



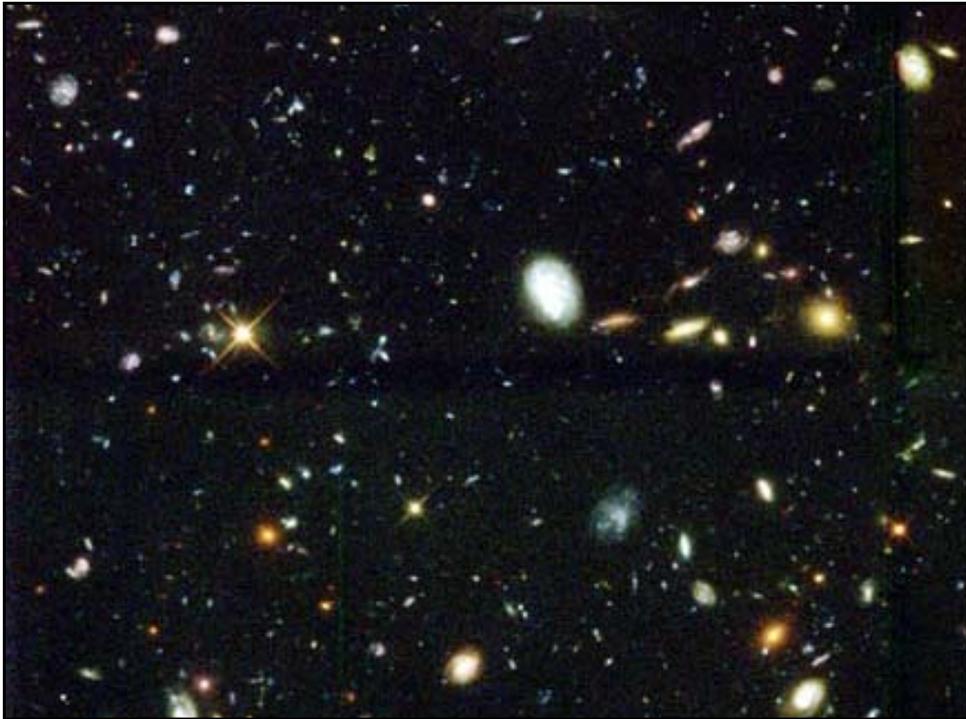
Das H.E.S.S. Teleskopsystem in Namibia

Christian Stegmann
Humboldt Universität zu Berlin









Ist das alles?

Das Spektrum elektromagnetischer Strahlung



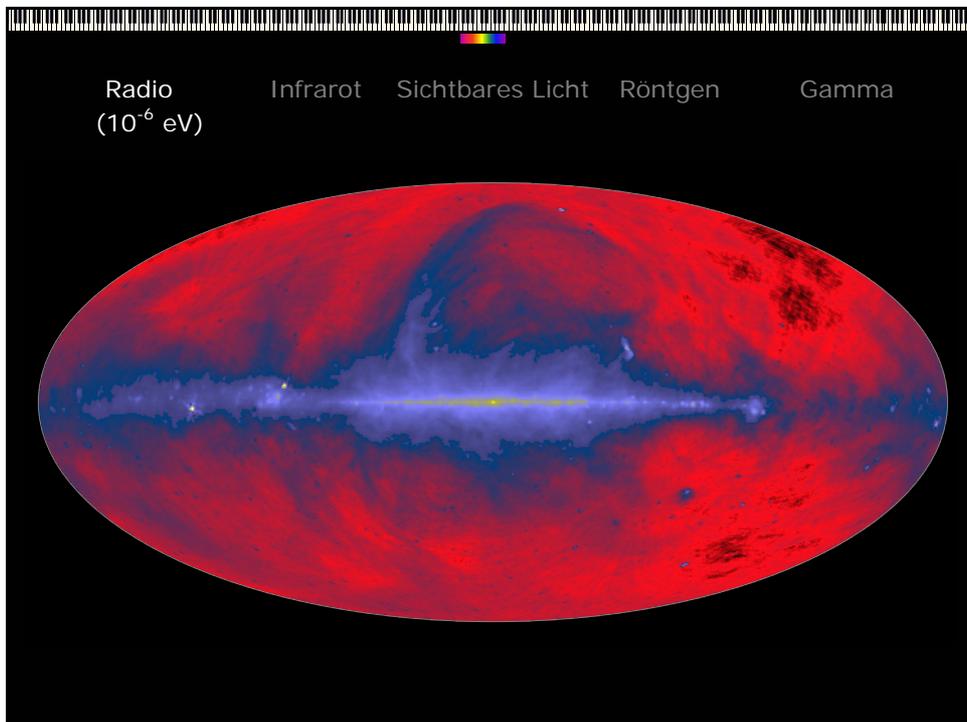
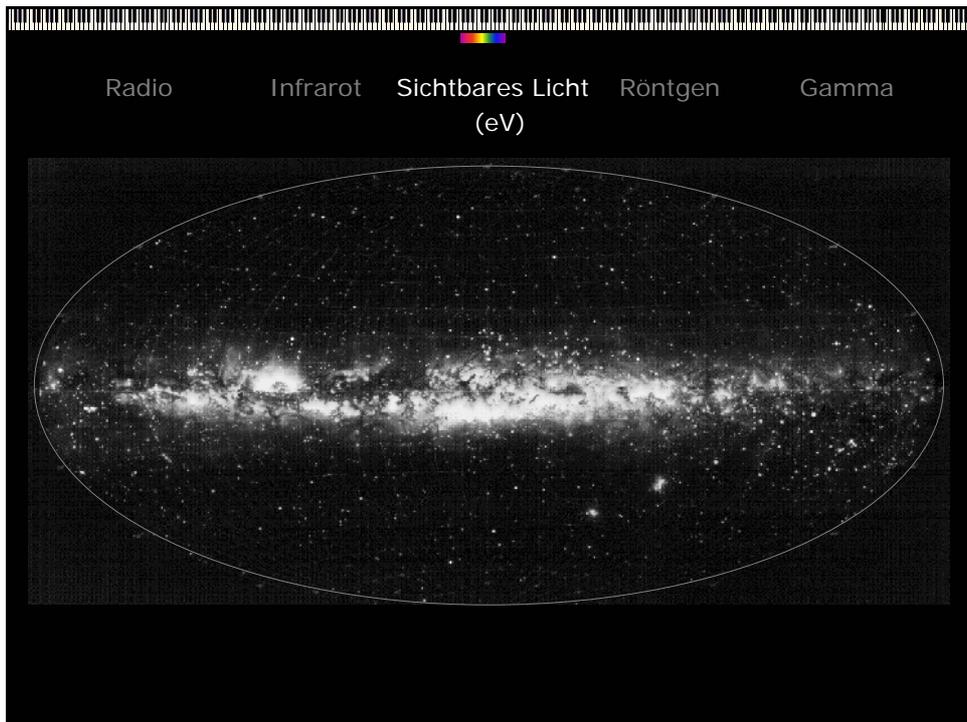
Sichtbares Licht umfasst eine Oktave in der Wellenlänge

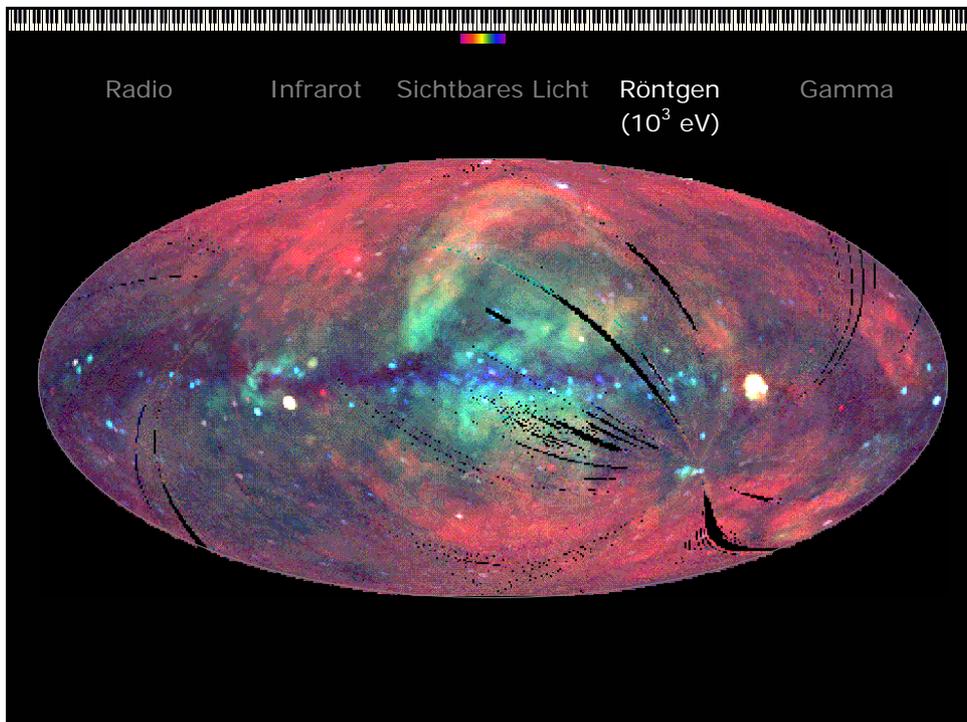
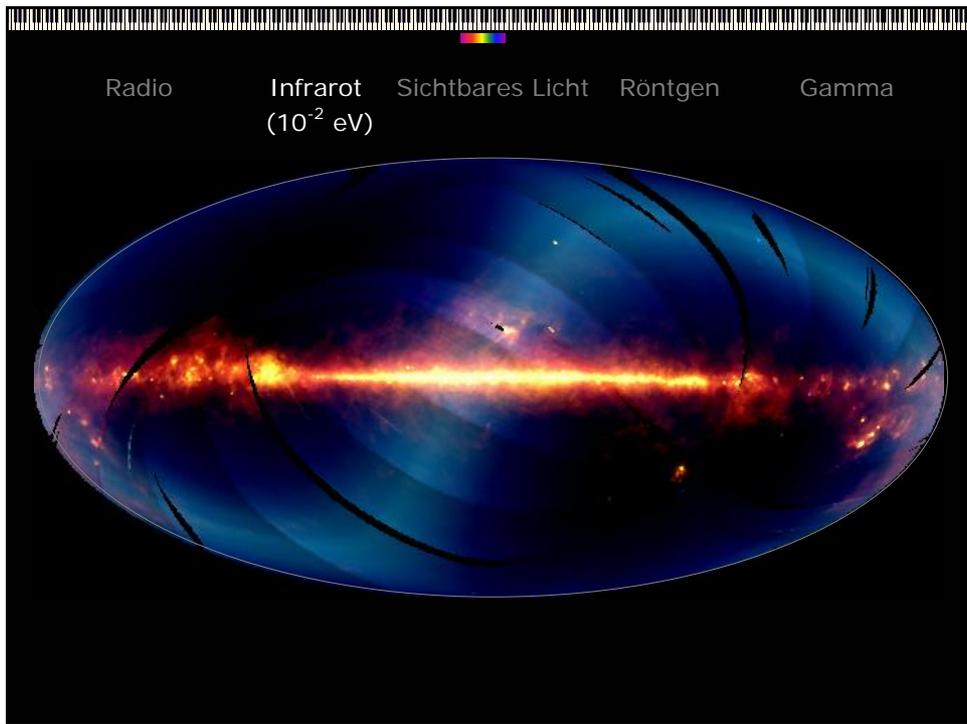


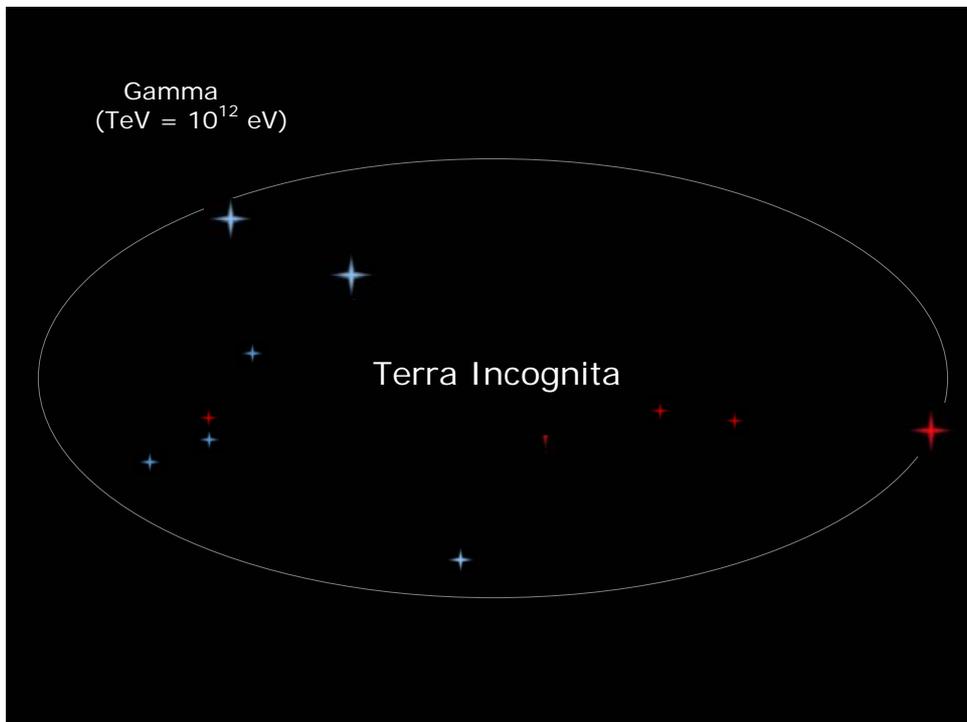
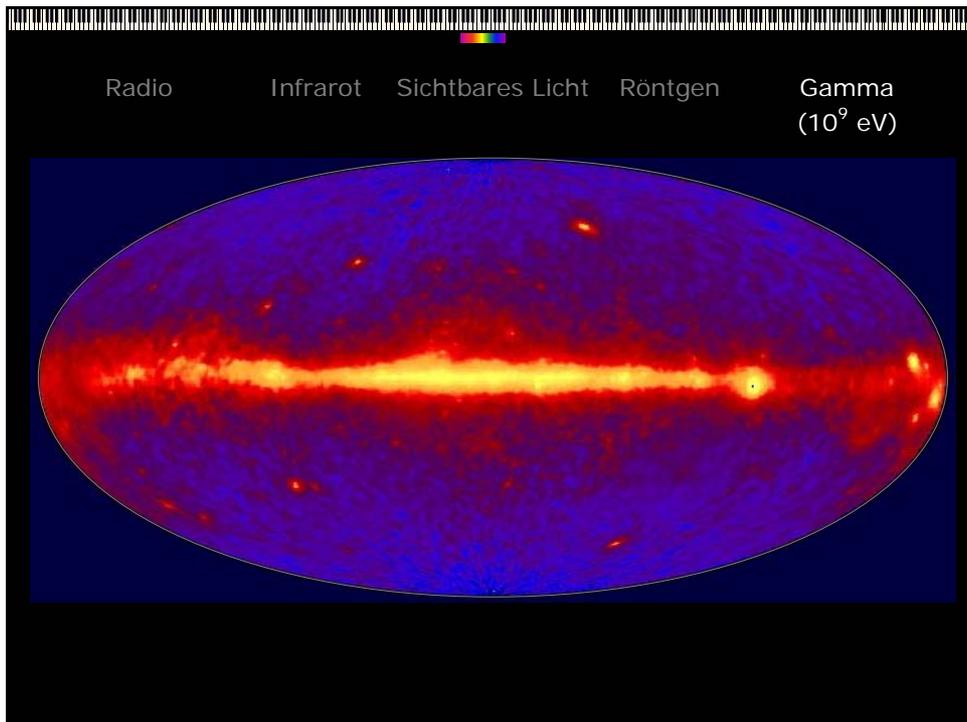
... aber das Spektrum elektromagnetischer Strahlung aus dem Weltall umfasst mehr als 70 Oktaven ...

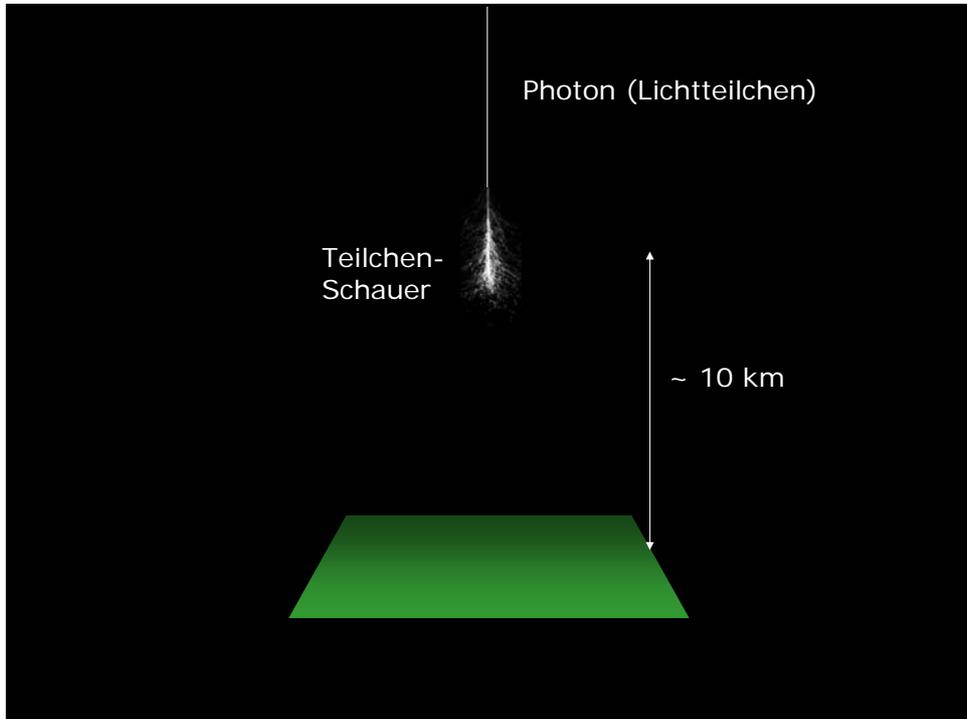
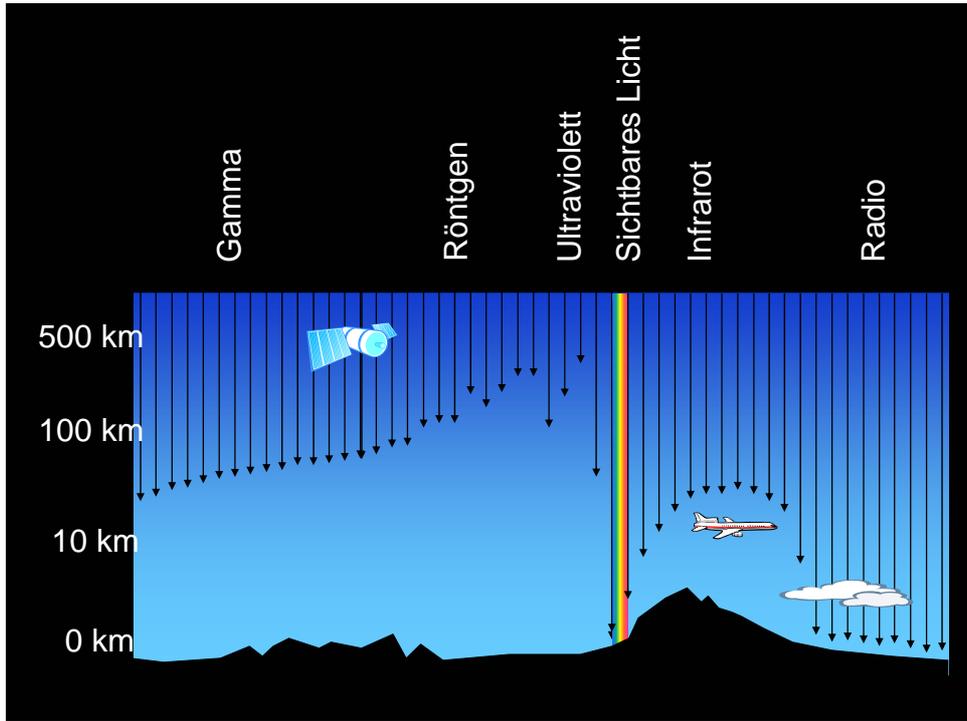


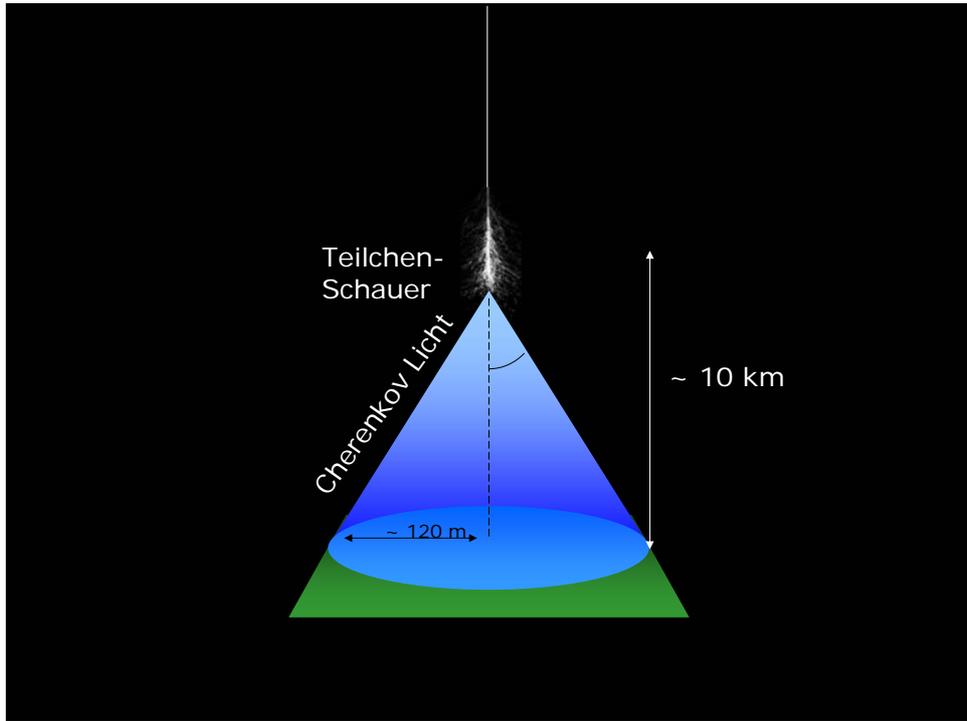
... d.h., die Natur spielt auf einem 15 Meter langen Klavier ...





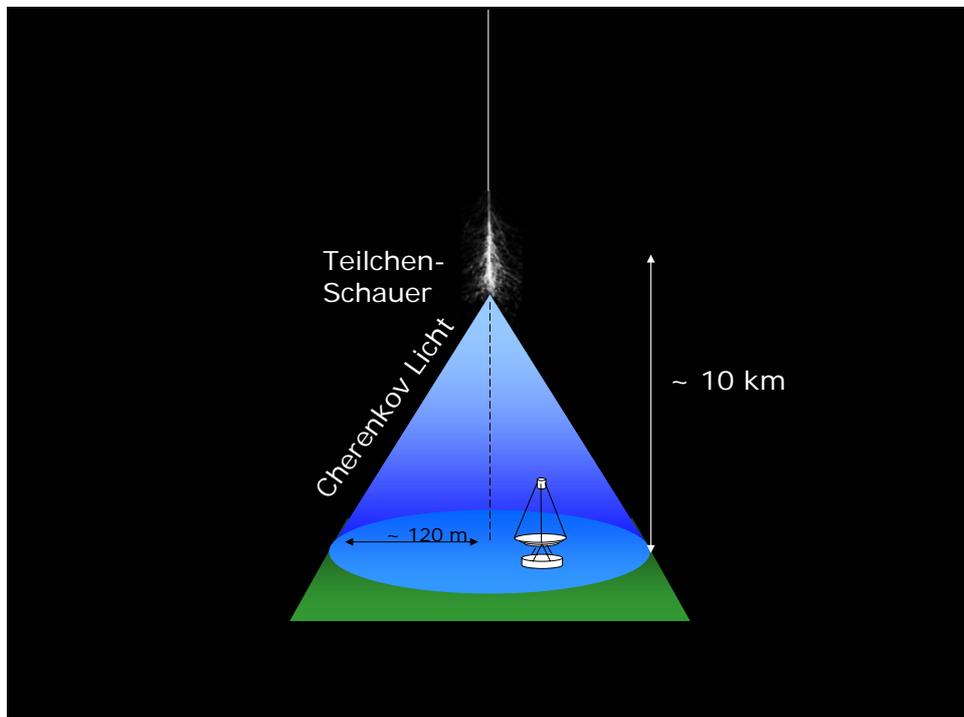






Luftschauer sehen aus wie Meteore

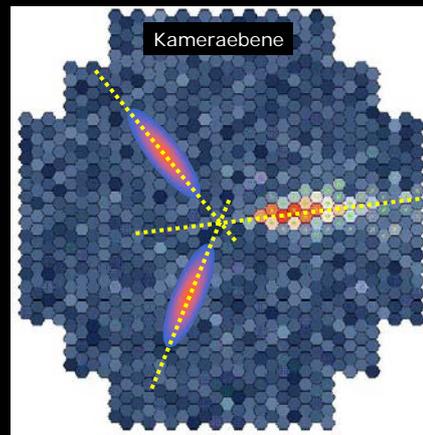
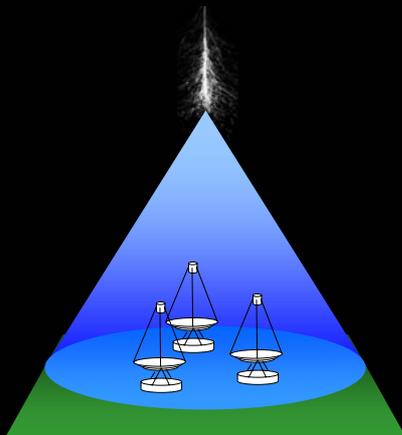
Rekonstruktion der Quelle mit vielen Bildern

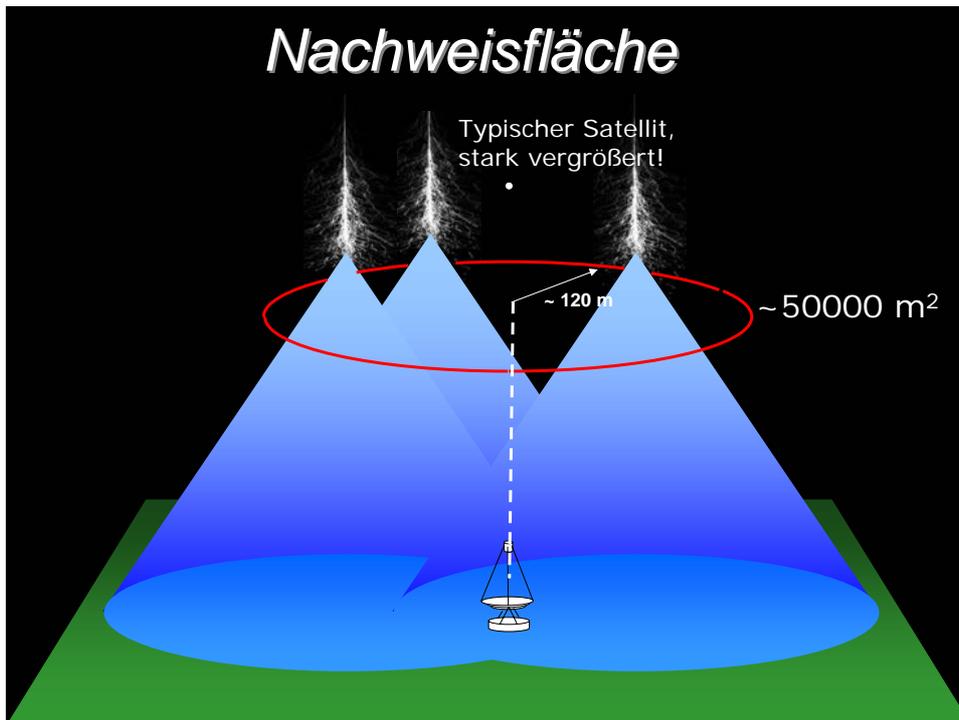


Ein typisches Cherenkov Teleskop

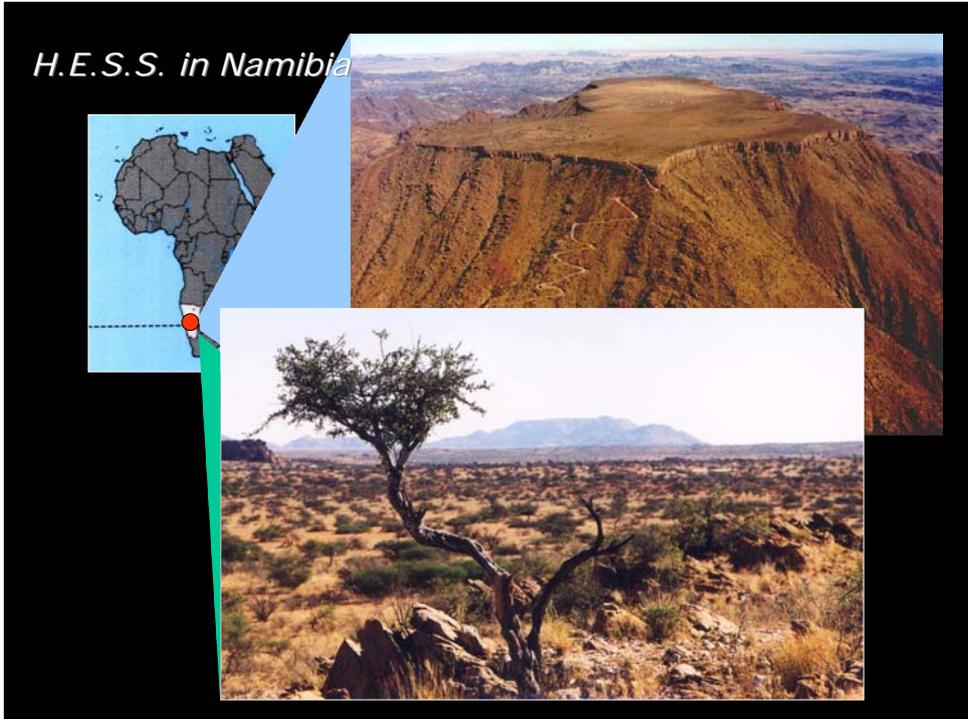


Stereoskopische Systeme





Das H.E.S.S. Teleskop System



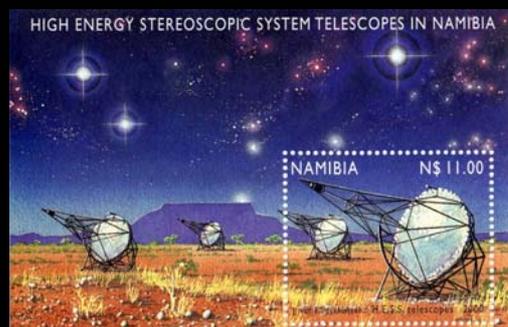
Namibia

- Klarer Himmel
- Zentrum der Milchstrasse im Zenith
- Mildes Klima
- Leichter Zugang
- Gute lokale Unterstützung



Namibia

- Klarer Himmel
- Zentrum der Milchstrasse im Zenith
- Mildes Klima
- Leichter Zugang
- Gute lokale Unterstützung



Nicht alles ist schön in Namibia



Teleskope

- Alt-Az Aufhängung
 - Stahlrahmen
 - Gewicht ~60 Tonnen
- Spiegel
 - Fläche ~107m²,
 - segmentiert in 380 einzelne Spiegel von 60cm Durchmesser
 - Durchmesser 13 m,
 - Brennweite 15 m
- Kamera
 - 5° Gesichtsfeld



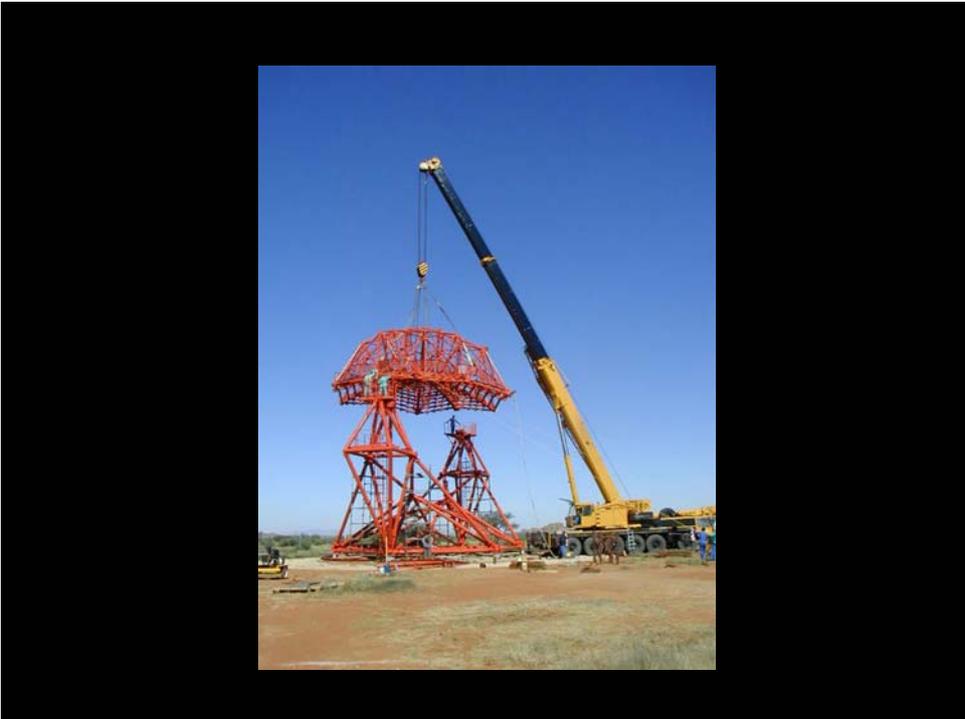


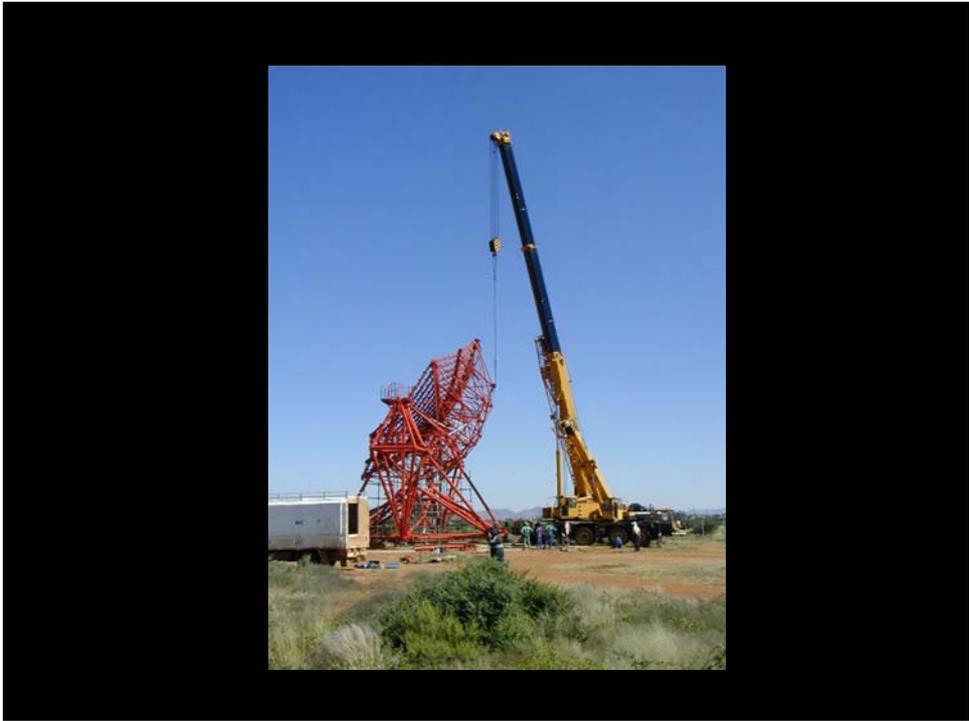
November 2000

Januar 2001

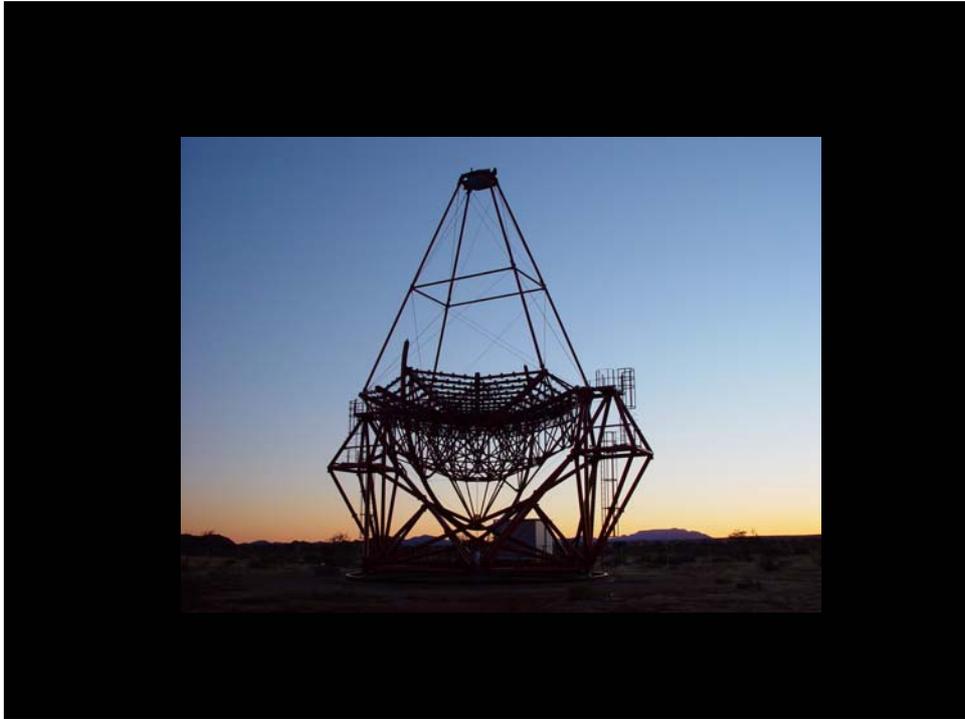












Infrastruktur

- Kontrollgebäude
- "Residenz"
- Generatoren, Richtfunkstrecke, ...

September 2001



Mai 2002



Die Spiegel: 380 Facetten aus bedampftem Glas



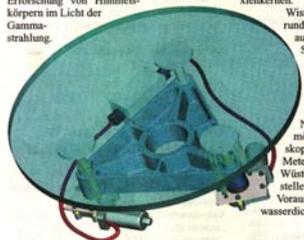
Gamma-Jagd mit Bosch-Motoren

Neuartige Teleskope in Namibia: Genaue Justierung dank Technik aus Bühl

*aus
Börsen
Nr. 9/02
S. 17.9*

BÜHL – Die Lösung war in Bühl zu finden. Es ging um die Frage, wie die vielen Einzelspiegel an neuen astronomischen Teleskopen genau und zuverlässig justiert werden können. Ralf Zink, als promovierter Physiker mit dem Projekt vertraut und jetzt bei der TEF im Bosch-Werk Bühl tätig, gab den Wissenschaftlern am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg, die über der Konstruktion tütelfen, den entscheidenden Hinweis: Nehmt doch statt teurer Sondermotoren millionenfach getestete Fensterheber-Motoren. In Bühl werden täglich über 90 000 Stück produziert.

3056 von diesen Motoren – eine ältere Variante mit Getriebegehäuse aus Metall, die in sechs Stunden über die Linse ging – werden in naher Zukunft mithelfen, wenn sich die vier Teleskope des H.E.S.S.-Projektes (High Energy Stereoscopic System, aber auch in Erinnerung an den Österreicher Victor Hess, den Entdecker der kosmischen Strahlung) jetzt in Namibia einer anspruchsvollen Aufgabe widmen: der Erforschung von Himmelskörpern im Licht der Gammastrahlung.



Justierung mit Hilfe von Bosch-Motoren

Die Zeichnung verdeutlicht es: Je zwei Bosch-Fensterhebermotoren (ganz vorne unterhalb der Spiegelfläche und rechts) justieren die astronomischen Spiegel bis auf Mikrometer genau.

Das ist extrem energiereiches Licht. Es kann die Erdatmosphäre nicht durchdringen, erzeugt indes beim Auftreffen auf Atome in der Atmosphäre einen „Luftschauer“. Elementarteilchen darin bewegen sich so schnell, dass ähnlich wie beim Knall eines Überschallflugzeuges eine optische Stoßwelle entsteht, das Tscherenkow-Licht, das für wenige Nanosekunden aufleuchtet – zu kurz, als dass das menschliche Auge es wahrnehmen könnte. Mit den Teleskopen lässt sich dieses Widerschein kosmischer Strahlung erkennen und auswerten. Gammastrahlung kommt von Supernovae-Überresten, also explodierten massereichen Sternen, oder aus aktiven Galaxienkernen.

Wissenschaftler von rund 20 Universitäten aus ganz Europa, Südafrika und Namibia arbeiten bei diesem Projekt zusammen. Dank der Gastfreundschaft der Namibier war es möglich, vier Teleskope auf 1800 Meter Höhe, in klarer Wüstenluft, aufzustellen. „Die Motoren erfüllen alle Voraussetzungen“, sagt Zink. „Sie sind wasserdicht, sie sind dank eines Sensors genau positionierbar, und sie sind witterungsbeständig.“ Statt eines Kunststoffgehäuses, das in der UV-Strahlung gelitten hätte, hatten die Motoren wie die älteren Varianten



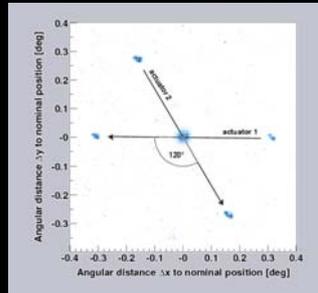
Fensterheber öffnen Fenster ins All

Bosch-Fensterhebermotoren helfen mit, ein neues Fenster ins Weltall zu öffnen: eines der neuen H.E.S.S.-Teleskope, die im Hochland von Namibia die Gamma-Astronomie vorantreiben werden. Fotos (2): Max-Planck-Institut für Kernphysik

ten Druckguss-Gehäuse. Je zwei Motoren bringen einen der an jedem Teleskop angebrachten 382 Einzelspiegel in Position. Mikrometer-Genauigkeit ist erforderlich.

„Wir haben eine Fehlerquote von 30 ppm (parts per million)“, meint Zink. Bei den Dauerarbeiten der Teleskop-Komponenten sei „alles mögliche kaputt gegangen, aber nicht unsere Motoren“. So machen Astrophysiker in Afrika Jagd auf Gammastrahlen – und zuverlässige Bosch-Motoren helfen mit. *dir*

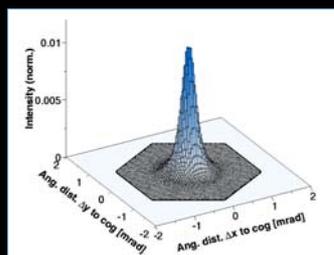
Spiegelausrichtung



vor Ausrichtung



Spiegelausrichtung



Nachführung besser als 10''
~ 1/40 der Einzelschauerauflösung
~ 1/190 des Monddurchmessers

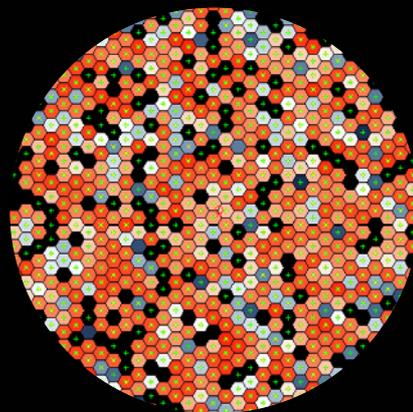
nach Ausrichtung

Kamera



- 960 Pixel

Wichtigste Eigenschaft der Kamera:
kurze "Verschlusszeiten"



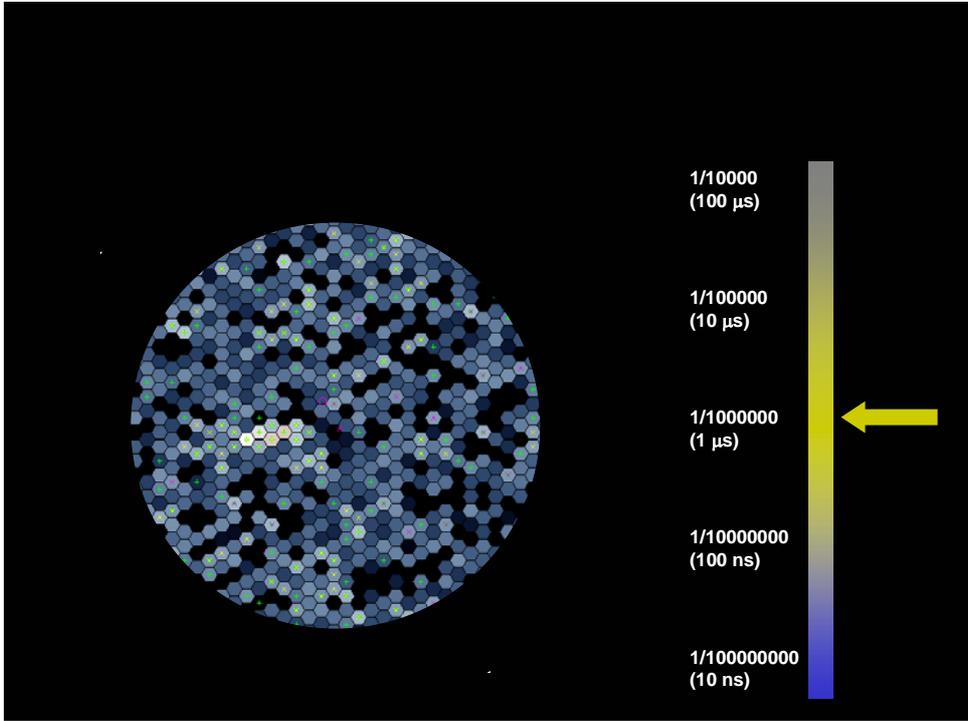
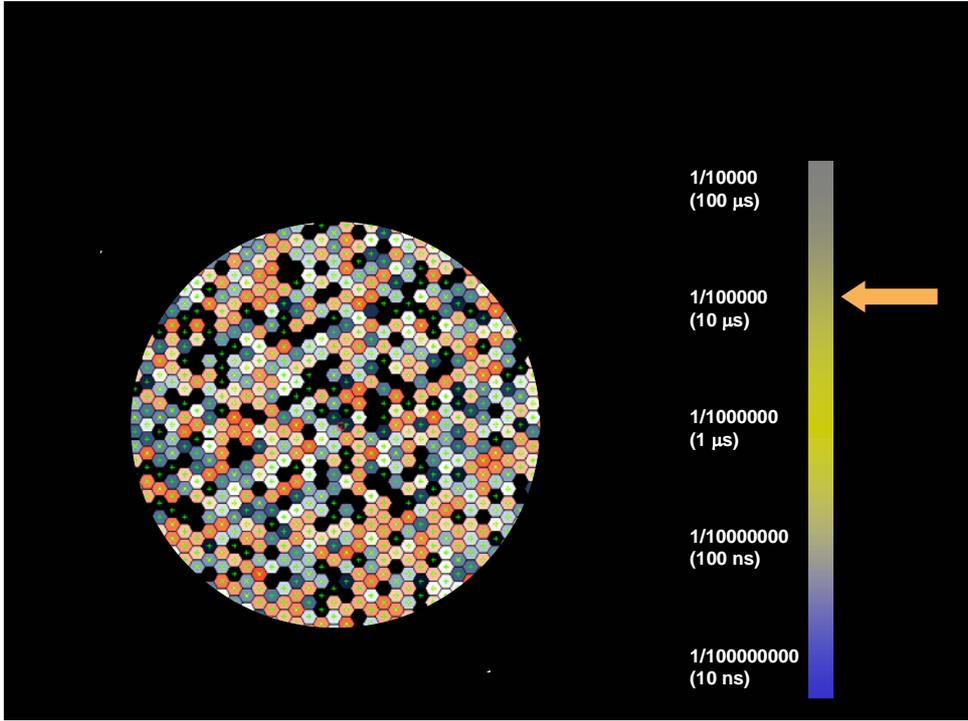
1/10000
(100 μ s)

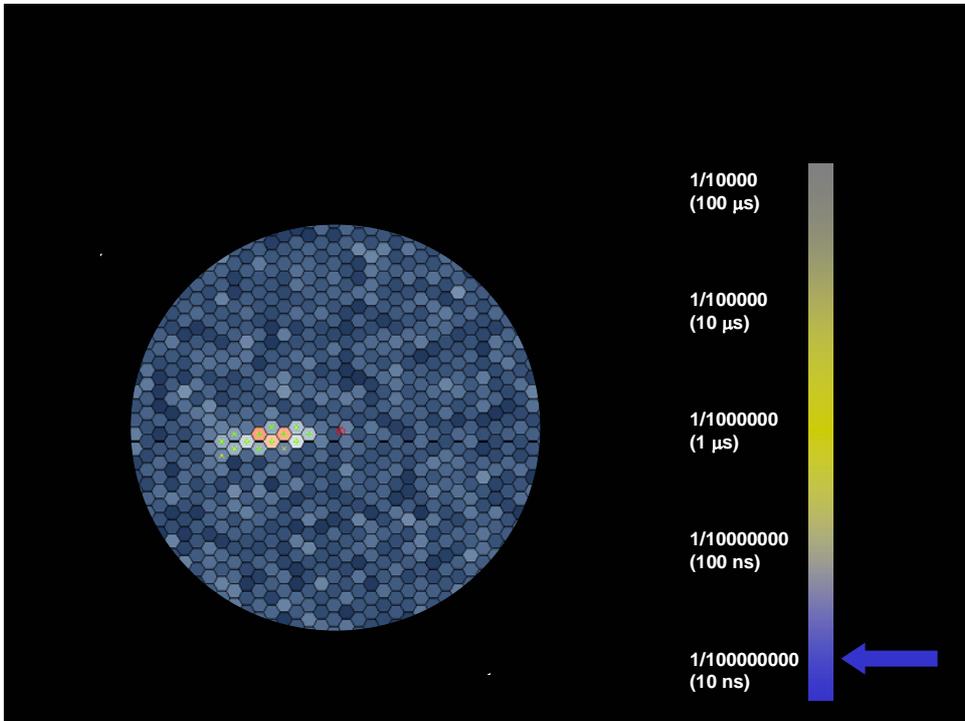
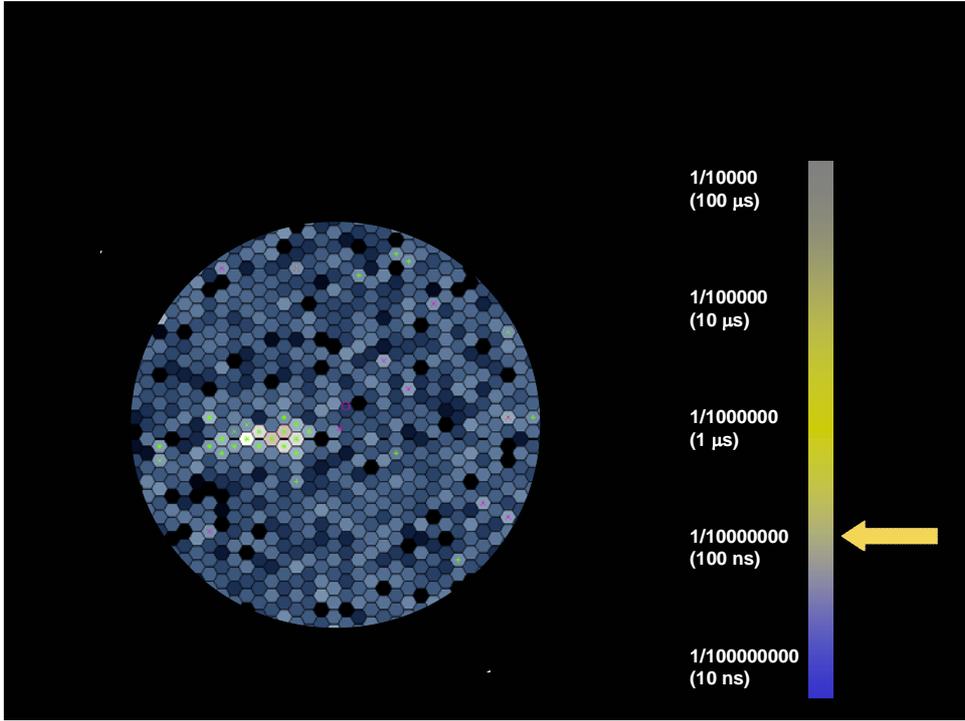
1/100000
(10 μ s)

1/1000000
(1 μ s)

1/10000000
(100 ns)

1/100000000
(10 ns)





Modularer Aufbau



Das Gesichtsfeld



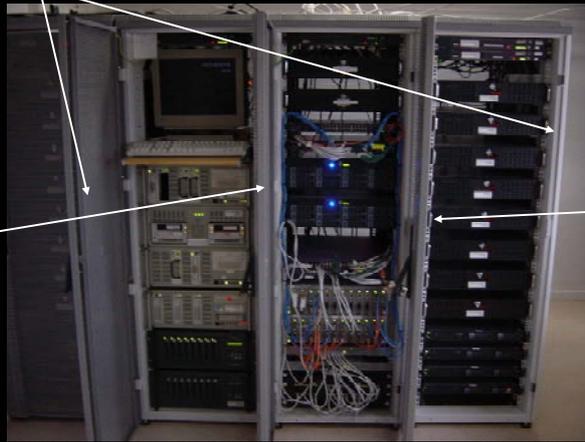
- Belichtungszeit $1/100000000$ s (10 ns)
- Bildrate ~ 500 Hz

Computing

20 PCs (16 · 800 MHz, 4 · 2.8 GHz)

Datenrate = 8 GByte/Stunde,
etwa 1.2 TByte in 3 Wochen

NAS-Boxen
(je 1.5 TByte,
RAID Level 10)



Server,
DLT Laufwerke

Das System

Mai 2002

September 2003

Februar 2003

Dezember 2003

4 Teleskope in Betrieb seit Dezember 2003

Energieschwelle: 100 GeV

Einzel-Schauerauflösung: 0.1°

Energieauflösung: 15%

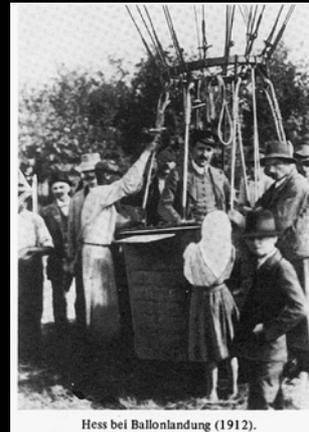
Offizielle Eröffnung September 2004



Das Mysterium der kosmischen Strahlung

Kosmische Strahlung

- 1912 entdeckt durch Viktor Hess
- Quellen noch immer unbekannt
- H.E.S.S. ist auf der Suche nach den Quellen!



Hess bei Ballonlandung (1912).

Highlights

Krebs Nebel

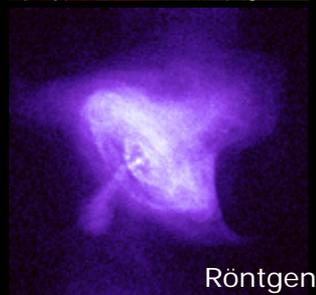
Supernova (Sternenexplosion)
von 1054 beobachtet von
Chinesen und Indianern.

Etwa 6 Wochen bei Tag
sichtbar.



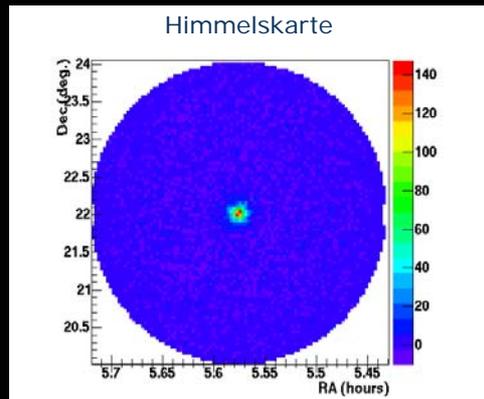
Krebs Nebel

- Supernova 1054
- Entfernung ~ 6500 Ly
- Pulsar im Zentrum
 - rotierender Neutronenstern
 ~ 30 mal pro Sekunde
 - Radius = 10 km
 - Masse = Masse unserer Sonne
- Plerion
 - Relativistisches Elektronenplasma gespeist durch den zentralen Pulsar



Krebs Nebel

Stärkste Gammastrahlungsquelle
Rate: 11 γ /min



RX J1713.7-3946



Vor ~3000 Jahren:
„Am Jisi Tag, dem 7.
Tag im Monat erschien
ein neuer Stern in der
Nähe des Huo Sterns“

Heute:

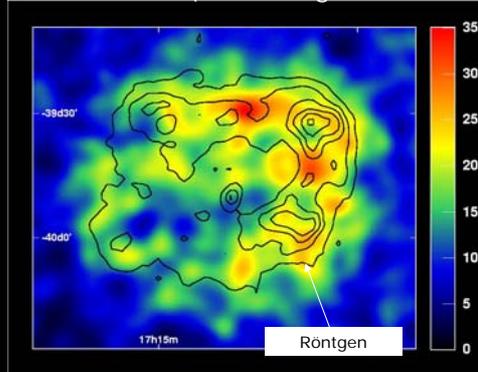
- stärkste galaktische Röntgenquelle
- 1 Grad Ausdehnung (~ 2 Monddurchmesser)

RX J1713.7-3946

Erstmalig

- Identifikation einer γ -Strahlungsquelle über die Morphologie
- Schalenstruktur sichtbar in γ -Strahlung

H.E.S.S. γ -Strahlungsabbild

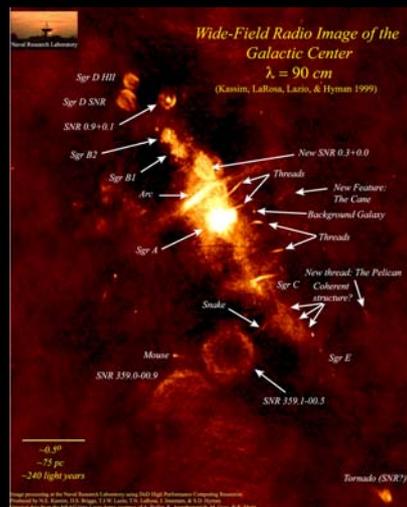
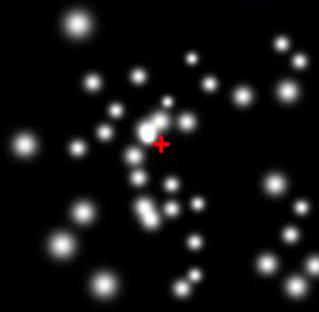


Gammastrahlungsastronomie ist erwachsen geworden!

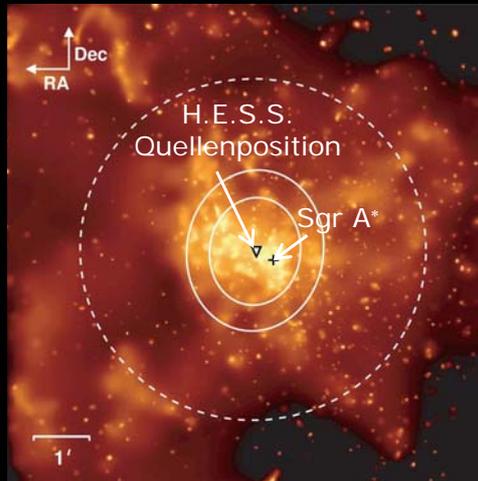
Sagittarius A*

- Dynamisches Zentrum unserer Milchstrasse
- Supermassives Schwarzes Loch $M = 2.6 \cdot 10^6 M_{\odot}$

1992 10 light days



*Sagittarius A**



Zukunft

Phase II

- Verbesserte Sensitivität
 $S(4 \text{ kleine} + 1 \text{ großes}) \geq S(8 \text{ kleine})$
- Reduzierte Schwelle
 $O(20 \text{ GeV})$



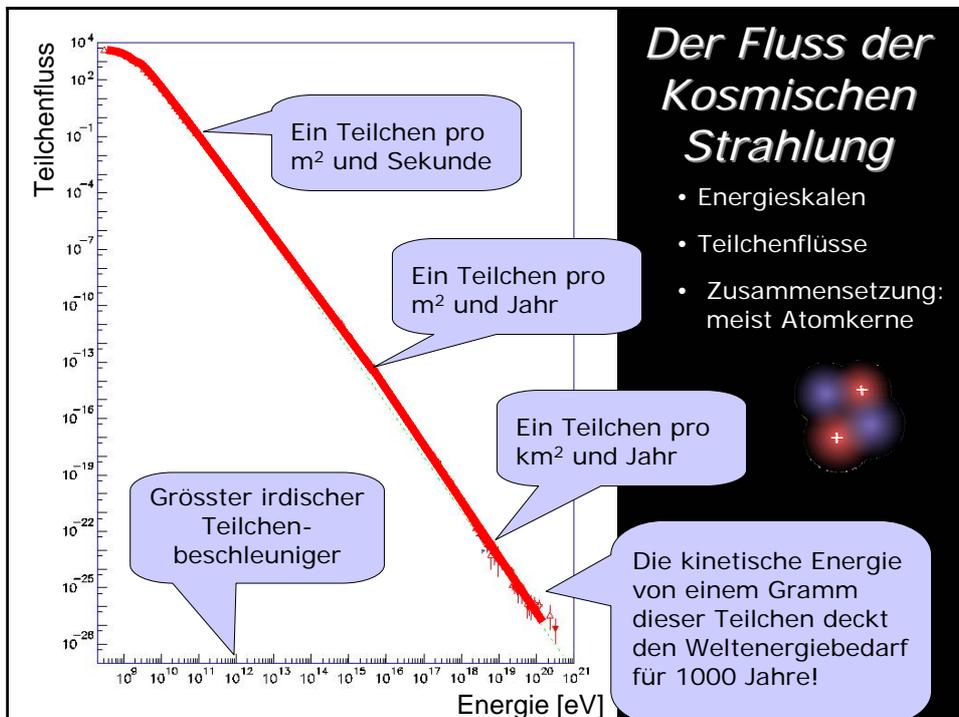
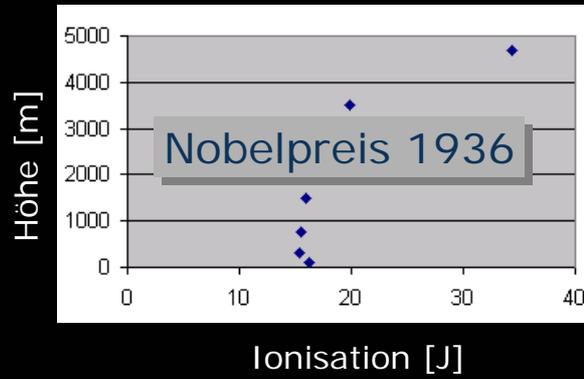


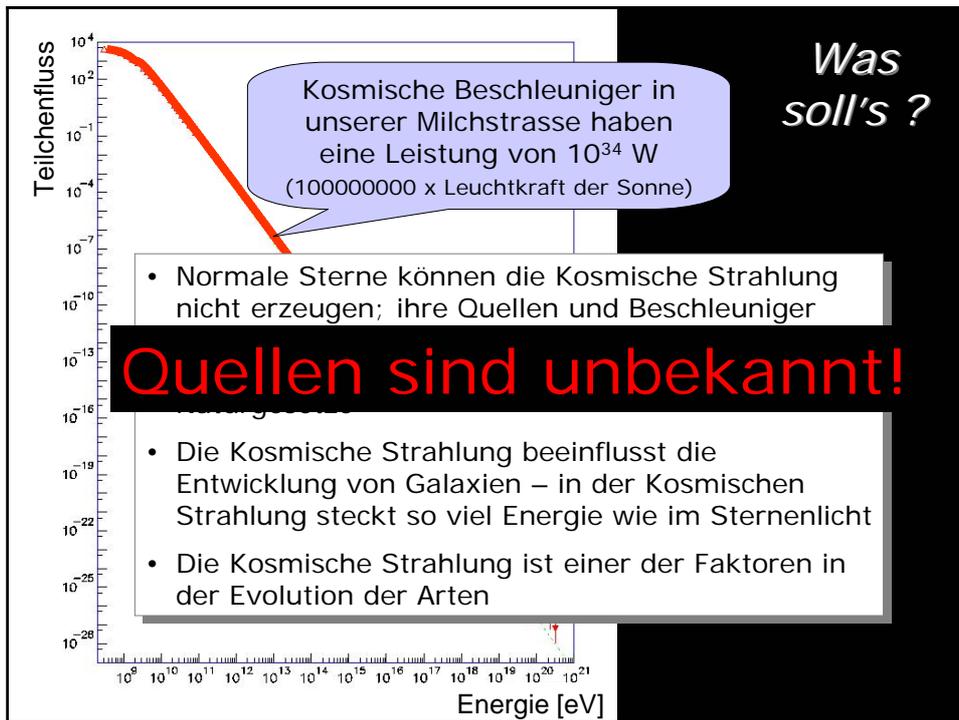
Zusammenfassung

- Gammastrahlungsastronomie ist erwachsen geworden!
- H.E.S.S. ist gut gestartet
- Erwarten eine "strahlende" Zukunft



Die Entdeckung

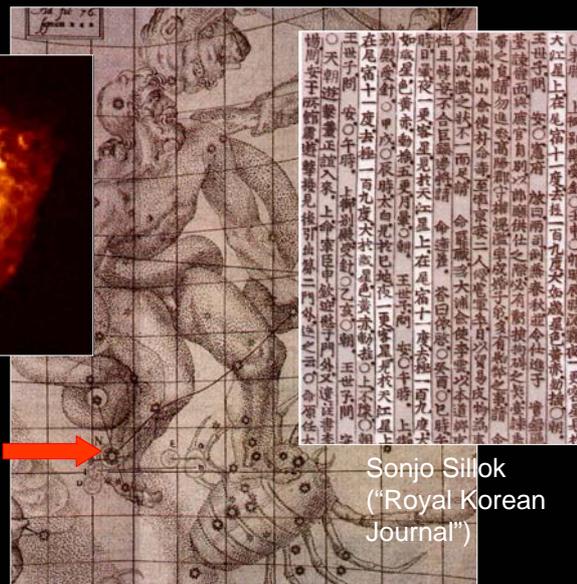
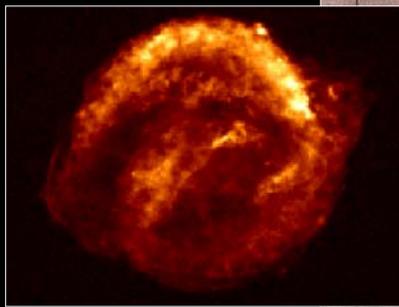




Supernovae: die Beschleuniger der Kosmischen Strahlung?



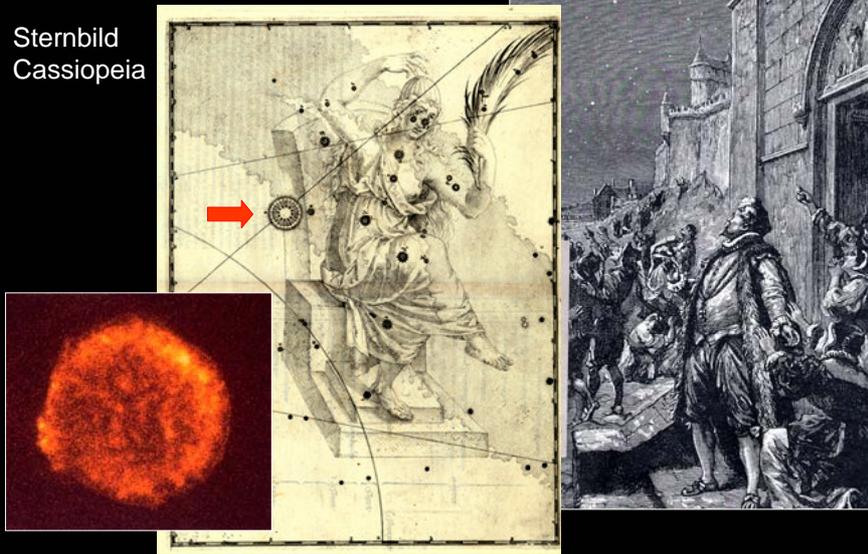
1604: Kepler Supernova



Sonjo Sillok
("Royal Korean Journal")

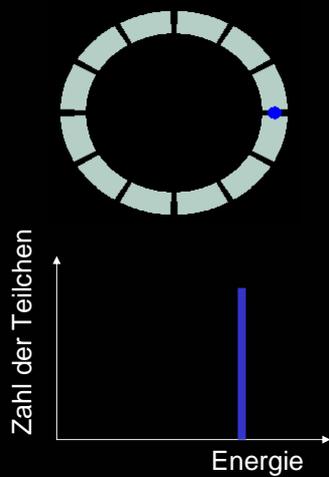
1572: Tycho Supernova

Sternbild
Cassiopeia



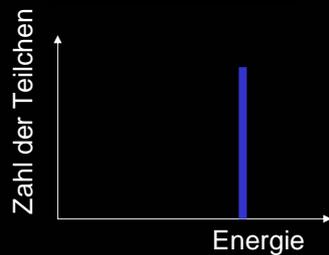
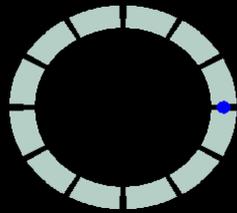
Wie könnten kosmischen Beschleuniger arbeiten?

Unsere Beschleuniger

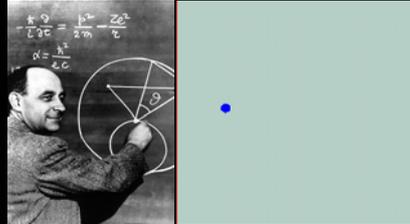


Wie könnten kosmischen Beschleuniger arbeiten?

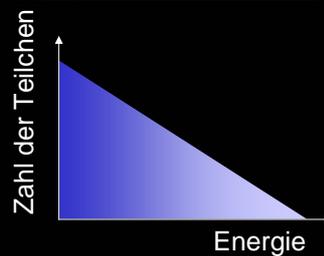
Unsere Beschleuniger



Beschleuniger in der Natur



Enrico Fermi



Schockbeschleunigung in Supernovae?

- Erzeugt ein Spektrum an Teilchenenergien
- Braucht viele 100 Jahre um Teilchen zu den höchsten Energien zu beschleunigen
- Wandelt bis zu 50% der Supernova-Energie in Kosmische Strahlung um
- Setzt genug Energie um, um die Galaxis zu füllen



Cassiopeia A

**Aber stimmt das alles ?
Können wir es beobachten ?**

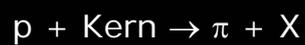
Gammastrahlungs- astronomie

Quellen Identifikation

- Elektronenbeschleuniger

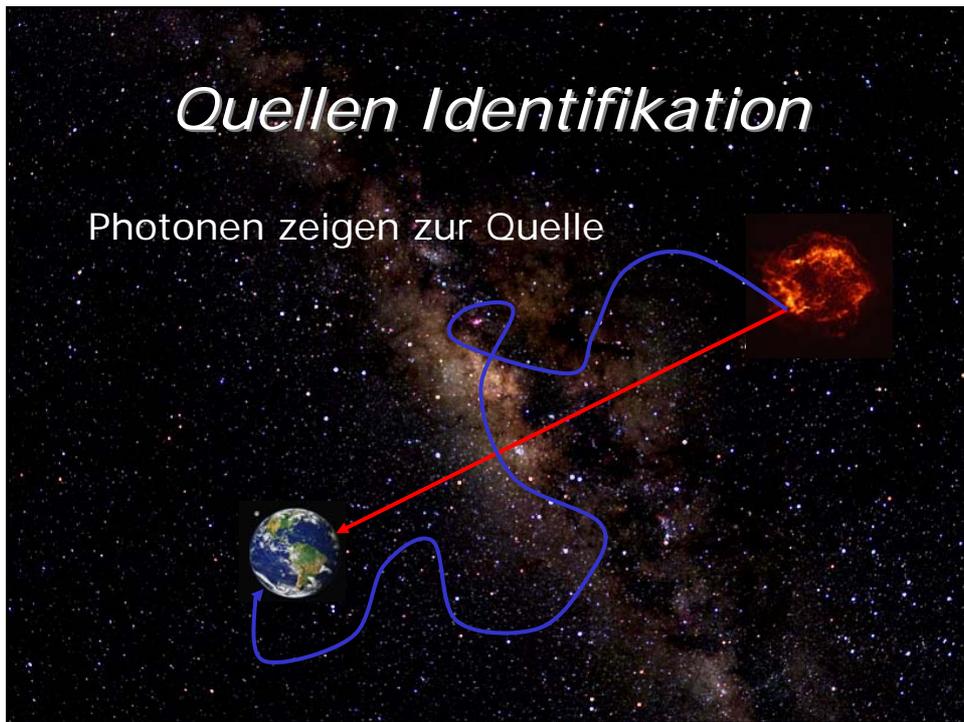


- Protonenbeschleuniger



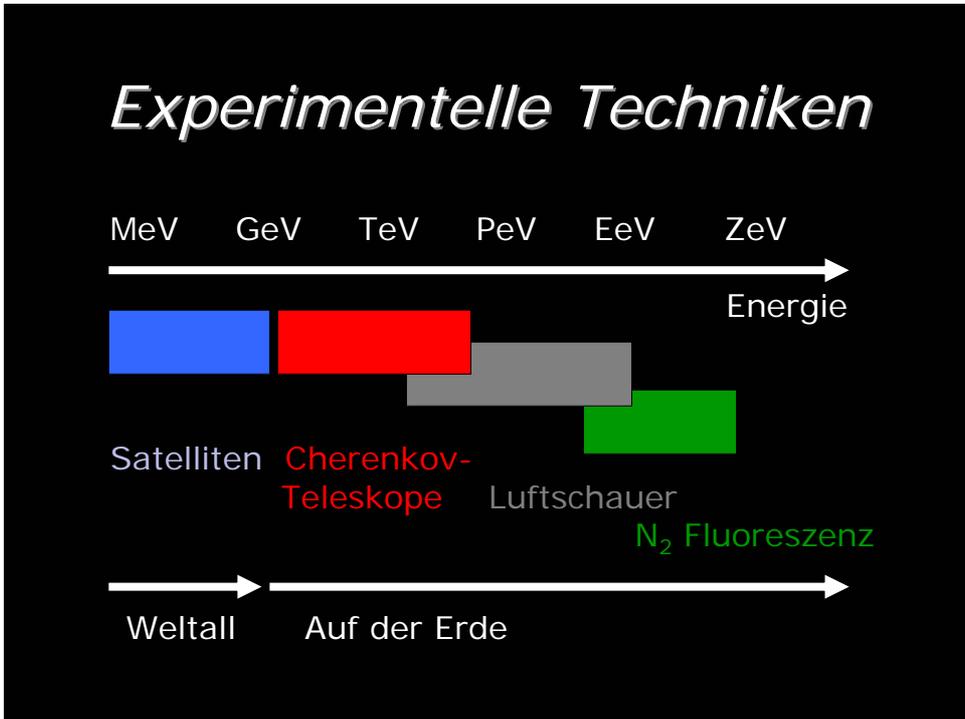
Quellen Identifikation

Photonen zeigen zur Quelle



Cherenkov-Licht: Optisches Äquivalent
zum Überschallknall

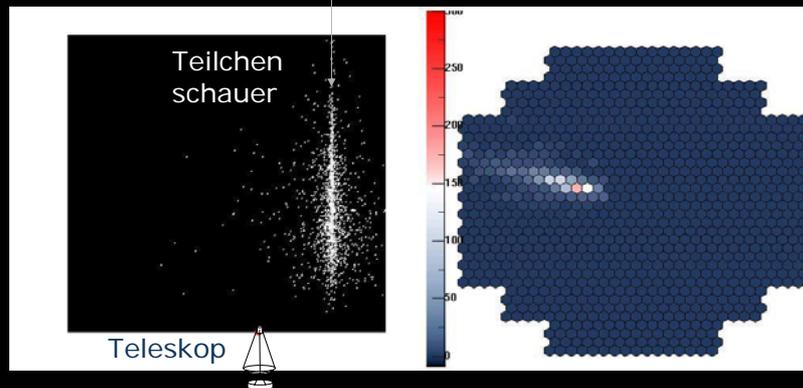




Schauerbild in der Kamera

In Atmosphäre

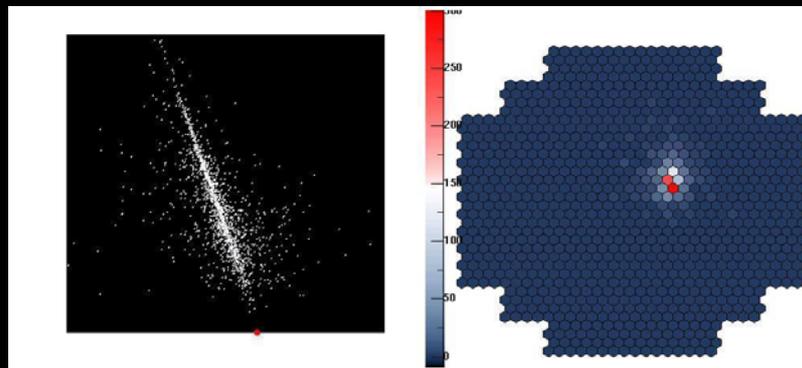
In Kamera Ebene



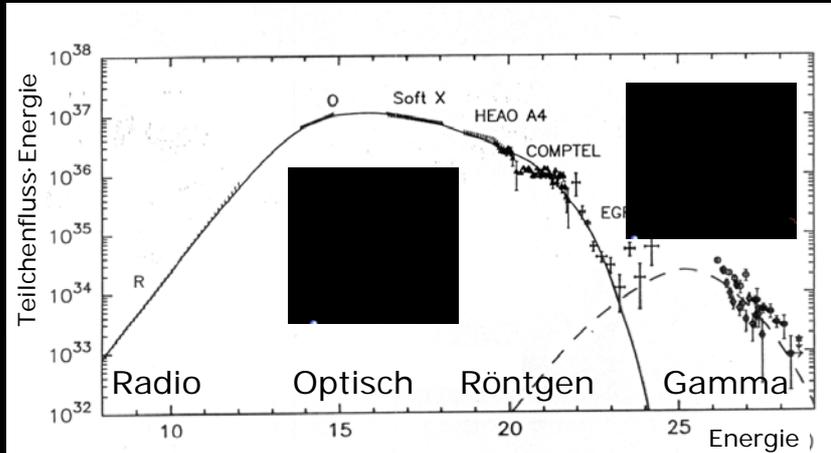
Schauerbild in der Kamera

In Atmosphäre

In Kamera Ebene

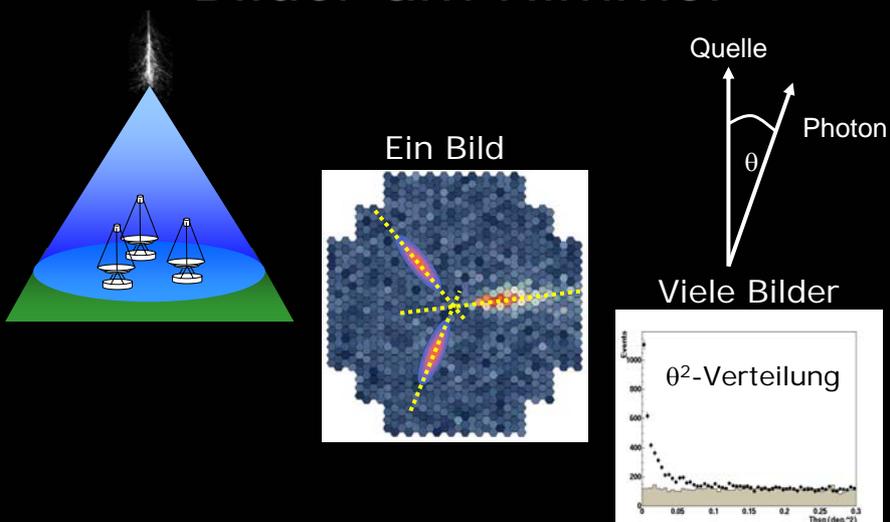


Krebs Energiespektrum



Standartkerze in der Gammastrahlungsastronomie

Bilder am Himmel



Supernova 1006

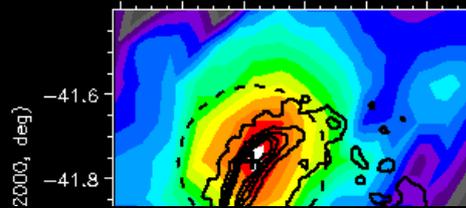


Supernova 1006

← 50 light years →
0.5° diameter



Supernova 1006



CANGAROO
(Cherenkov-
Experiment in
Australien)

Von H.E.S.S. nicht gesehen!

H.E.S.S. obere Grenze für den Fluss an
Gammastrahlung < 8% CANGAROO Fluss!

Grund ungeklärt!

Supernovae

3 TeV Quellen bekannt

Quelle	Nachgewiesen durch	Sichtbar für H.E.S.S.
SN 1006	CANGAROO	Ja
RX J1713.7-3946	CANGAROO	Ja
Cassiopeia A	HEGRA	Nein

Supernovaresten vom Schalentyp

Experimentelle Situation

Quelle	Nachgewiesen durch	Sichtbar für H.E.S.S.	Nachgewiesen
SN 1006	CANGAROO	Ja	Nein
RX J1713.7-3946	CANGAROO	Ja	Ja!
Kassiopeia A	HEGRA	Nein	--

Mehr Quellen und Studium der Morphologie

Fortschritt



Nachweis von TeV-Strahlung des Krebsnebels
Whipple 1989: 50 h Beobachtungszeit



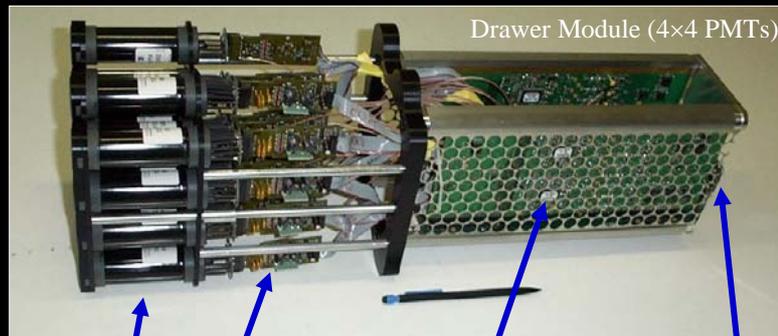
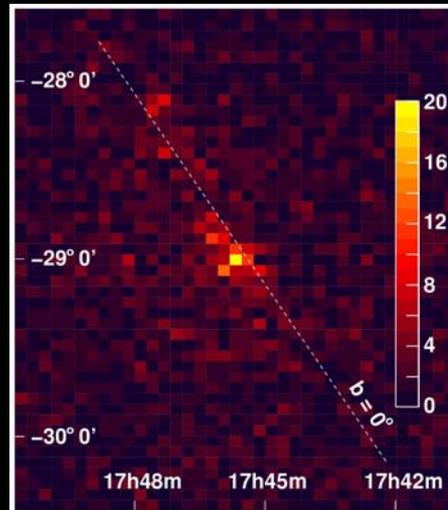
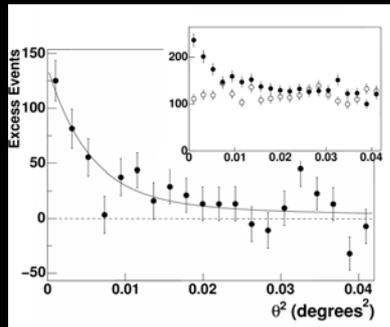
HEGRA 1997:
15 min

HESS 2004:
30 sec



Sagittarius A*

H.E.S.S. sieht
Gammastrahlung
vom Galaktischen
Zentrum



Photonis PMT XP 2960
8 Dynodes
Gain $\sim 2 \times 10^5$

Active base

- DC-DC converter 0-1500 V
- Last 4 dynodes active
- HV & current readout
- Current limit

Analog Ring Sampler (ARS)

- Samples PMT signal at 1 GHz
 - 128 samples ring buffer
 - Serves to delay signal until trigger decision
 - High/low gain channels for large dynamic range (> 2000 pe)
- Multiplexed ADC to digitize signal; FPGA
- Controls conversion and readout
 - Optionally sums signals over readout window (16 ns)

Parallel bus
for readout,
token-passing
scheme