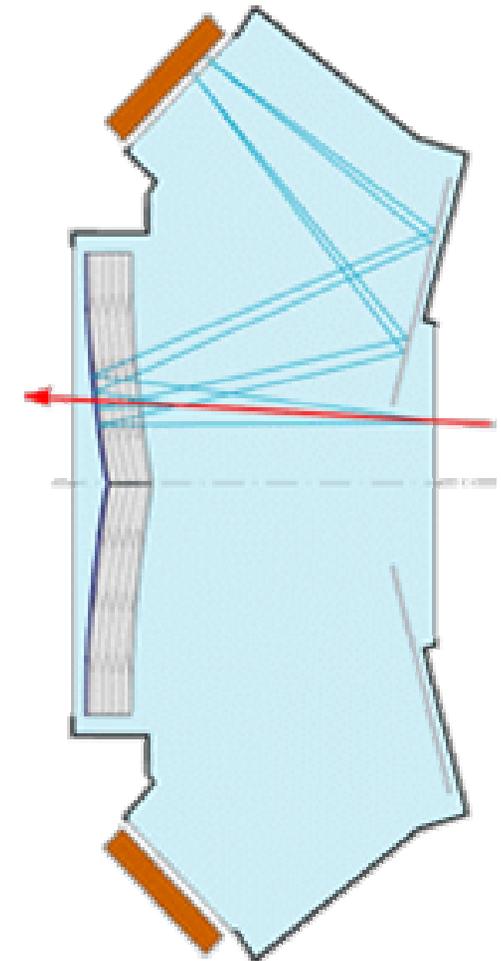
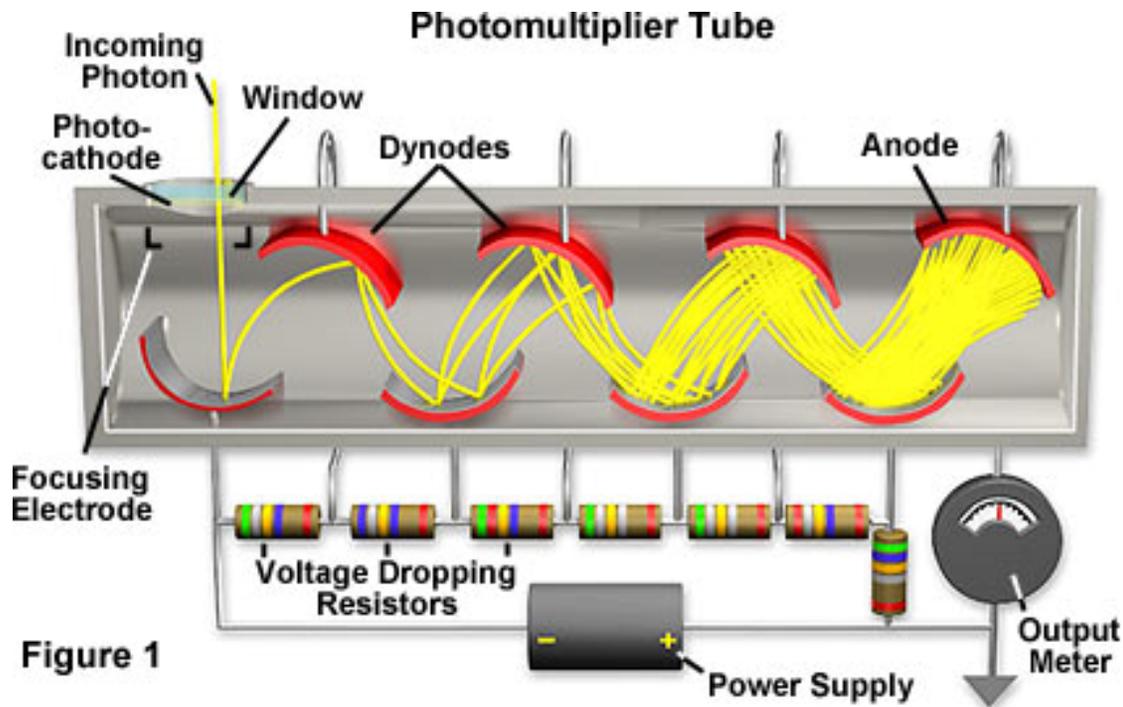


Cherenkov-Kegel



Cherenkov-Detektoren

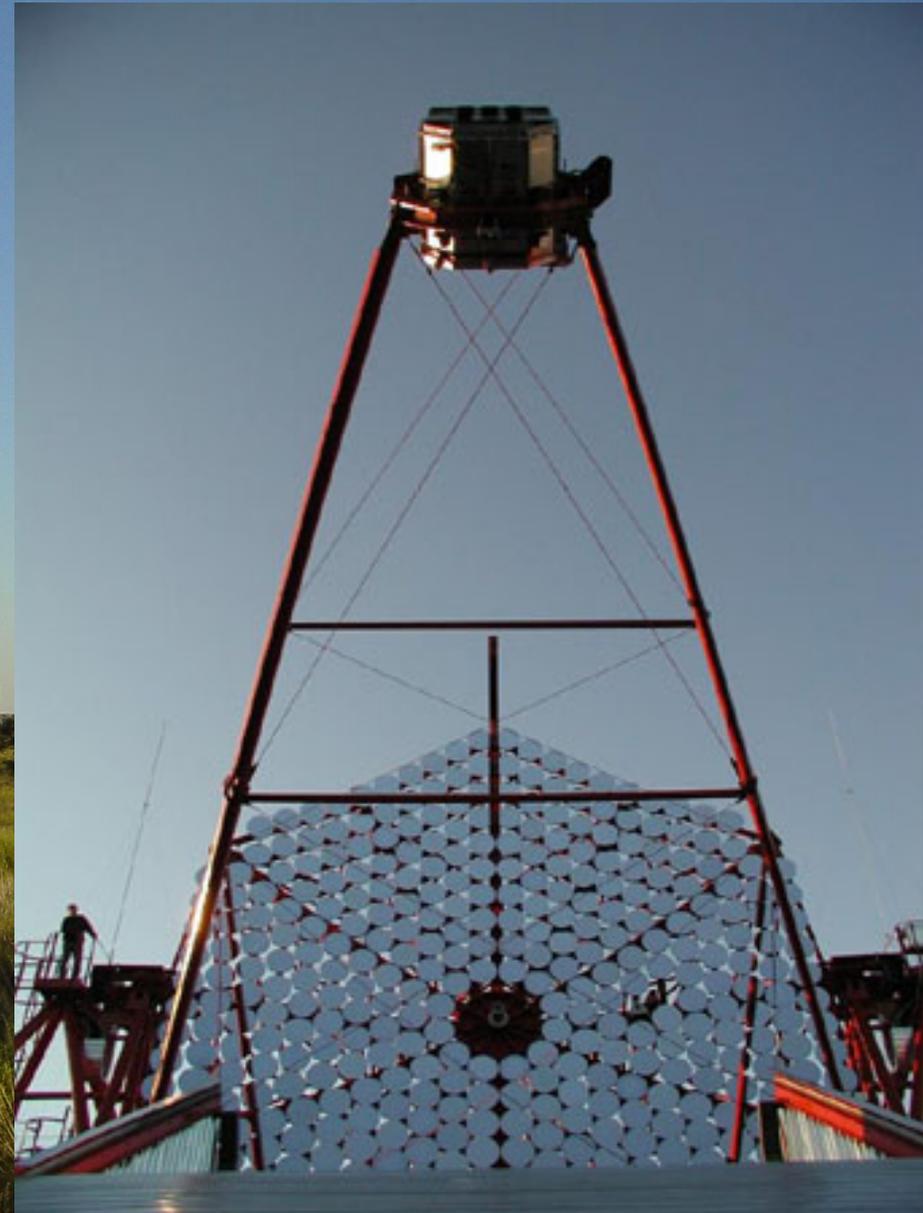
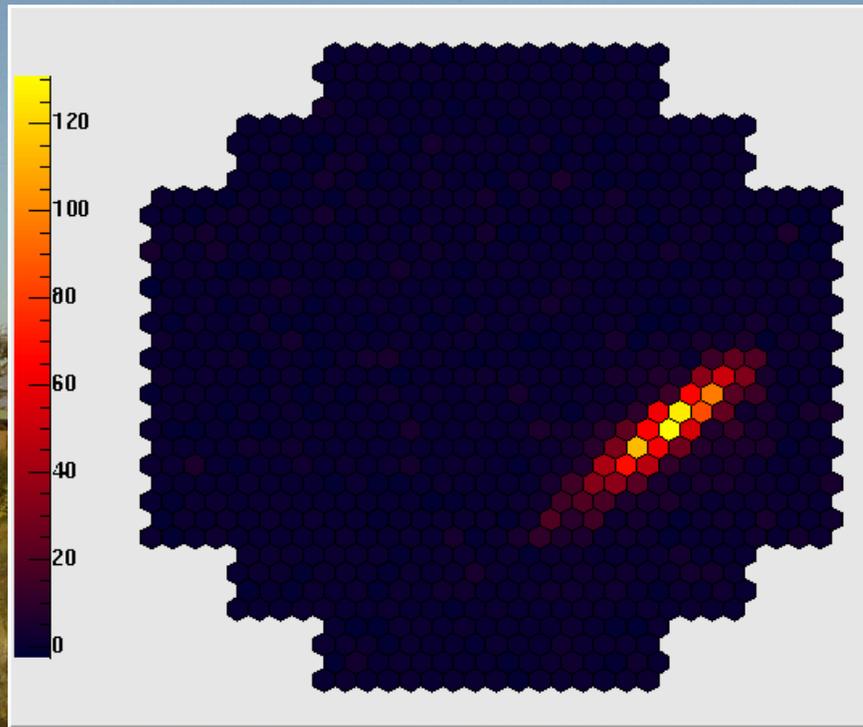
Nachweis von Licht: **Photovervielfacher-Röhren**



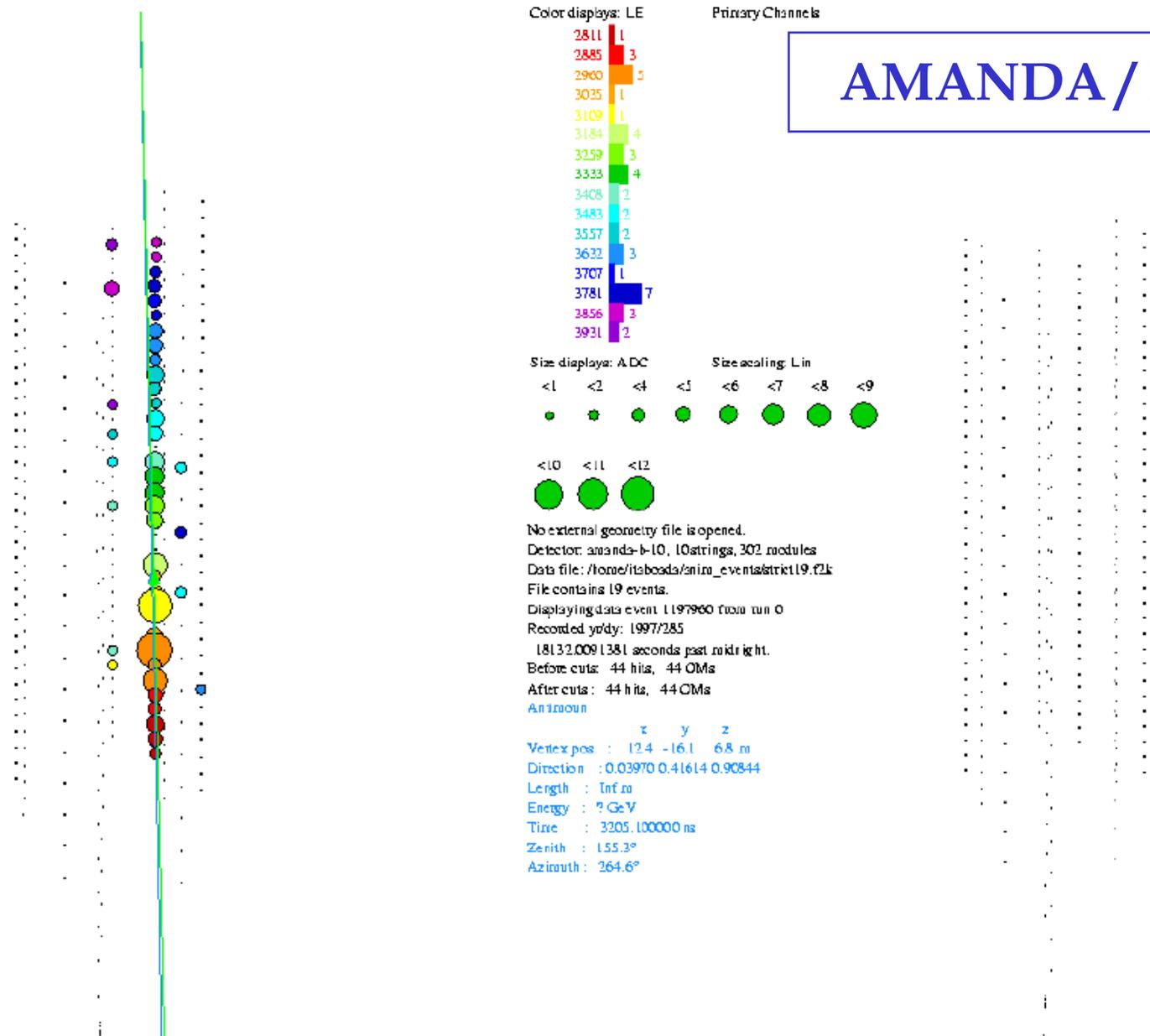
HERA-B RICH

(= ring imaging Cherenkov detector)

Kamera in Aktion



AMANDA / IceCube



$\nu_{\mu} + N \rightarrow \mu + X \Rightarrow$ Cherenkov-Strahlung im Eis

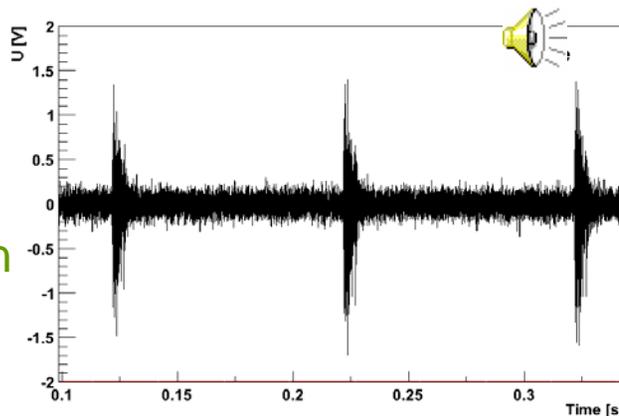
Sehen und Hören: Nutze alle Sinne Teilchen hören ?!!

Akustische Sensoren für den IceCube Detektor

Thermoakustisches Modell:

- ⇒ Ultrahochenergetische Kaskade
- ⇒ Lokale Erwärmung
- ⇒ Expansion
- ⇒ Schallwelle

Akkustische Sensoren



180 MeV Protonen
TSL, Uppsala

Das war's