Kosmische Strahlung

Hochenergetische Teilchen

aus dem Weltall

Thomas Hebbeker
RWTH Aachen
Novembervorlesung
03.11.2007

Kosmische Strahlung

- Entdeckung / Eigenschaften
- Einflüsse auf Erde
- Hochenergetische Teilchen
- Kosmische Quellen
- Auger-Observatorium

T.Hebbeker

Kosmische Strahlung ?

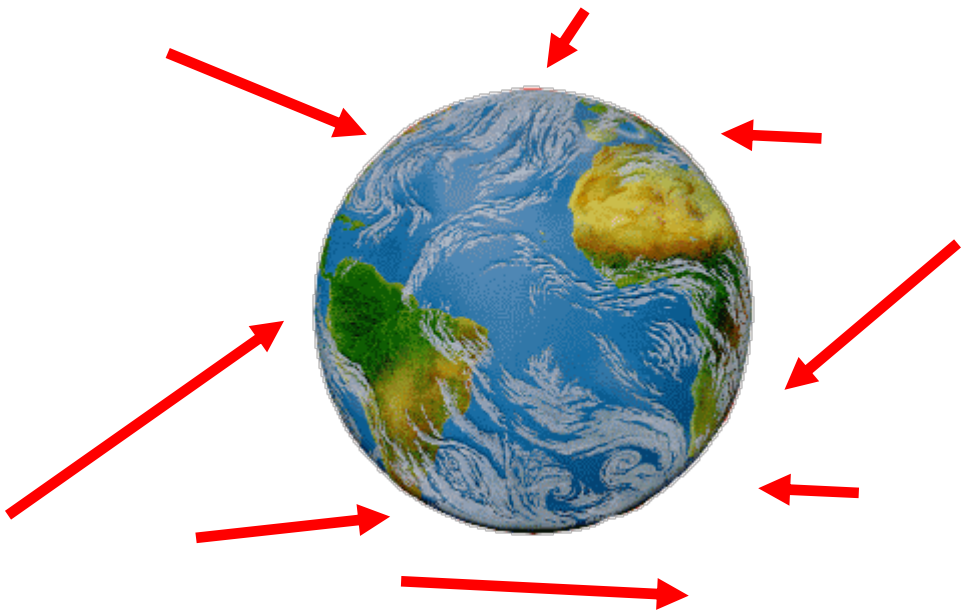
T.Hebbeker

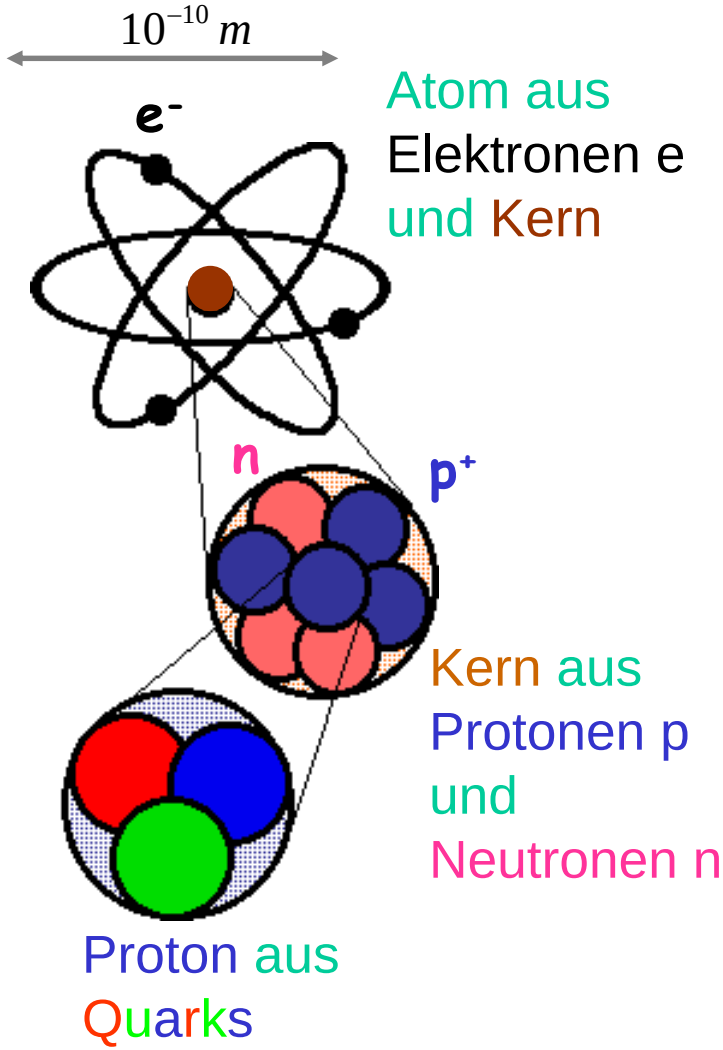
Art: schnelle geladene

‚Elementar'-Teilchen

(Protonen p und Atomkerne)

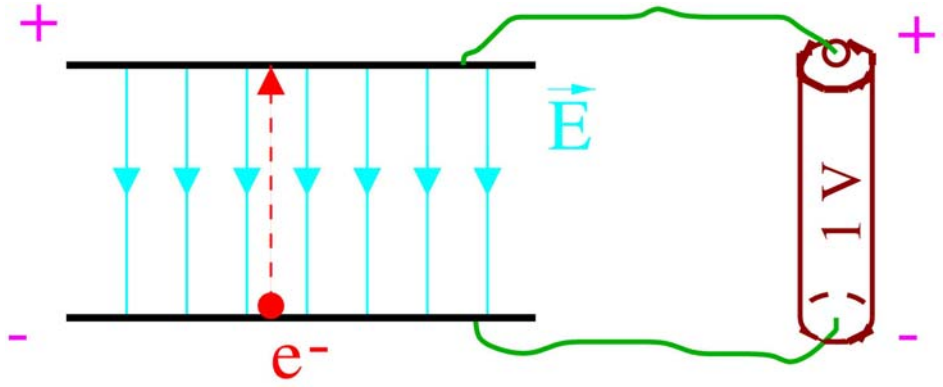
Quelle: außerhalb der Erde





Energie

Energie-Einheit der Atom-und Teilchenphysik: eV = Elektronenvolt



= Energie nach Durchfliegen einer Spannung von 1 V

Elektron im Atom $1\ eV$

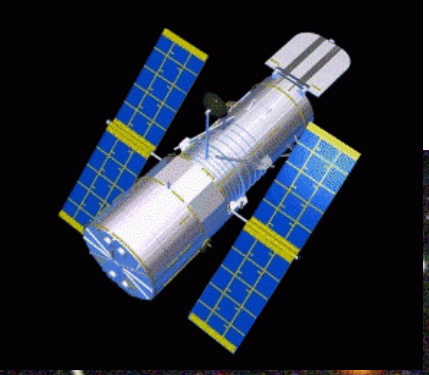
Teilchenbeschleuniger
$$10^{9}\,eV = 1\,GeV$$
$$10^{12}\,eV = 1\,TeV$$
$$10^{18}\,eV = 1\,EeV$$

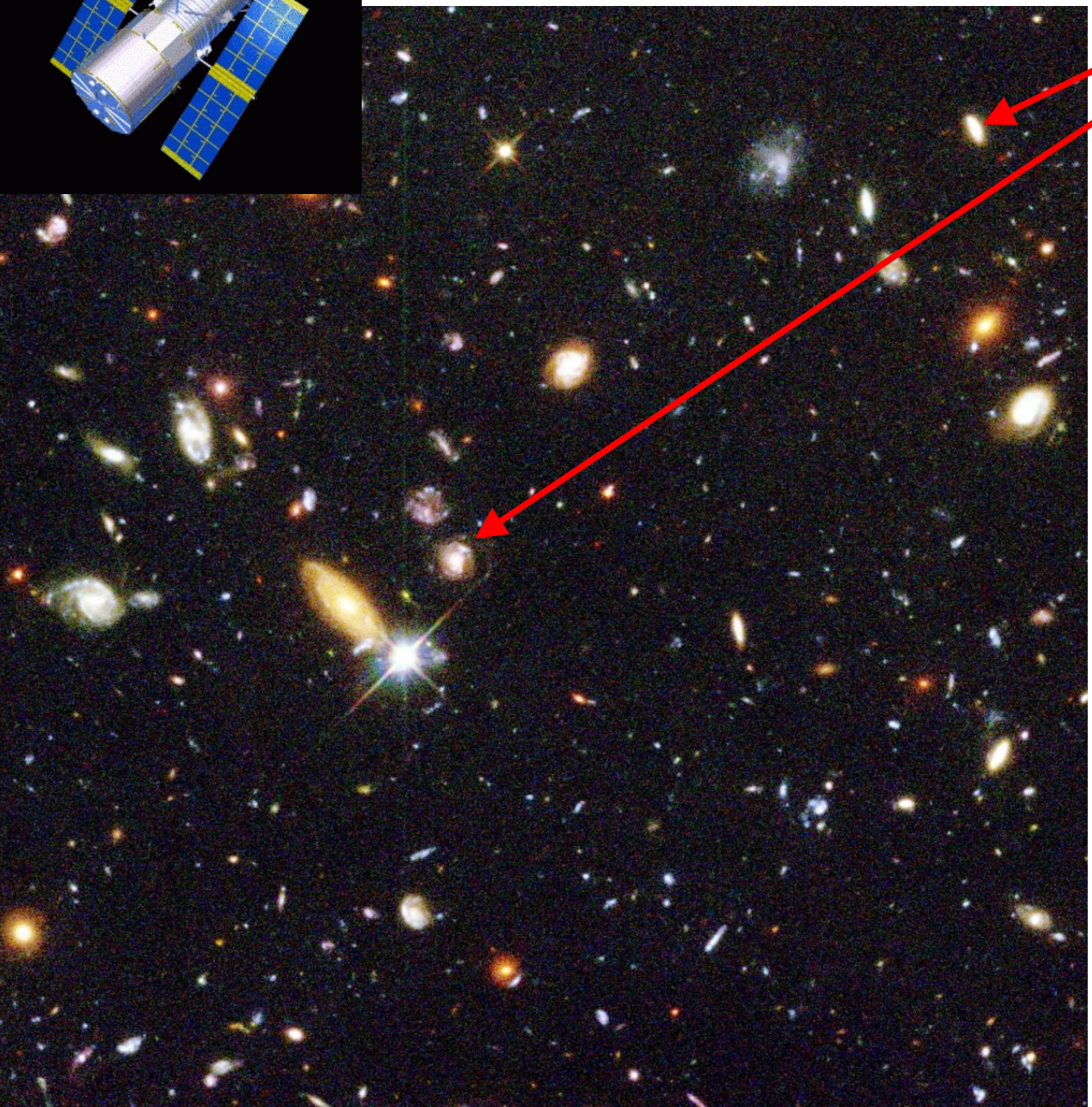
Kosmische Strahlung

= 0.16 Joule

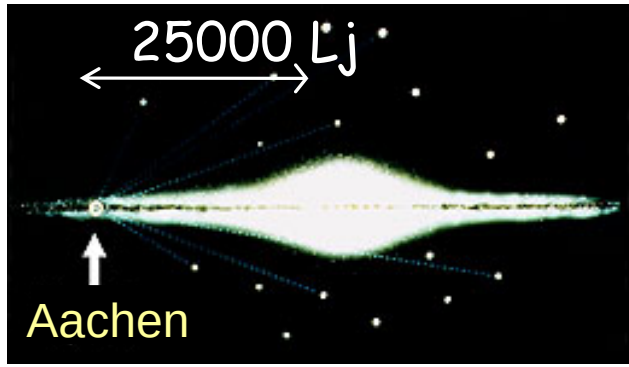
Kosmos - Weltall - Universum

T.Hebbeker



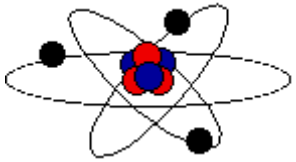


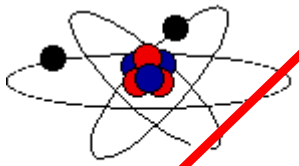
Andromeda-Galaxie



Das Sonnensystem
in der Milchstrasse

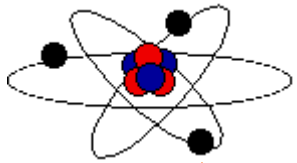
Wirkung und Nachweis geladener Teilchen





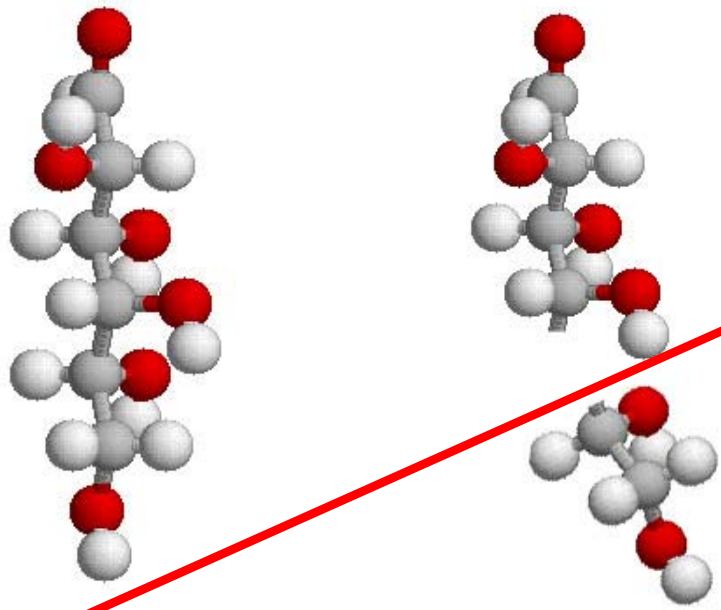
Ionisation

➡ Freies Elektron



Rekombination

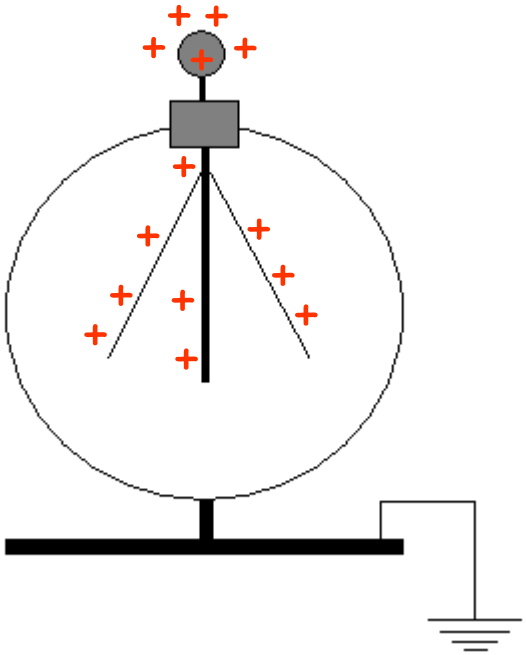
➡ Licht



➡ Chemische Reaktion

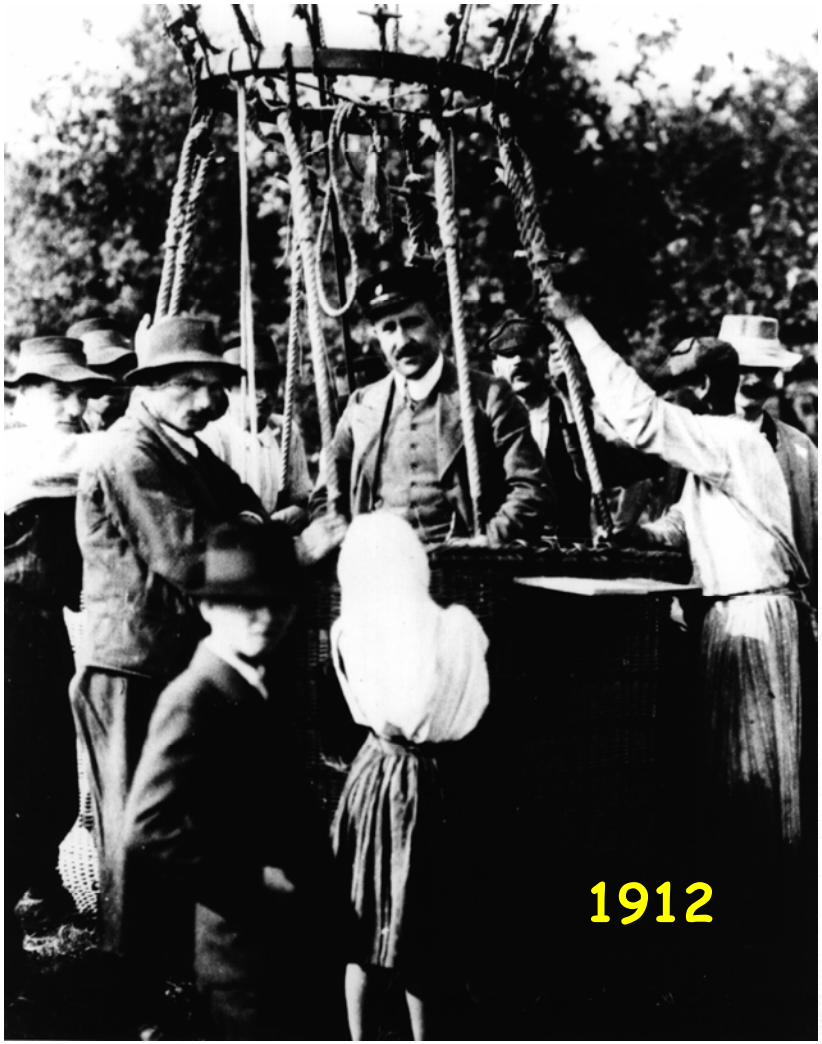
Experiment Elektrometer

➡ Freie Elektronen



Wird Luft ionisiert, bewegen sich die Elektronen zum Elektrometer und **entladen** es.

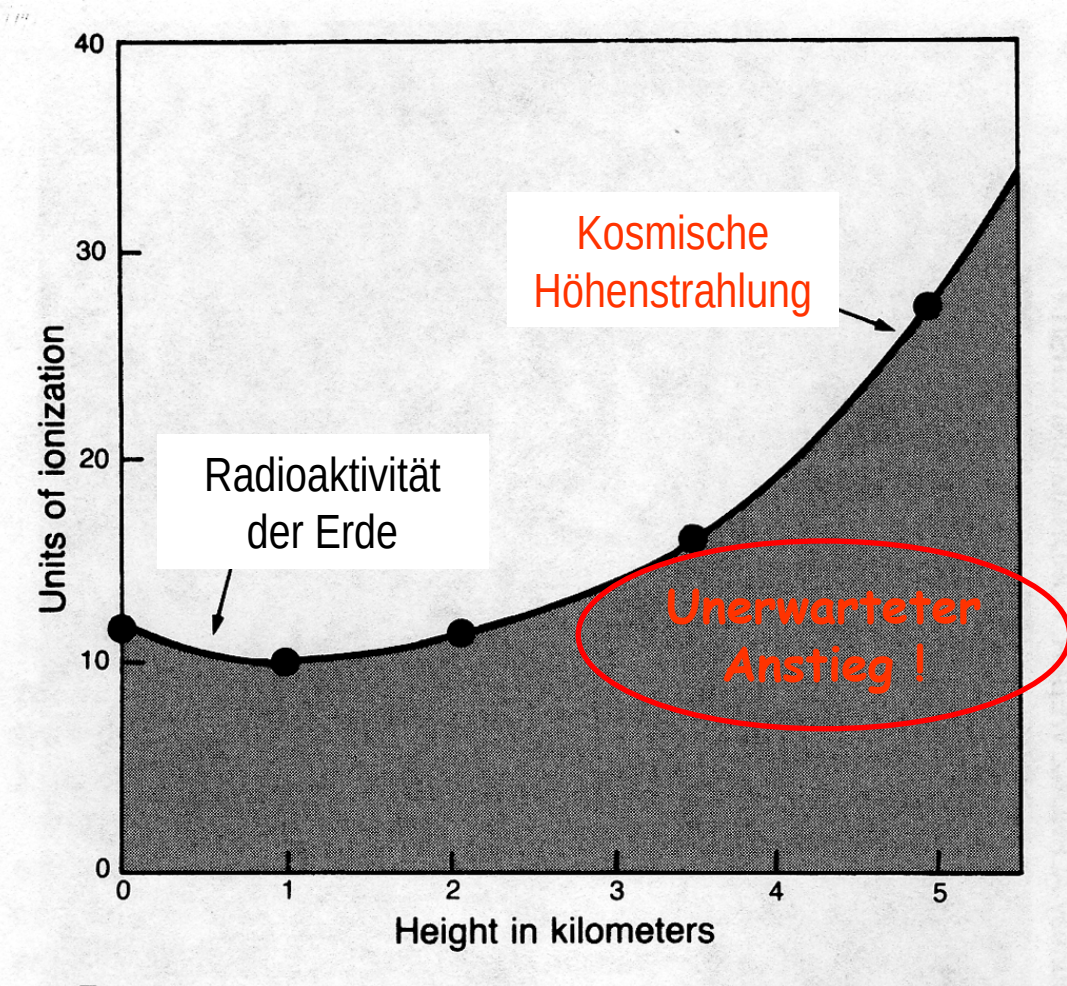
Elektrometer-Messungen von Viktor Hess



Elektrometer-
Entladungsgeschwindigkeit

⇨ Ionisation

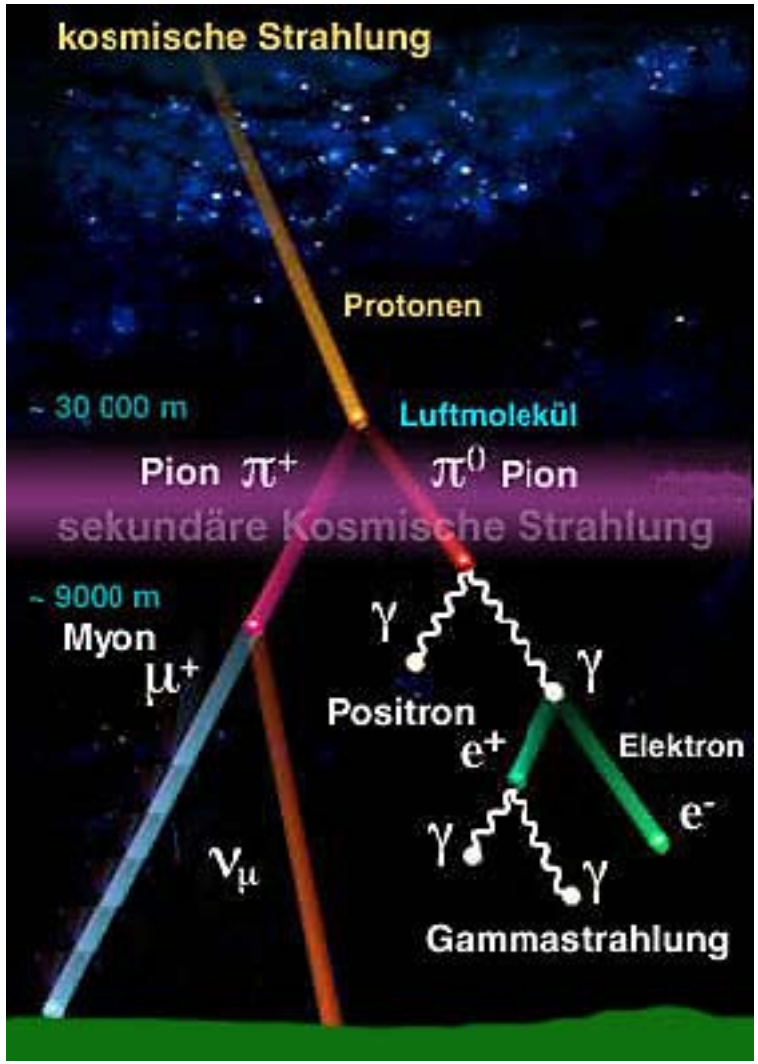
Nobelpreis
1936

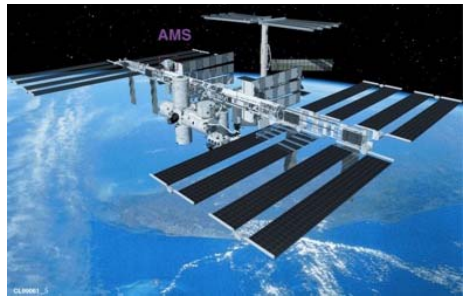


Entdeckung der kosmischen Höhenstrahlung !

Kosmische Strahlung (Höhenstrahlung)

$$\sim \frac{10000}{m^2\, s}$$



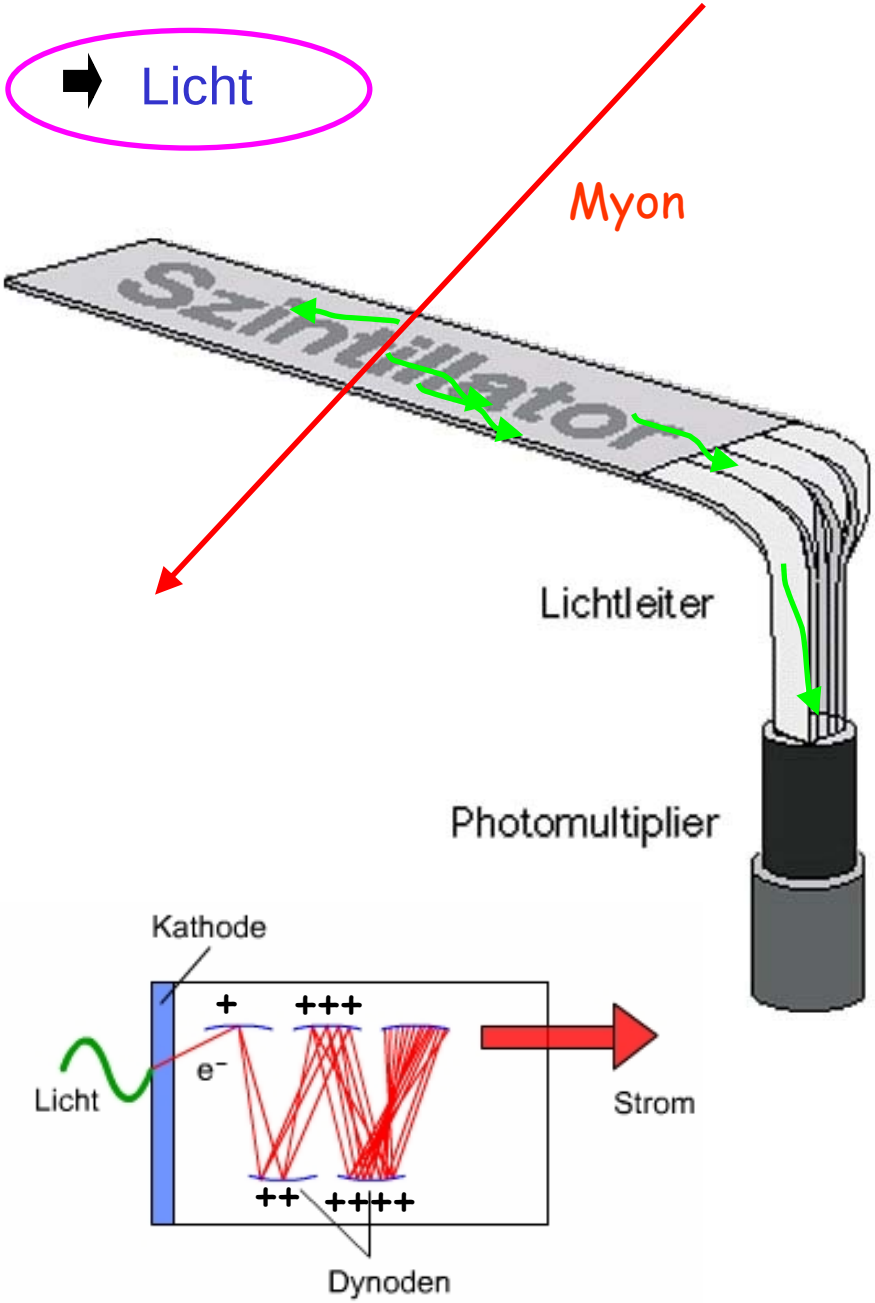


$$\sim \frac{100}{m^2\, s}$$

Auf Erdboden kommen praktisch nur die Myonen (= „schwere Elektronen“) an.

Experiment Nachweis „kosmischer“ Myonen

T.Hebbeker



Myonen der Höhenstrahlung werden nachgewiesen.
Sie durchdringen Materialien …

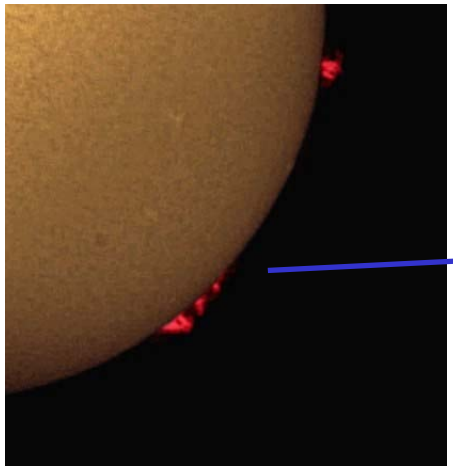
Kosmische Strahlung

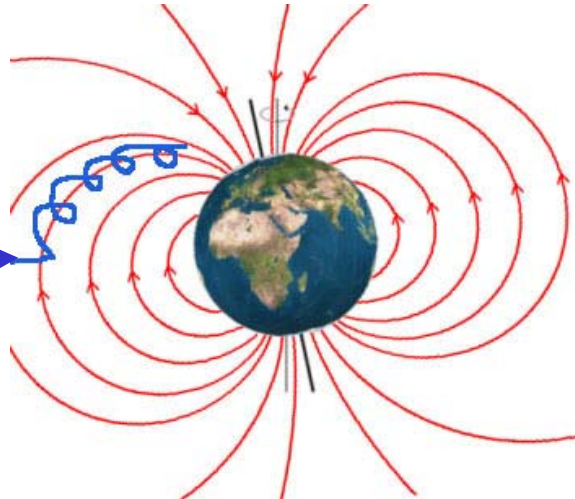
- Entdeckung / Eigenschaften
- Einflüsse auf Erde
- Hochenergetische Teilchen
- Kosmische Quellen
- Auger-Observatorium

T. Hebbeker

Polarlicht

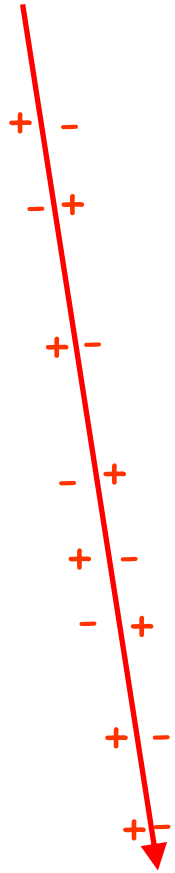
Niederenergetische Teilchen von der Sonne („Sonnenwind") spiralen um Magnetfeldlinien der Erde und regen Luftmoleküle zum Leuchten an.





T.Hebbeker

Wolkenentstehung ?

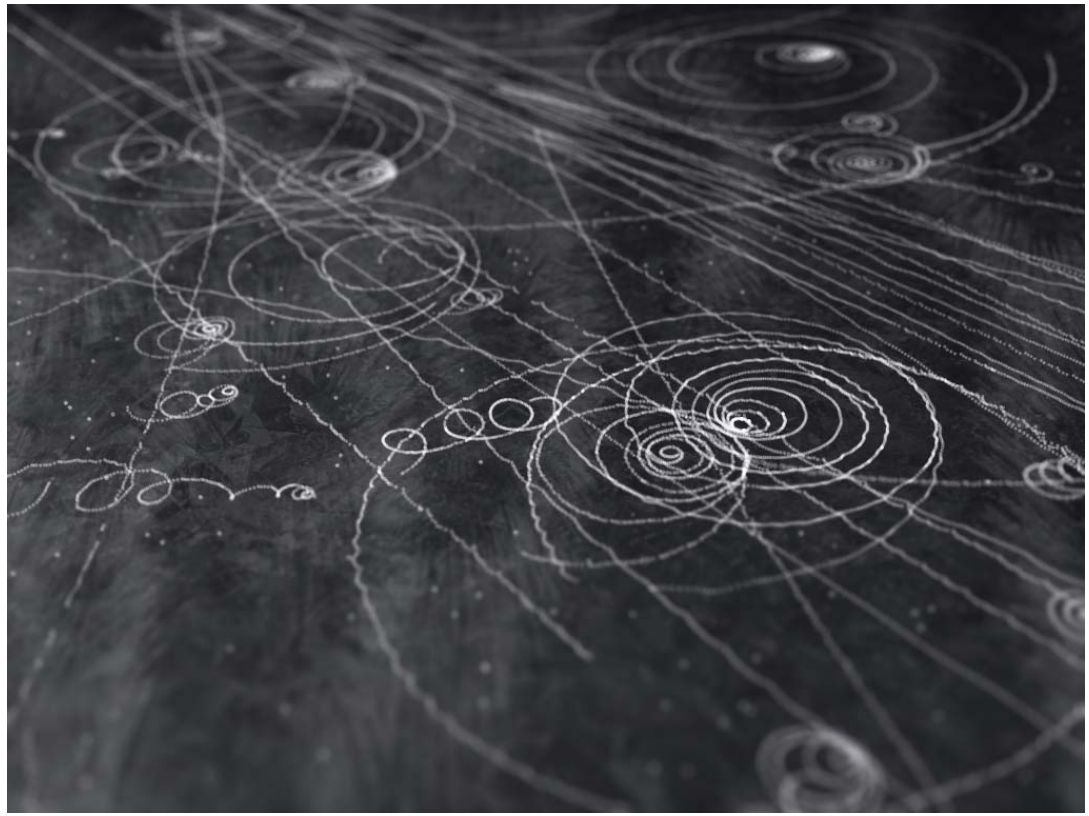


Abgaspartikel wirken als Kondensationskeime, Wasserdampf kondensiert in Form von Kondensstreifen und Wolken.

Auch kosmische Strahlung kann möglicherweise die Wolkenbildung und damit das Klima beeinflussen.

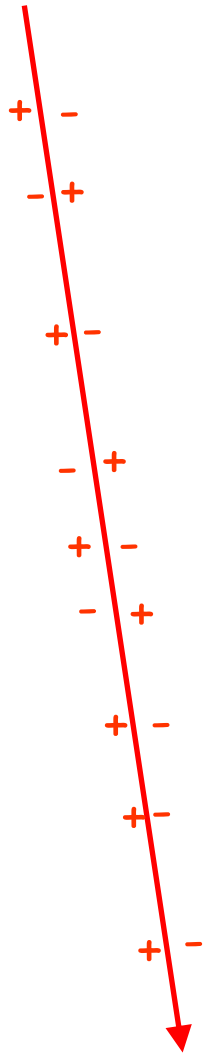
Experiment Nebelkammer

Ionen wirken als Kondensationskeime in übersättigtem Gas: Nachweis von Teilchenspuren (Wilson, 1912)



Wichtiges Nachweisgerät der Teilchenphysik !

Blitzentstehung ?

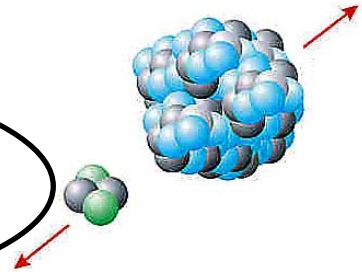


Kosmische Teilchen setzen Ladungen frei,
entlang derer sich Blitz als Funke entwickelt.

?

T.Hebbeker

Ionisierende Strahlung und Mensch



Arten:

- geladene Teilchen
  - Radioaktive Zerfälle
  - Kosmische Strahlung
- Röntgenstrahlung
  - Medizin

1896

Wirkungen:

o Ionisation und Rekombination

\- Zerstörung von Molekülen und Zellen (Krebs)

-/+ Veränderung des Erbgutes (Missbildungen, Evolution !)

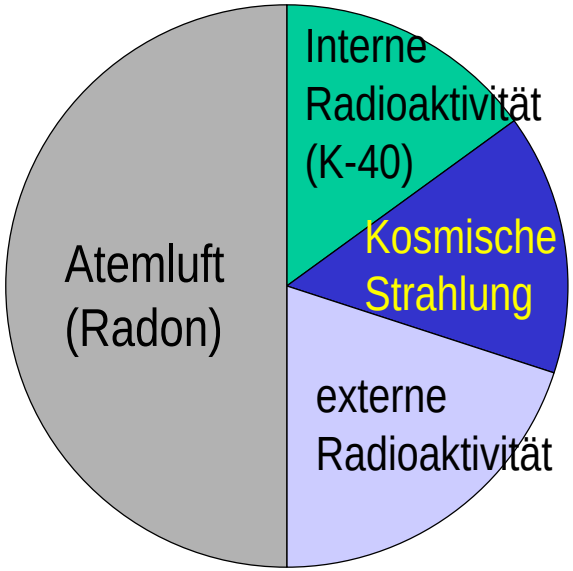
T.Hebbeker

Strahlenexposition des Menschen

Natürliche Quellen:

Im Körper deponierte Energie:

~ 1 m Sv / Jahr ~ 1 m Gy / Jahr ~ 0,001 J/kg / Jahr ~ 0,1 J / Jahr



- 100 g um 10 cm anheben
- 10 μg Schokolade
- 1/1000 s Sonnenbad

Technische Quellen:

Im Körper deponierte Energie:

~ 1 m Sv / Jahr ~ natürliche Exposition

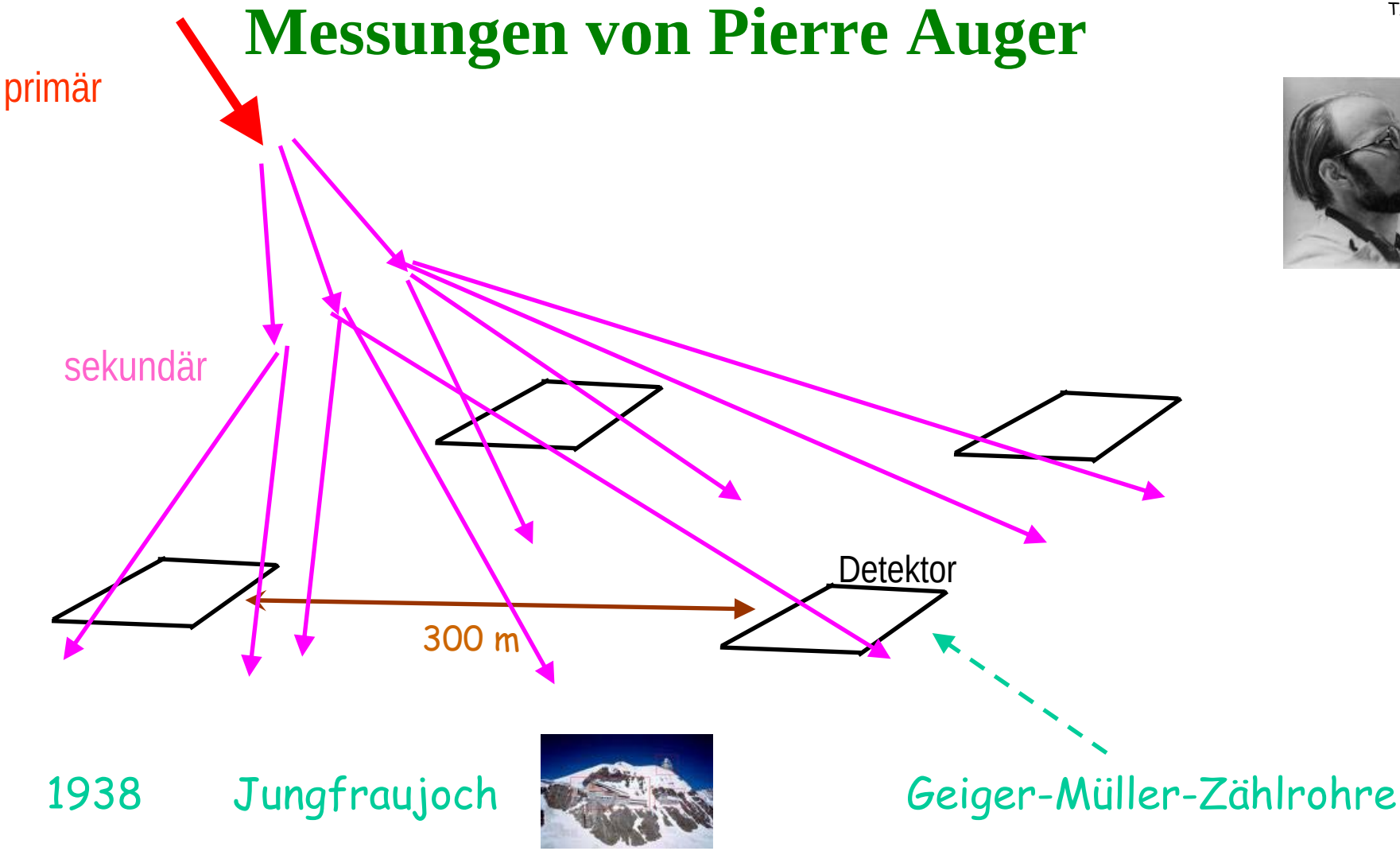
Erhöhte Strahlung !

Kosmische Strahlung

- Entdeckung / Eigenschaften
- Einflüsse auf Erde
- Hochenergetische Teilchen
- Kosmische Quellen
- Auger-Observatorium

T. Hebbeker

Messungen von Pierre Auger



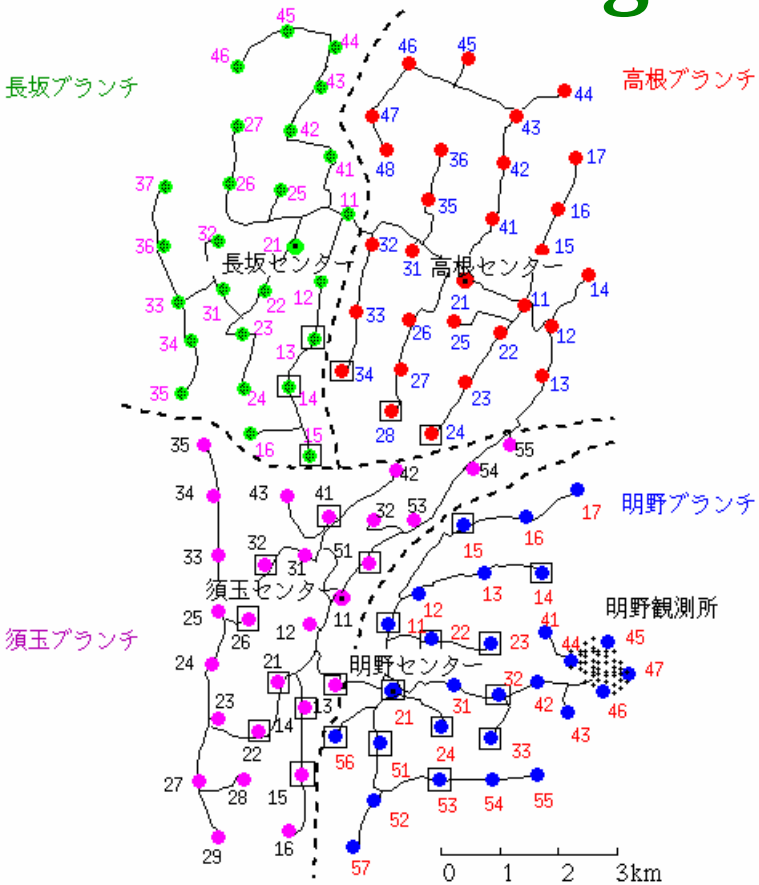
Ergebnis: ~ **gleichzeitiges** Ansprechen der Detektoren in 300 m Abstand

„Ausgedehnte Luftschauer“

Abschätzung: 1 Millionen Sekundärteilchen, **Energie 10^{15} eV** !!!

T.Hebbeker

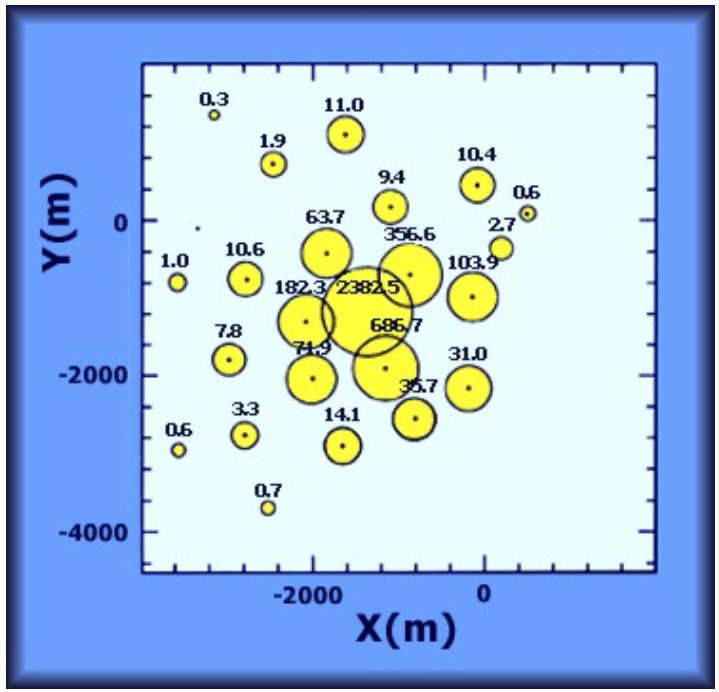
Agasa-Detektor



~1995 Japan

111 Wassertanks (Lichtmessung)

Hochenergetischer Schauer

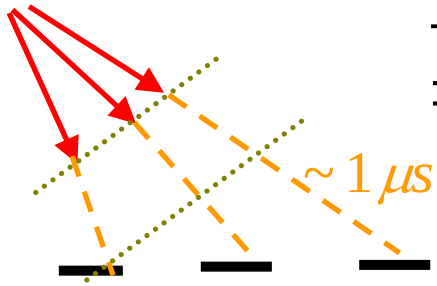


- <u>Energiemessung:</u>

  Lichtmenge

- <u>Richtungsmessung:</u>

  Ankunftszeiten

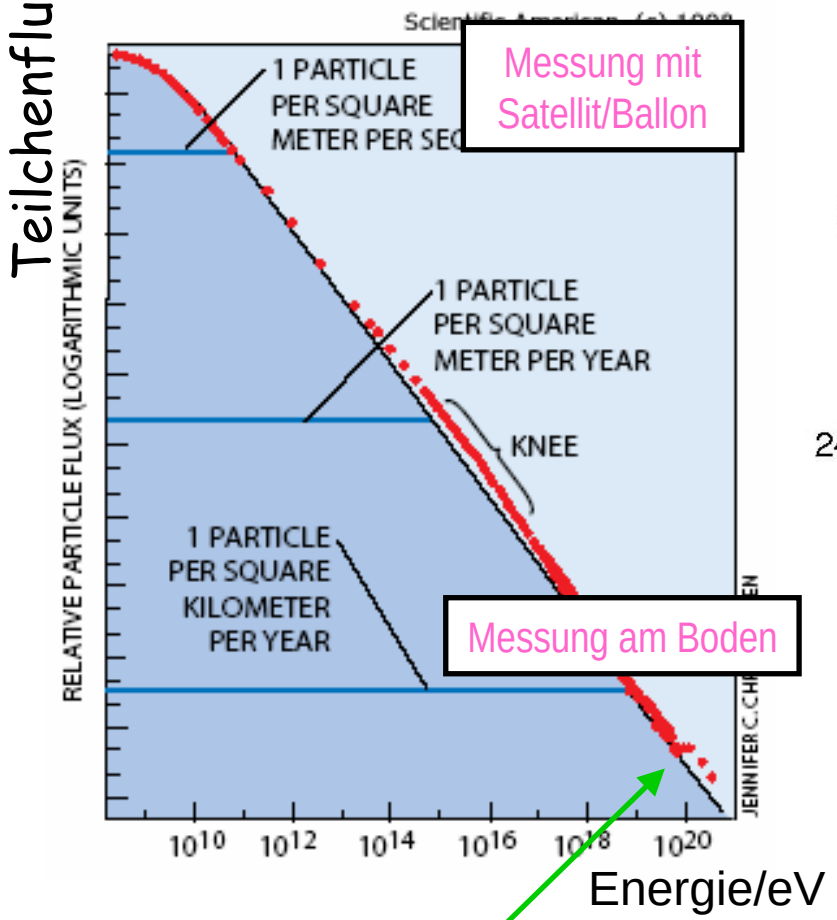


Energie bis ~ 10^{20} eV !!!

Ergebnisse der Luftschauer-Messungen

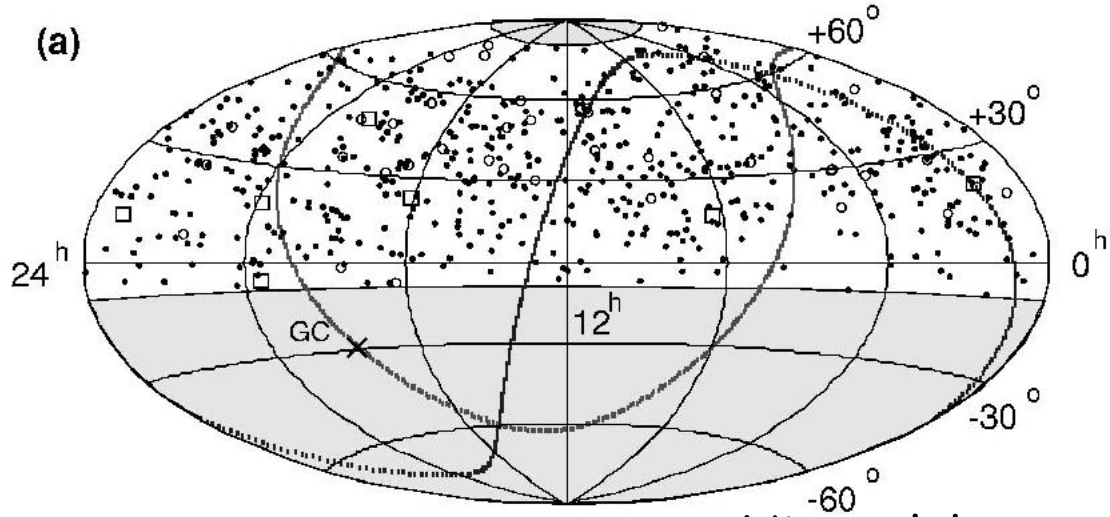
T.Hebbeker

Energiespektrum primärer Teilchen



Hohe Energien sehr selten, keine Energiegrenze

Richtungsverteilung

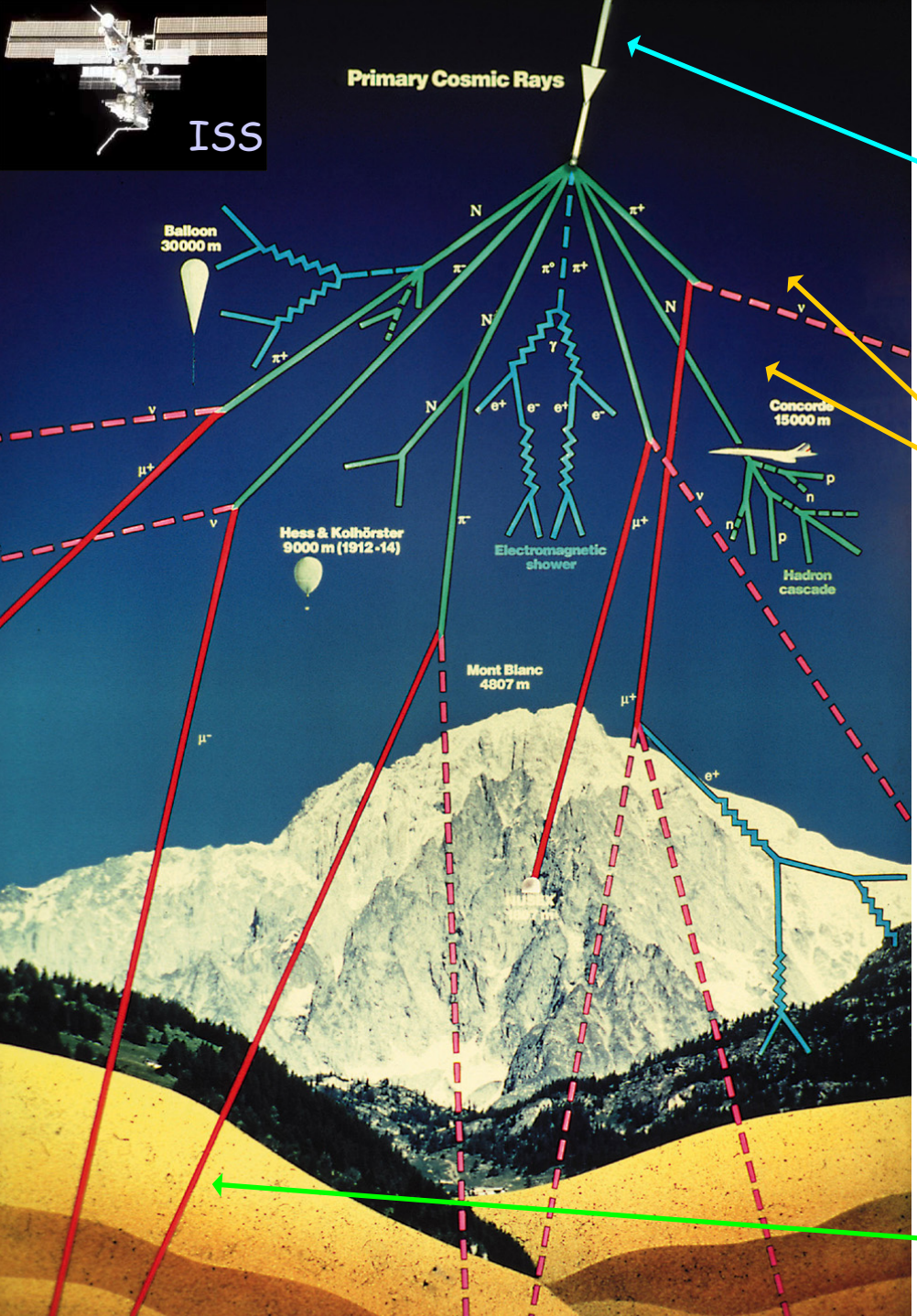


Himmelskarte

isotrope Verteilung

Geladene Strahlung

T.Hebbeker



primär (Protonen, Kerne)

Energie bis 10^{20} eV

sekundär

Fragen:

Woher kommen die Teilchen ?

Wie hoch kann die Energie sein ?

Wie werden sie beschleunigt ?

Myonen

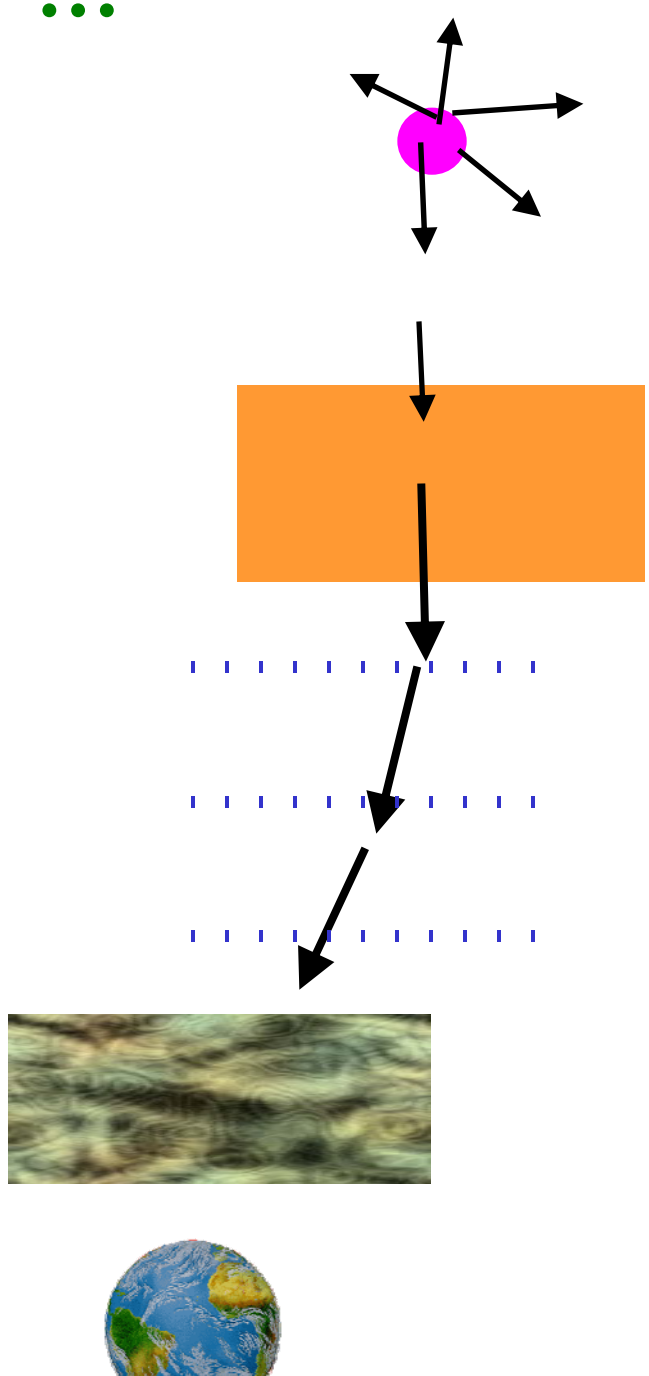
Kosmische Strahlung

- Entdeckung / Eigenschaften
- Einflüsse auf Erde
- Hochenergetische Teilchen
- Kosmische Quellen
- Auger-Observatorium

T. Hebbeker

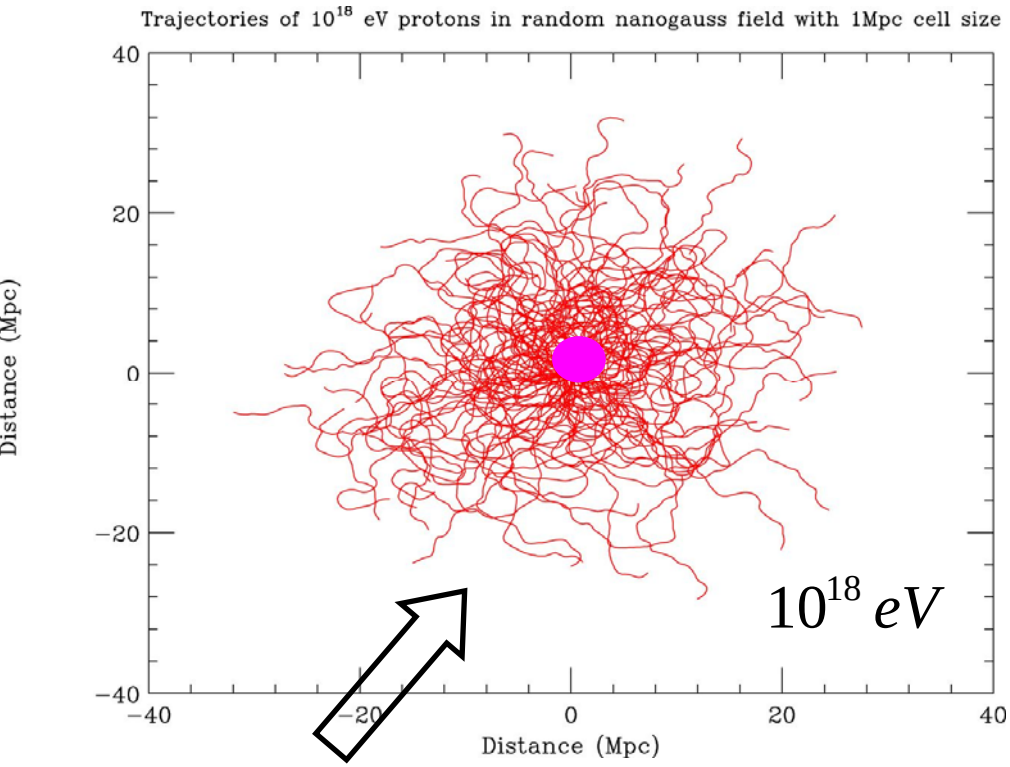
Fragen Fragen Fragen …

- Kosmische Quellen geladener Teilchen ?
- Beschleunigungsmechanismus ?
- Ablenkung ?
  (Magnetfelder)
- Absorption ?
  (Wechselwirkung mit Photonen)

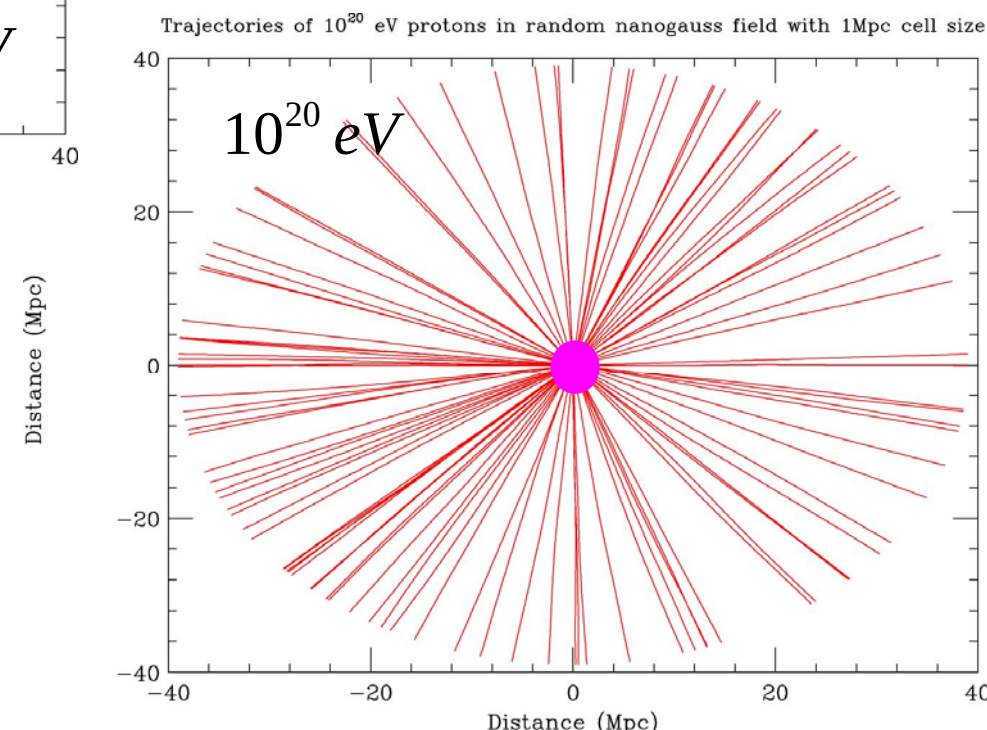


Ablenkung in kosmischen Magnetfeldern

T.Hebbeker



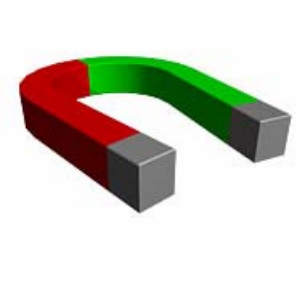
Simulations-rechnungen



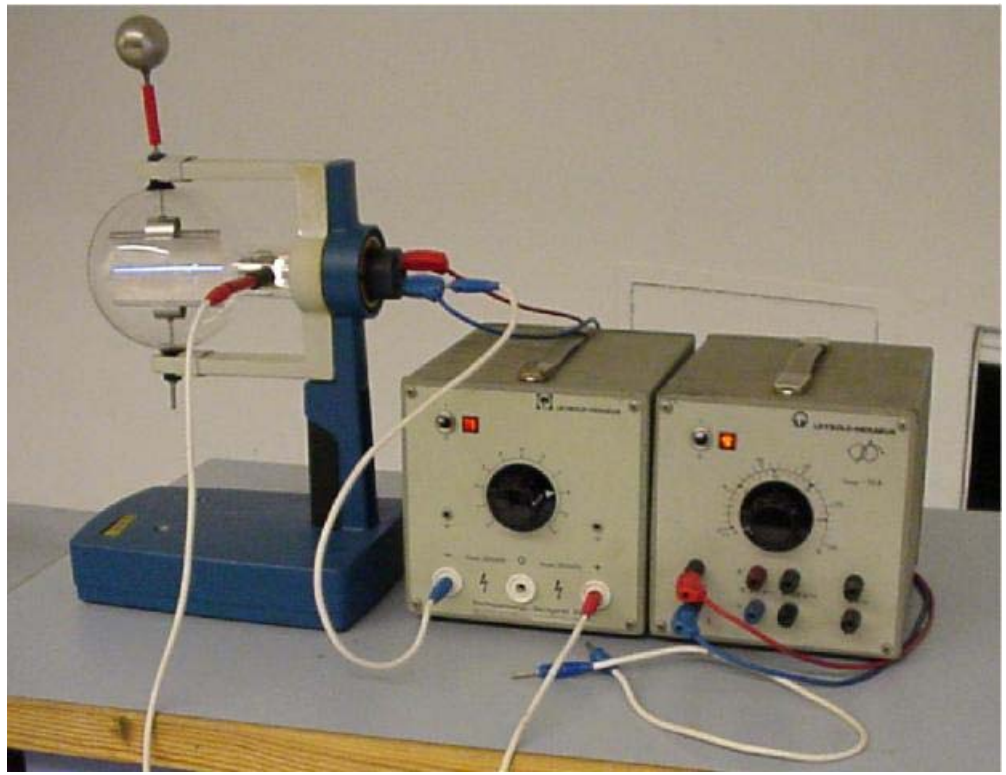
Bei Ankunft auf Erde:

keine Richtungsinformation

Experiment Ablenkung im Magnetfeld



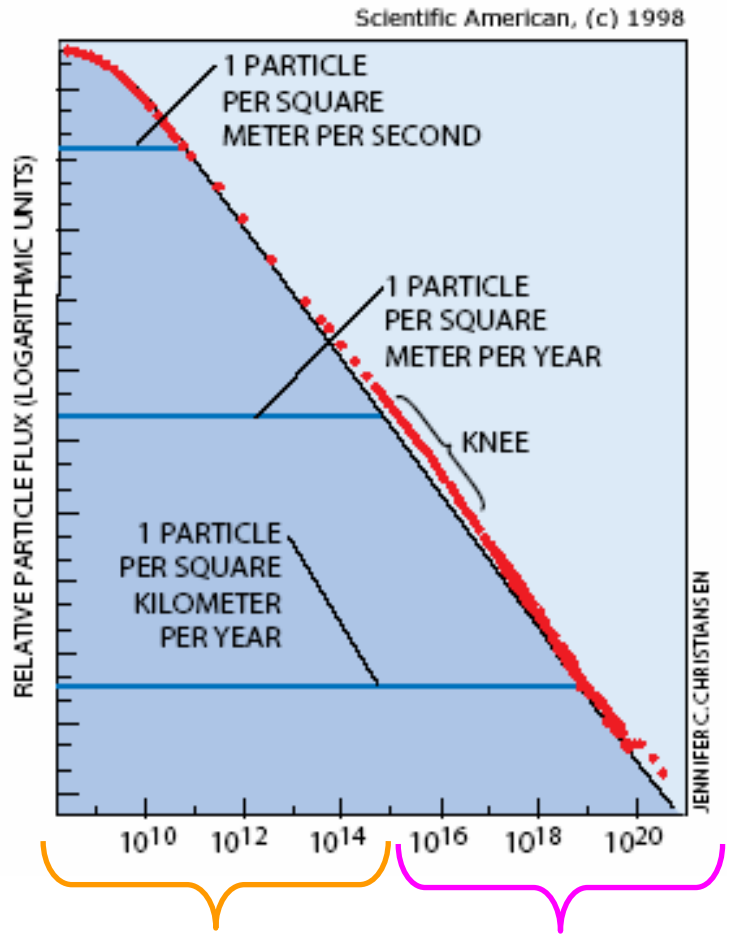
Magnet



Kathodenstrahlröhre

Herkunft hochenergetischer kosmischer Teilchen

Energiespektrum primärer Teilchen



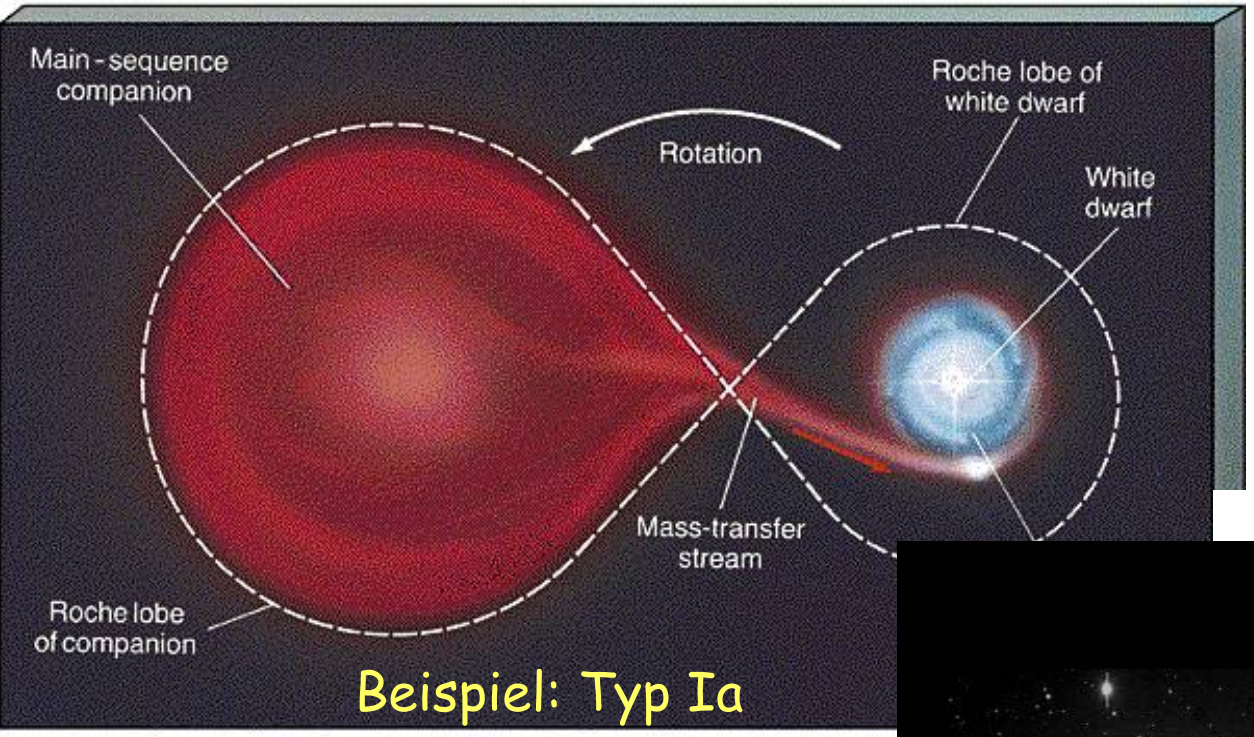
Hypothesen:

Supernovae in Milchstrasse ?

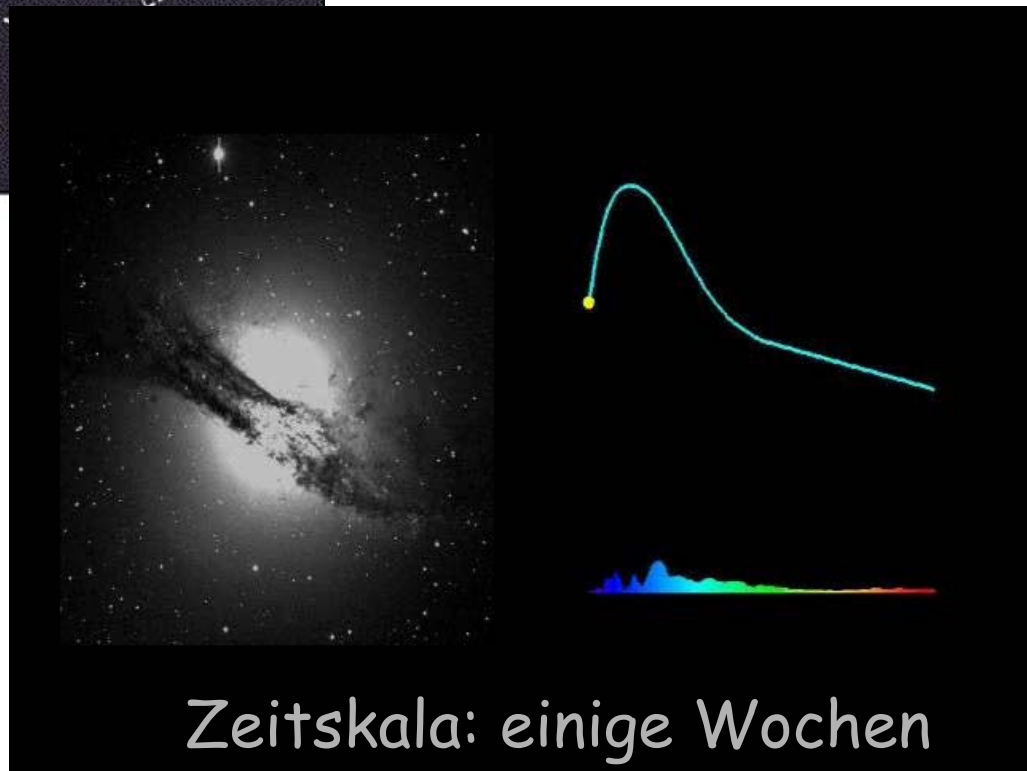
Aktive Galxienkerne ??????????????????

T.Hebbeker

Supernovae = explodierende Sterne



Beispiel: Typ Ia



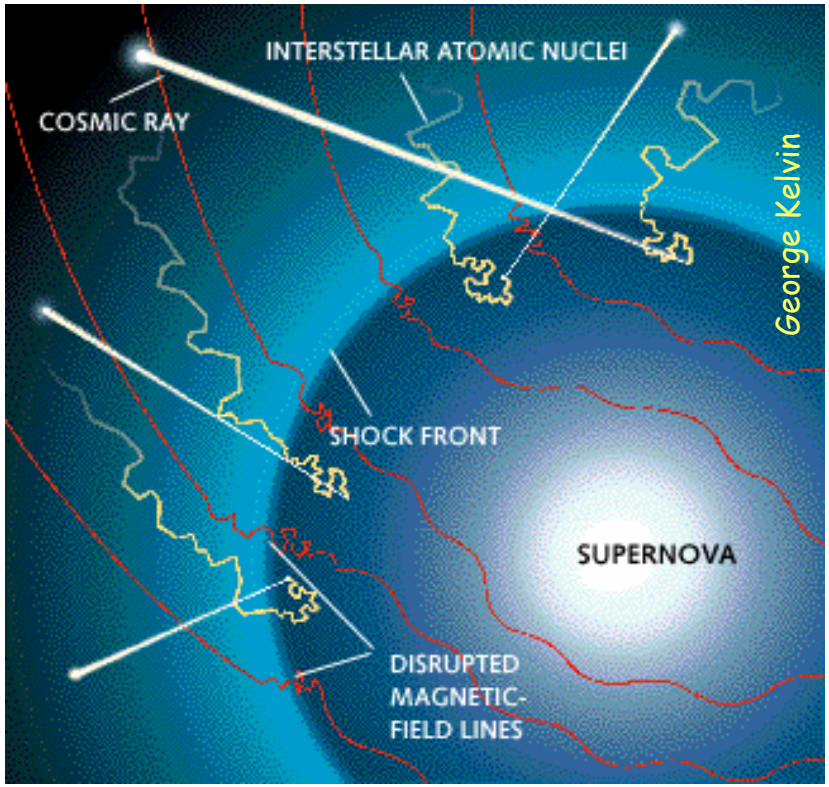
Zeitskala: einige Wochen

Explosion des weissen Zwerges wenn Masse kritischen Wert erreicht

heller als Galaxie !

Supernovae – Quellen kosmischer Strahlung

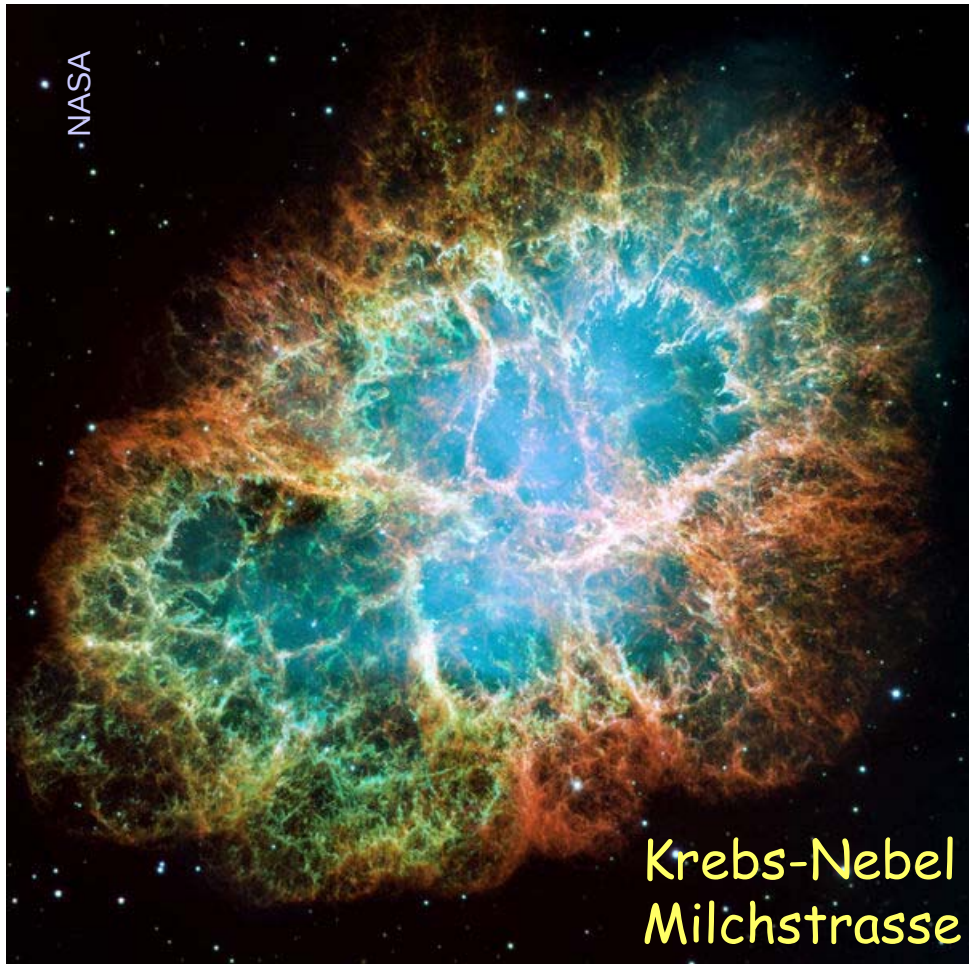
T.Hebbeker



Sterbender Stern erzeugt durch Kernprozesse schwere Elemente

Schockwellen (elektromagnetische Felder) beschleunigen Teilchen

Äußere Hülle des sterbenden Sterns wird abgestoßen



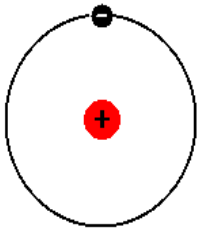
T.Hebbeker

Supernova - Chemie

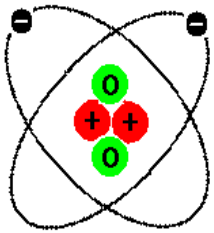
Vor der Sternbildung:

75 % (Masse) — Wasserstoff

25 % — Helium

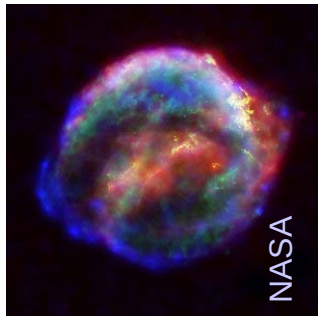


^{1}H

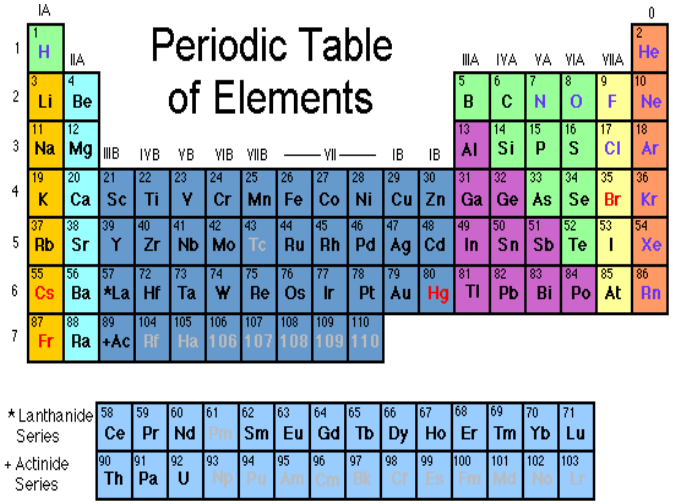


^{4}He

proton: +
electron: −
neutron: o



Am Ende des Sternenlebens:



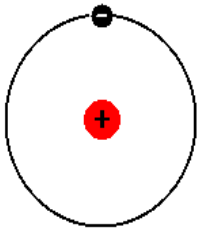
T.Hebbeker

Supernova - Chemie

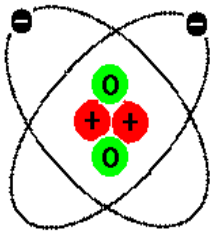
Vor der Sternbildung:

75 % (Masse) — Wasserstoff

25 % — Helium

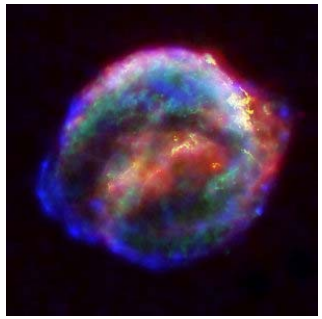


^{1}H

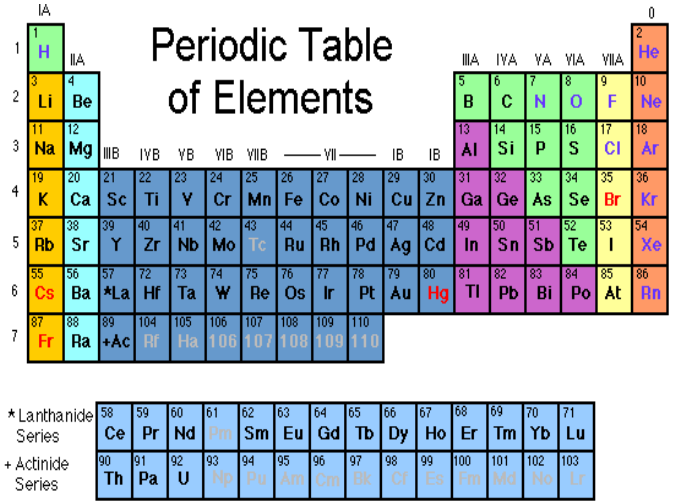


^{4}He

proton: +
electron: −
neutron: o



Am Ende des Sternenlebens:



Wir bestehen aus Sternenasche !

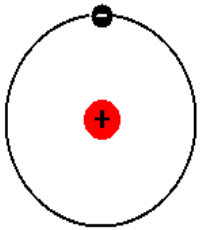
T.Hebbeker

Supernova - Chemie

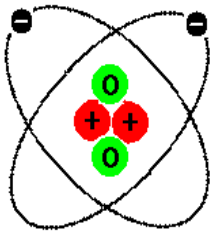
Vor der Sternbildung:

75 % (Masse) — Wasserstoff

25 % — Helium

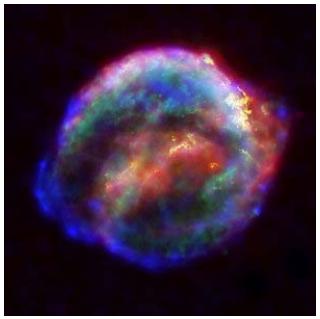


^{1}H

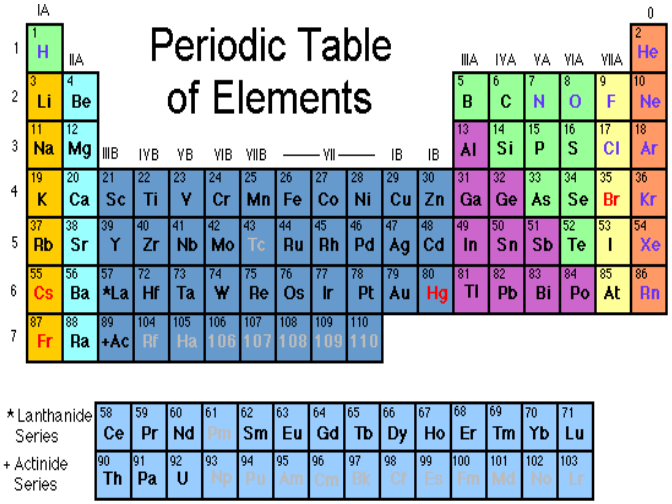


^{4}He

proton: +
electron: −
neutron: 0



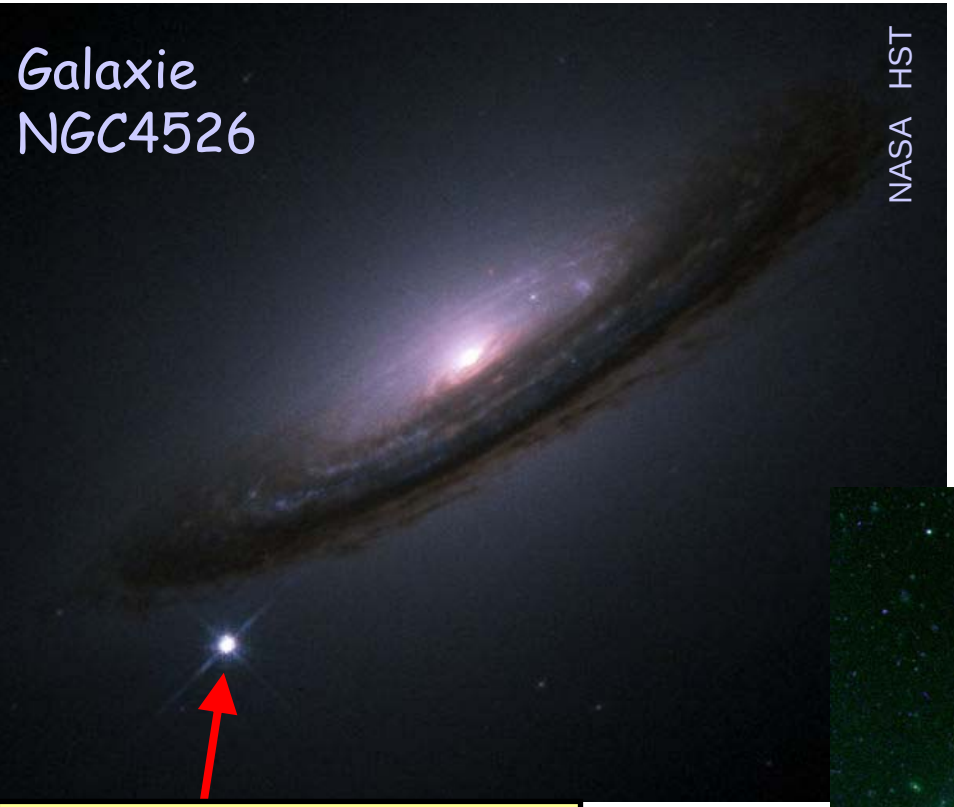
Am Ende des Sternenlebens:

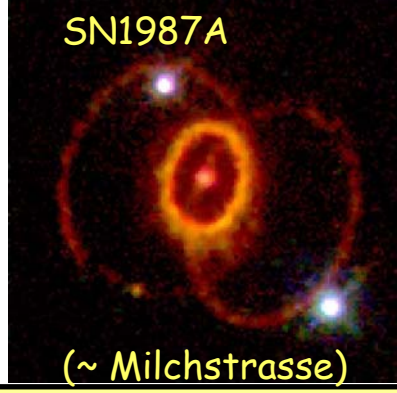


Wir bestehen aus Sternenasche !

Wir sind kosmische Strahlung !

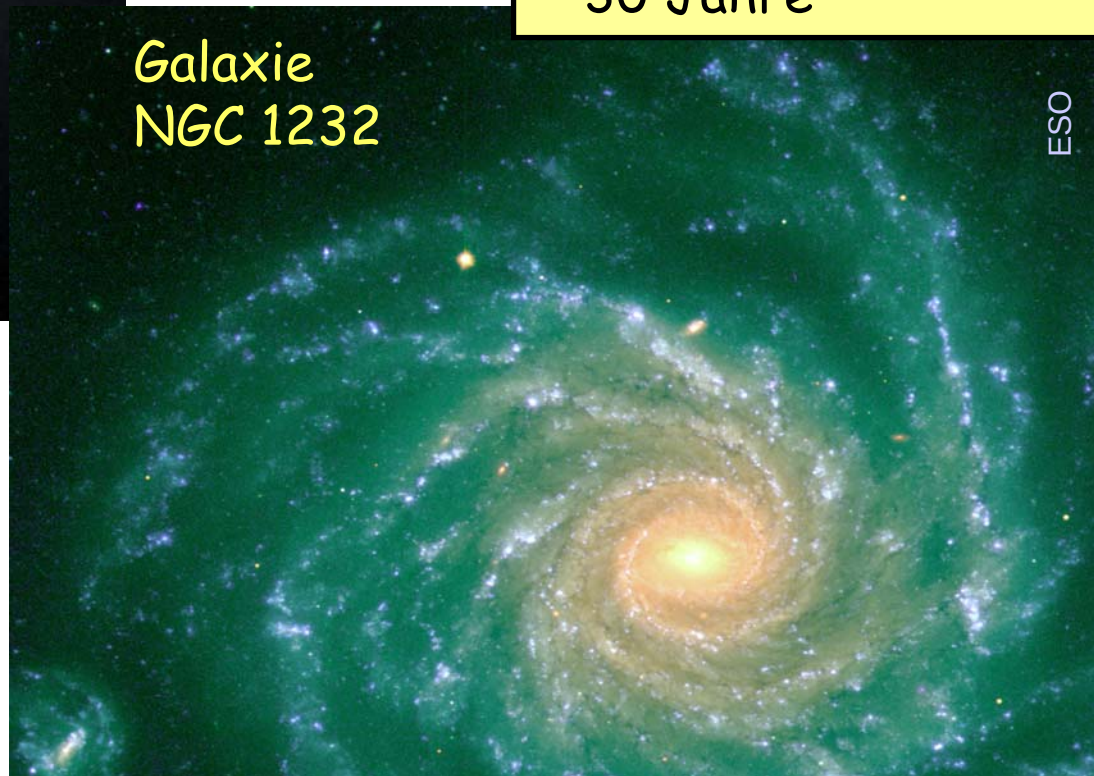
Supernovae - wo und wann ?





Galaxie wie unsere Milchstrasse:

Ein Ausbruch alle ~ 30 Jahre

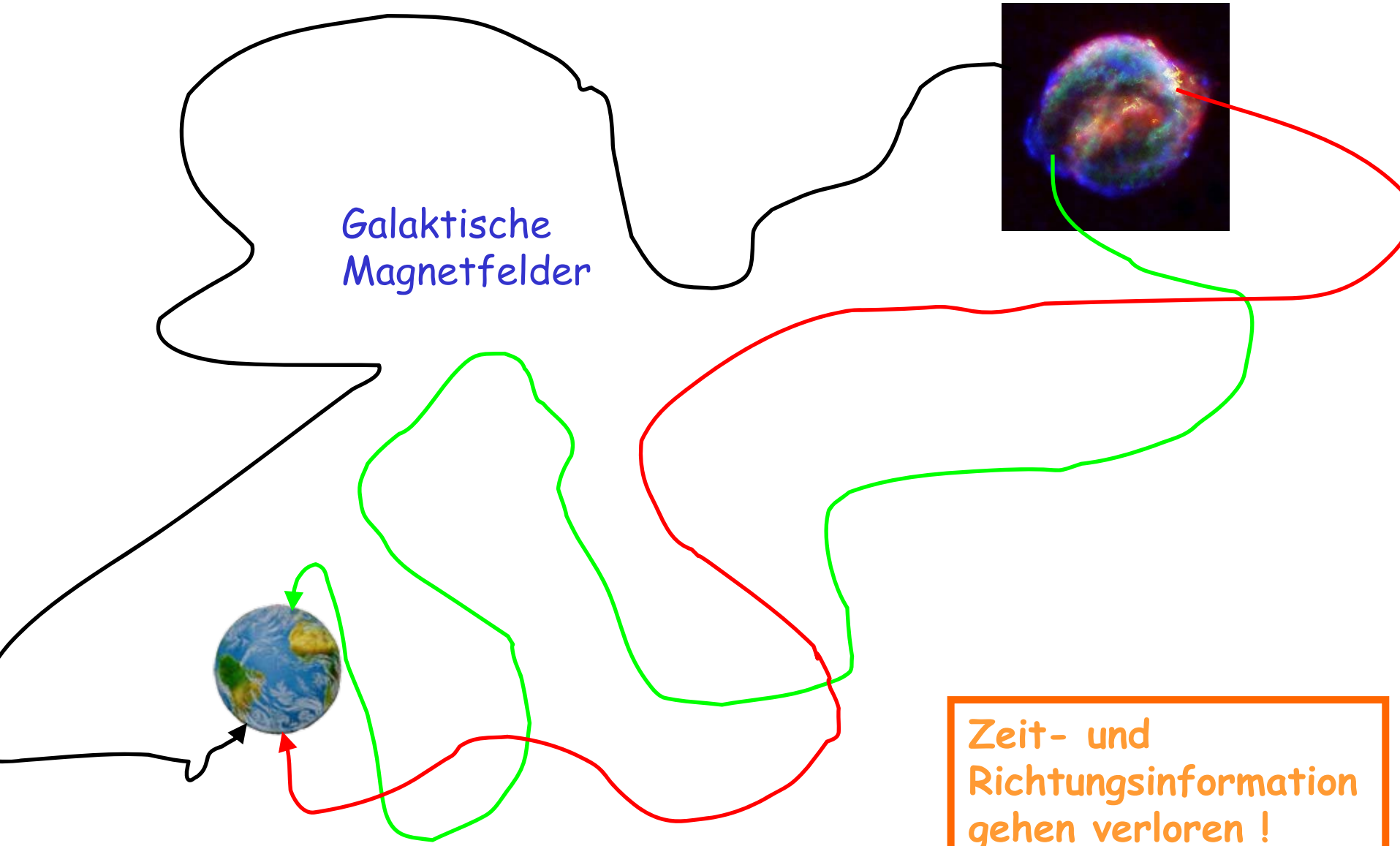


Supernova-Ausbruch

Schwere Elemente werden im Universum verteilt

Supernovae und kosmische Strahlung

T.Hebbeker



Zeit- und Richtungsinformation gehen verloren !

Aktive Galaxienkerne (AGN)

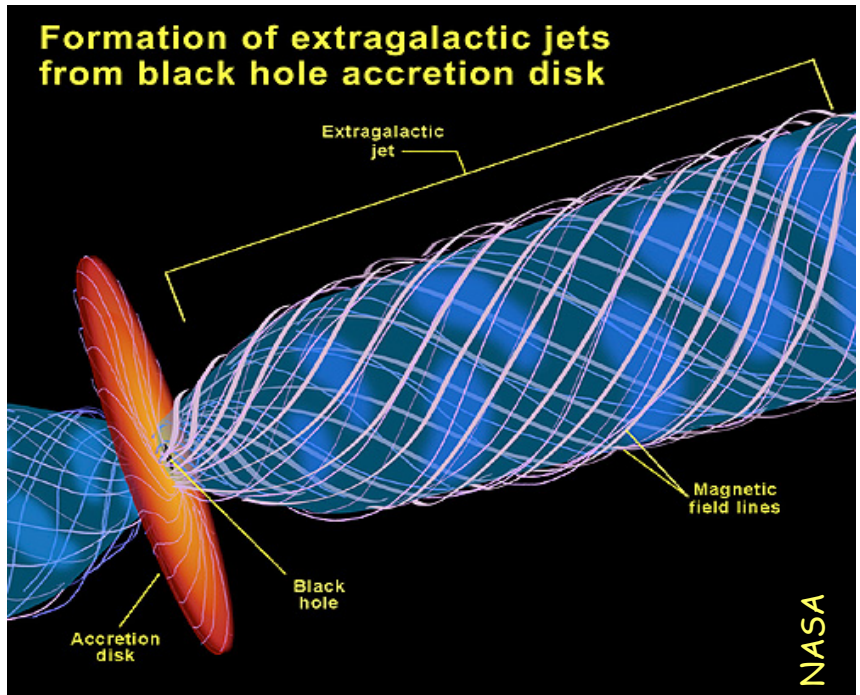
Vermutung:

Zentrum der meisten Galaxien:

schwarzes Loch

Beim Hineinfallen wird viel Energie freigesetzt:

‚Jets'



AGNs = Quellen höchstenergetischer kosmischer Strahlung ?

Kosmische Strahlung

- Entdeckung / Eigenschaften
- Einflüsse auf Erde
- Hochenergetische Teilchen
- Kosmische Quellen
- Auger-Observatorium

PIERRE AUGER OBSERVATORY

RWTH AACHEN
Phys. Inst. III A

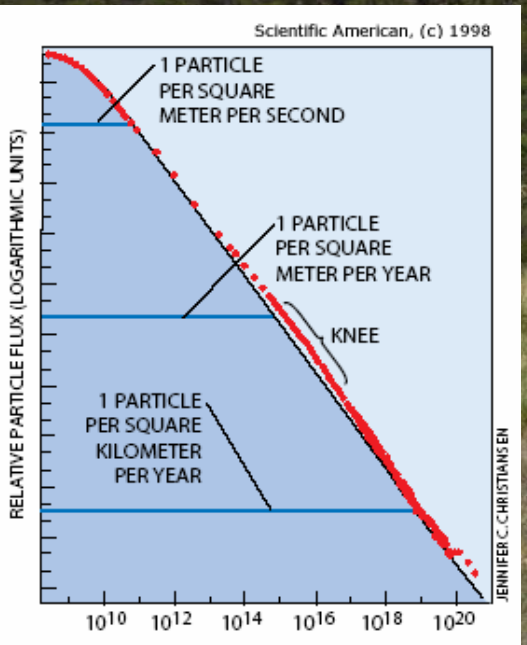
Auger-Observatorium

untersucht
höchstenergetische
kosmische Strahlung

Energie bis
100,000,000,000 GeV !

24 x

Teleskope
(Flluoreszenzlicht)

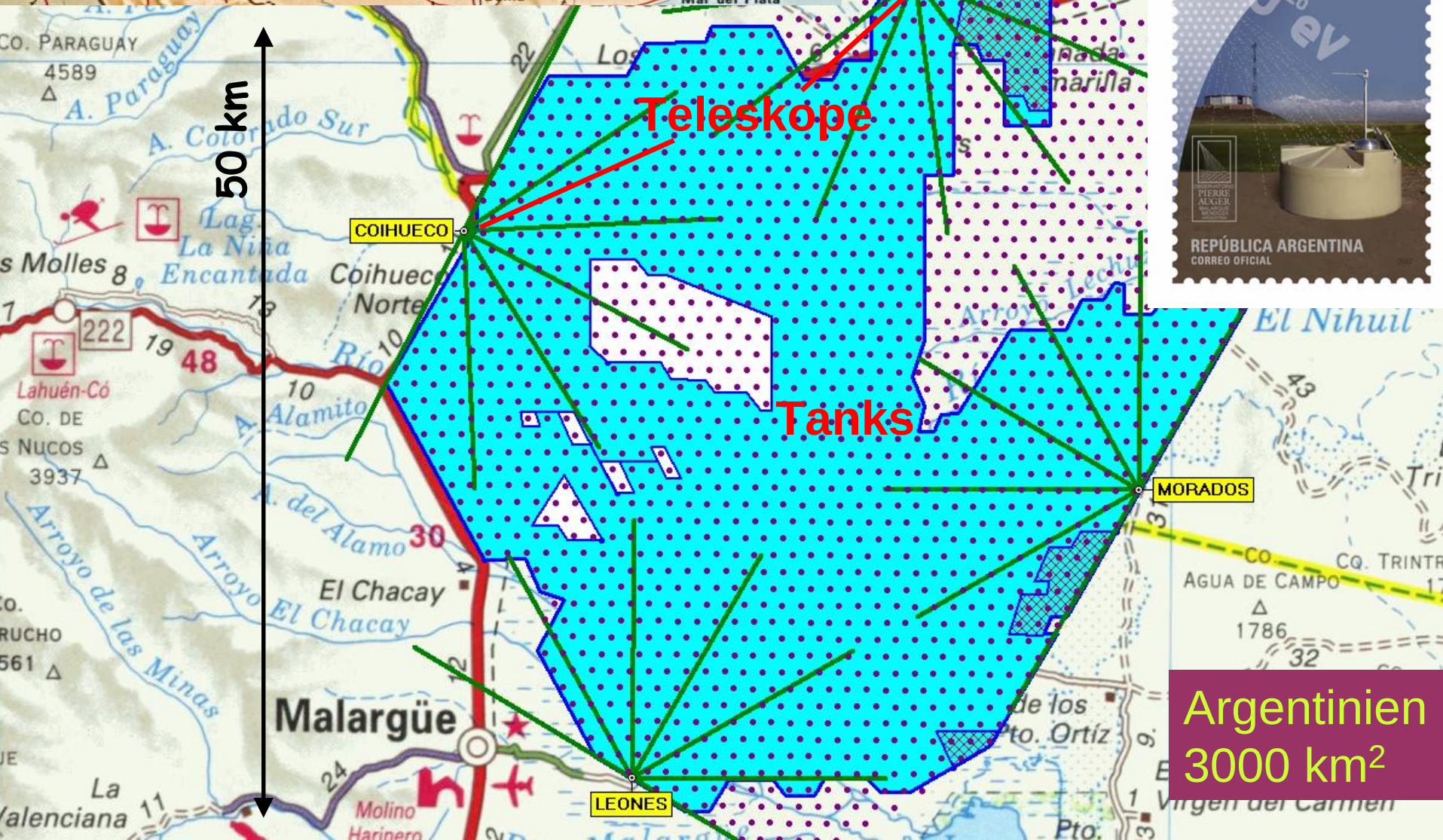


1600 x

Wasser-Tanks
(geladene Teilchen)

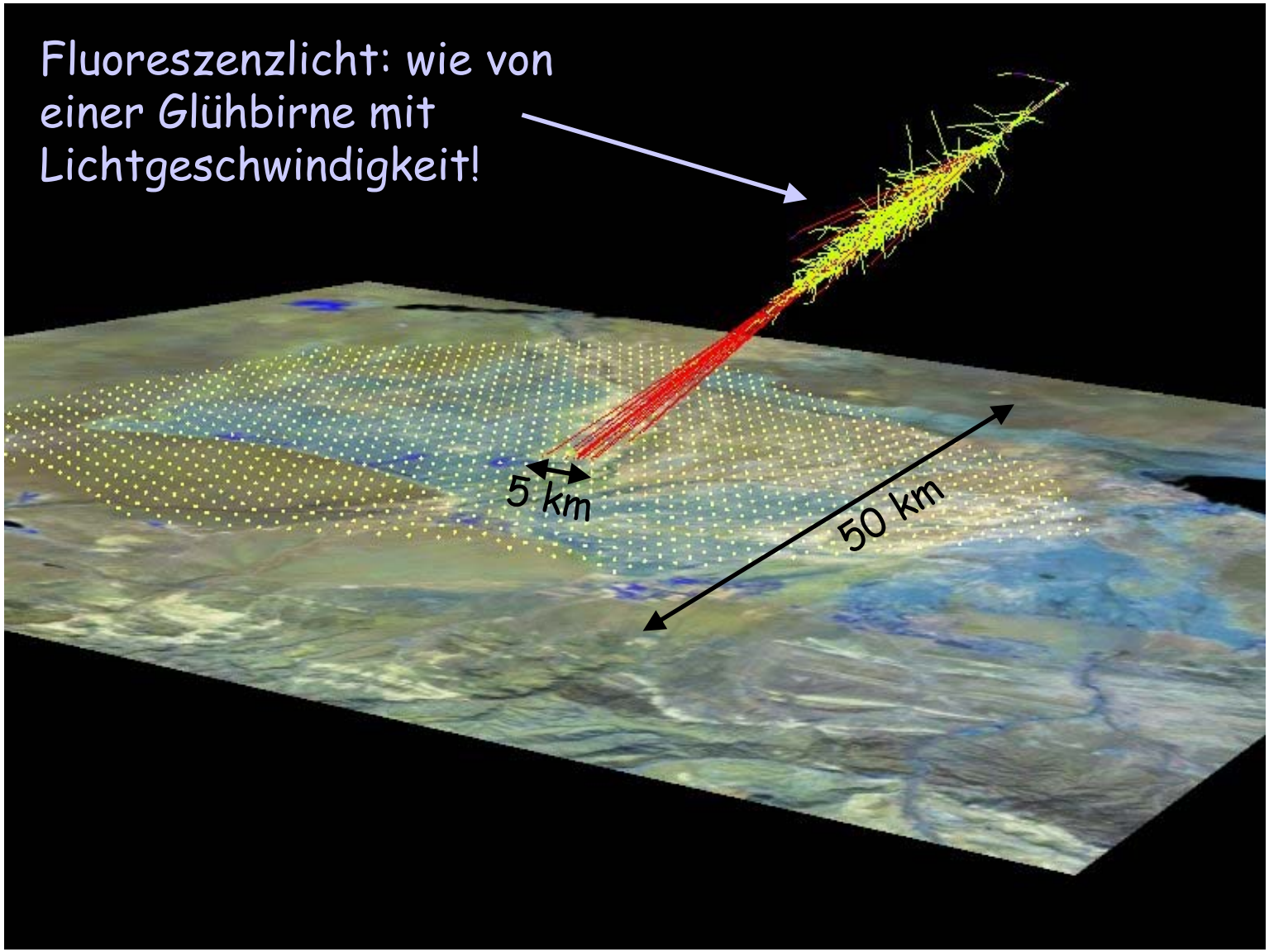
T.Hebbeker

Auger-Observatorium, Argentinien



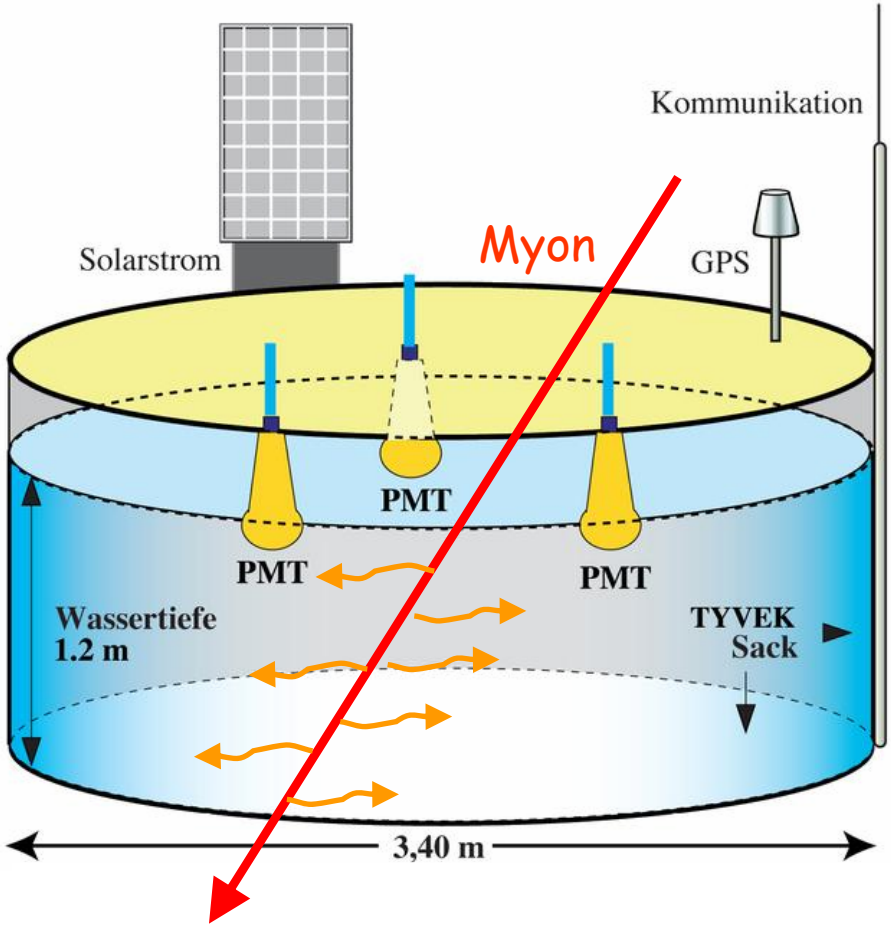
Argentinien
3000 km^2

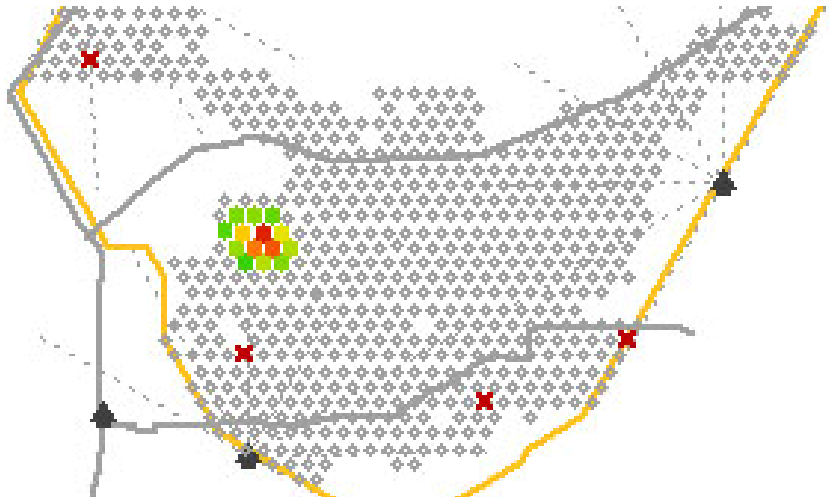
Hochenergetisches kosmisches Teilchen



Simulation

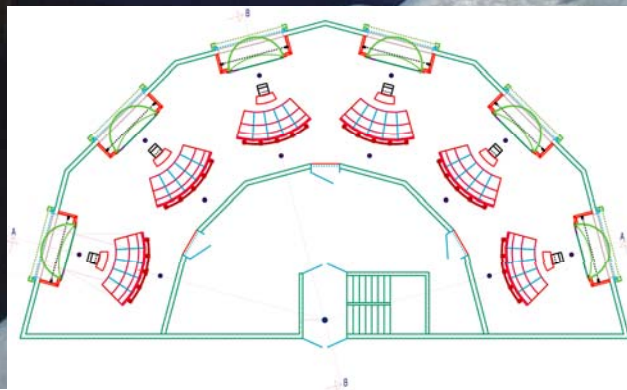
AUGER - Wassertanks





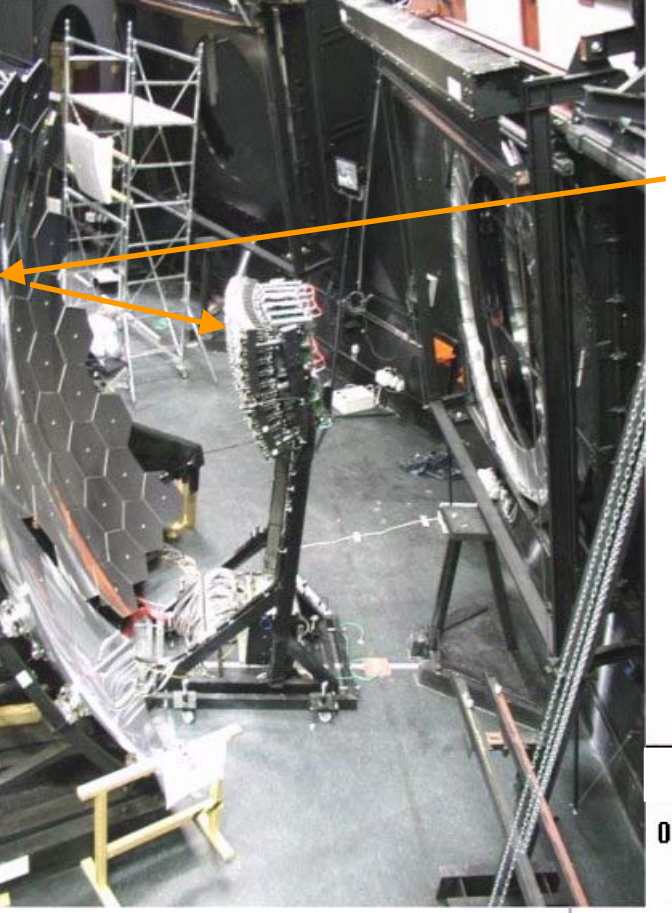
AUGER – Fluoreszenz-Teleskope

Messungen
nur nachts !



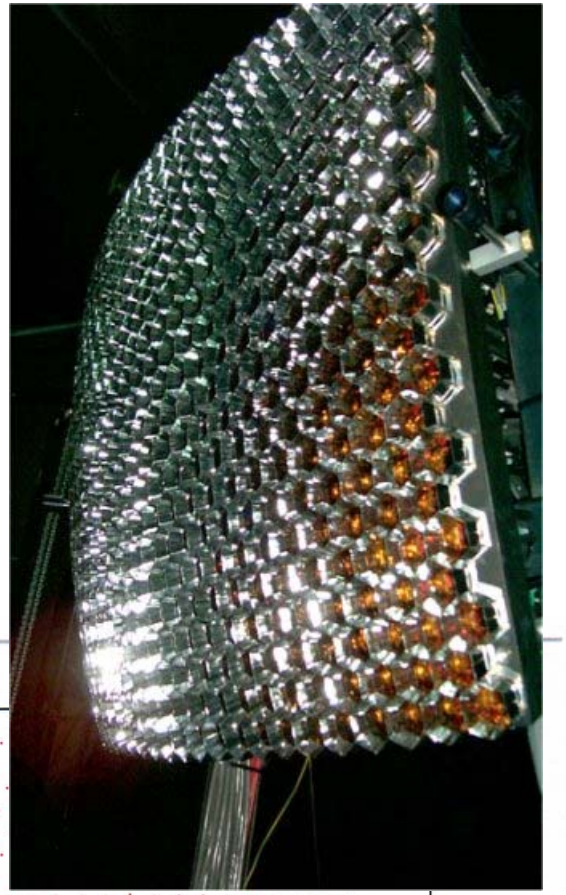
T.Hebbeker

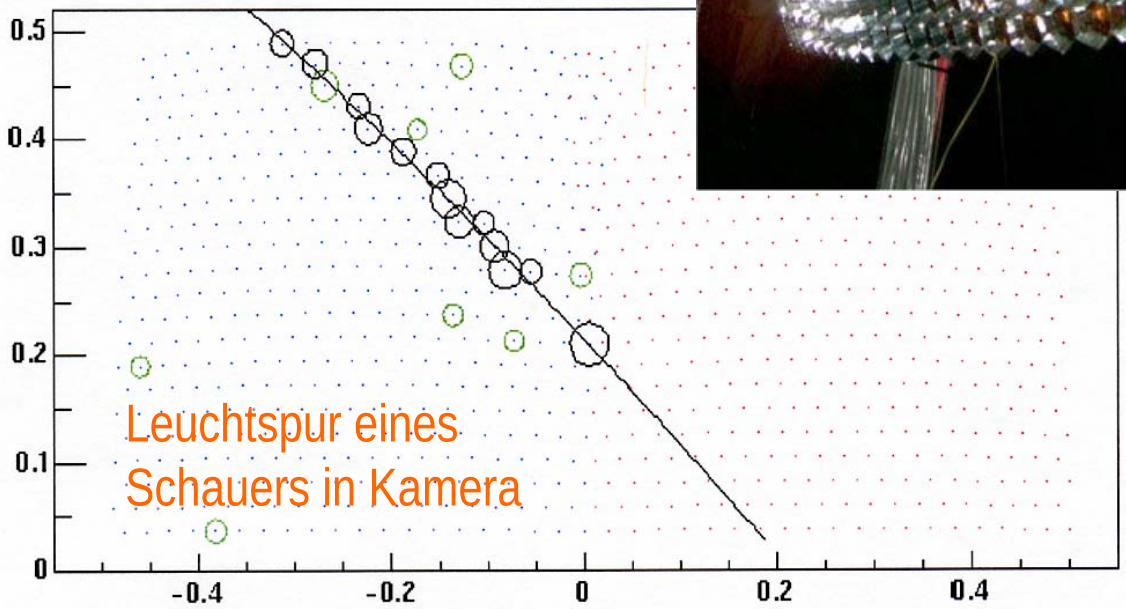
Auger-Fluoreszenzteleskop



Kamera:

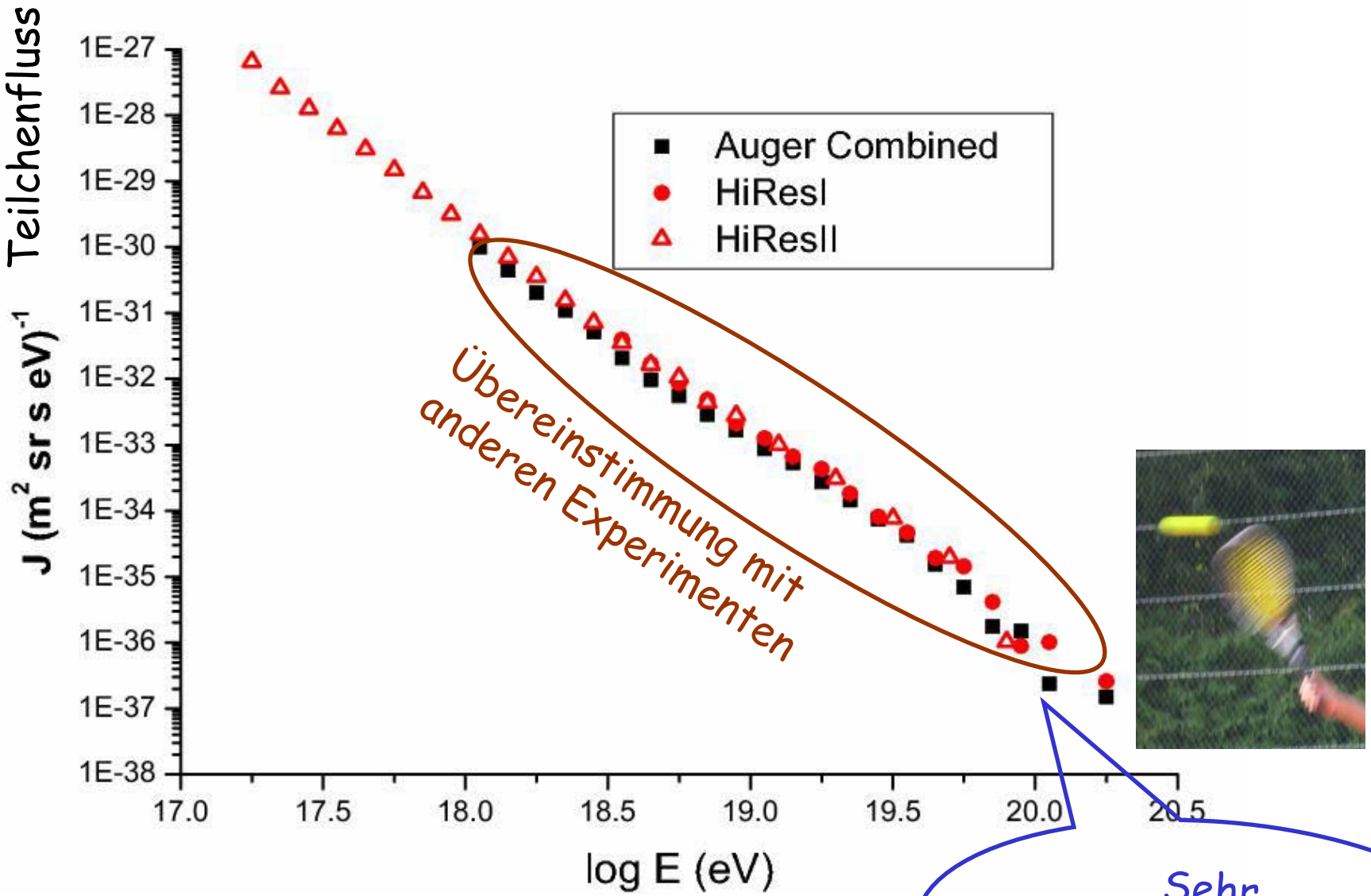
- 440 Pixel (PM)
- 1/10000000 s
- 1000000 ASA





Auger - Erste Ergebnisse - Energiespektrum

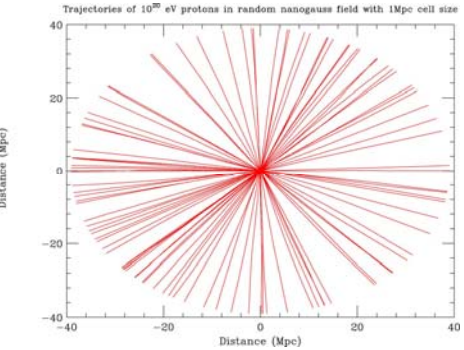
T.Hebbeker



Sehr hochenergetische Schauer gesehen !

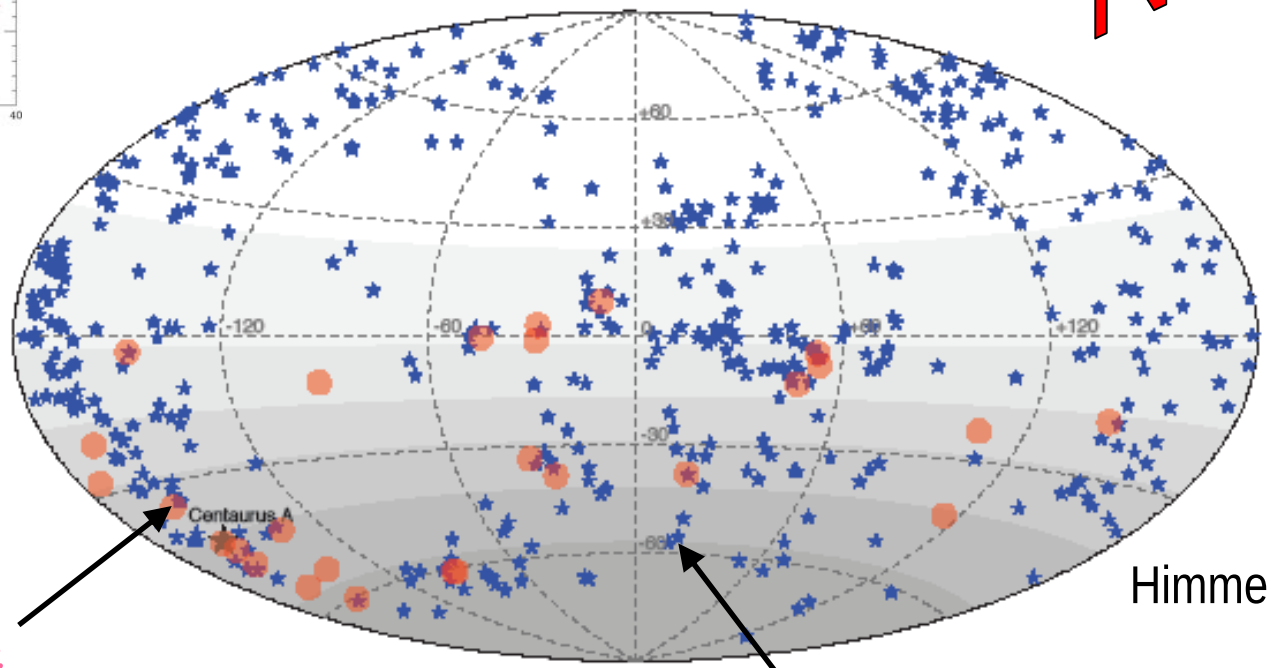
Auger – Erste Ergebnisse - Richtungsverteilung

T.Hebbeker



Hier nur sehr hochenergetische Teilchen

NEU !



Himmelskarte

Gemessene Herkunftsrichtungen

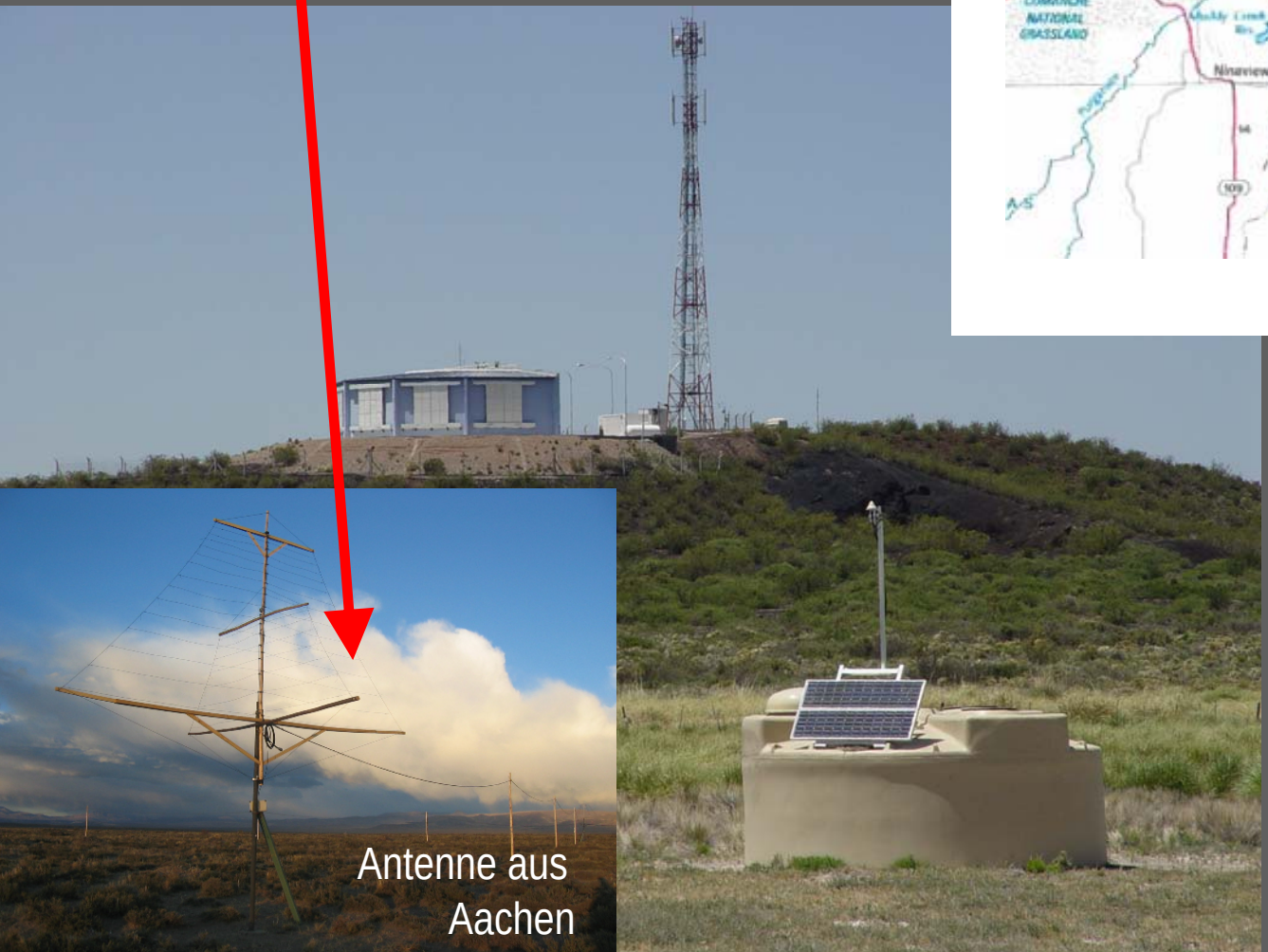
Positionen von Aktiven Galaxien

Viele hochenergetische kosmische Teilchen scheinen aus Galaxien mit massiven schwarzen Löchern zu kommen !

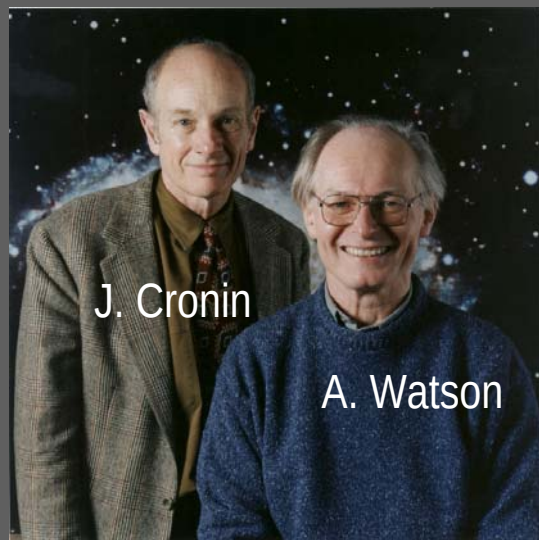
Zukunft des Auger-Observatoriums

T.Hebbeker

- Messungen über viele Jahre
- zweiter Standort Colorado/USA
- Neu: Radio-Nachweis



Antenne aus Aachen



Auger-Gruppe III. Physikalisches Institut

T.Hebbeker

Zusammenfassung

Teilchen der
kosmischen Strahlung

=

Boten ferner
kosmischer
Beschleuniger

NGC 3190 (ESO)

http://www.physik.rwth-aachen.de/~hebbeker/welcome.html#presentations

DANKE !

- Hans Dembinski
- Egon Schneevoigt
- Bartel Philipps und Ralf Kupper

Anhang

Experimente:

- Elektrometer
  Aufladen mit Stab/Tuch
  Entladen mit Röntgenquelle

- Nebelkammer

- Cosmic-Teleskop aus 4 Szintillatoren + PMs
  Viererkoinzidenzrate
  unverändert bei liegendem Menschen zwischen Szint.

- Kathodenstrahlrohr und Magnet

- Spurkammer (AMS-TR) ???

- Geiger Müller ???