

Astroteilchenphysik – interdisziplinäre Forschung zwischen Quarks und Kosmos

Johannes Blümer
Karlsruher Institut für Technologie



Einführung



Quantenphysik bestimmt das Universum

Astroteilchenphysik ← {Astrophysik, Elementarteilchenphysik, Astronomie, Kosmologie}

KOSMISCHE STRAHLUNG

VORTRÄGE
GEHALTEN IM MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PHYSIK
GÖTTINGEN

ZWEITE AUFLAGE

VON

L. BIERMANN · P. BUDINI · J. BUSCHMANN · M. DEUTSCHMANN
E. FREESE · K. GOTTSTEIN · R. HAGEDORN · W. HEISENBERG
F.G. HOUTERMANS · H. JAHN · G. LÜDERS · R. LÜST · W. MACKE
H.M. MAYER · P. MEYER · G. MOLIÈRE · R. OEHME · K. OTT · W. PAUL
F. SAUTER · A. SCHLÜTER · K. SYMANZIK · M. TEUCHER
C. F. v. WEIZSÄCKER · K. WIRTZ · B. ZUMINO

HERAUSGEGEBEN VON
WERNER HEISENBERG

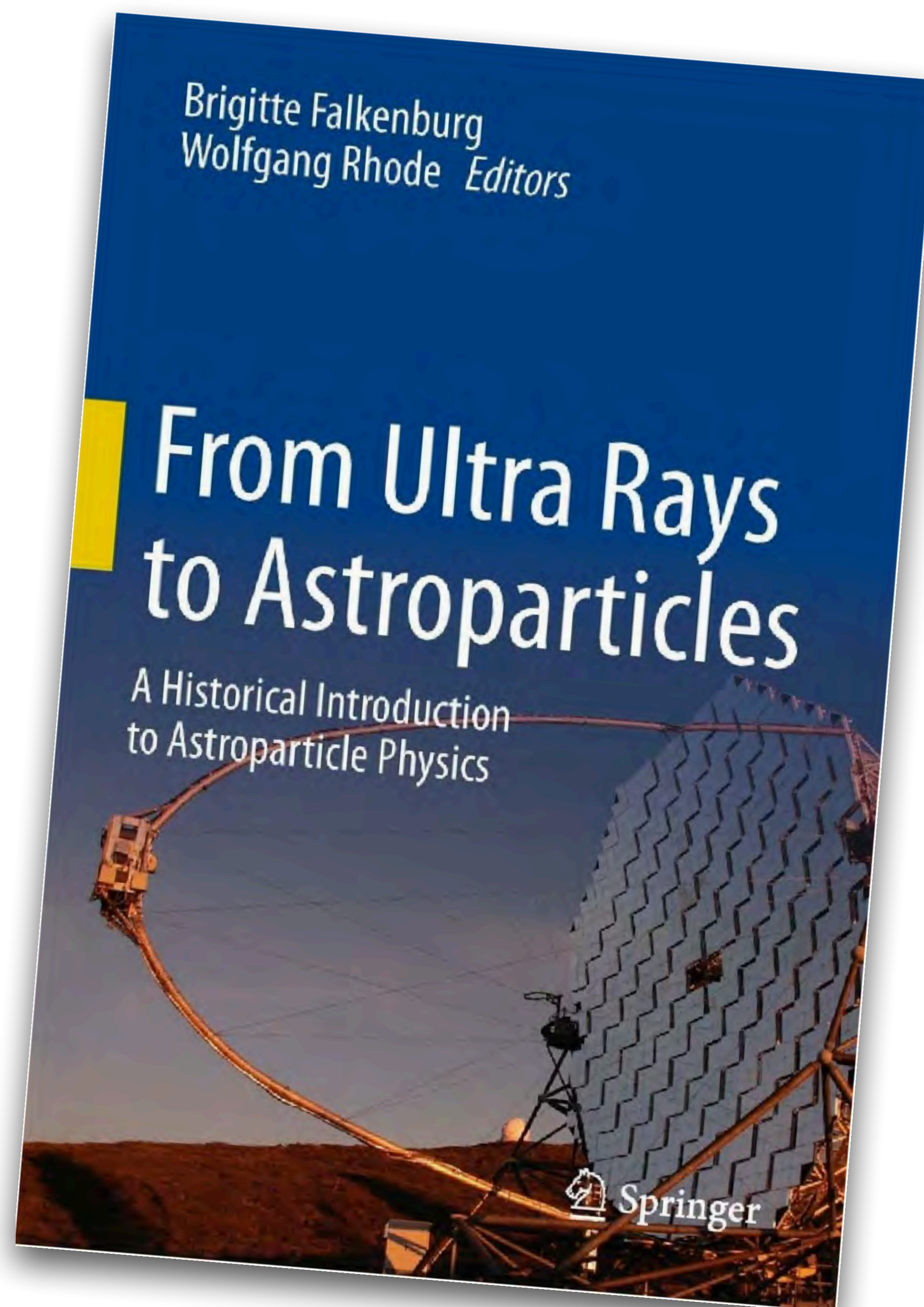
MIT 256 ABBILDUNGEN
UND 1 TAFEL



SPRINGER-VERLAG
BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG
1953



Materials einigermaßen gerecht zu werden. Das Bild, das die 1. Auflage vom Gesamtgebiet der kosmischen Strahlung entworfen hatte, mußte an vielen Stellen ergänzt und in einigen Punkten grundsätzlich geändert werden. Die wichtigsten Verbesserungen sind durch die Entdeckung der neuen Mesonenarten bedingt, die, wie wir jetzt wissen, in der Genetik der kosmischen Strahlung eine entscheidende Rolle spielen. Ferner ist neu hinzugekommen das Kapitel I von der Entstehung der kosmischen Strahlung, für die es erst seit einigen Jahren im Zusammenhang mit anderen astrophysikalischen Erscheinungen eine plausible Erklärung gibt. Die Reihenfolge der übrigen Kapitel ist so gewählt worden, wie

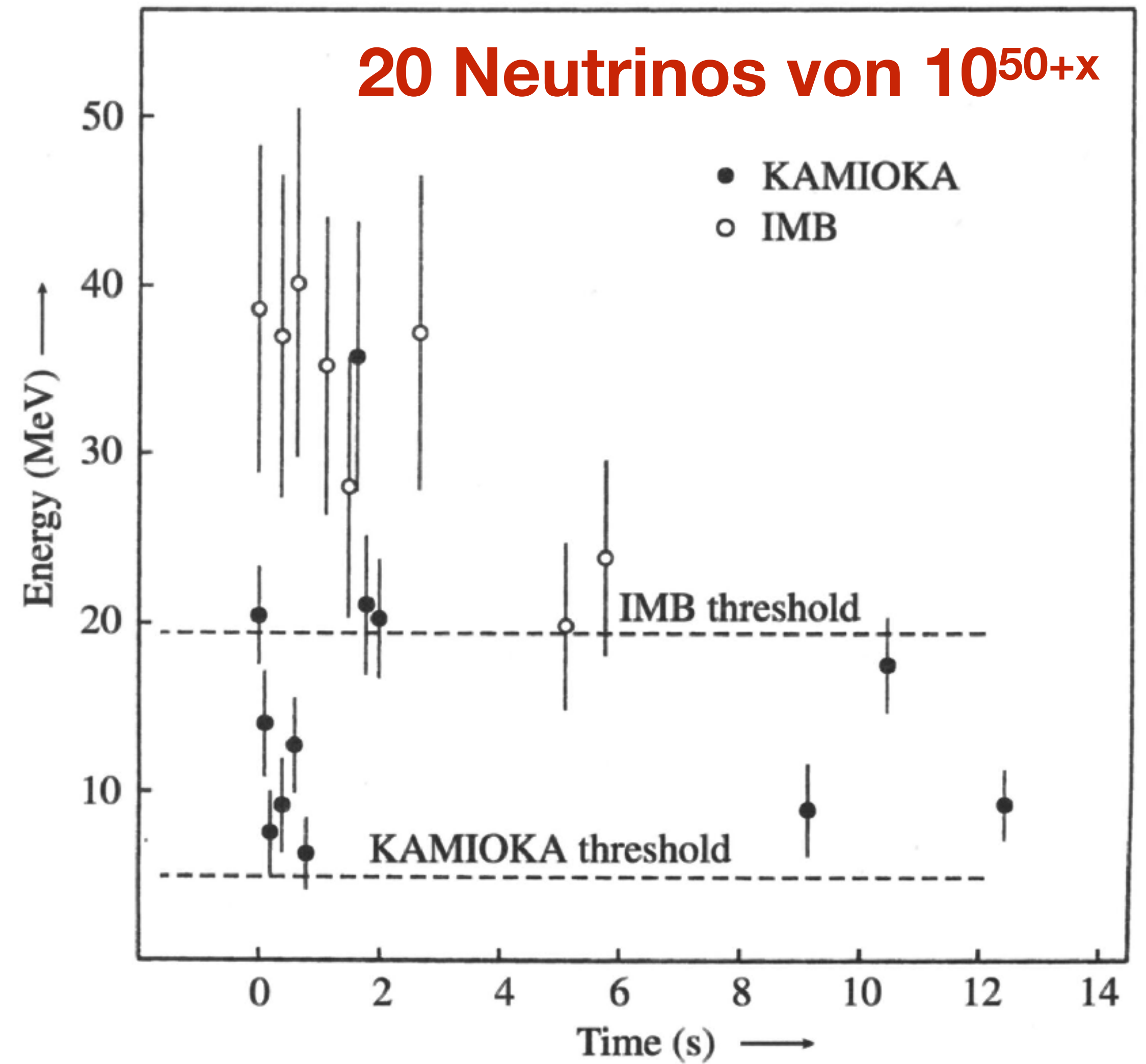
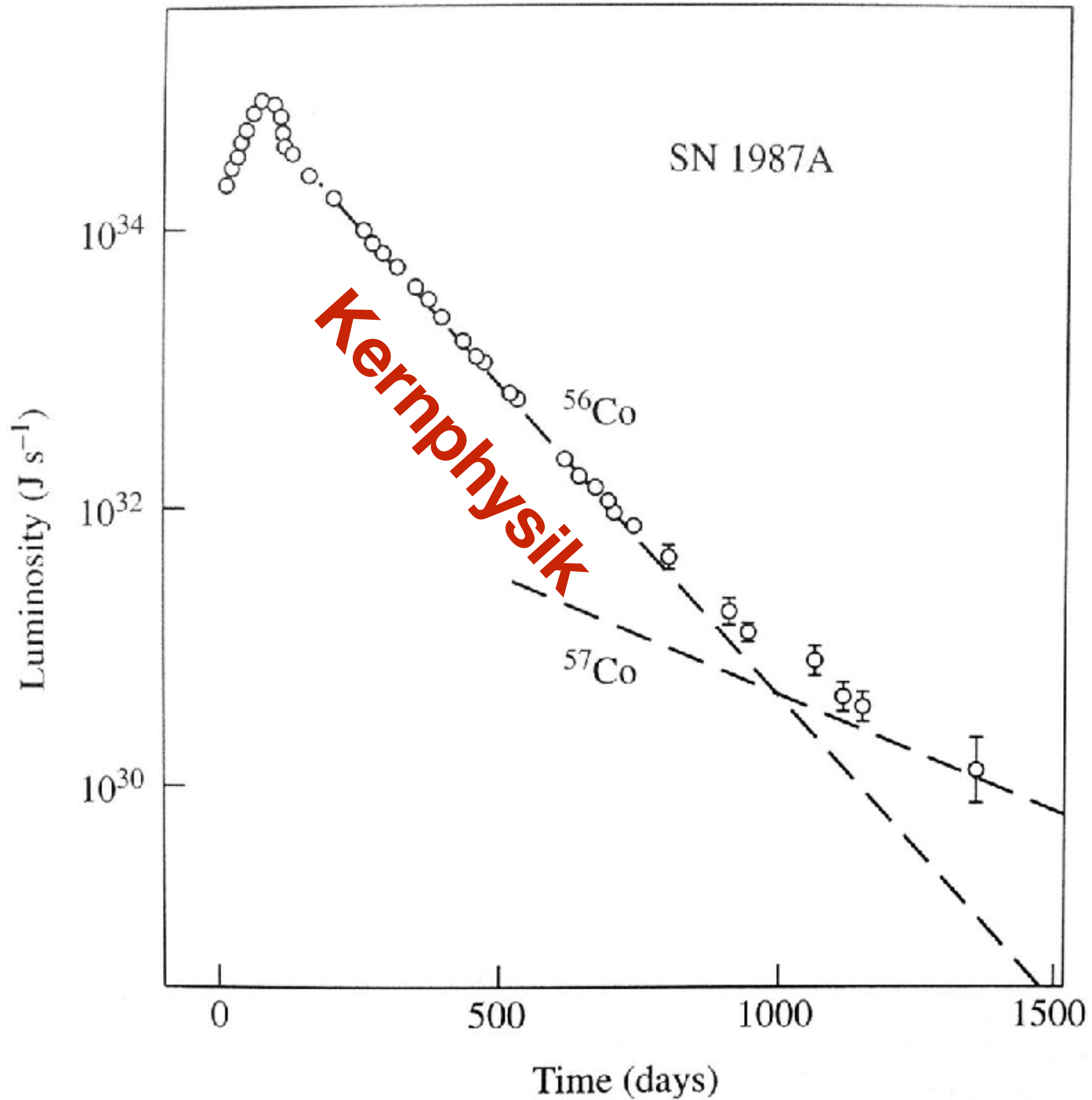


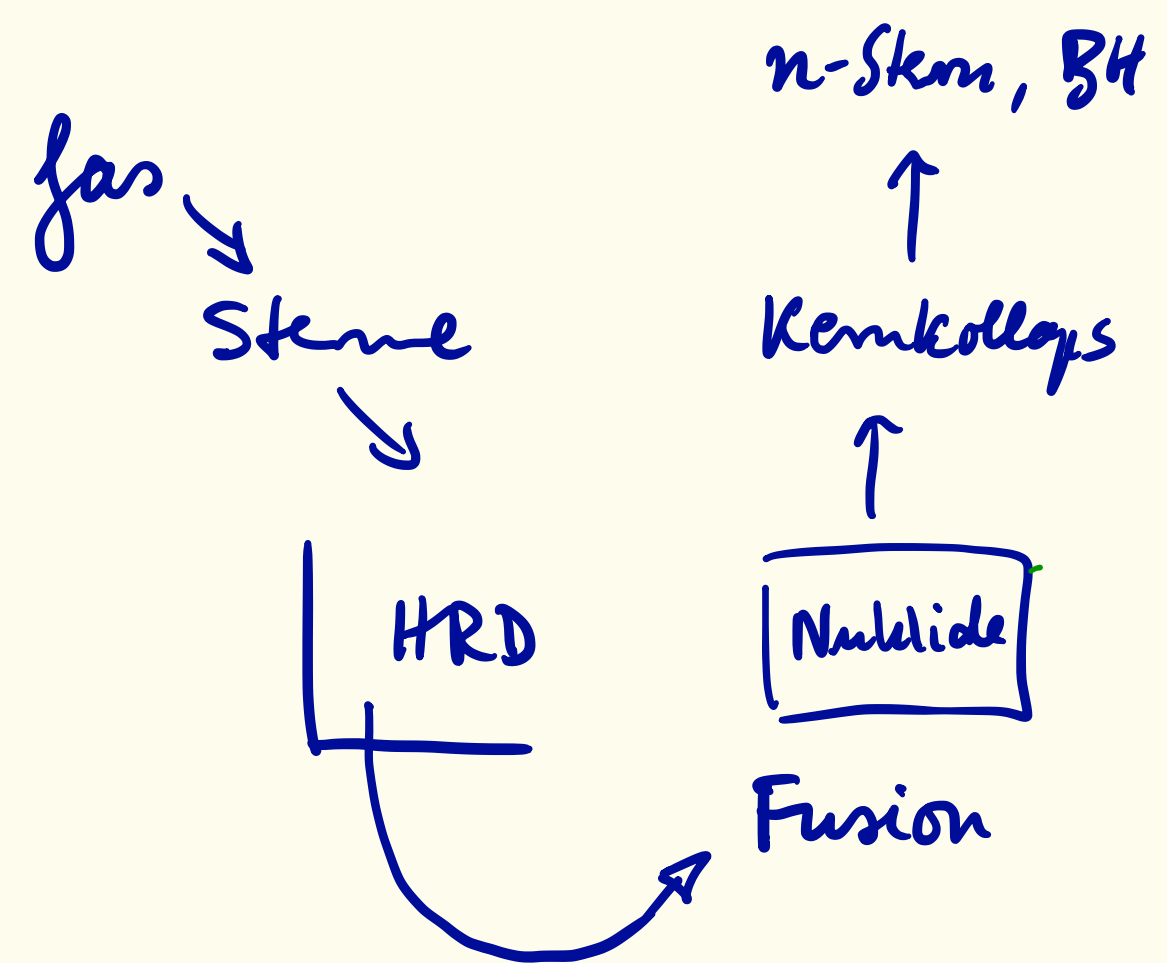


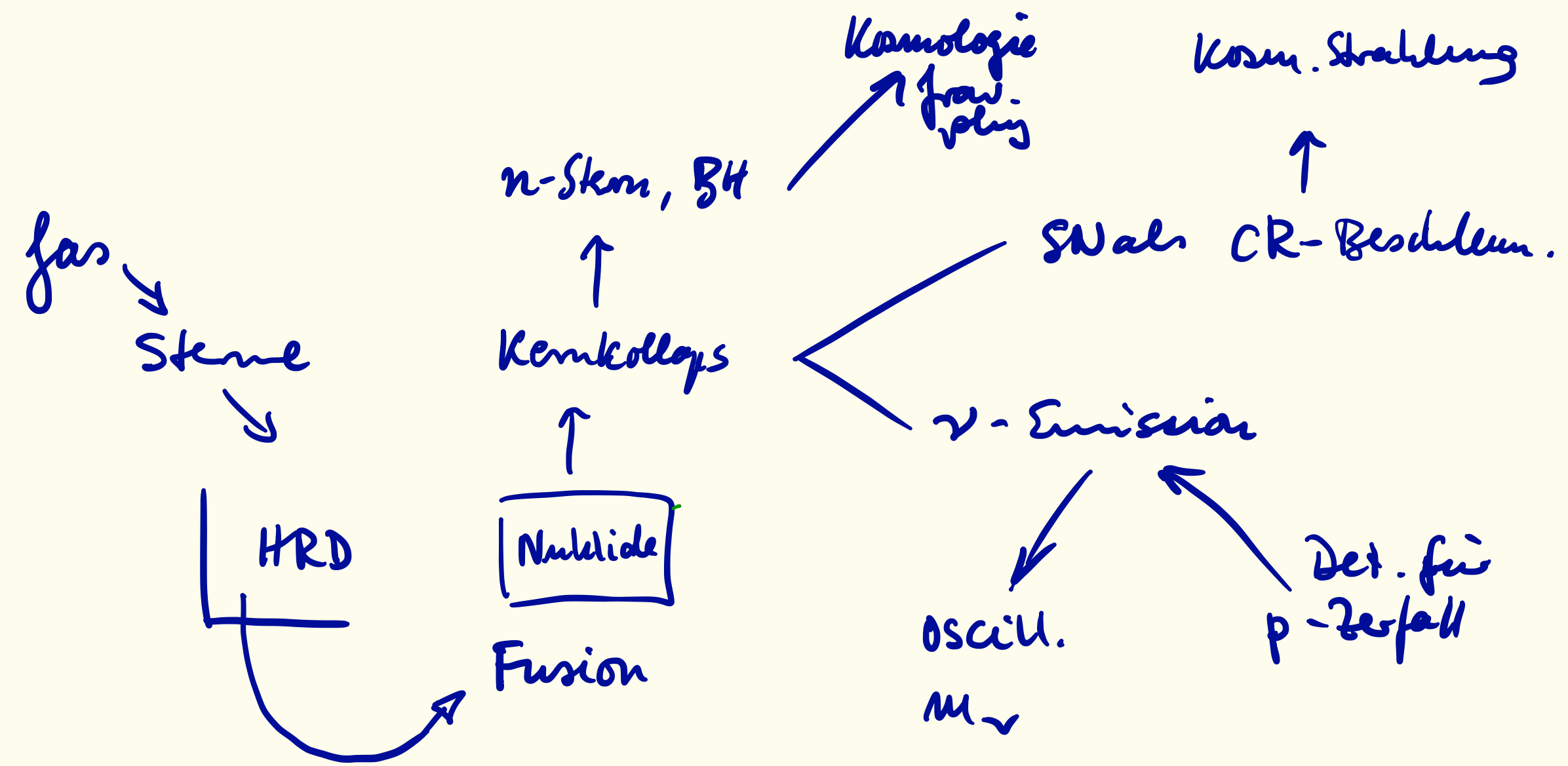
***Meine* Historie der Astroteilchenphysik**

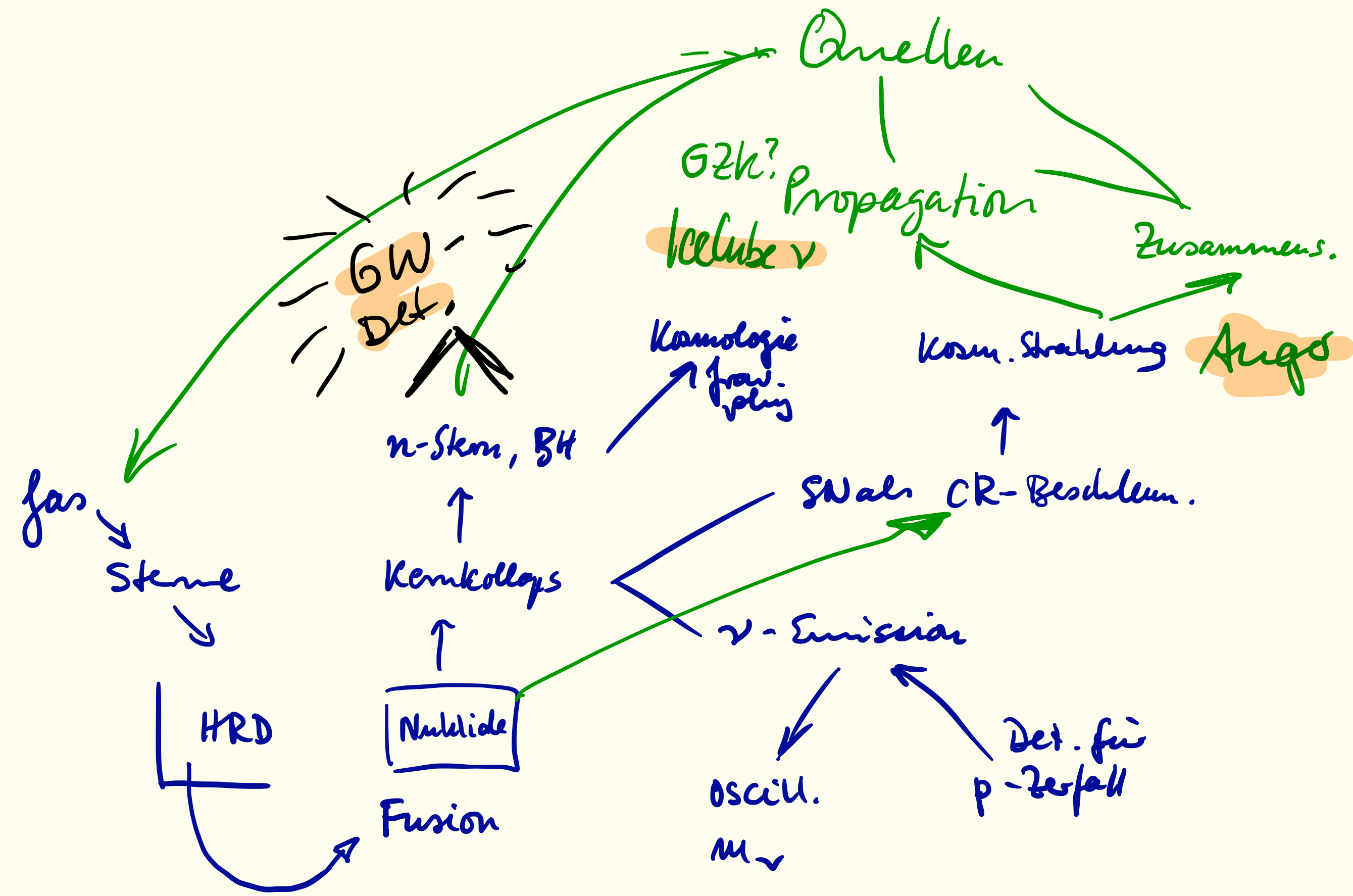
Explosion der Supernova SN1987a

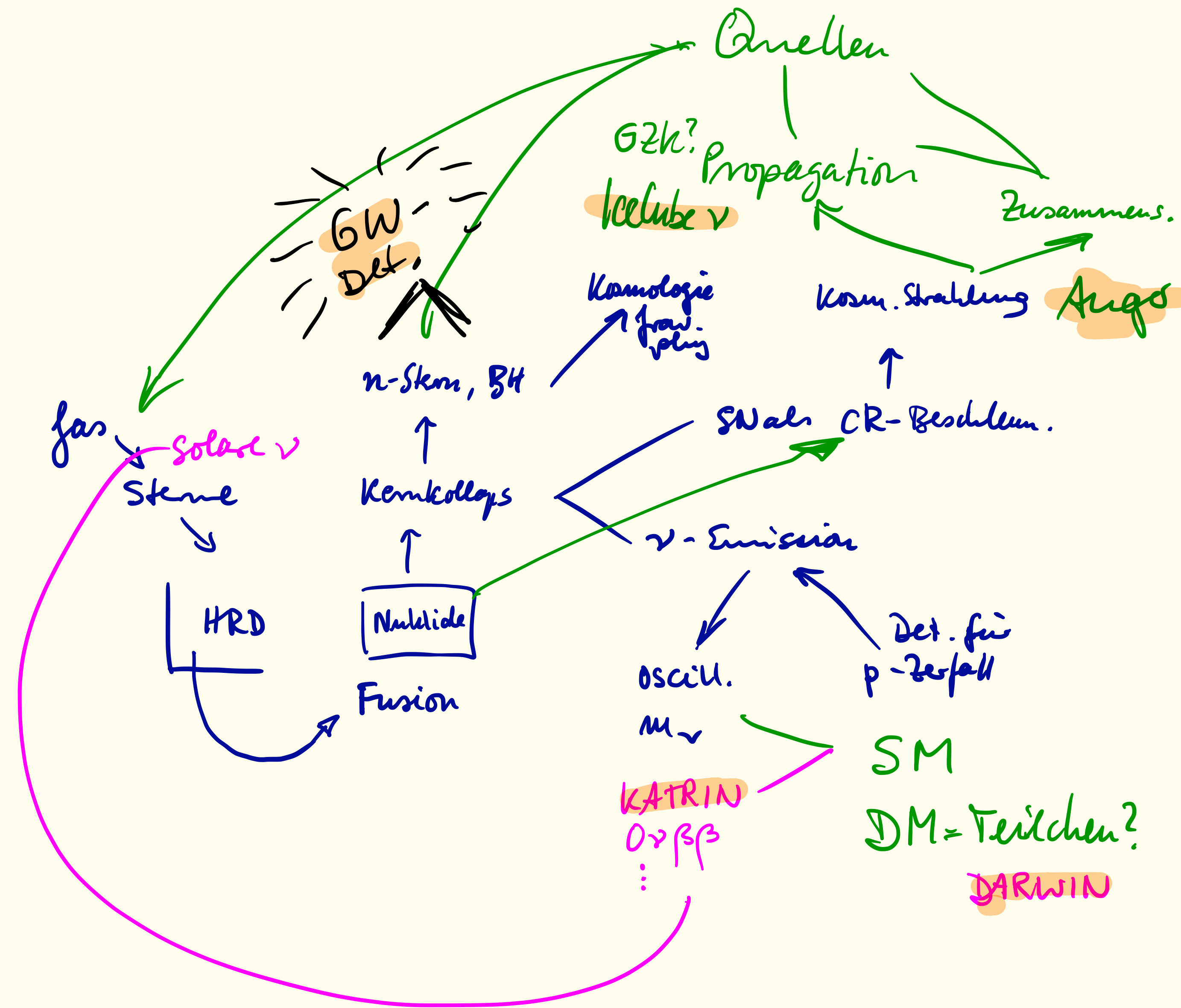
Meine Historie der Astroteilchenphysik

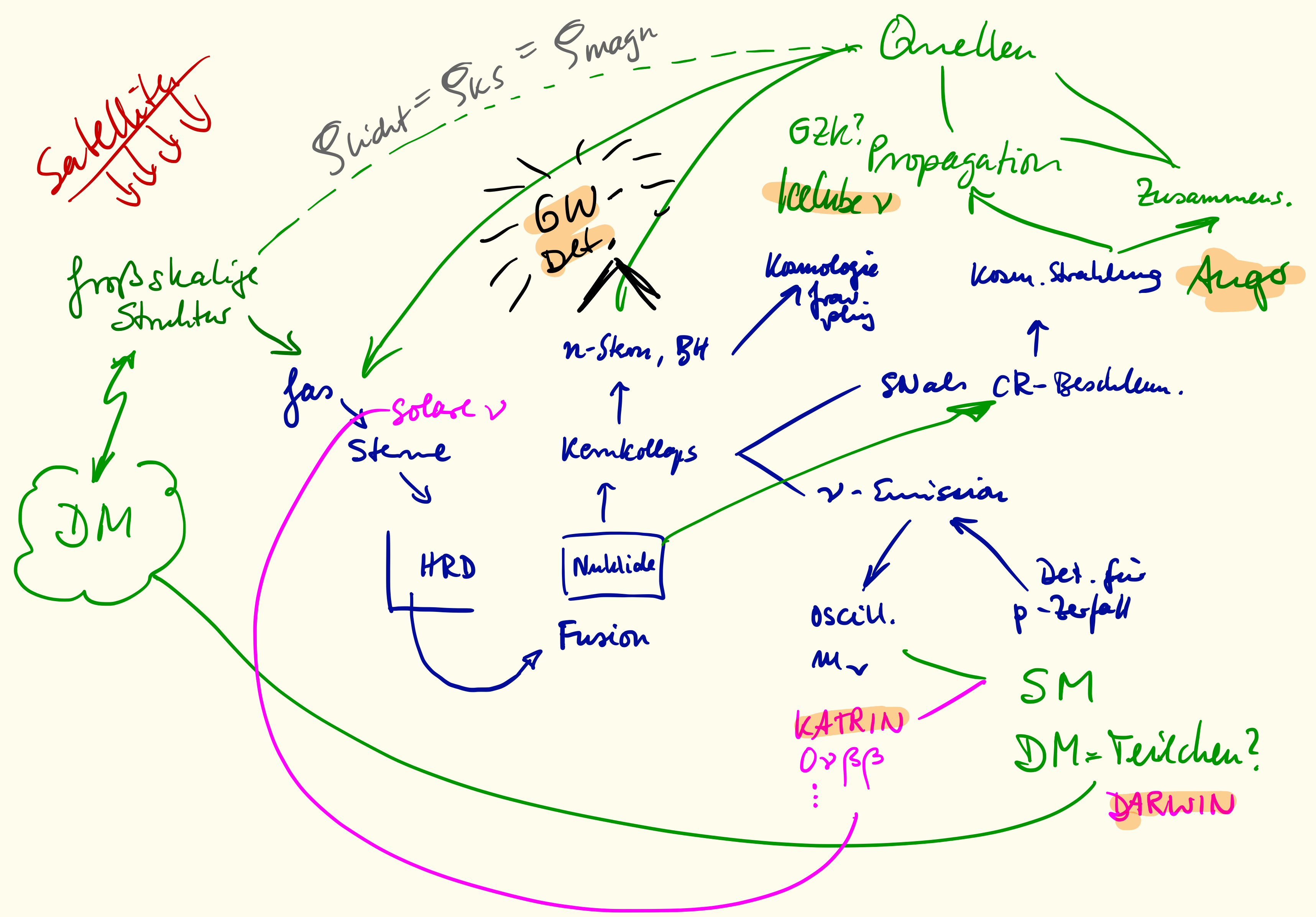


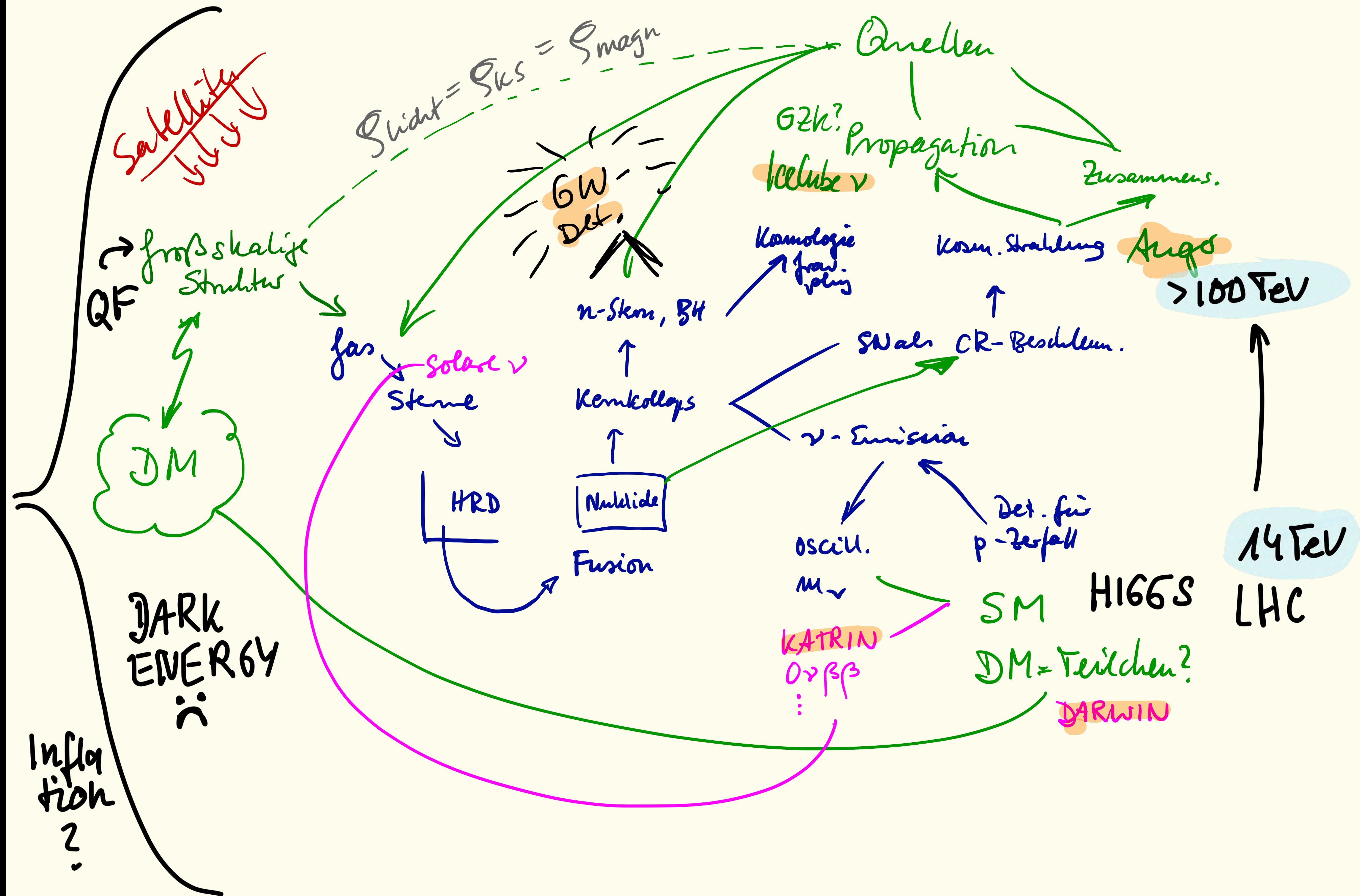




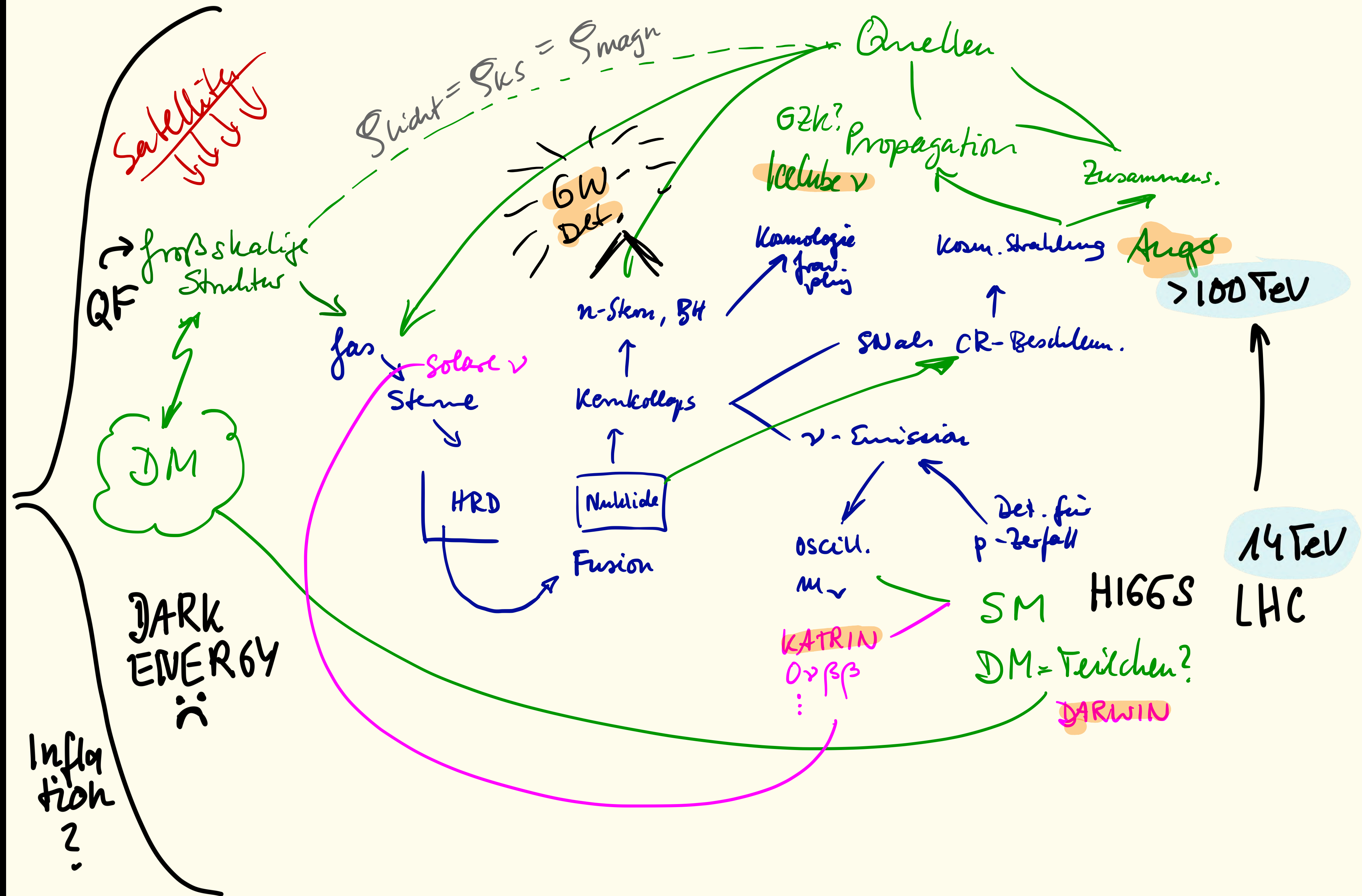


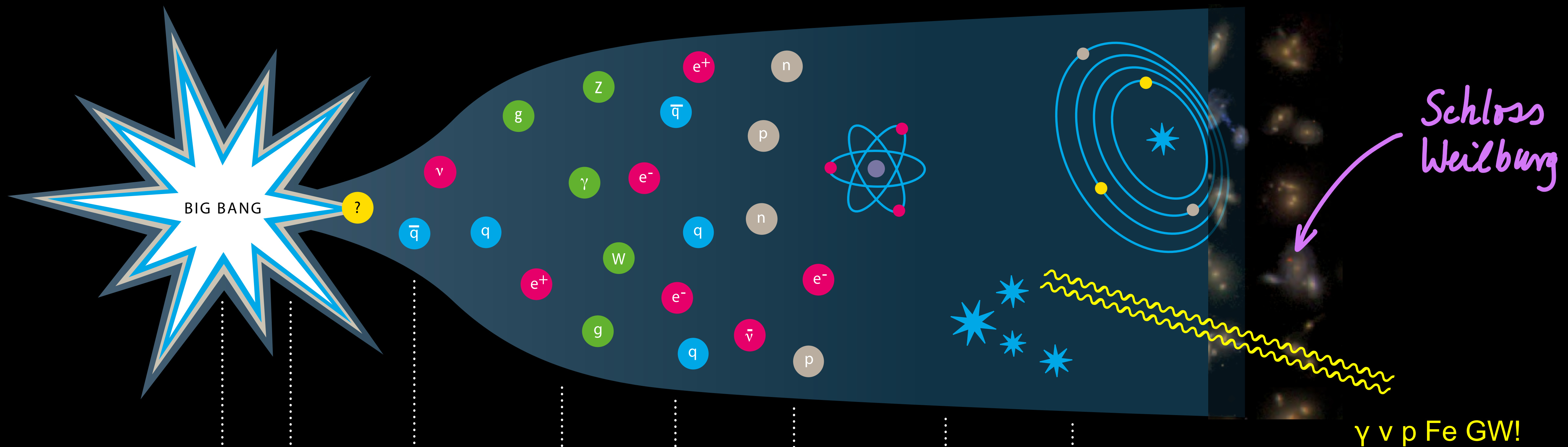






Astroteilchenphysik



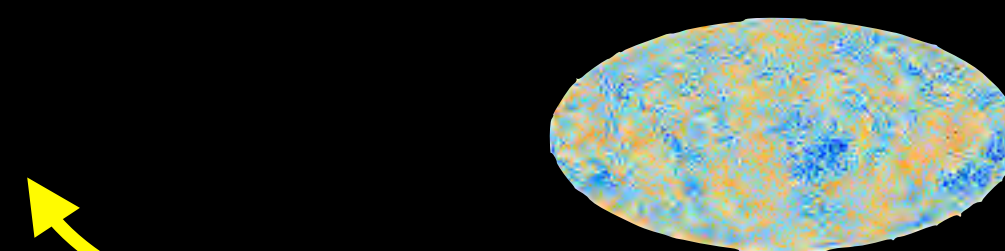


	Big Bang	Unified Forces	Inflationary Expansion (?)	Forces separate	Nucleons form	Atoms form	Stars form	Today
Time		10^{-43} s	10^{-35} s	10^{-10} s	10^{-5} s	400 000 years	10^9 years	14×10^9 years
Energy		10^{16} TeV	10^{13} TeV	1 TeV	150 MeV	1 eV	1 meV	0.25 meV

Theory \rightleftharpoons

Antimatter???

Nuclei \rightarrow Stars \rightarrow Elements \rightarrow Materials ...



reaching back to the Early Universe

neutrinos
cosmic radiations
Dark Matter
LHC...
 e^+e^- precision tests

Multi-wavelength astronomy

*verschiedene
Bilder der
Milchstraße*

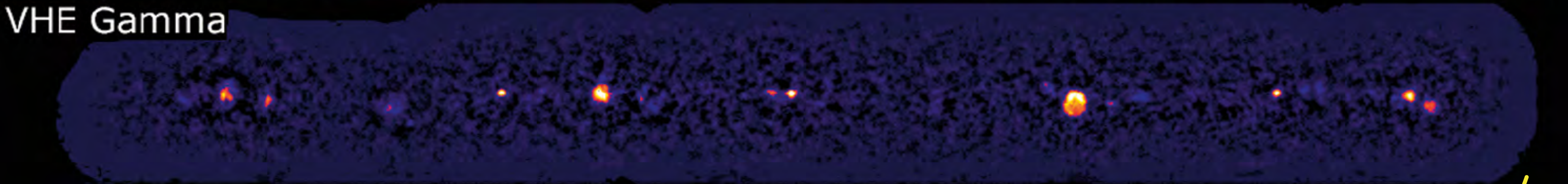
Infrared



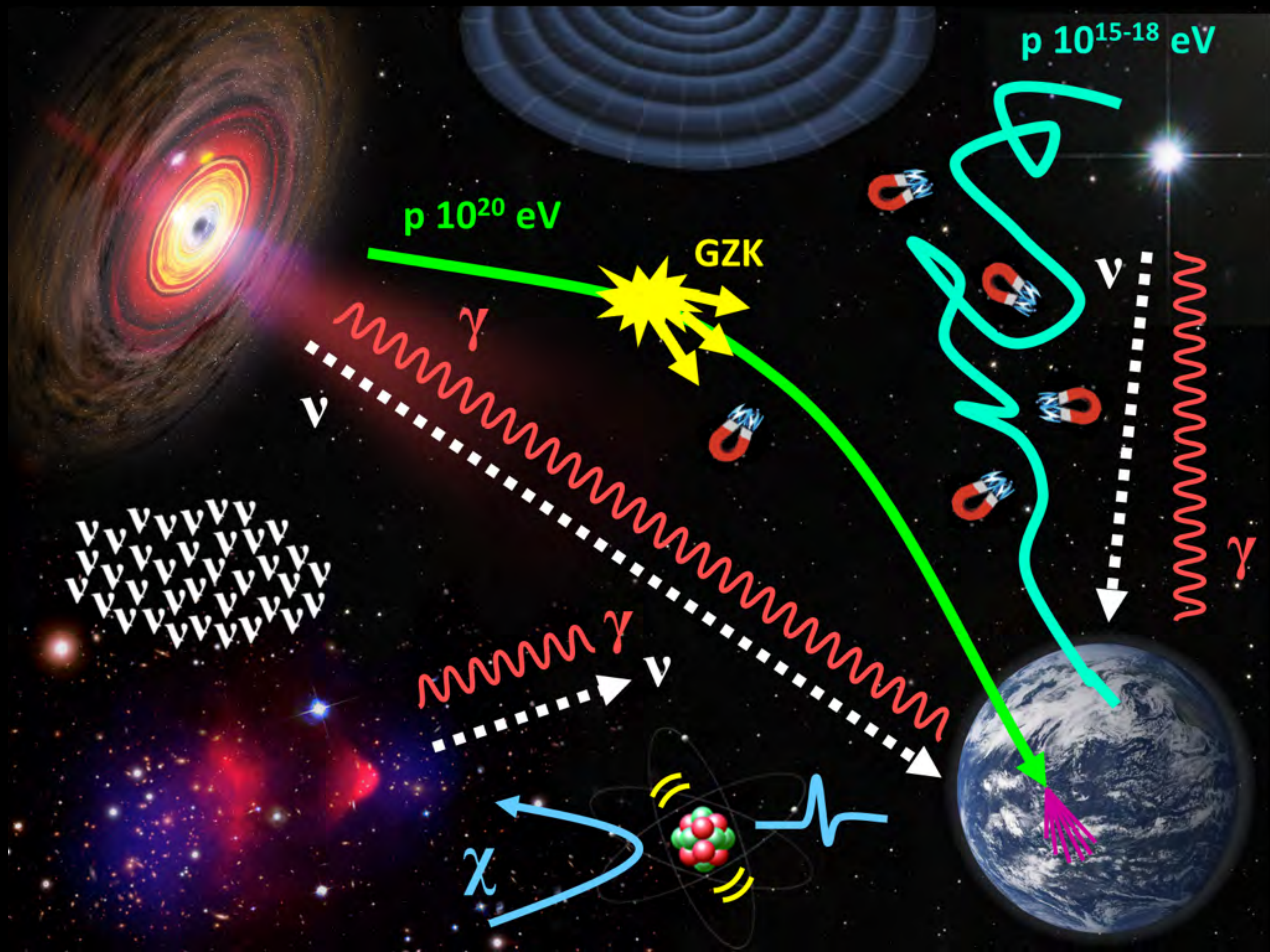
Optical



VHE Gamma



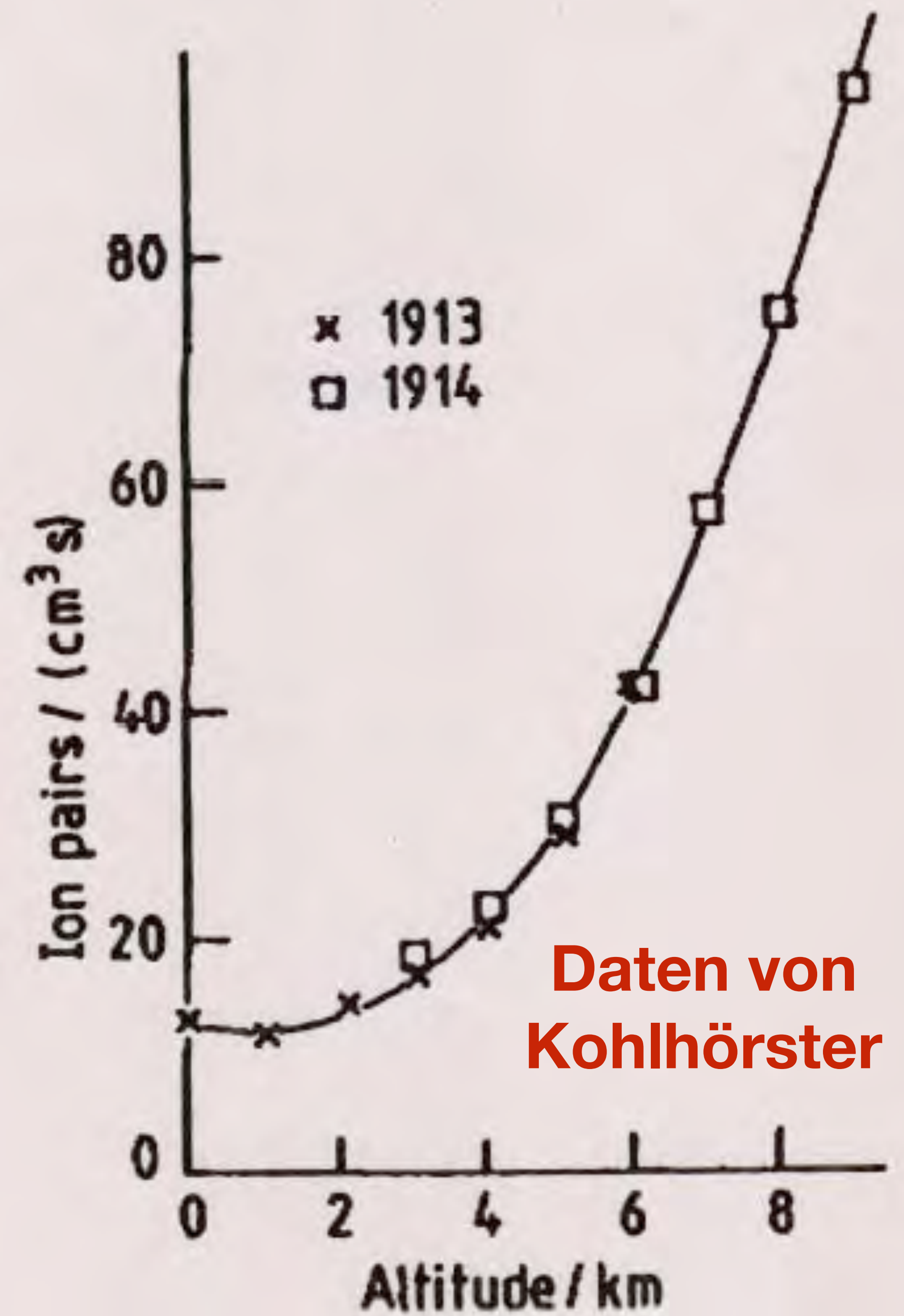
Informationsgewinn durch kombinieren!



Kosmische Strahlung

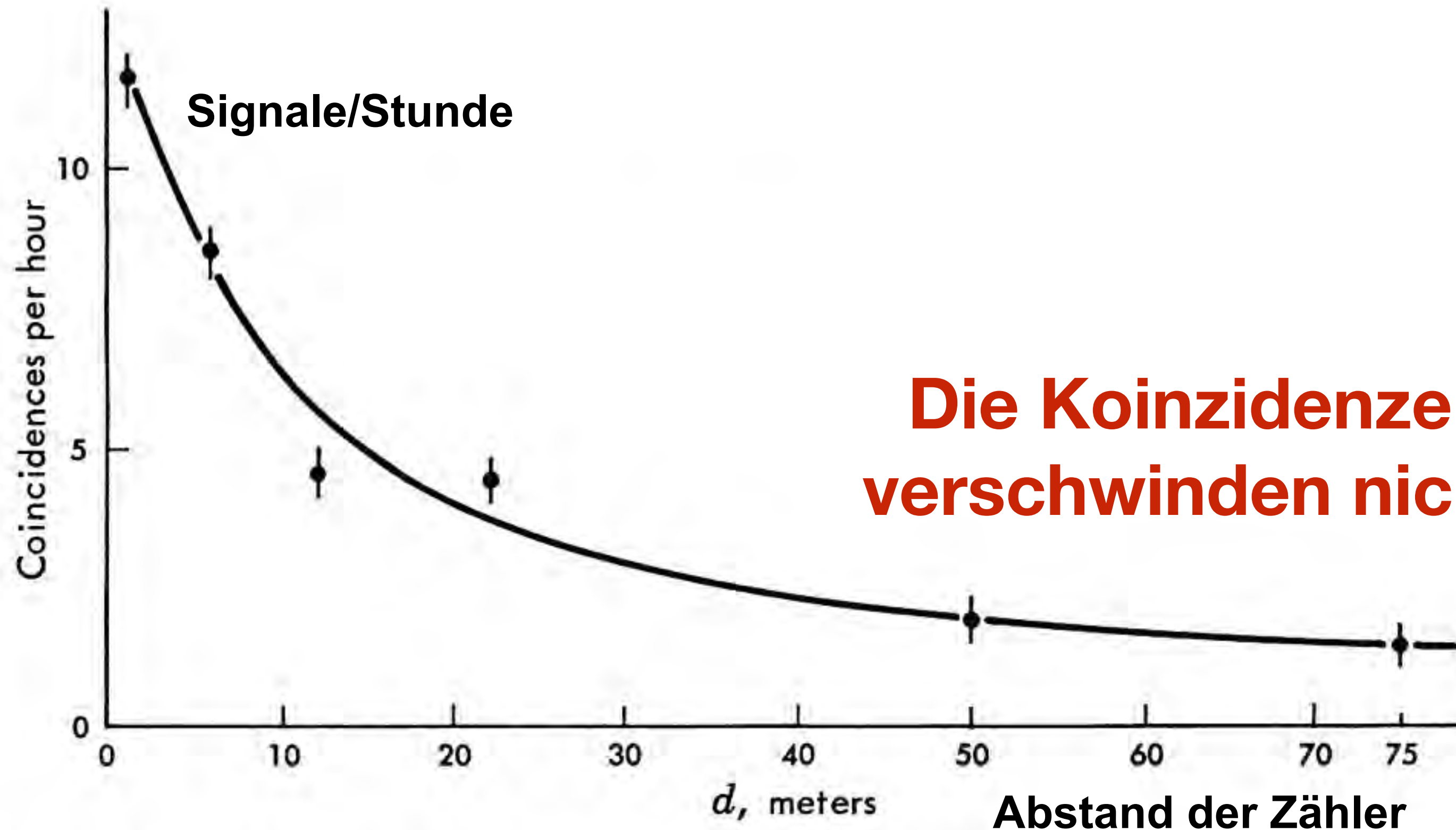
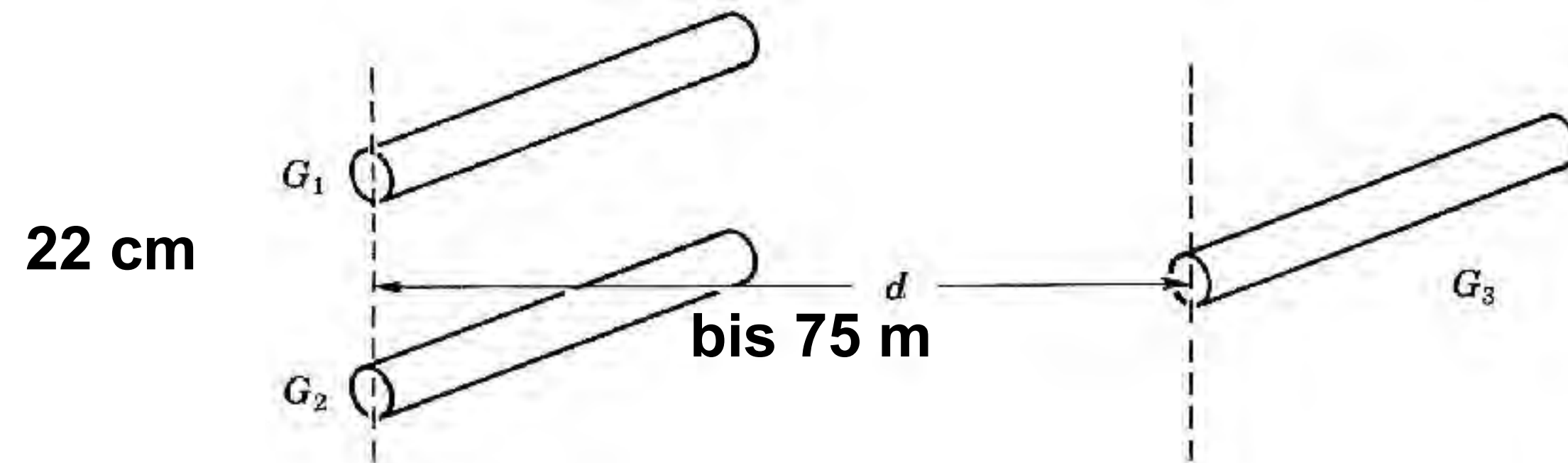


Victor Hess 1912



**Daten von
Kohlhörster**

Pierre Auger 1938



REVIEWS OF MODERN PHYSICS

Extensive Cosmic-Ray Showers

PIERRE AUGER

In collaboration with

P. EHRENFEST, R. MAZE, J. DAUDIN, ROBLEY, A. FRÉON

Paris, France

John Linsley Volcano Ranch ..1960's..



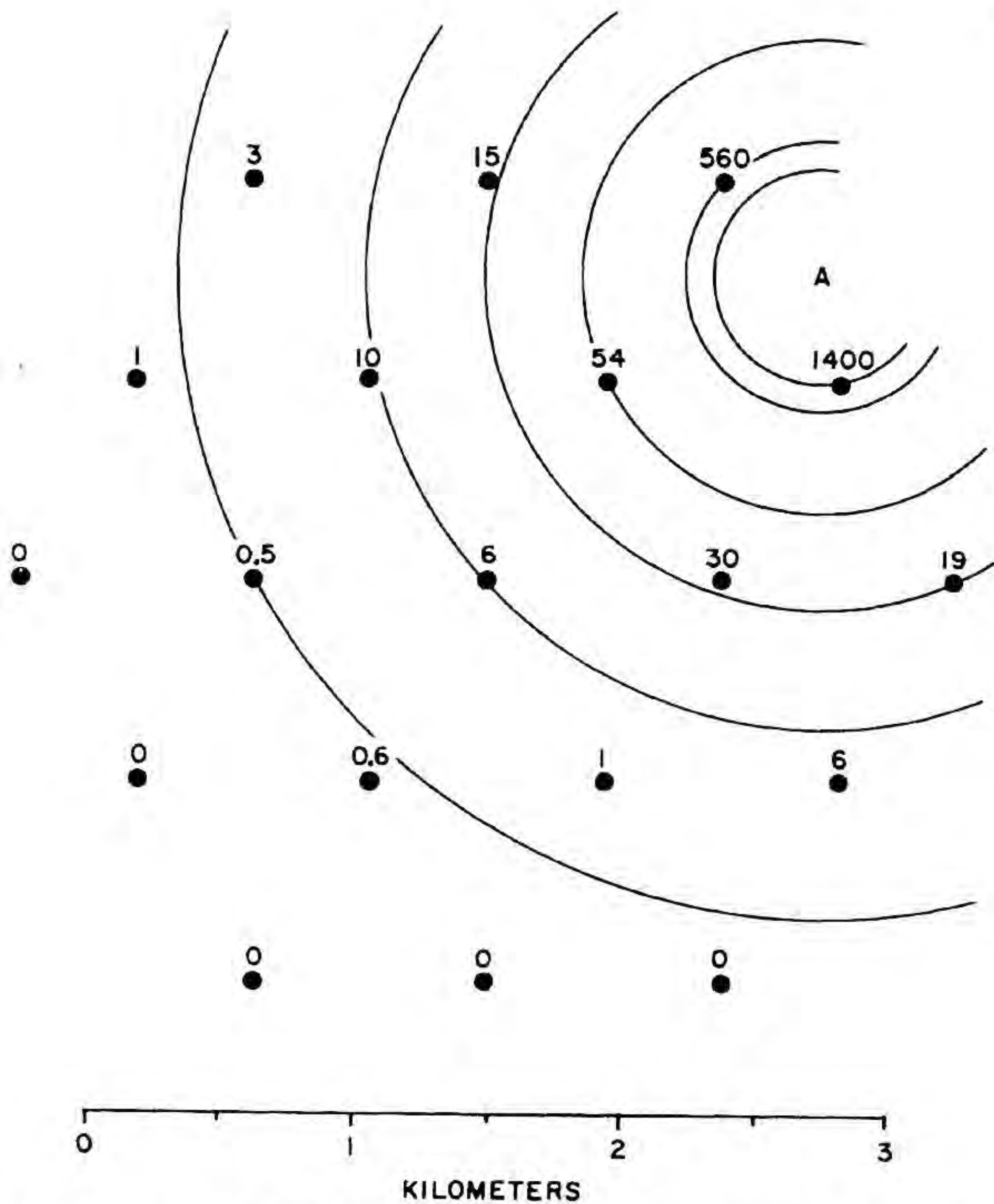


FIG. 1. Plan of the Volcano Ranch array in February 1962. The circles represent 3.3-m² scintillation detectors. The numbers near the circles are the shower densities (particles/m²) registered in this event, No. 2-4834. Point "A" is the estimated location of the shower core. The circular contours about that point aid in verifying the core location by inspection.

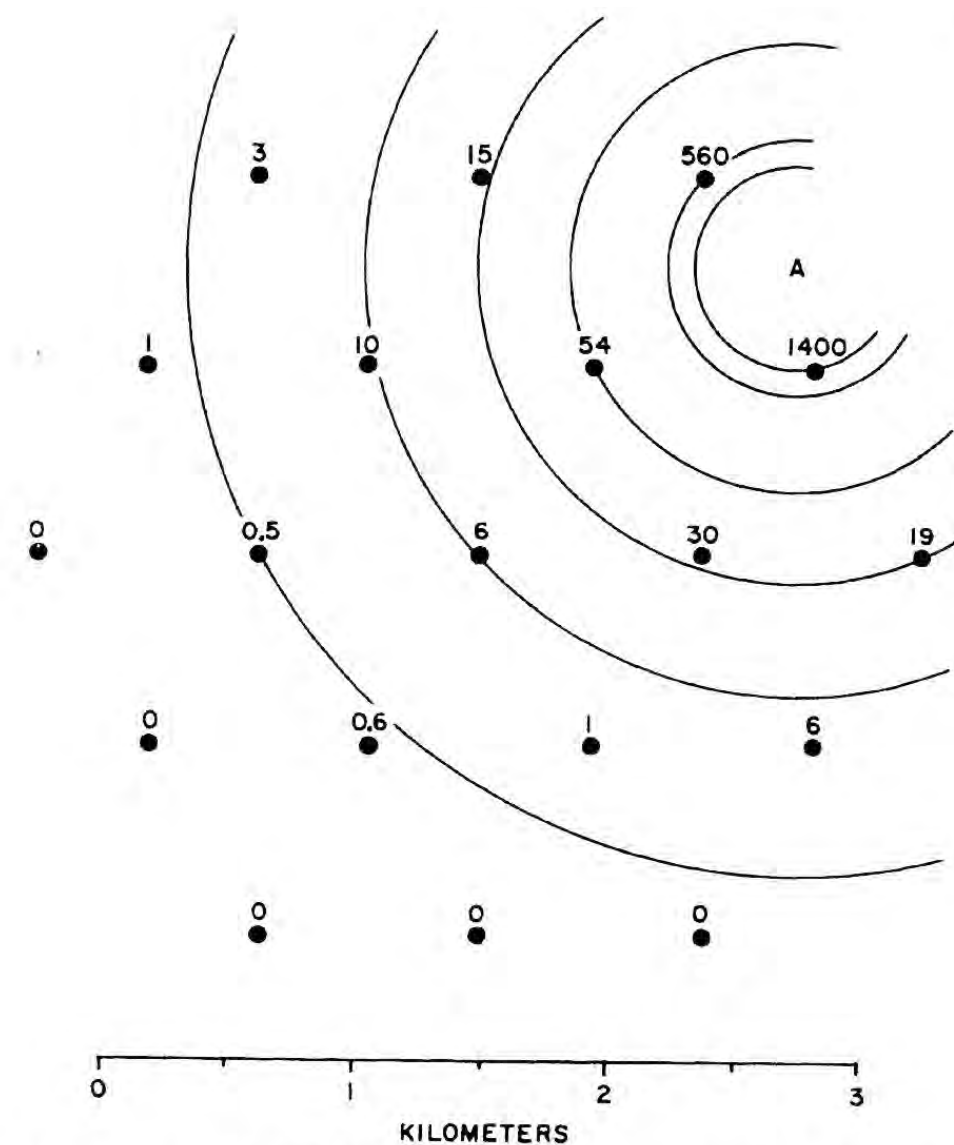
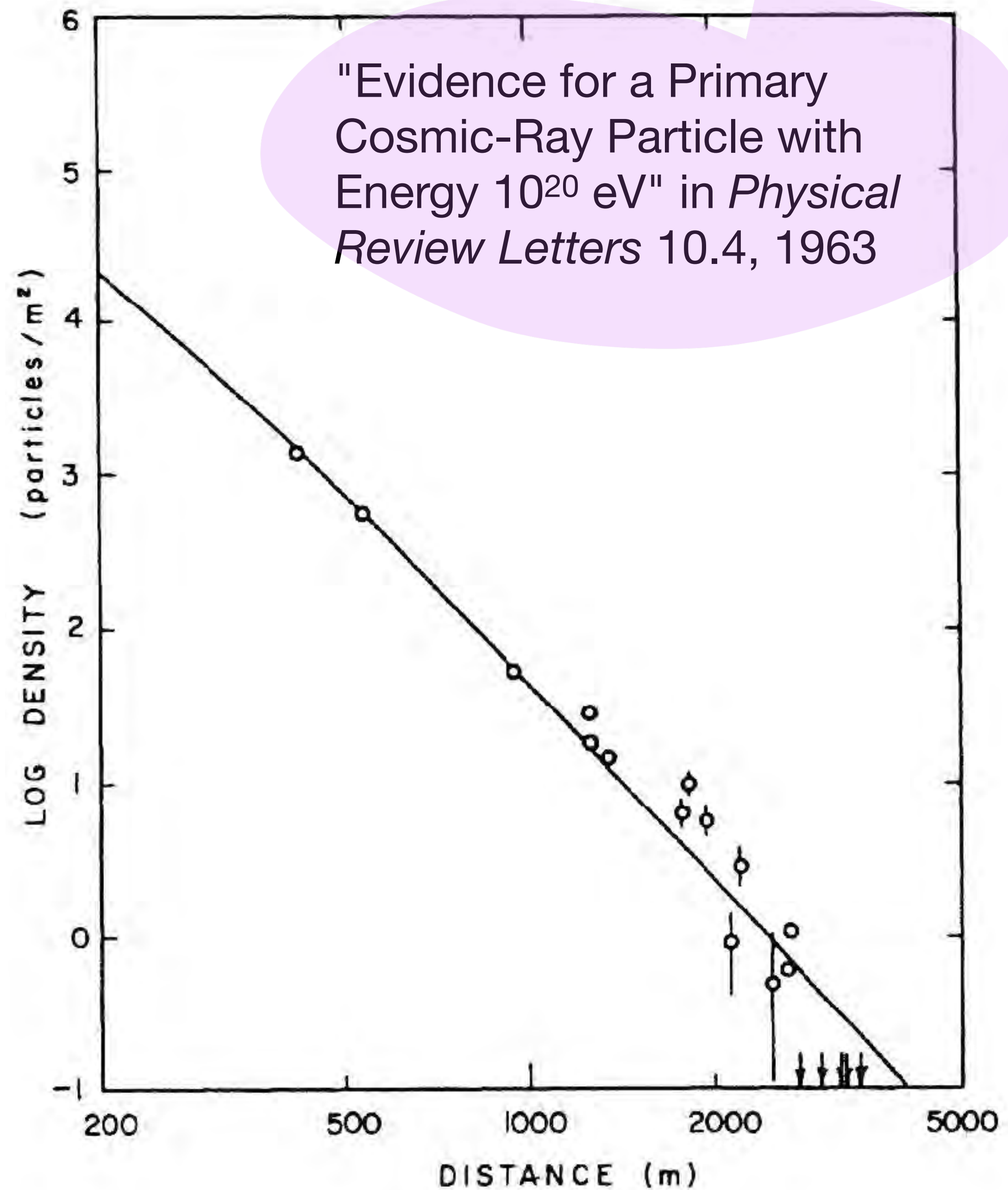
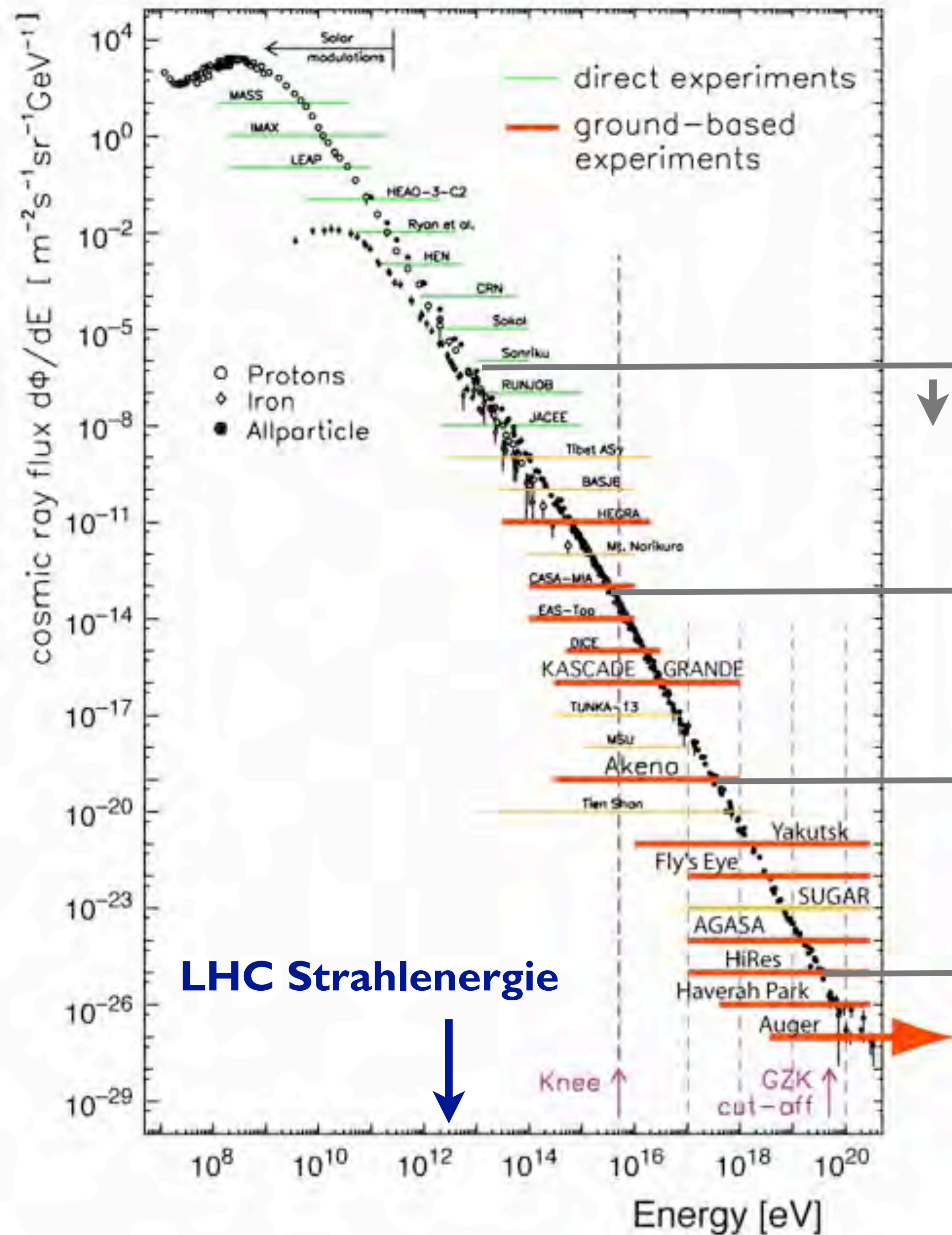


FIG. 1. Plan of the Volcano Ranch array in February 1962. The circles represent 3.3-m² scintillation detectors. The numbers near the circles are the shower densities (particles/m²) registered in this event, No. 2-4834. Point "A" is the estimated location of the shower core. The circular contours about that point aid in verifying the core location by inspection.



Häufigkeit (Fluss) der Kosmischen Strahlung

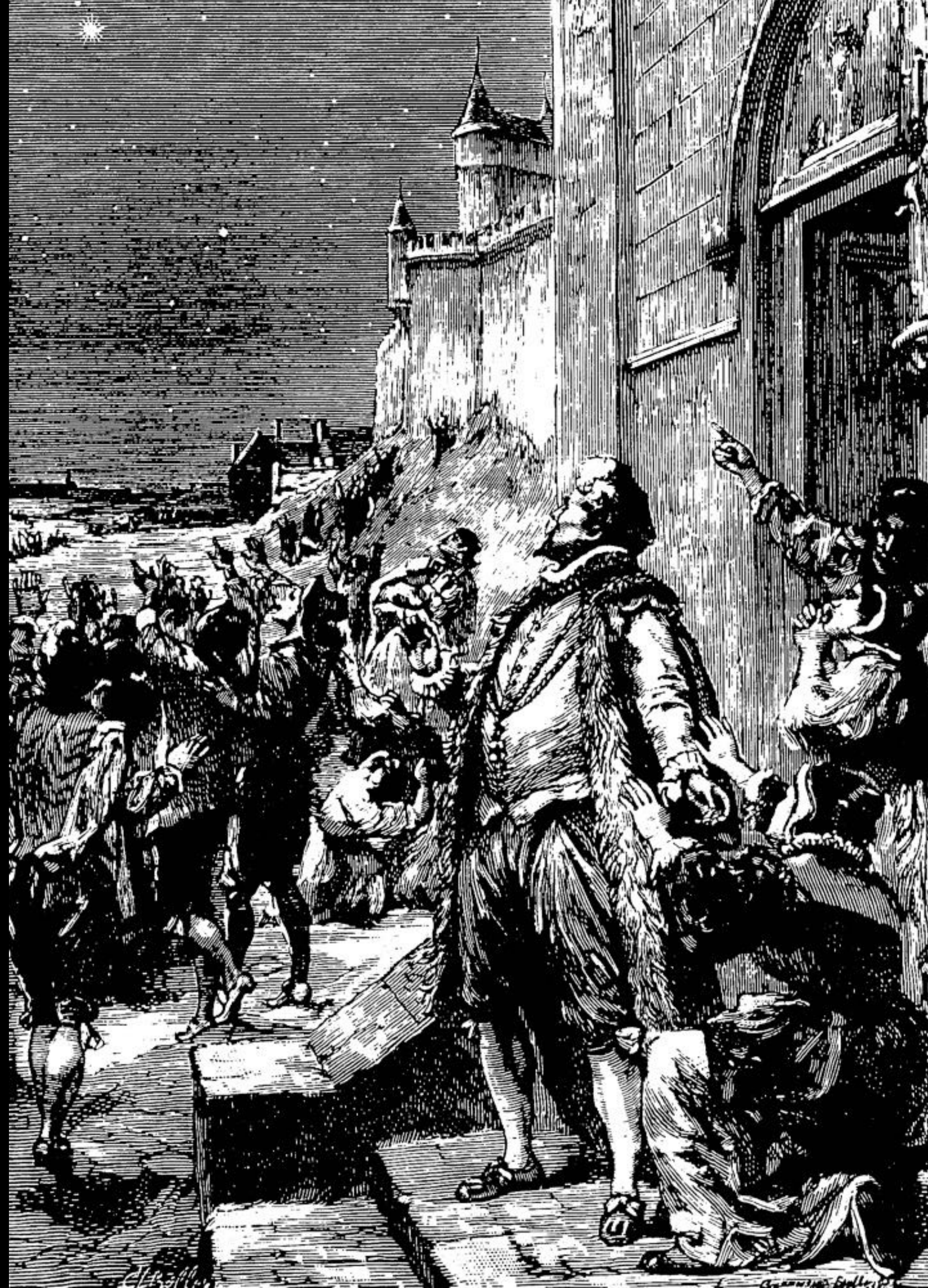


0.1 Teilchen / m^2 Min.

10 Teilchen / km^2 Min.

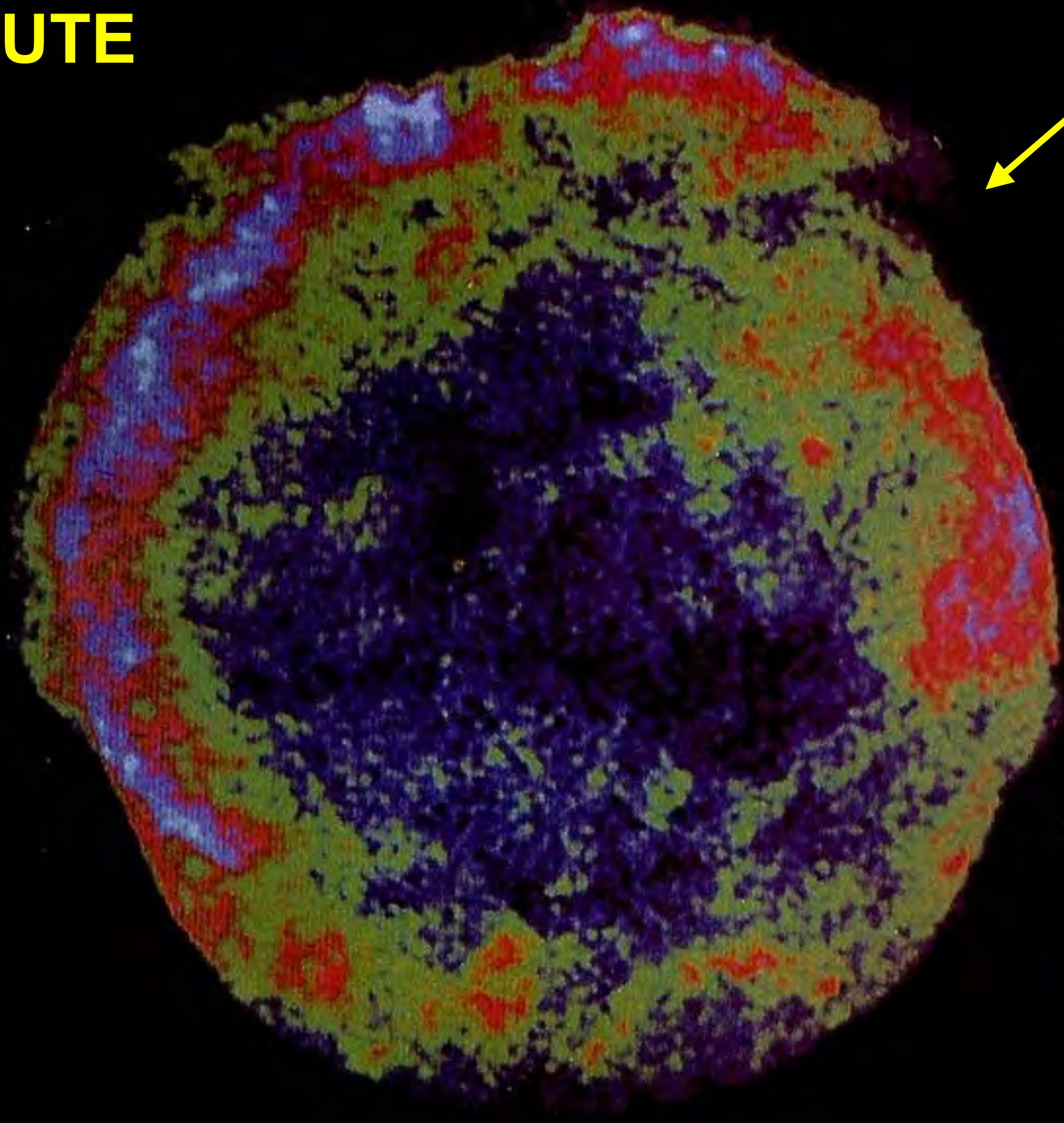
10 Teilchen / km^2 Tag

10 Teilchen / km^2 Jahrhundert



**Tycho Brahe
1572**

HEUTE



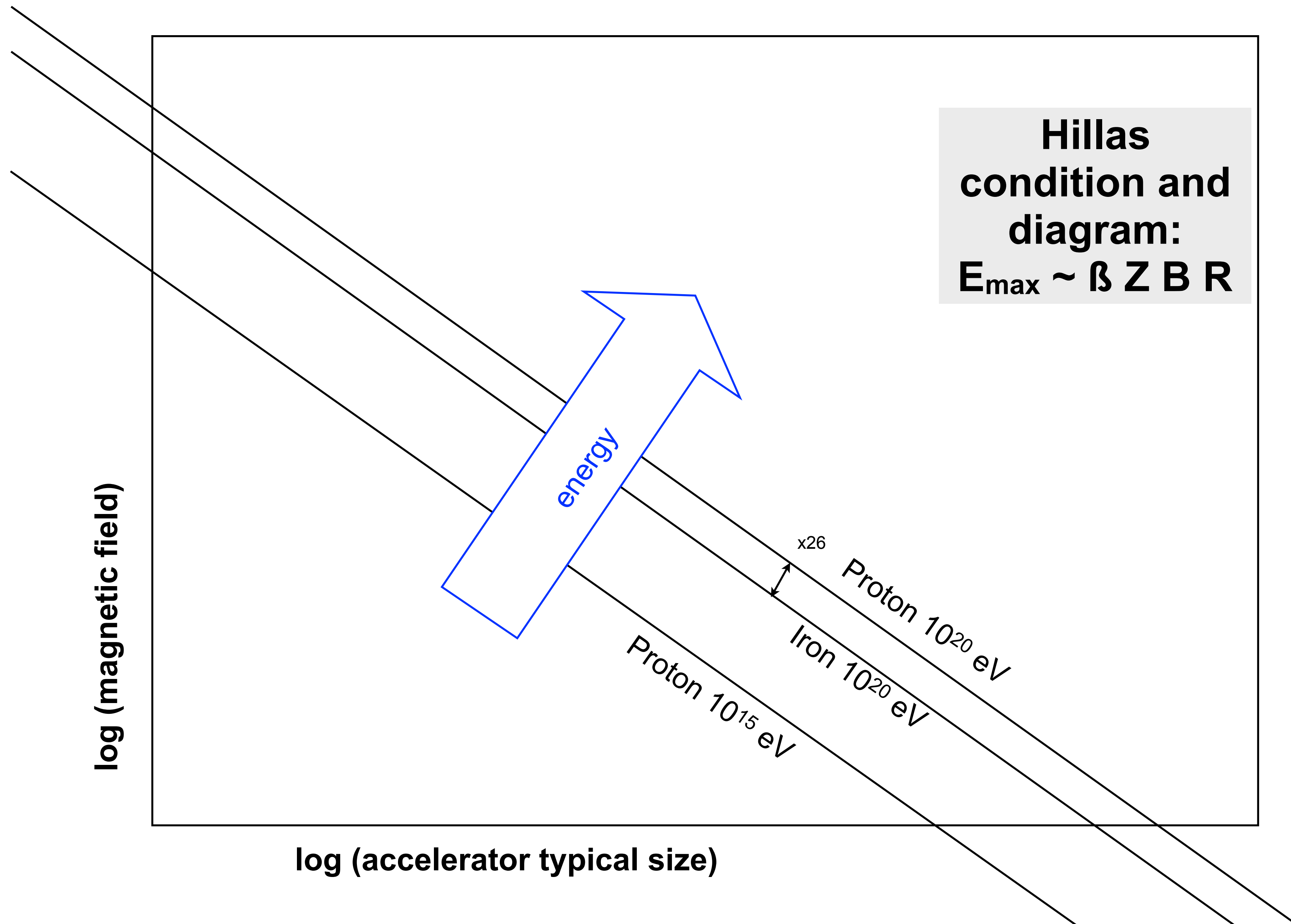
CAS A

Kann dies ein kosmischer Beschleuniger sein?

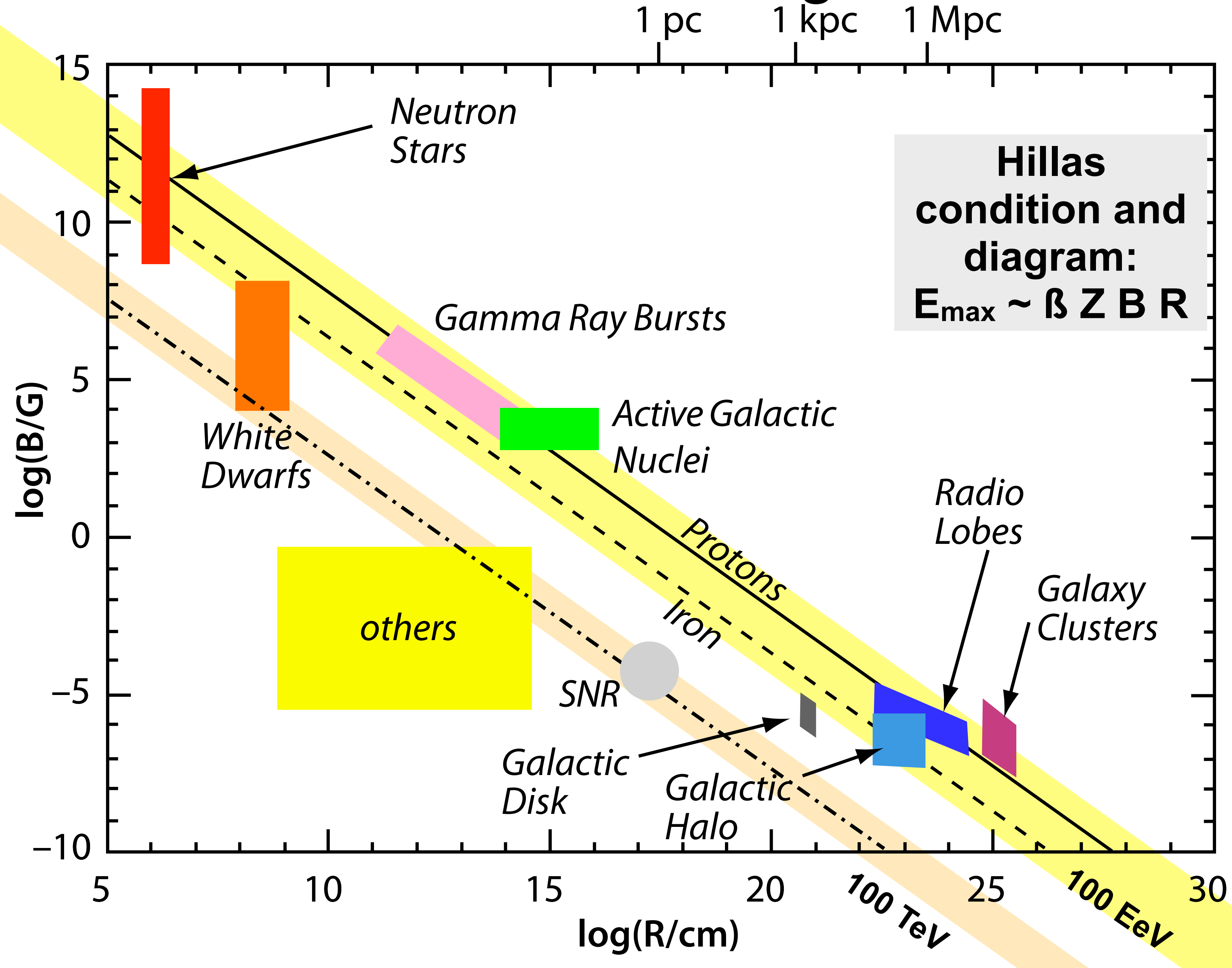


Tycho Brahe
1572

Basic conditions for electromagnetic acceleration

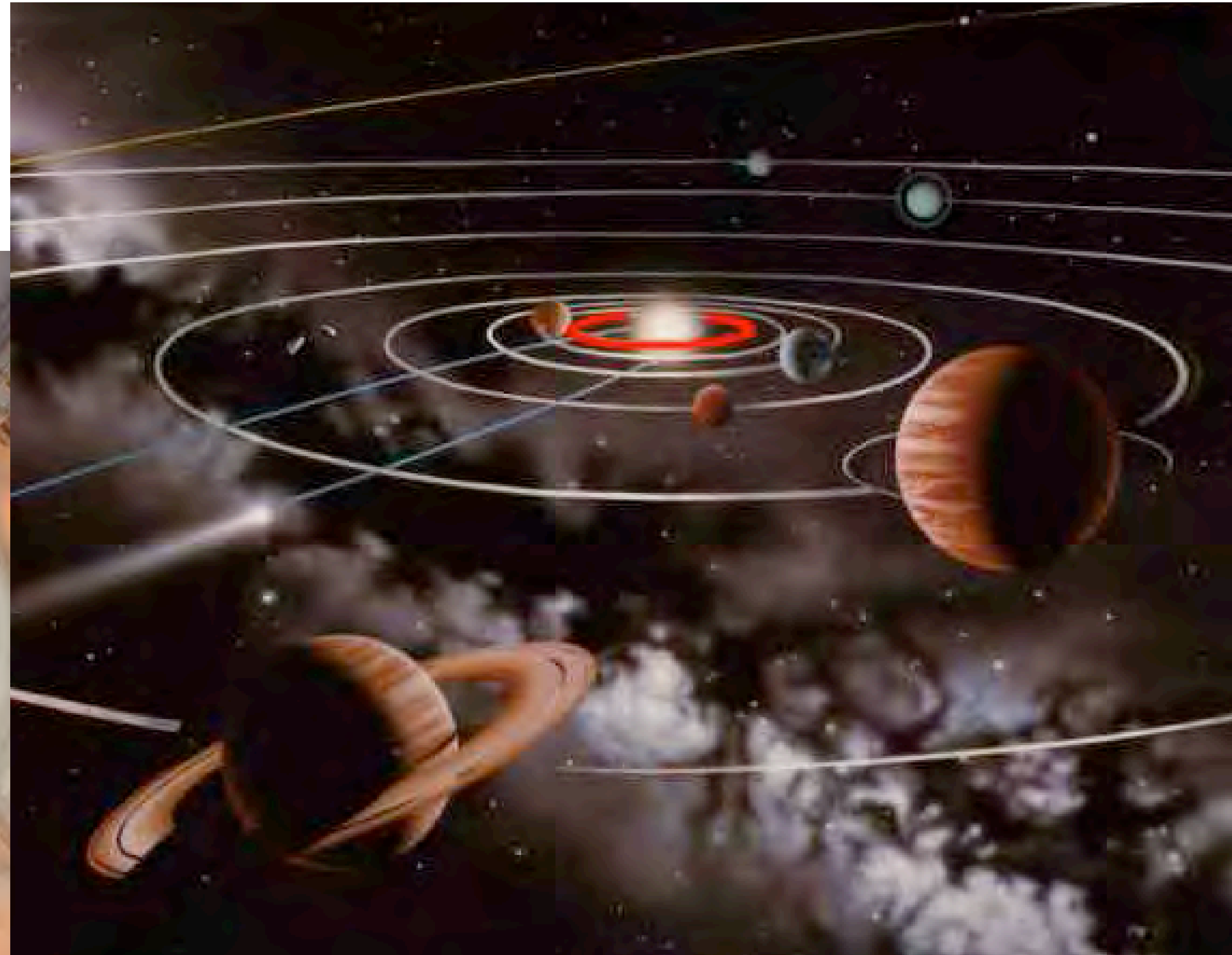


Basic conditions for electromagnetic acceleration



Irdische Technologie für 10^{20} eV ??? LHC-Beschleunigerring müsste den Umfang der Merkur-Umlaufbahn haben!

Large Hadron Collider (LHC),
CERN, Genf; 27 km Umfang,
supraleitende Magnete

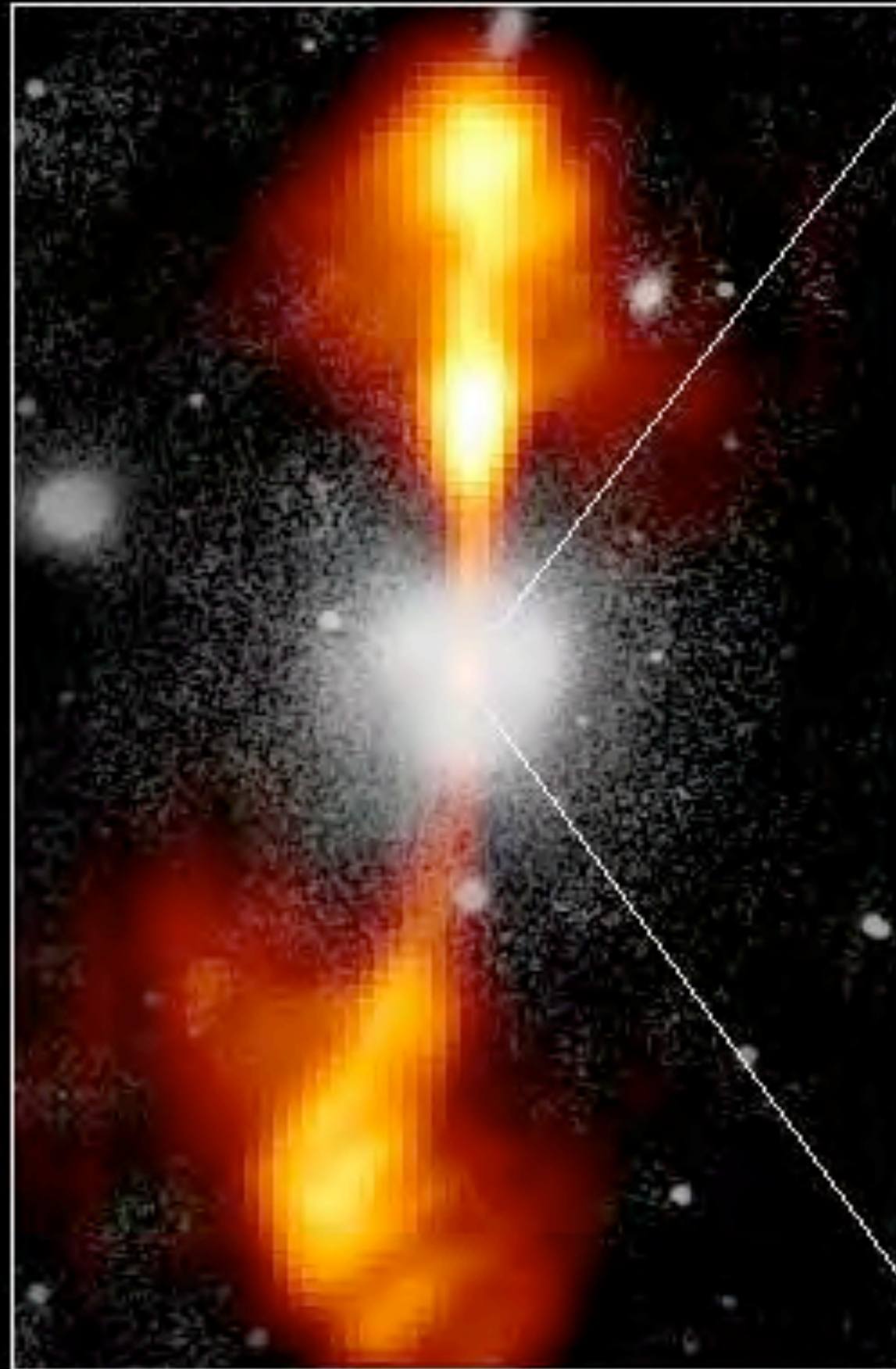


Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope

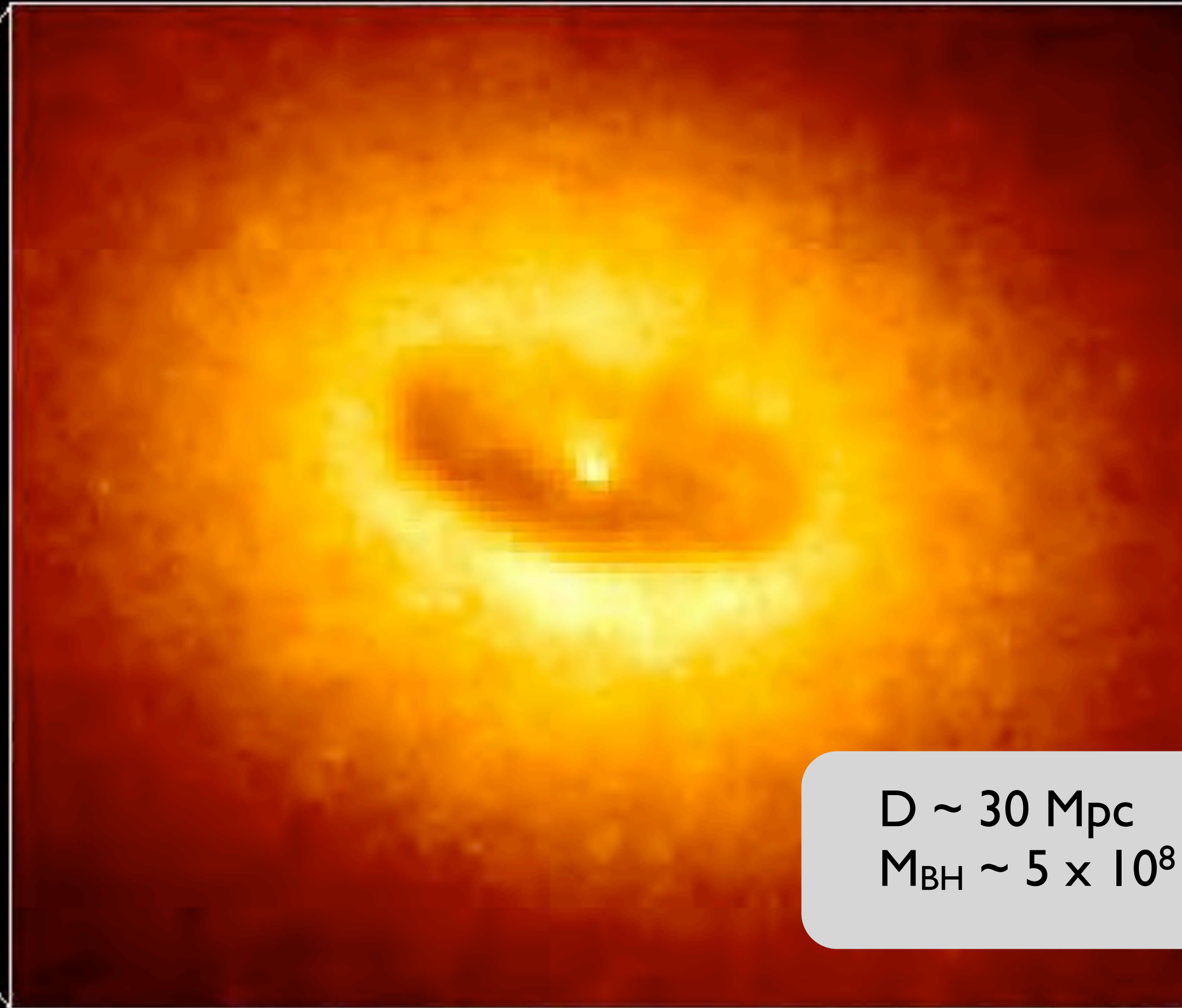
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS

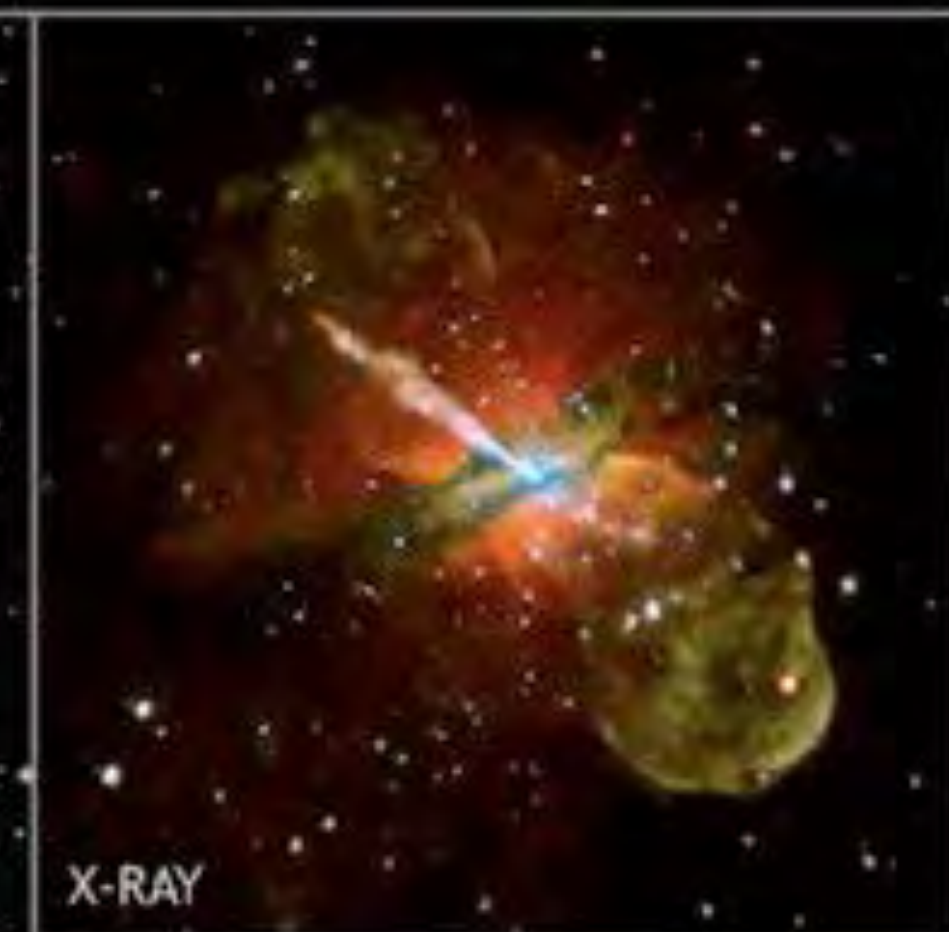
$D \sim 30 \text{ Mpc}$
 $M_{\text{BH}} \sim 5 \times 10^8 M_{\text{solar}}$

CEN A

CEN A



COMPOSITE



X-RAY



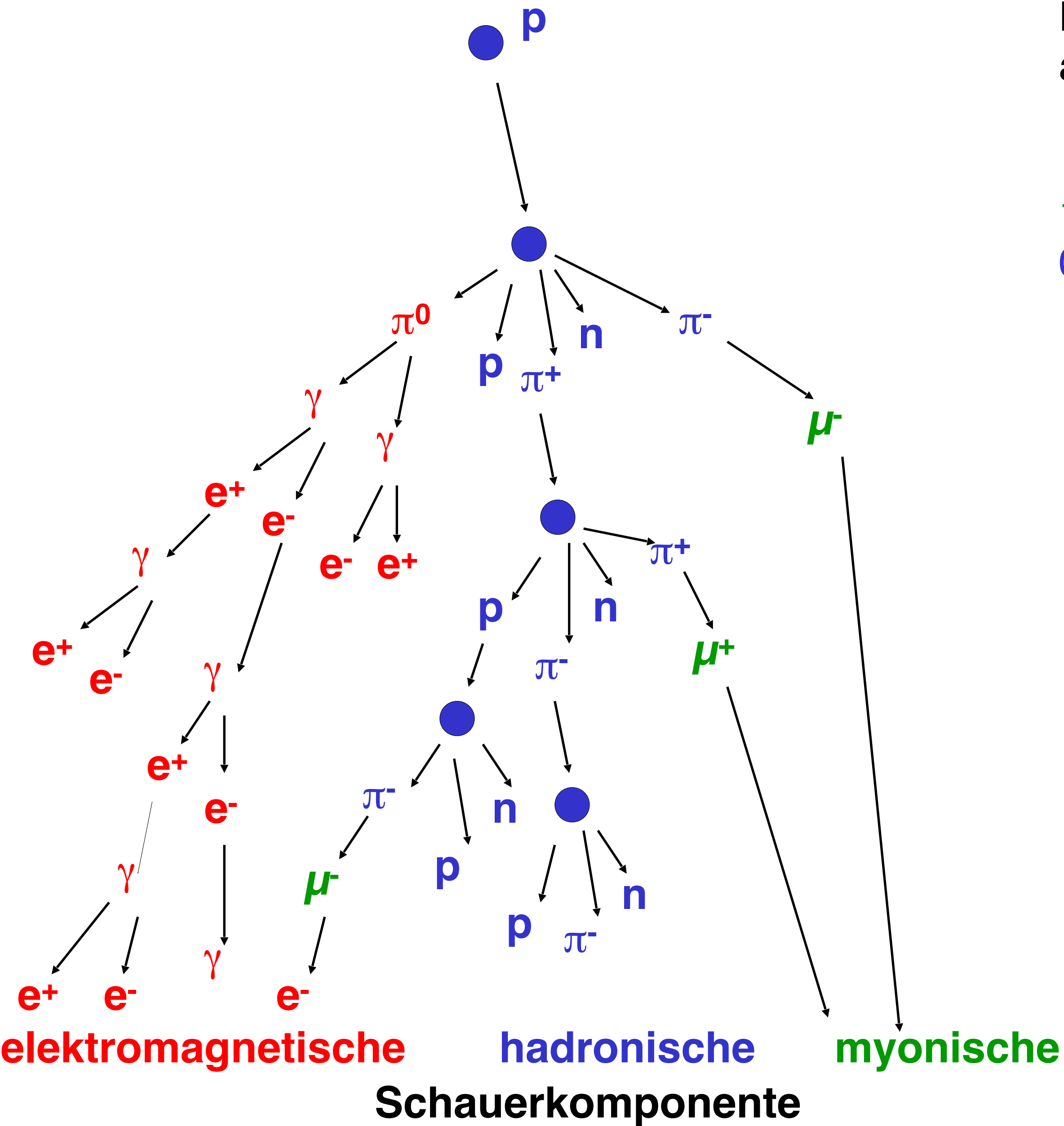
RADIO



OPTICAL

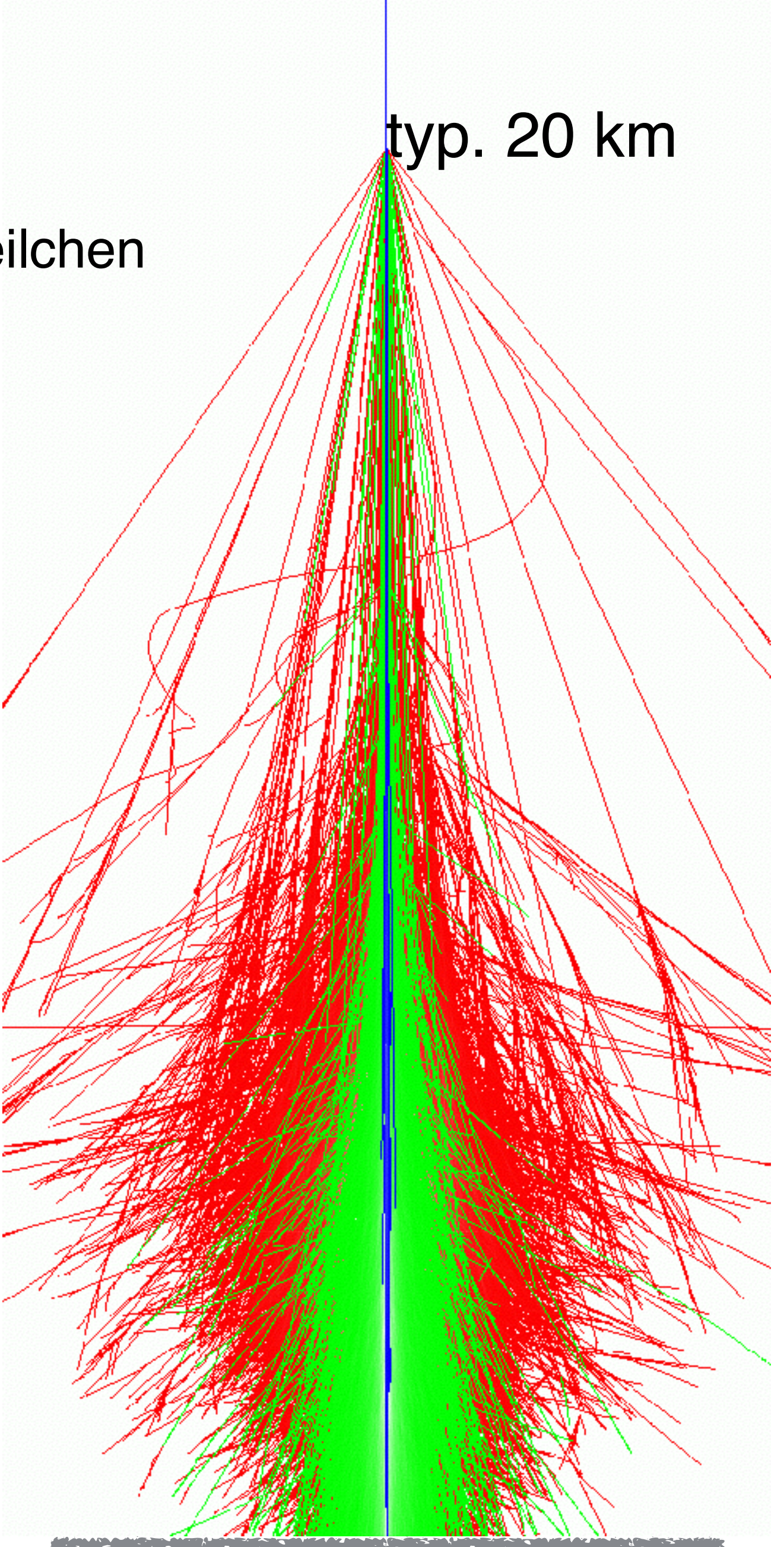
Luftschauer

Luftschauer



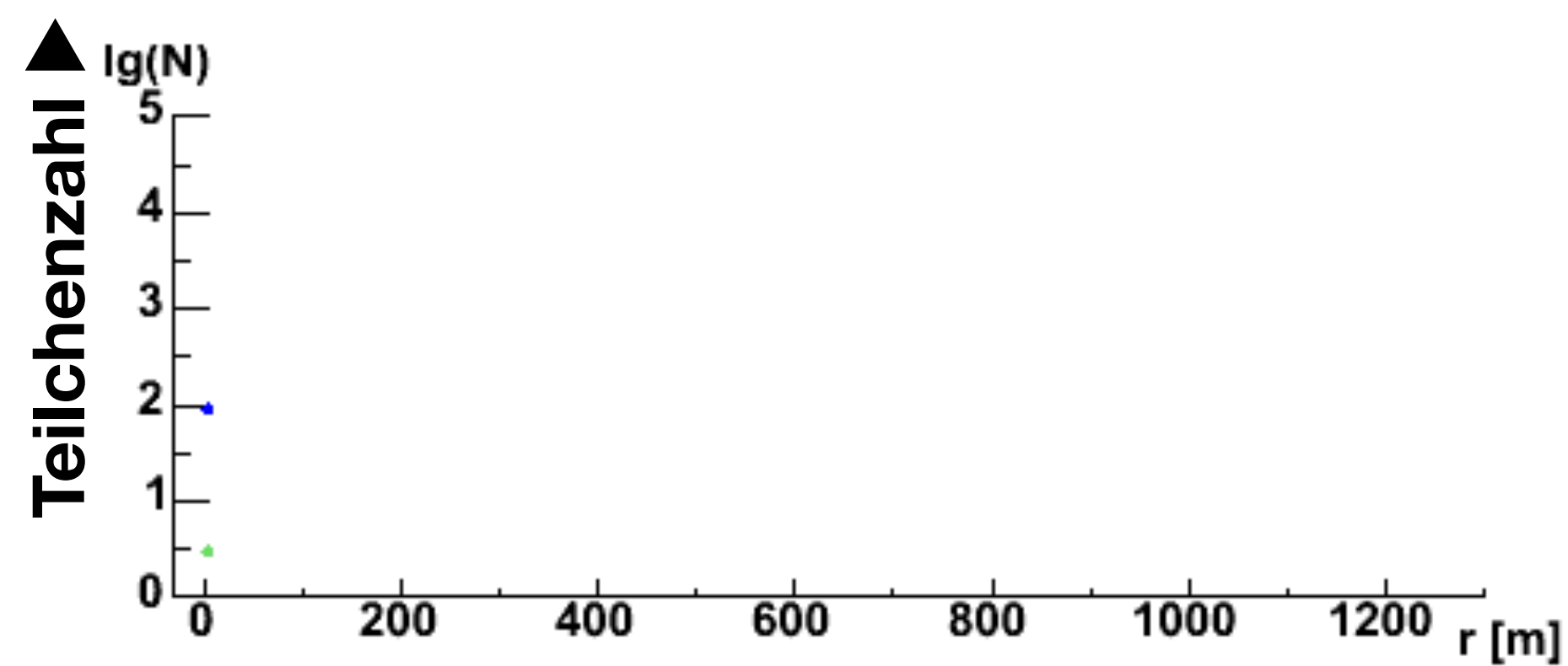
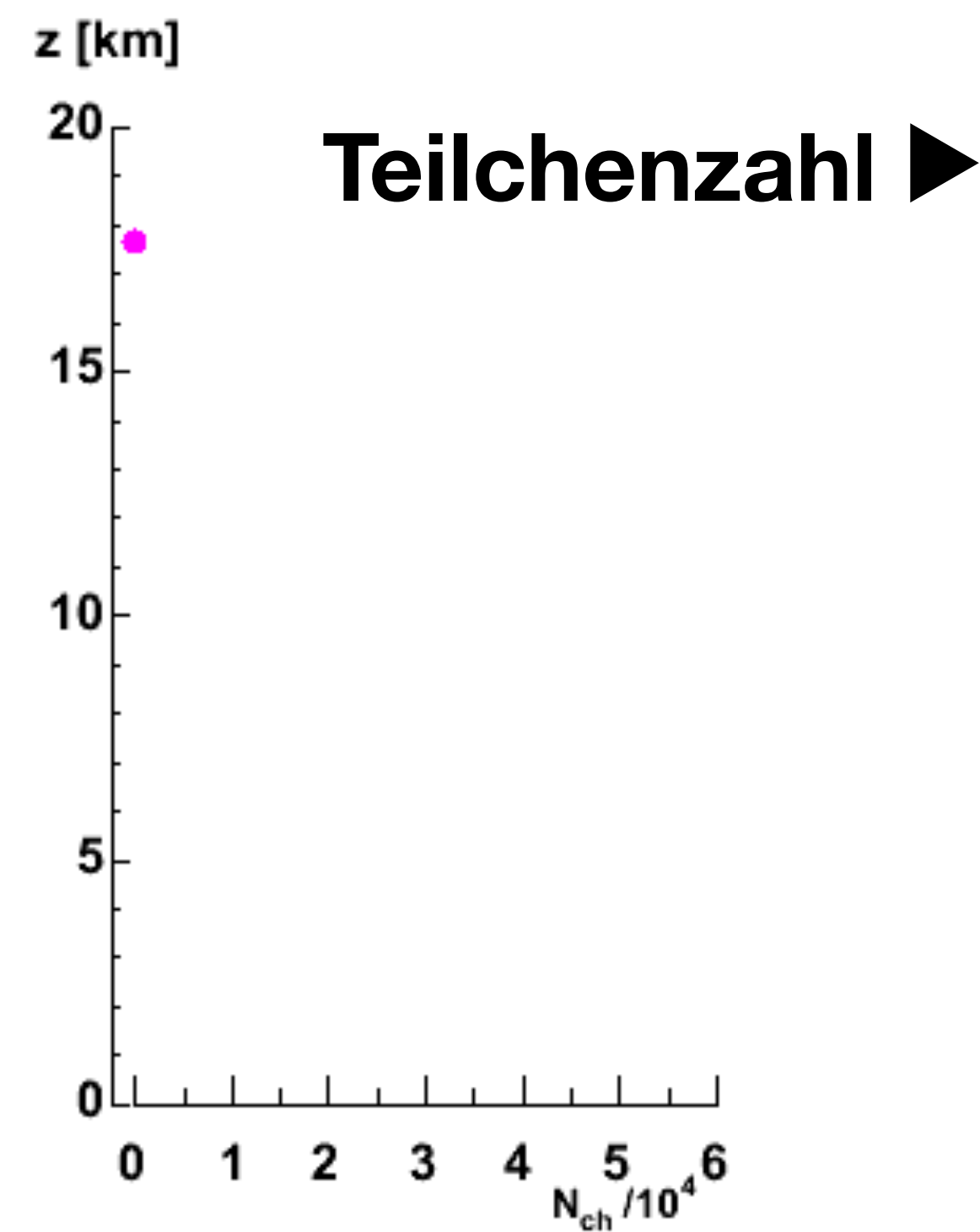
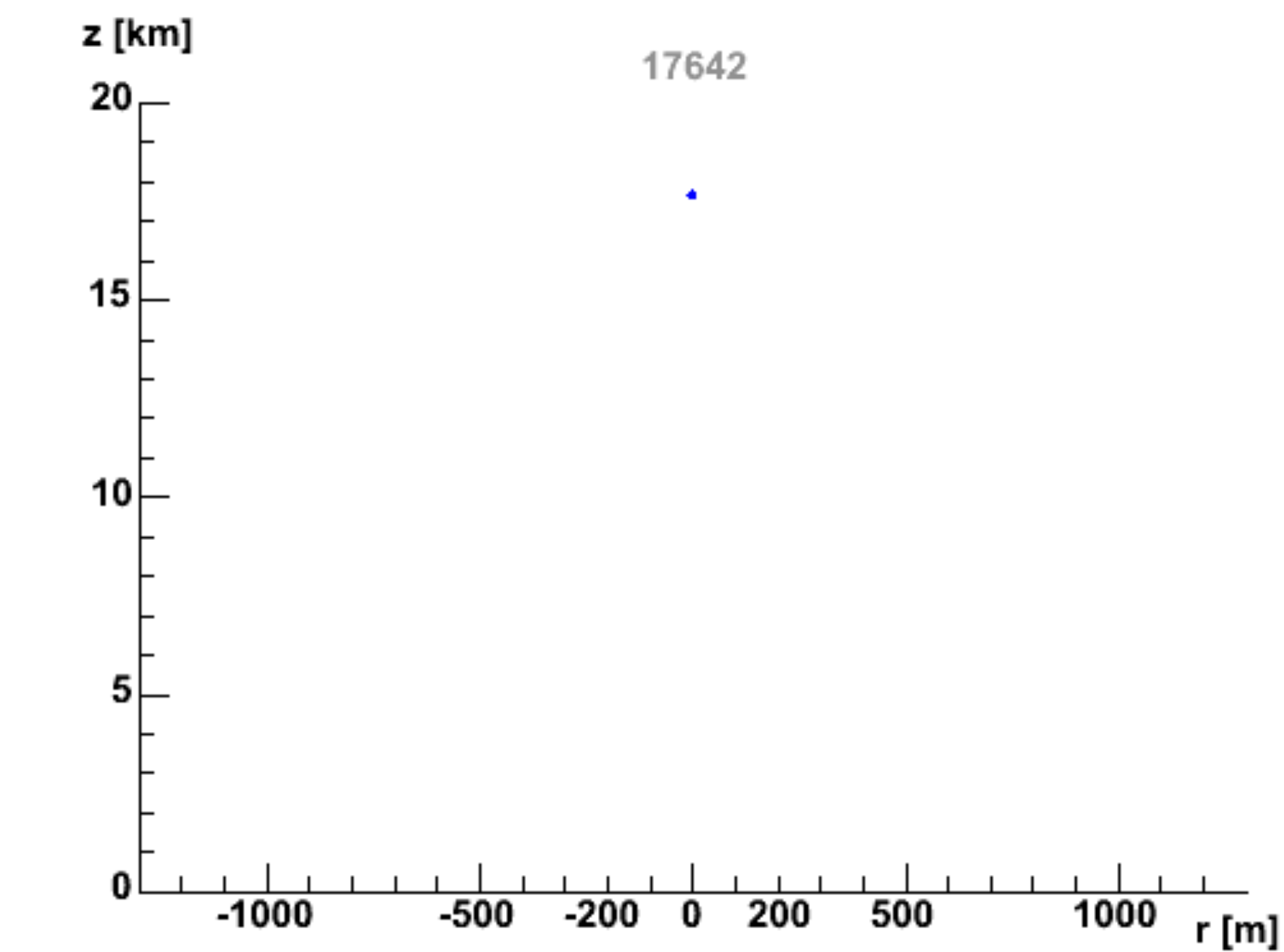
Proton 10^{15} eV:
am Erdboden 10^6 Teilchen
80% Photonen
18% Elektr./Positr.
1.7% Myonen
0.3% Hadronen

Maximum



hier haben wir Teilchendetektoren

SIMULATION im COMPUTER



Proton 10^{14} eV

$h^{1st} = 17642$ m

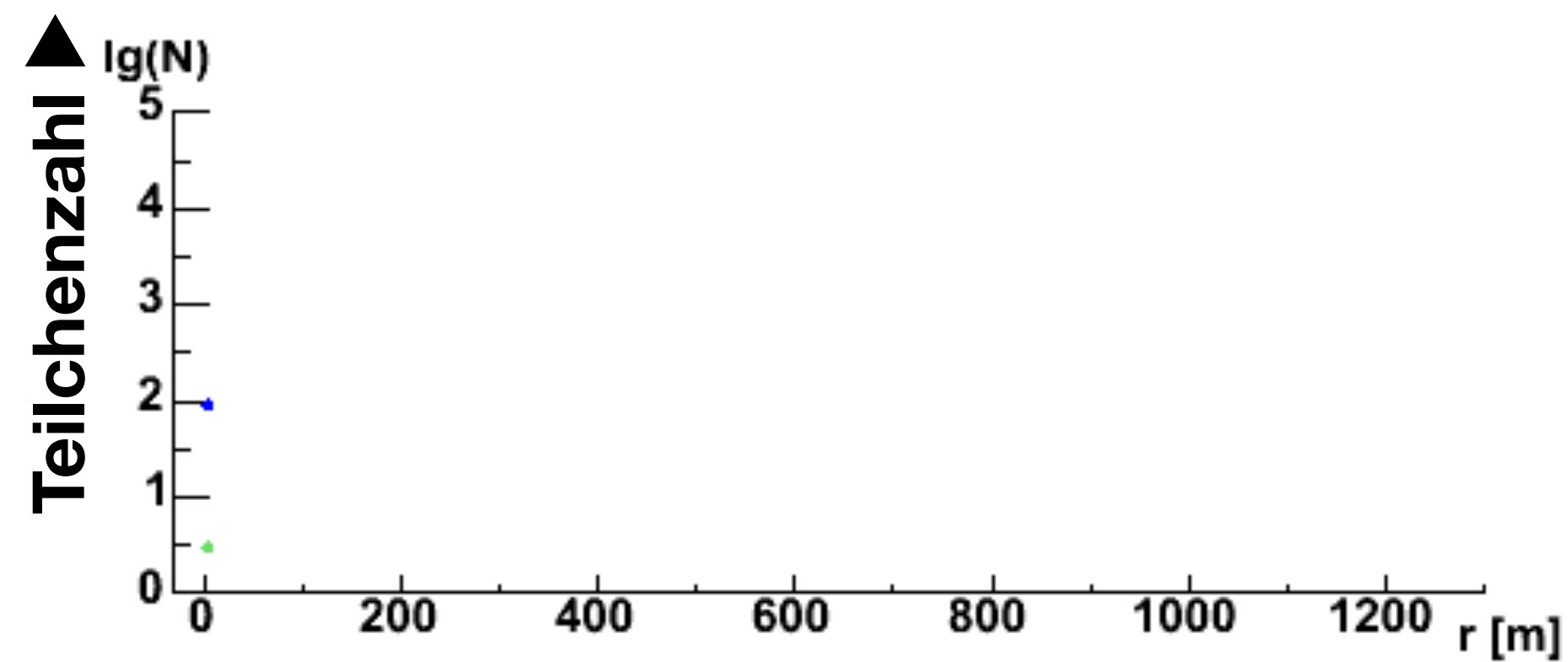
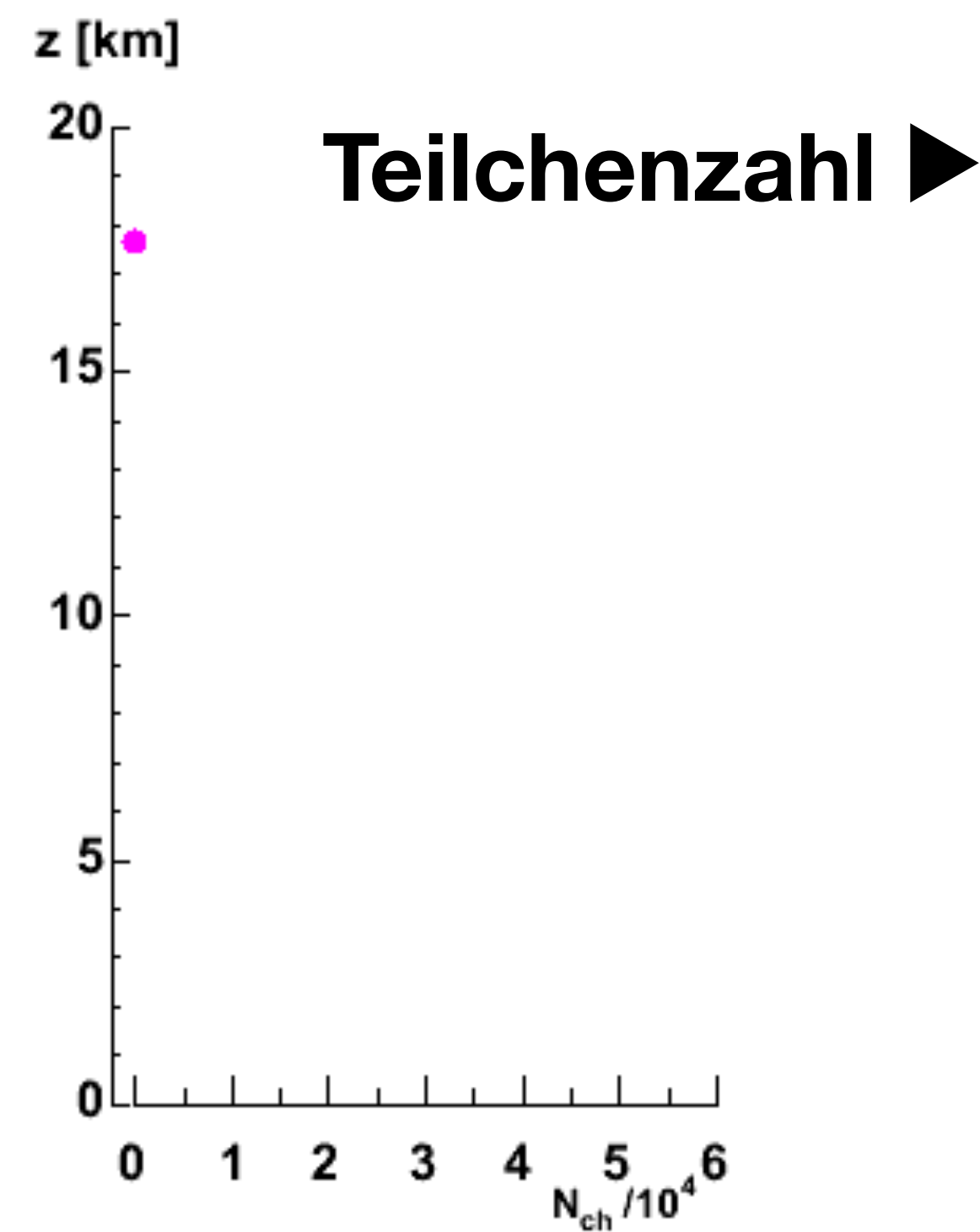
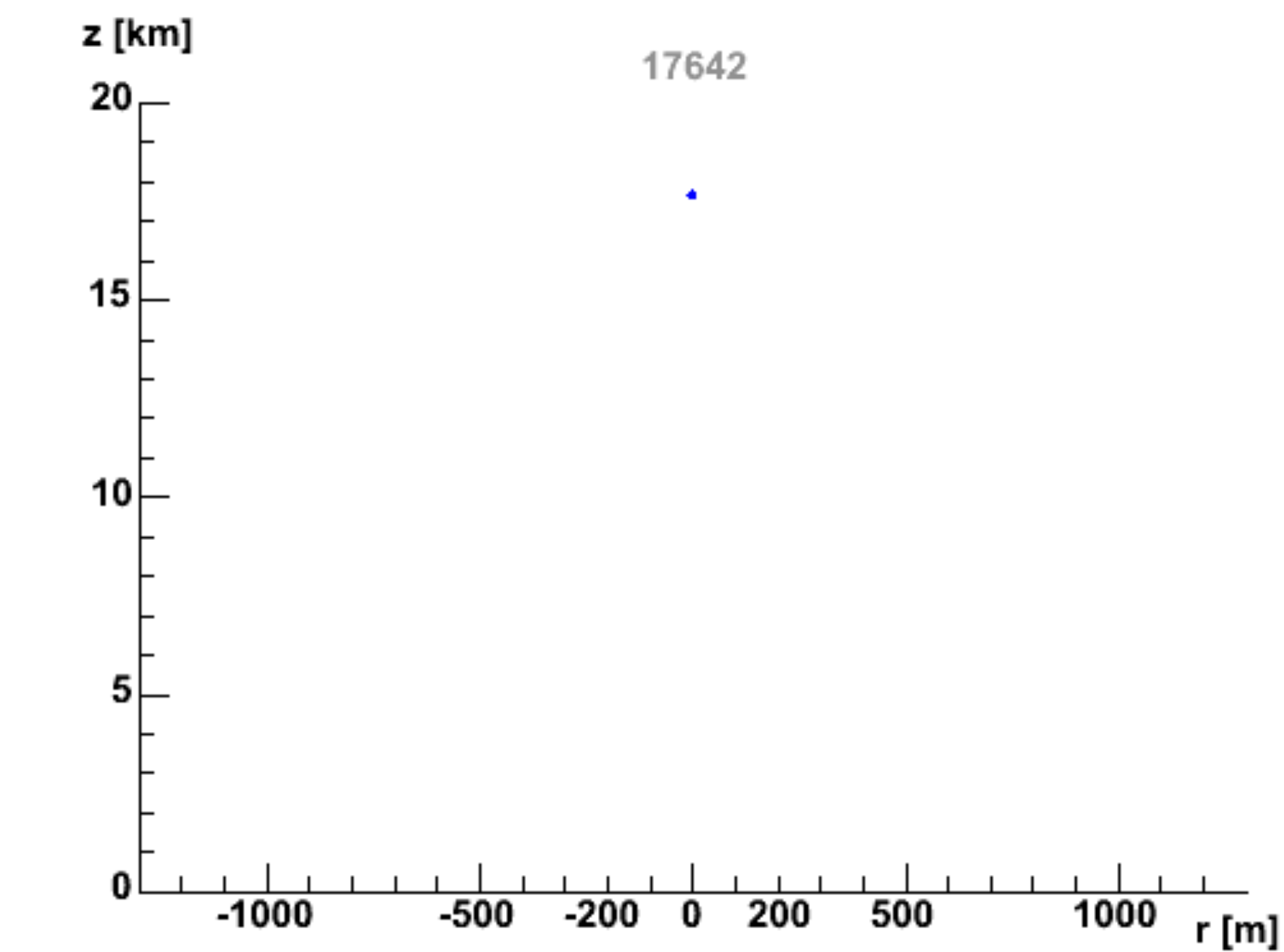
hadrons muons

neutrons electrs

J.Oehlschlaeger,R.Engel,FZKarlsruhe

Abstand von der Achse ►

SIMULATION im COMPUTER



Proton 10^{14} eV

$h^{1st} = 17642$ m

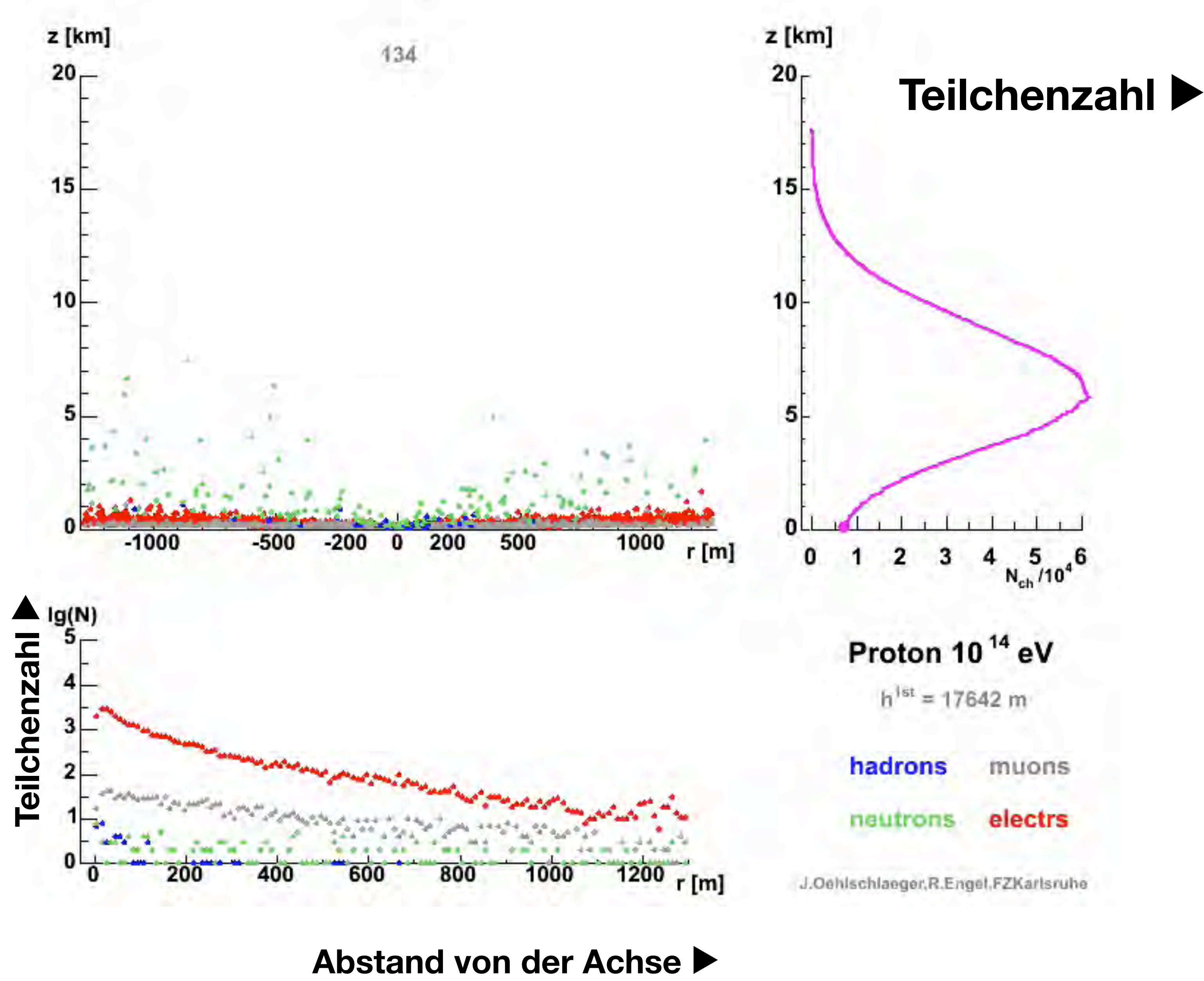
hadrons muons

neutrons electrs

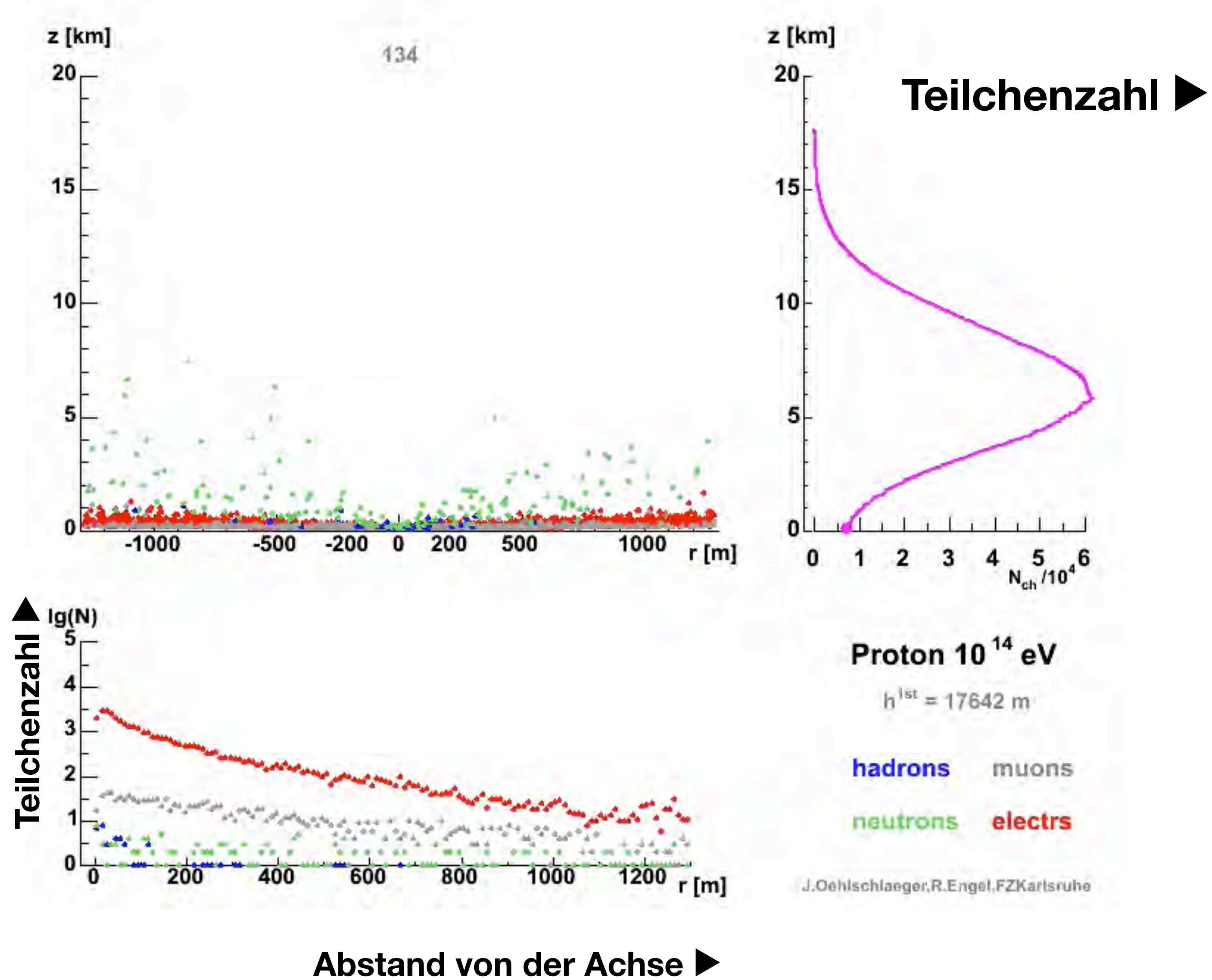
J.Oehlschlaeger,R.Engel,FZKarlsruhe

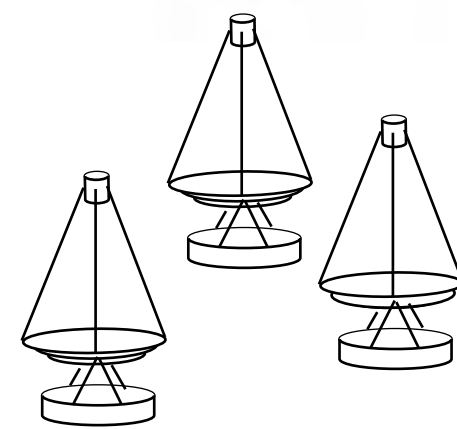
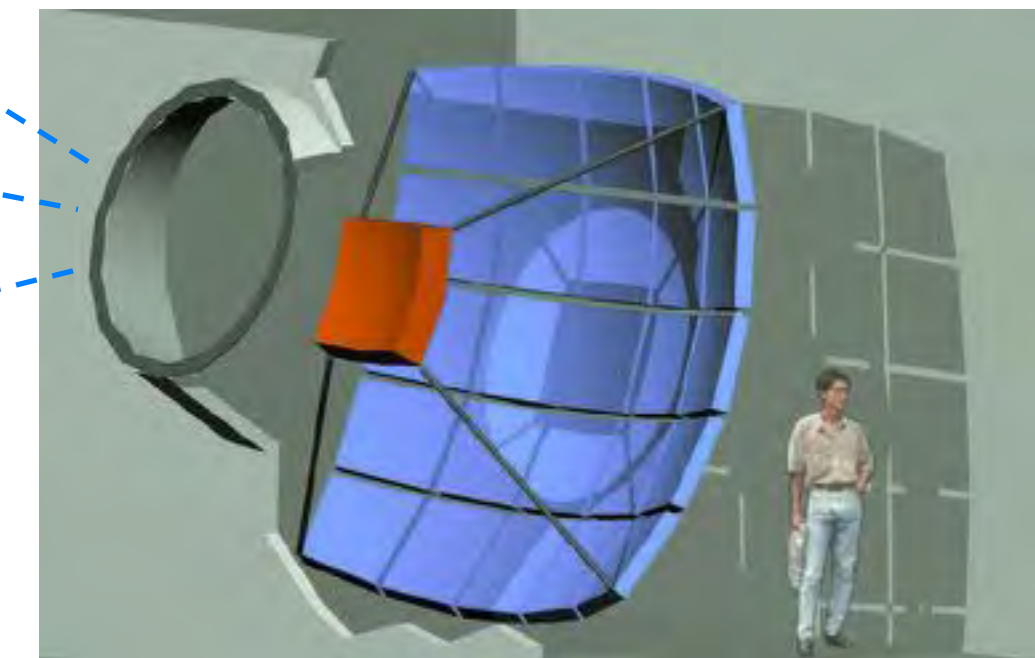
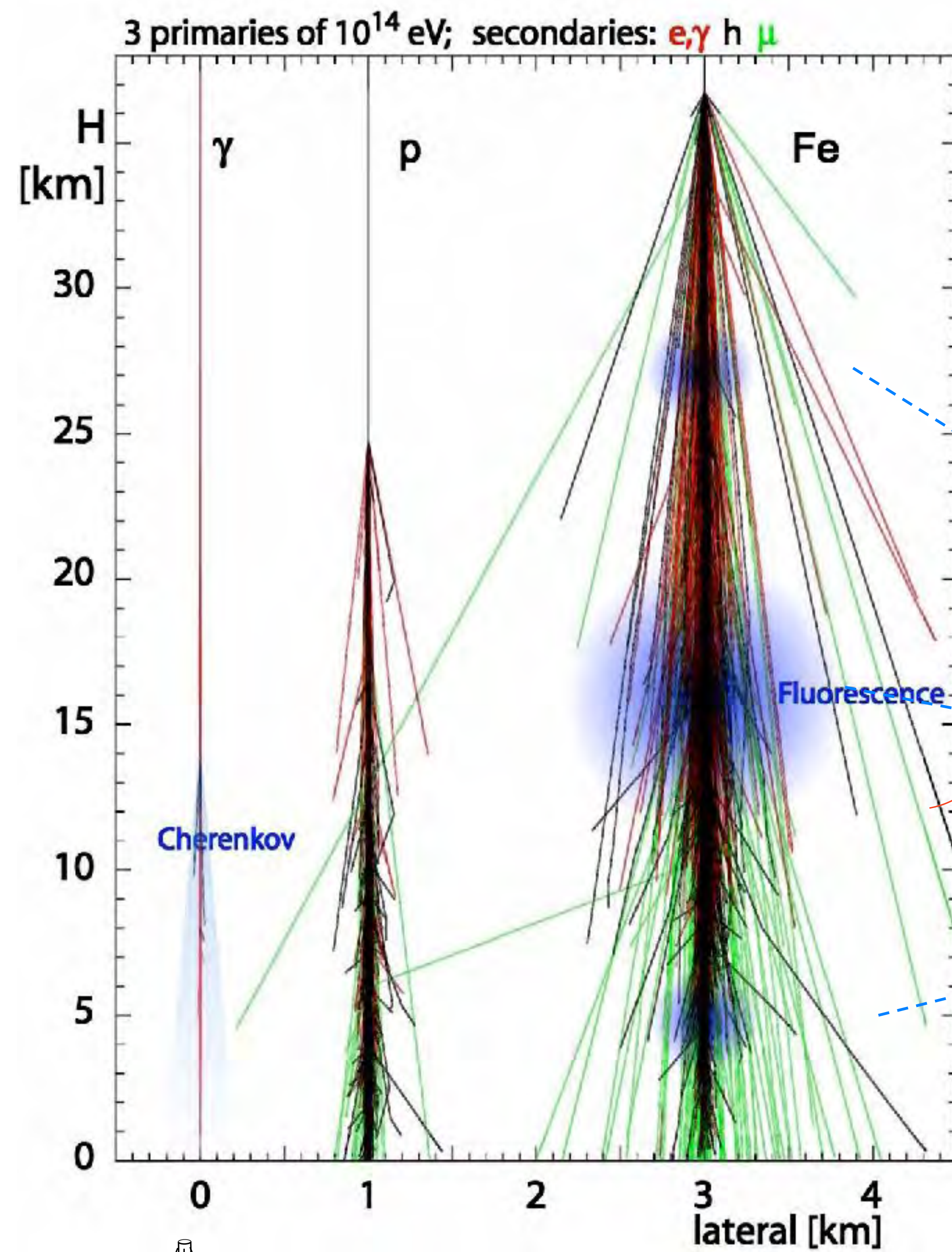
Abstand von der Achse ►

SIMULATION im COMPUTER



SIMULATION im COMPUTER





KASCADE (Grande)

Detektorfelder: KASCADE



Fläche $\sim 0.04 \text{ km}^2$,
252 Teilchendetektoren

Kascade Cosmic Ray Data Center KCDC

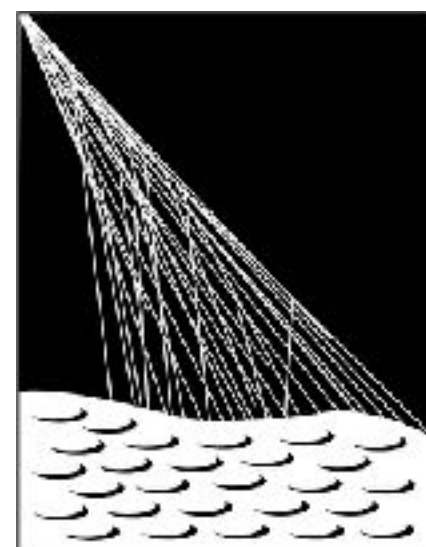
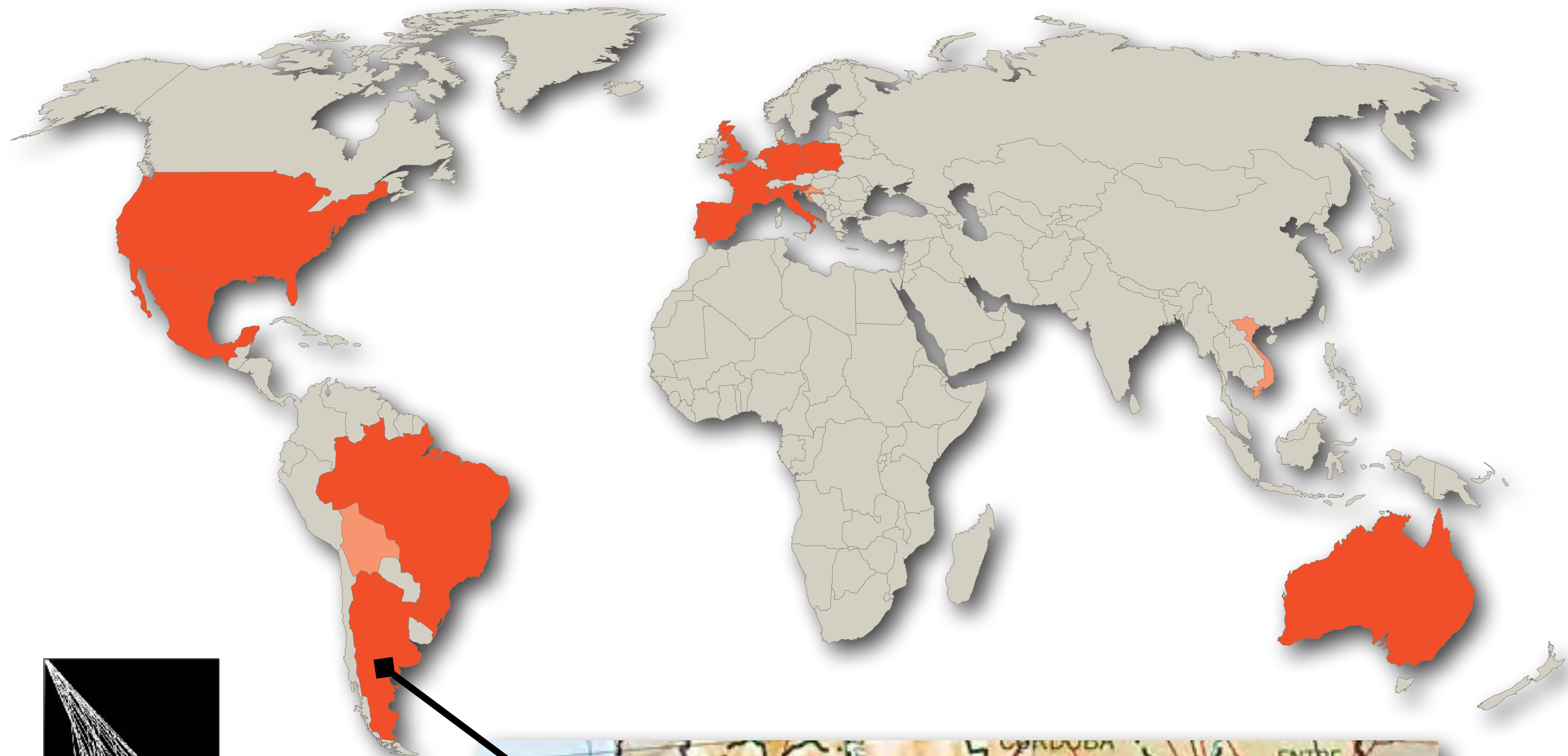


offener Zugang zu den Forschungsdaten

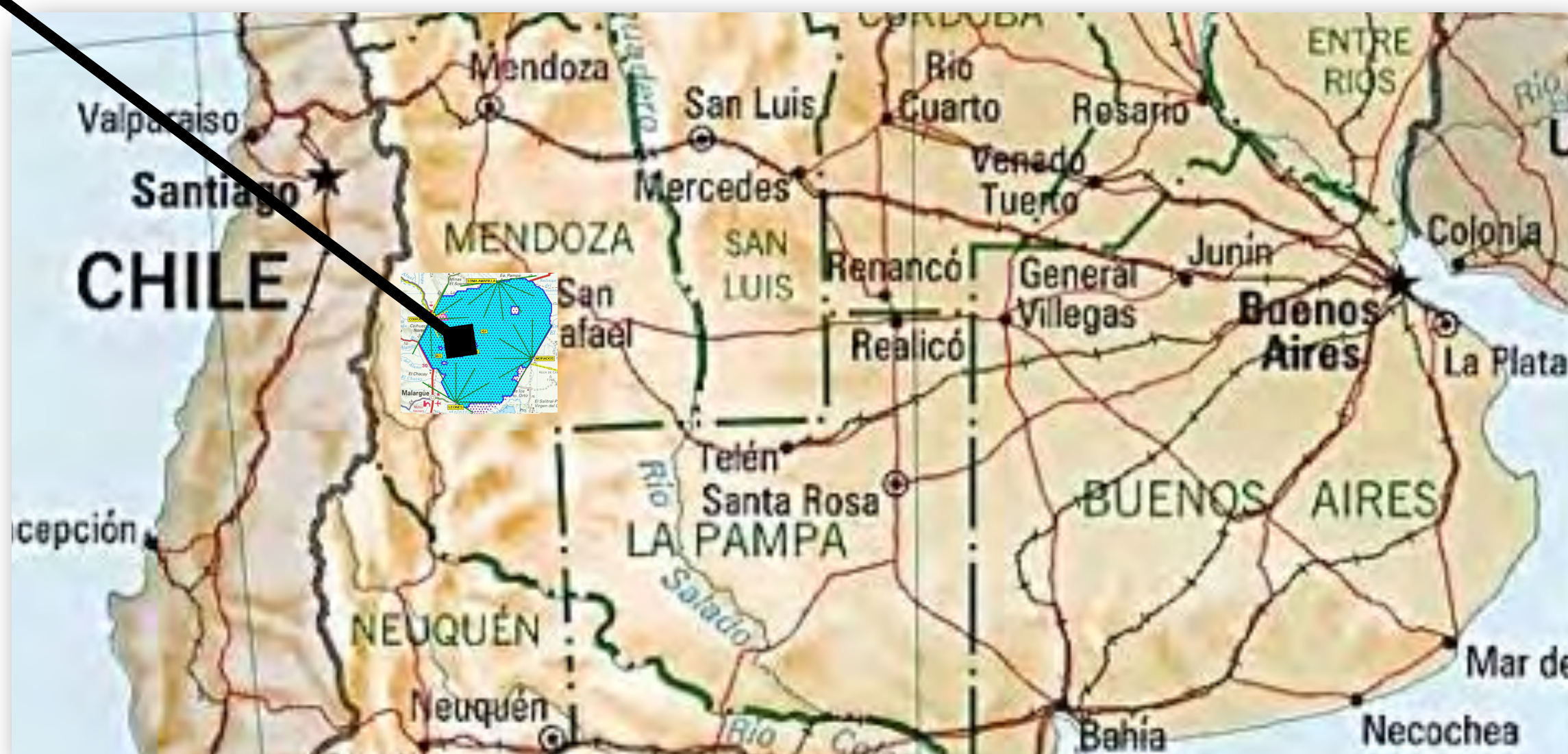
<https://kcdc.ikp.kit.edu>

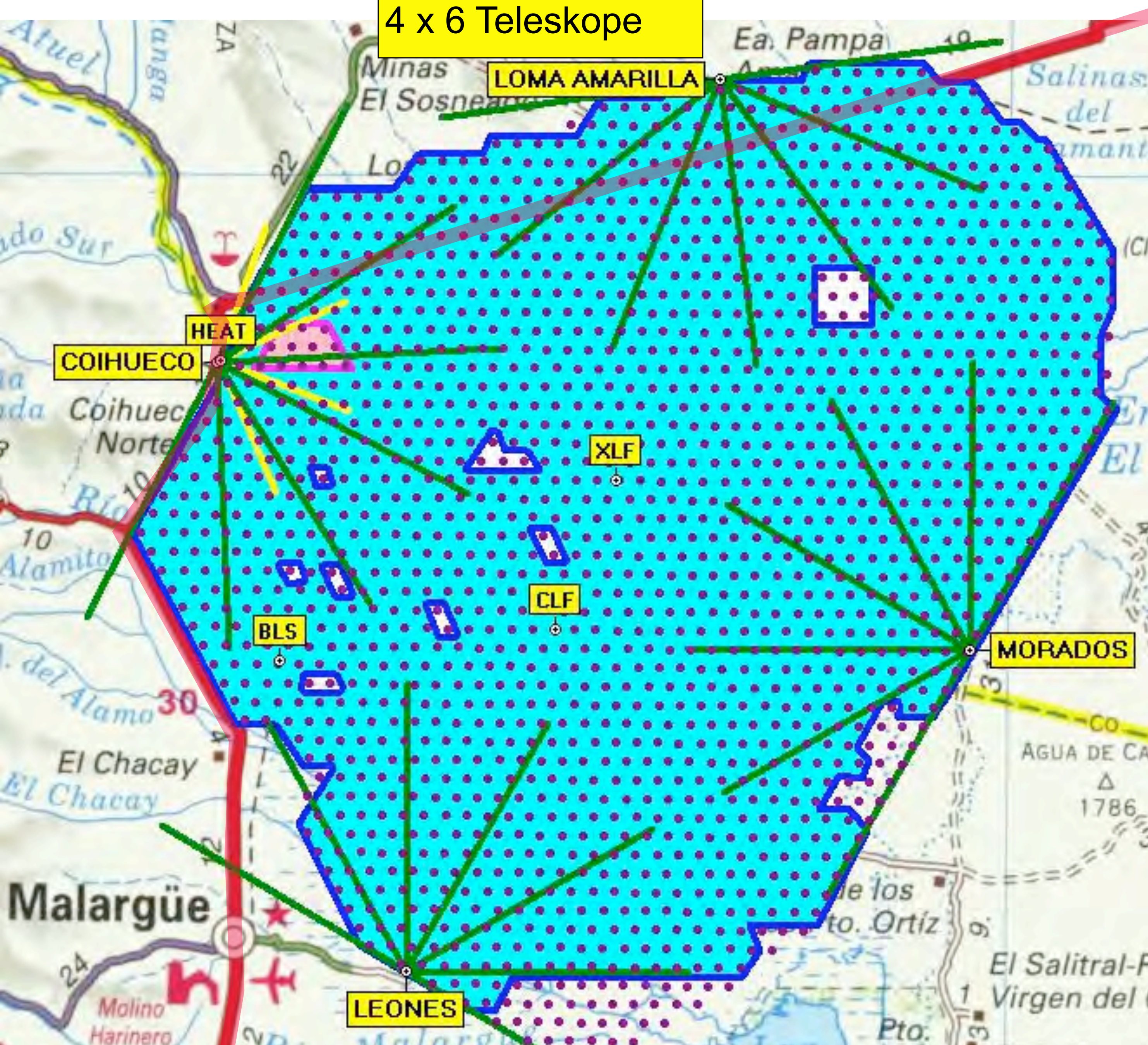


Pierre Auger-Observatorium



PIERRE
AUGER
OBSERVATORY





1600 Wassertank-Detektoren auf 3000 km²

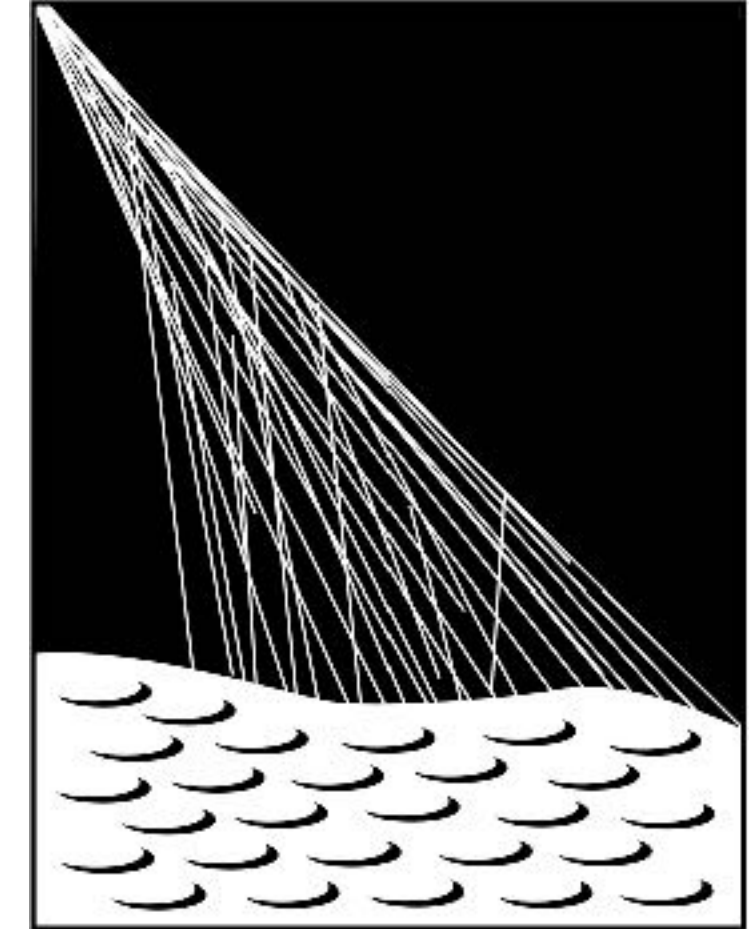
55 M\$ Plan
1999
50 M\$ Ist 2009

500 Teilnehmer
aus 80
Instituten in 16
Ländern

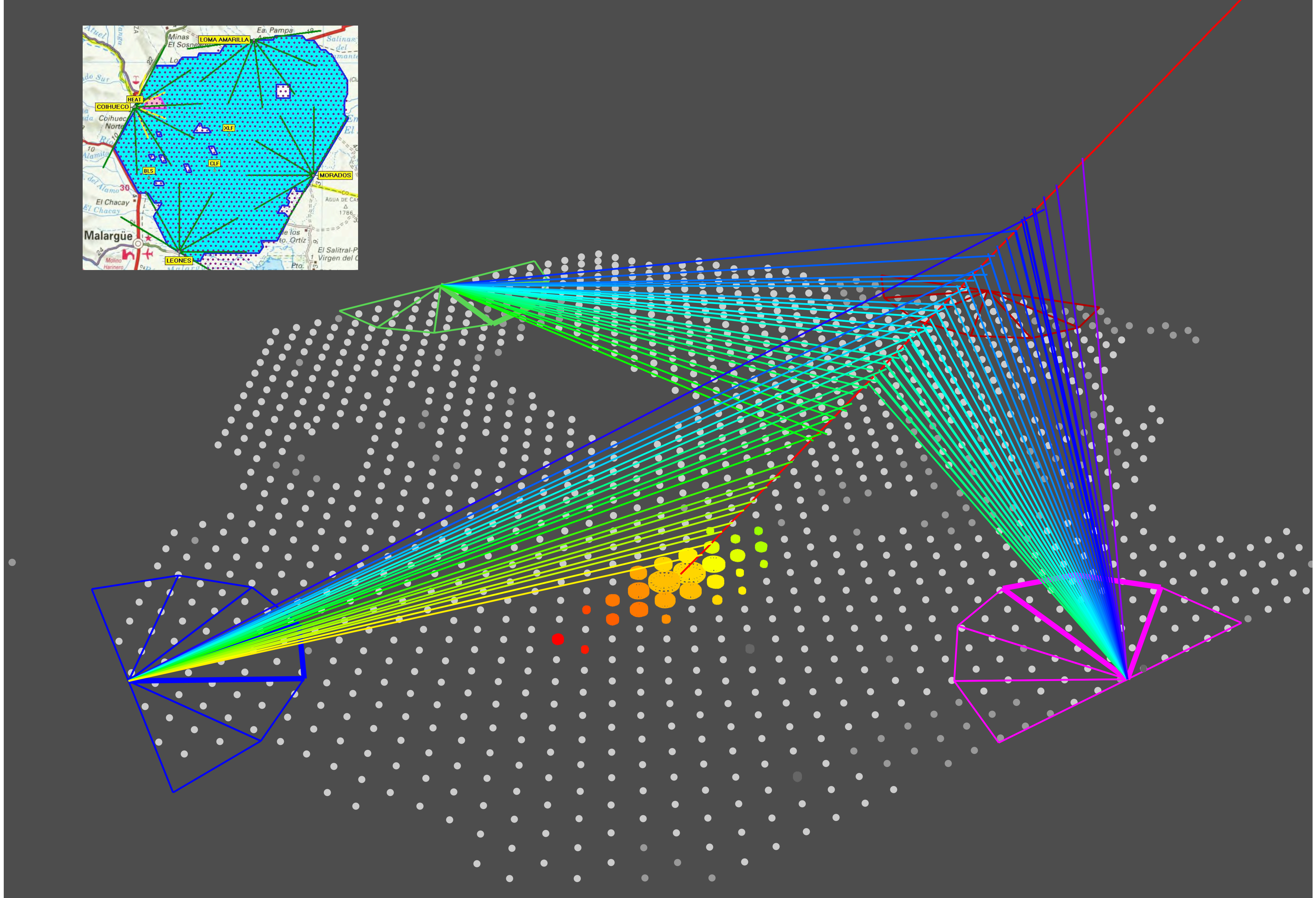
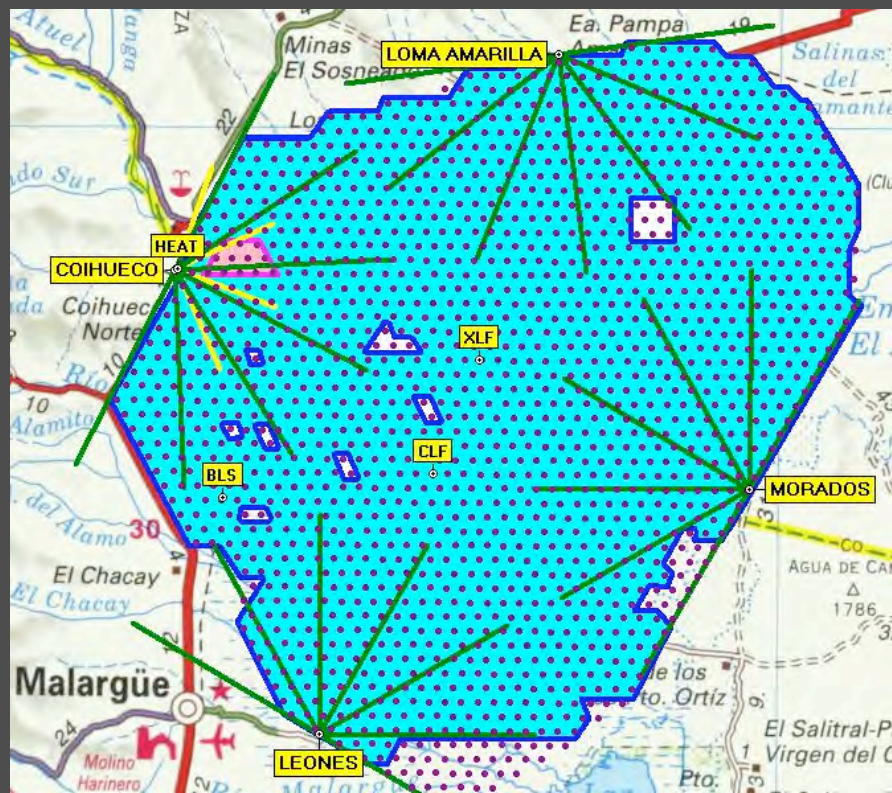
350 Doktor-
arbeiten fertig,
110 laufende

KIT stärkste
Gruppe,
Sprecher,
Management,
intl. 'Bank'

Betriebskosten
2 M\$/a



PIERRE
AUGER
OBSERVATORY



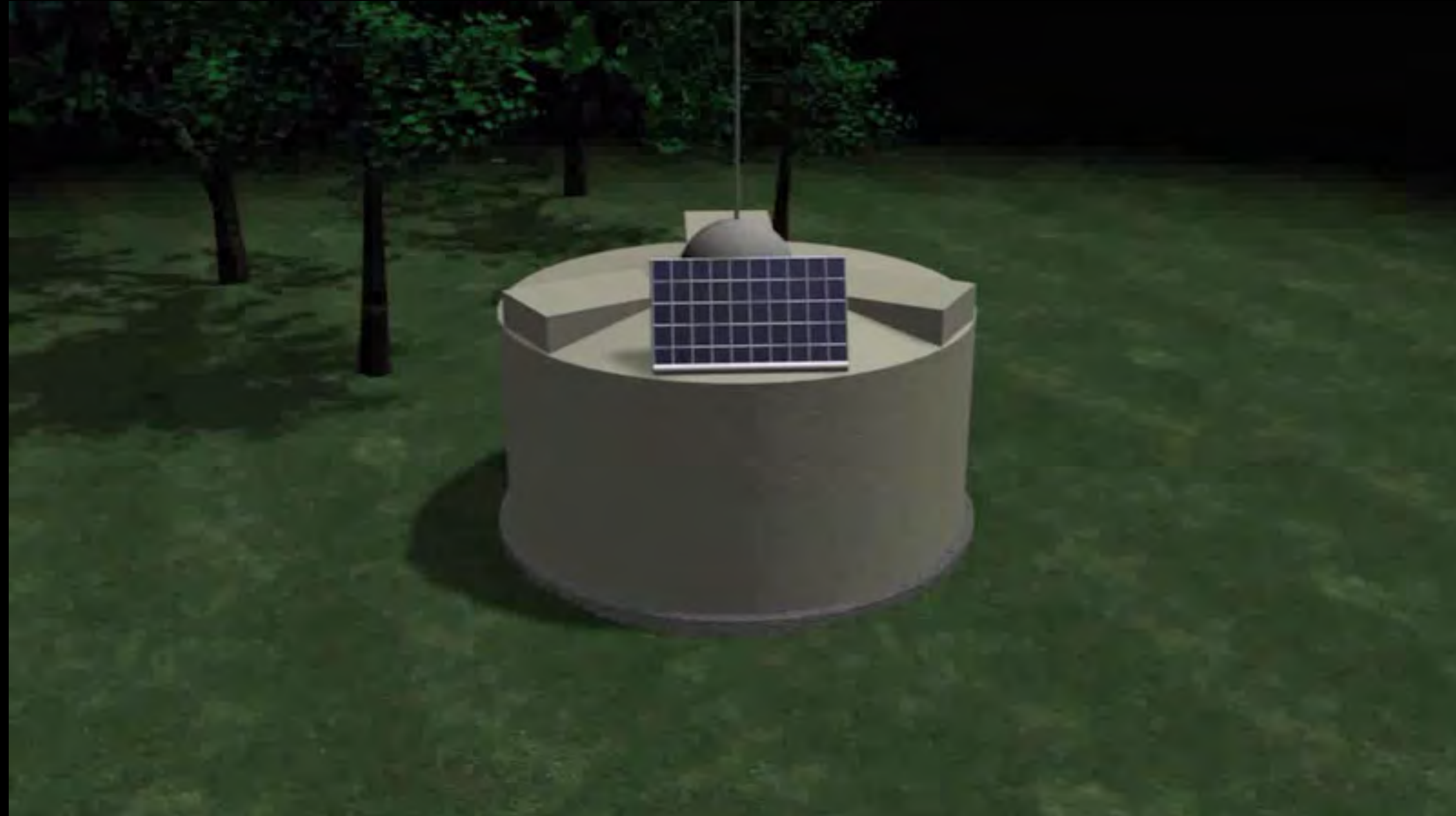


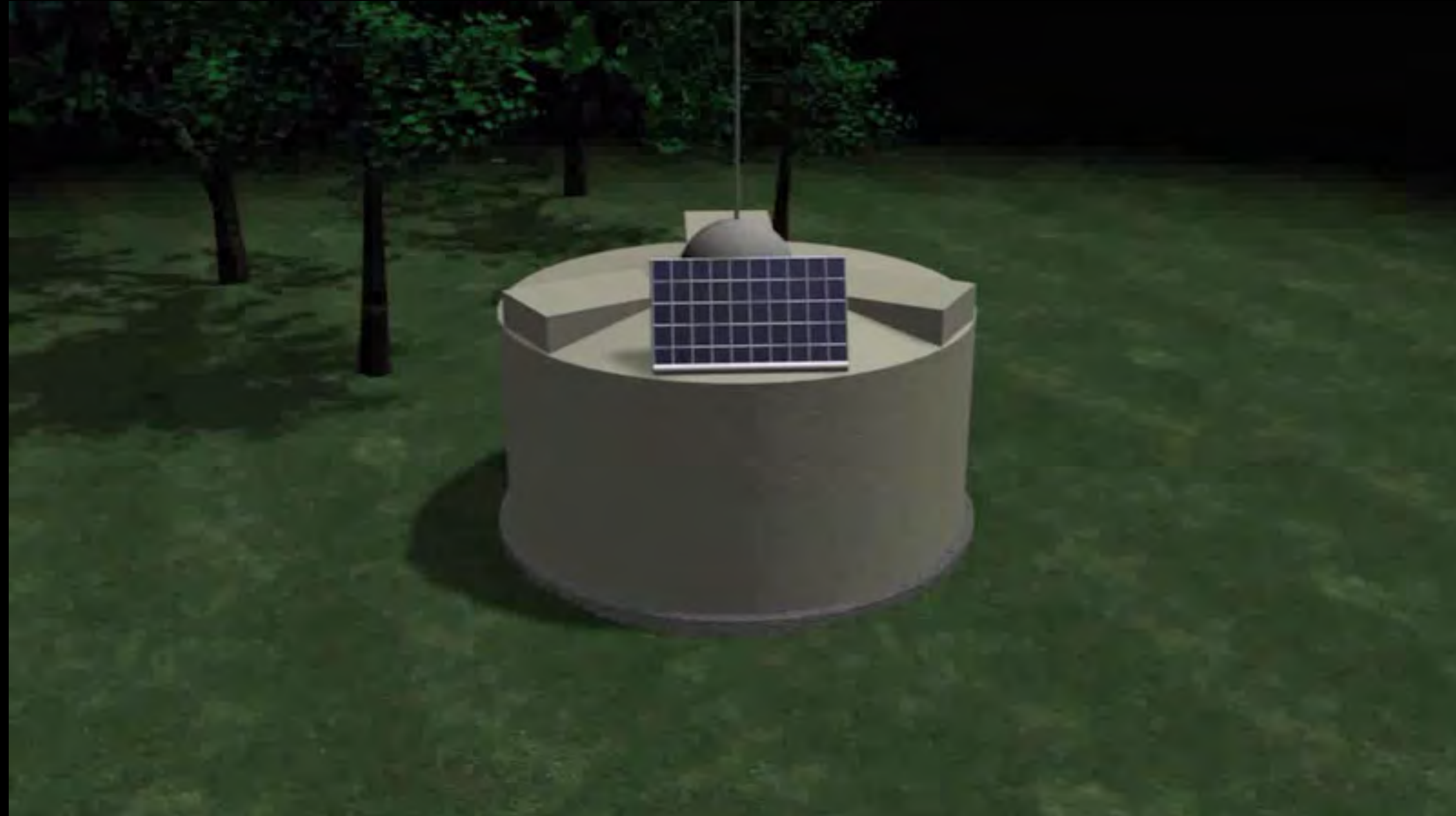


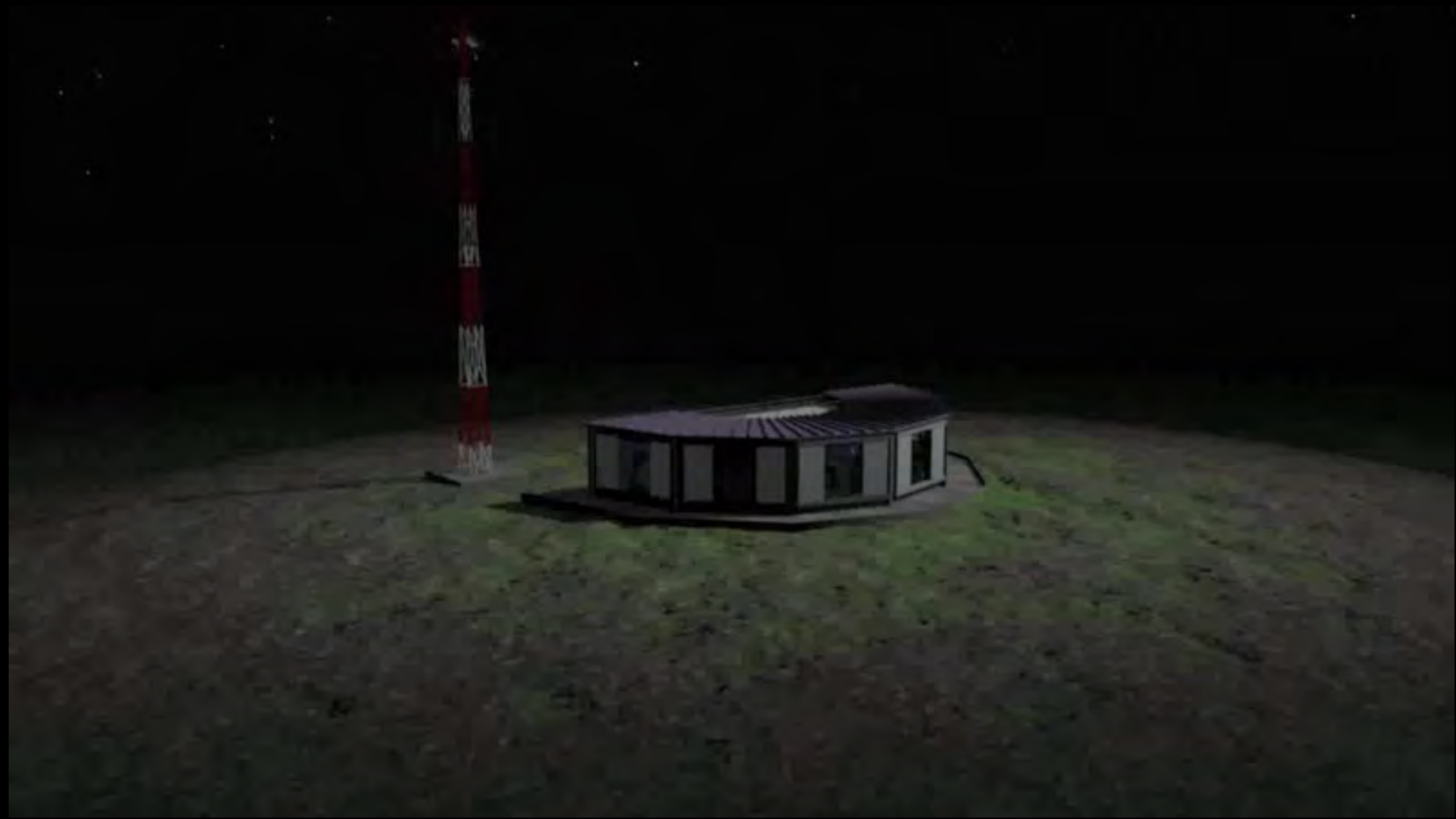


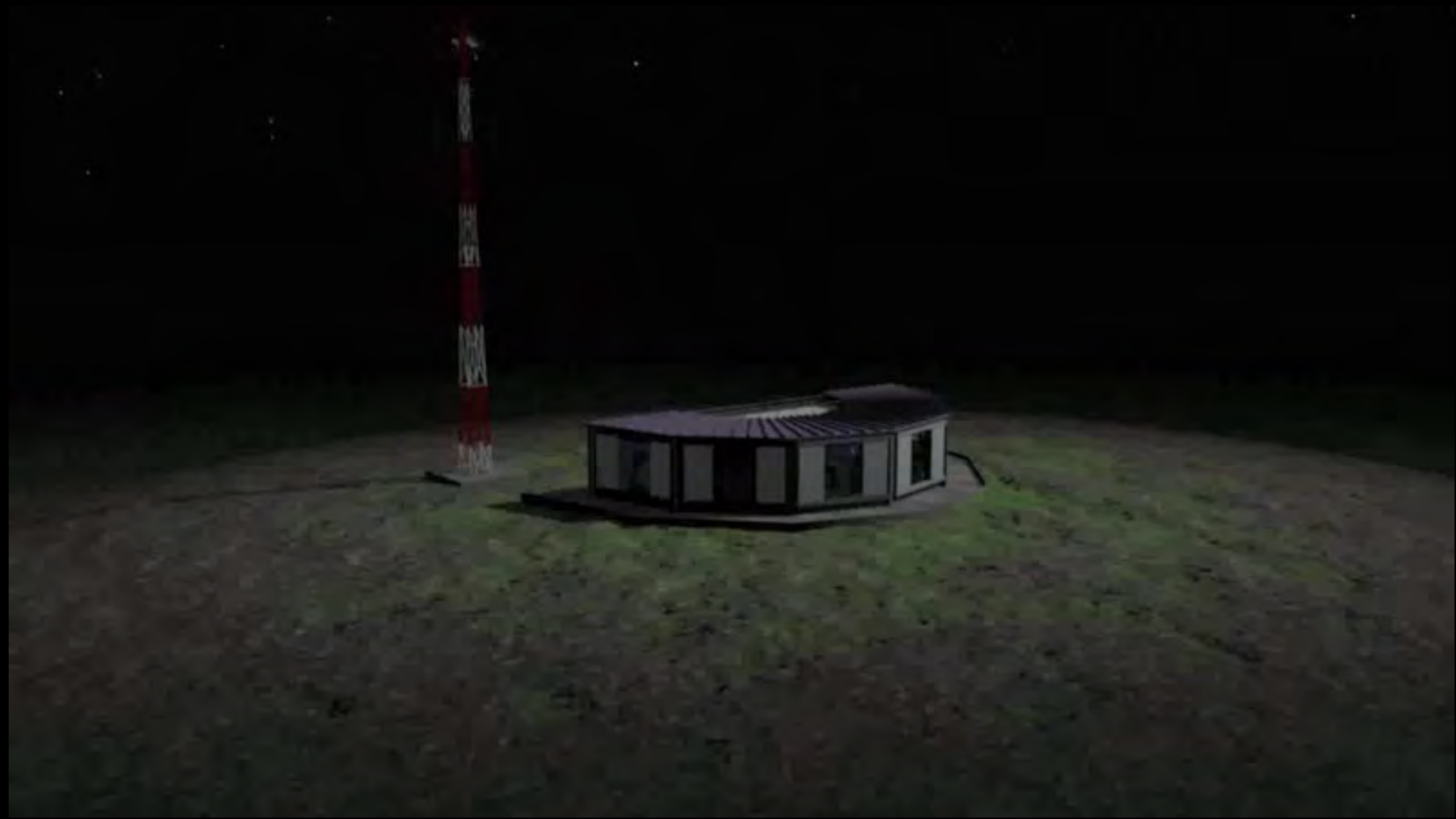




























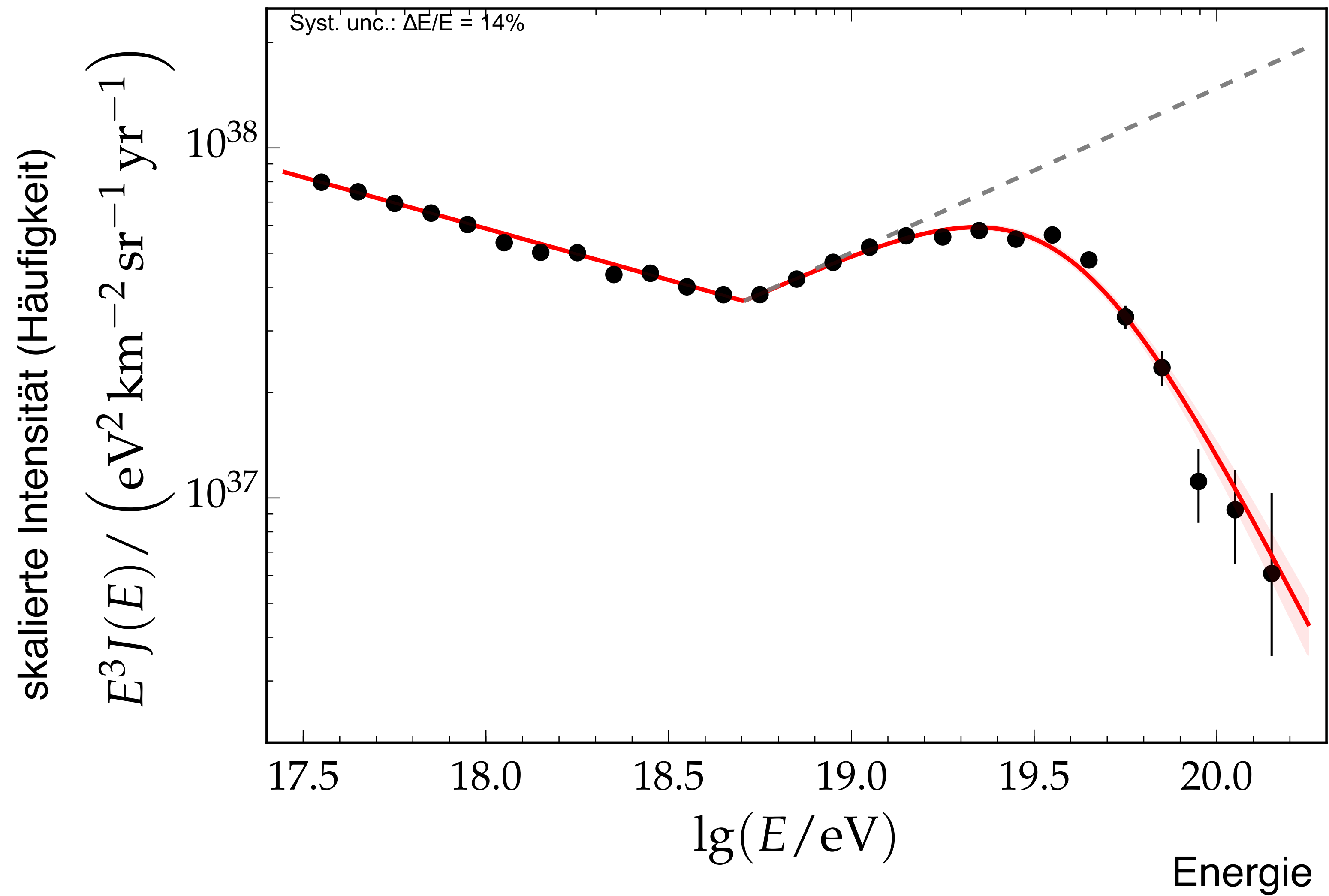




Die wichtigsten Ergebnisse

1. Die Intensität variiert auf interessante Weise mit der Energie.
2. Es sind noch keine Objekte als Quelle der kosmischen Strahlung zu erkennen, aber bei bestimmten Energien gibt es bevorzugte Richtungen.
3. Die energiereichsten Teilchen im Universum sind eher schwere Atomkerne und nicht Wasserstoffkerne.

1. Die Intensität variiert auf interessante Weise mit der Energie.



Energiebegrenzer:

GZK-Effekt

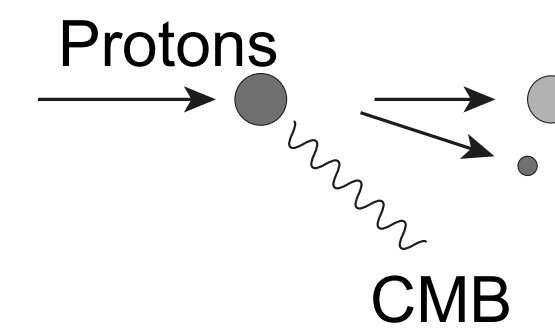
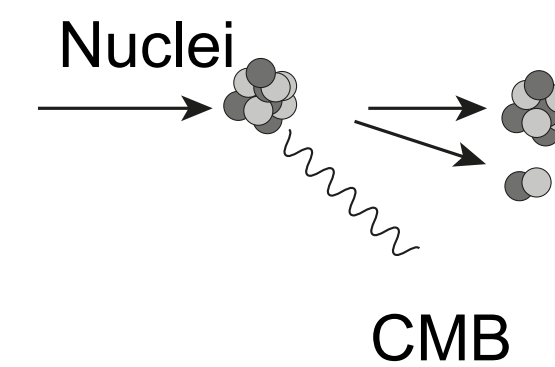
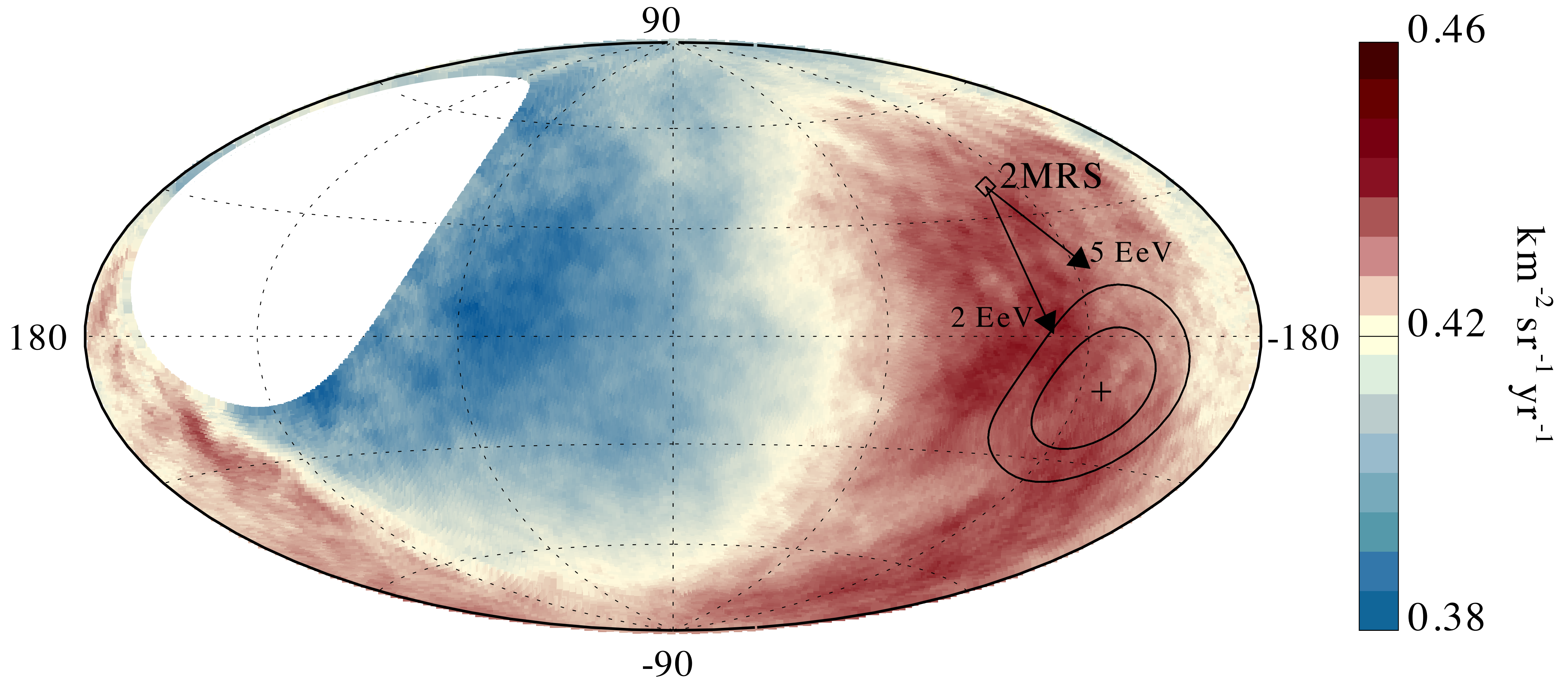


Photo-disintegration



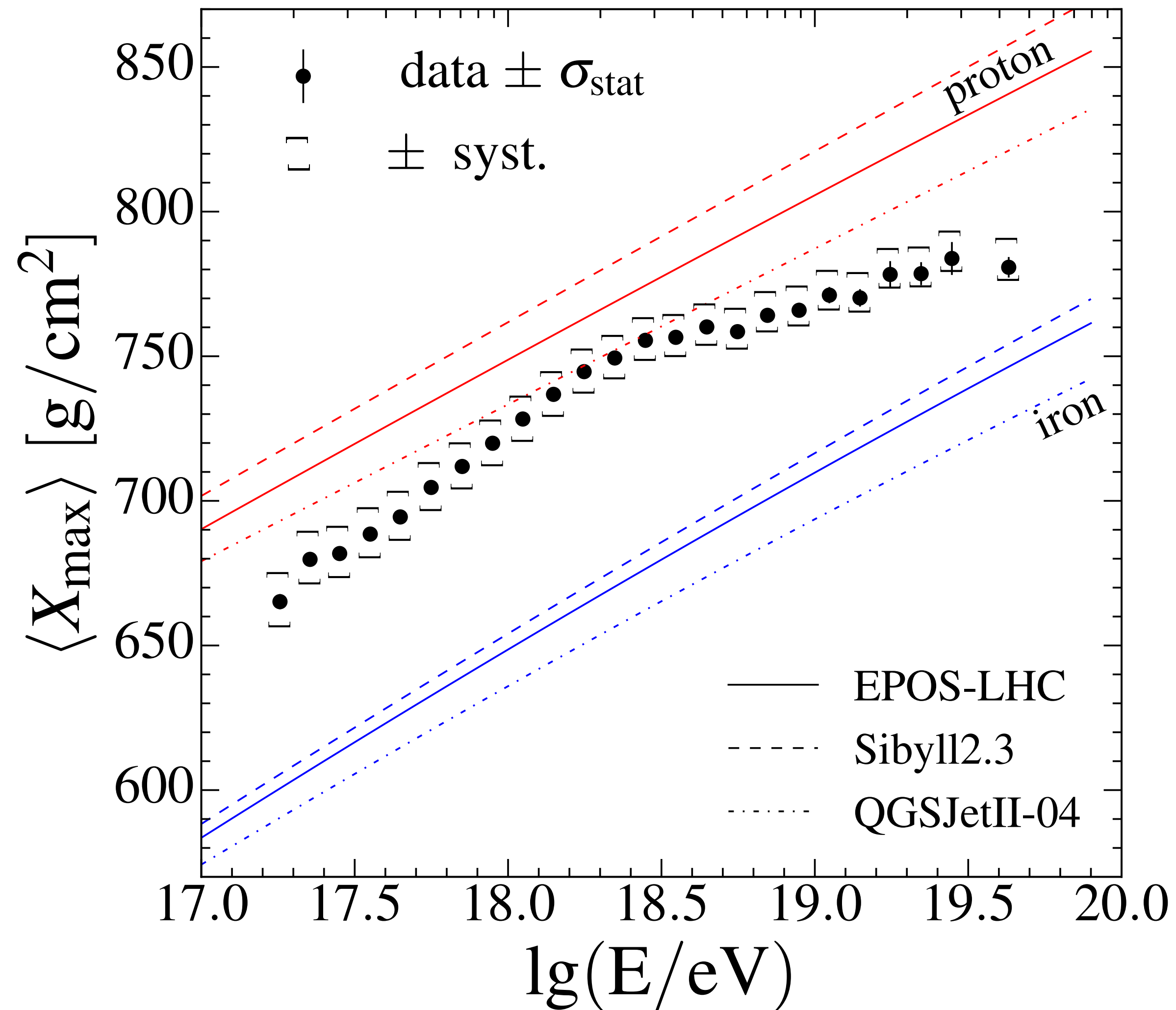
oder die
kosmischen
Beschleuniger
schaffen eben
nicht mehr...

2. Es gibt bevorzugte Herkunftsrichtungen

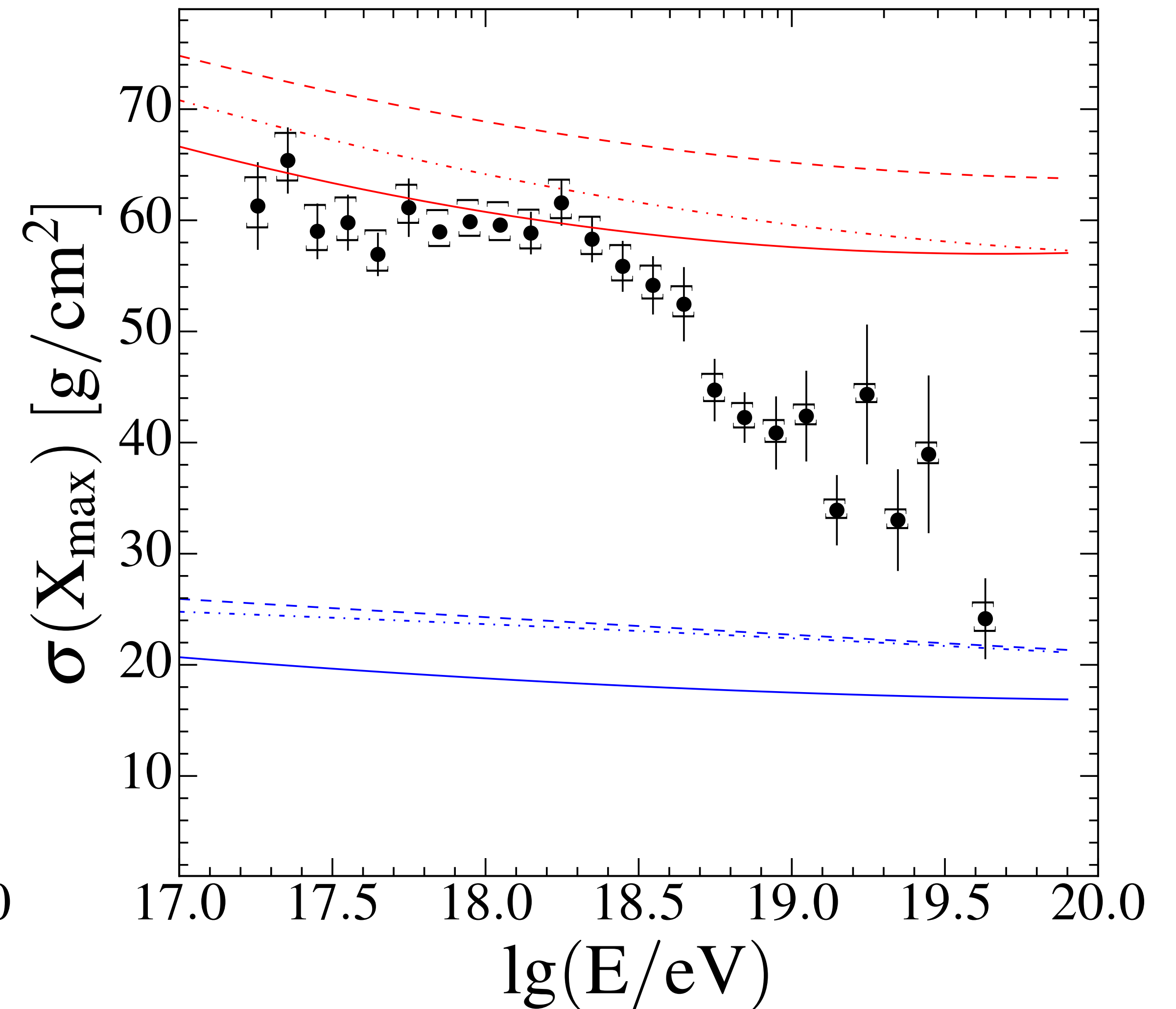


3. Die energiereichsten Teilchen sind schwere Kerne

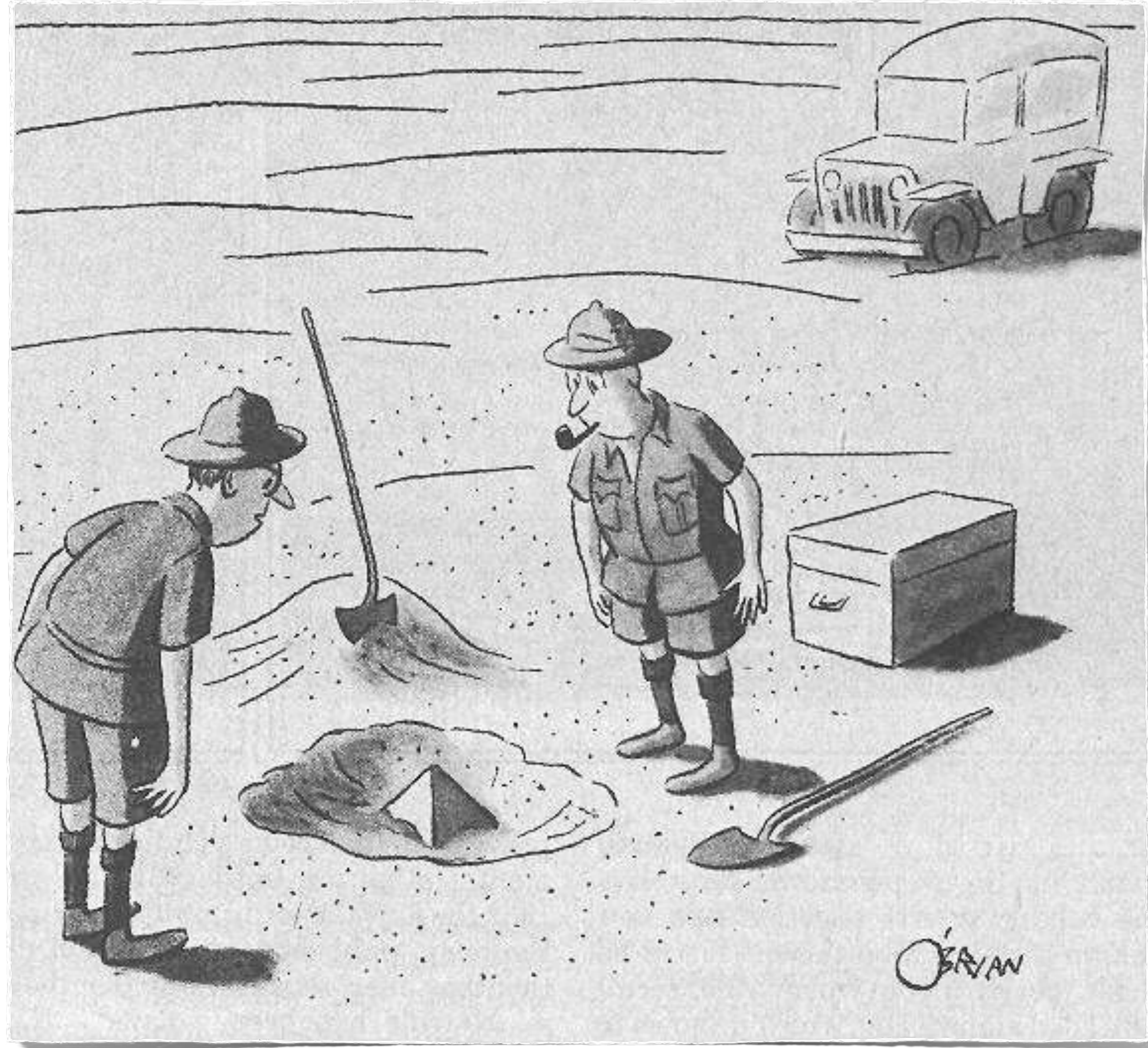
Eindringtiefe in die Atmosphäre



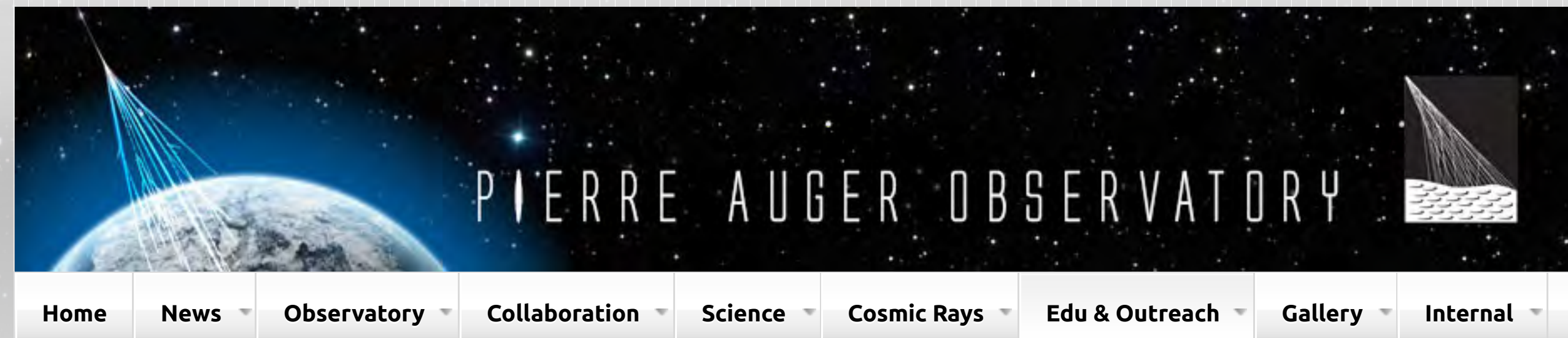
Fluktuationen der Eindringtiefe



**“Das könnte die
Entdeckung des
Jahrhunderts
sein... hängt
natürlich davon
ab, wie tief es
geht...”**

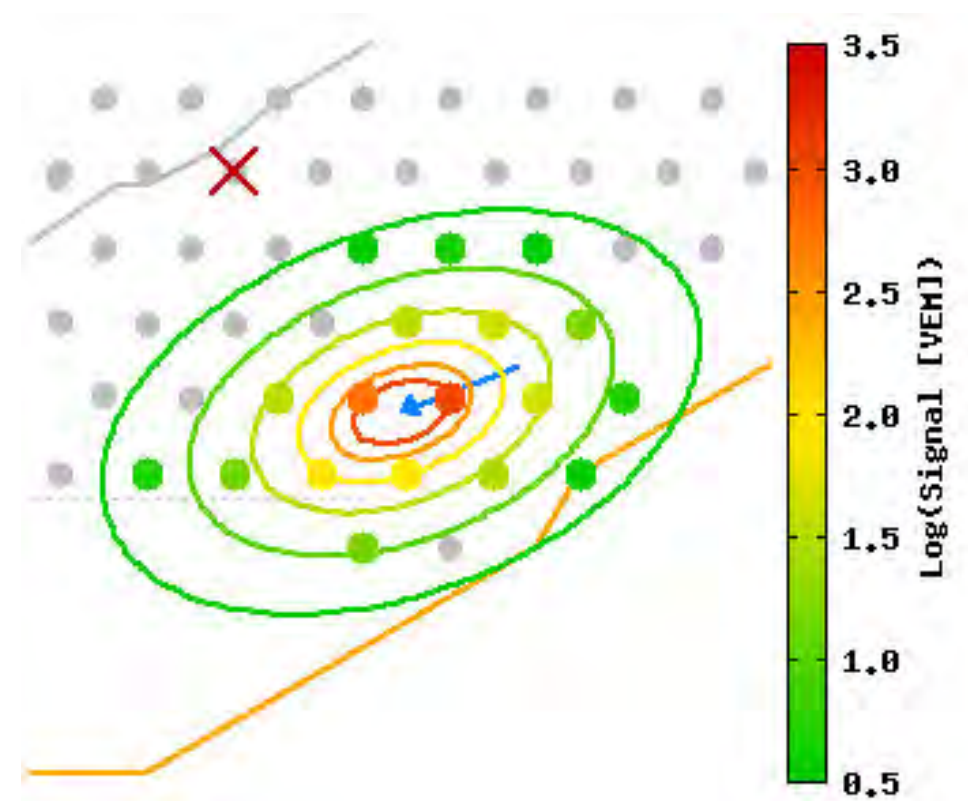


www.auger.org



The Public Event Explorer

The public event display of the Pierre Auger Observatory is hosted at CNEA in Argentina (please note that it does take a while to to load up).



The Pierre Auger Collaboration agreed on making 1% of its data available to the public. The CNEA website allows browsing over the events collected since 2004, and is updated daily. You can enter an event Id in the search window, search for an event with the event selection menu, or display an event already in cache. You can also download an ascii file with all events.

Display #

Read On

[Guide To Downloading and Formatting Pierre Auger Observatory Data](#)

[Guide To Making an Energy Histogram Using Pierre Auger Observatory Surface Detector Data](#)

Edu & Outreach

→ [Auger Visitor Center](#)

→ **Event Display**

→ [FAQ](#)

→ [Games](#)

→ [Google Earth](#)

→ [James Cronin School](#)

→ [Journey to Auger](#)

→ [Science Fair](#)

→ [VISPA](#)

Ein erster
Anfang...



öffentliches feld
muss öffentliche
Daten produzieren

KCDC

Offene Nachnutzung von Forschungsdaten

Eur. Phys. J. C manuscript No.
(will be inserted by the editor)

The KASCADE Cosmic-ray Data Centre KCDC: Granting Open Access to Astroparticle Physics Research Data

A Haungs^{1,a}, D Kang¹, S Schoo^{1,b}, D Wochele¹, J Wochele¹, W D Apel¹,
J C Arteaga-Velázquez², K Bekk¹, M Bertaina³, J Blümer^{1,c}, H Bozdog¹,
I M Brancus^{4,d}, E Cantoni^{3,e}, A Chiavassa³, F Cossavella^{1,f}, K Daumiller¹, V de Souza⁶,
F Di Pierro³, P Doll¹, R Engel¹, B Fuchs^{1,g}, D Fuhrmann^{7,h}, A Gherghel-Lascu⁴,
H J Gils¹, R Glasstetter⁷, C Grupen⁸, D Heck¹, J R Hörandel⁹, D Huber¹, T Huege¹,
K H Kampert⁶, H O Klages¹, K Link¹, P Łuczak¹⁰, H J Mathes¹, H J Mayer¹, J Milke¹,
B Mitrica³, C Morello⁵, J Oehlschläger¹, S Ostapchenko¹¹, M Petcu⁴, T Pierog¹,
H Rebel¹, M Roth¹, H Schieler¹, F G Schröder¹, O Sima¹², G Toma⁴, G C Trinchero⁵,
H Ulrich¹, A Weindl¹, J Zabierowski¹⁰

¹ Institut für Kernphysik & Institut für Experimentelle Teilchenphysik, KIT - Karlsruher Institut für Technologie, Germany

² Universidad Michoacana, Instituto de Física y Matemáticas, Mexico

³ Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Torino, Italy

⁴ National Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest, Romania

⁵ Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario, INAF Torino, Italy

⁶ Universidade São Paulo, Instituto de Física de São Carlos, Brasil

⁷ Fachbereich Physik, Universität Wuppertal, Germany

⁸ Fachbereich Physik, Universität Siegen, Germany

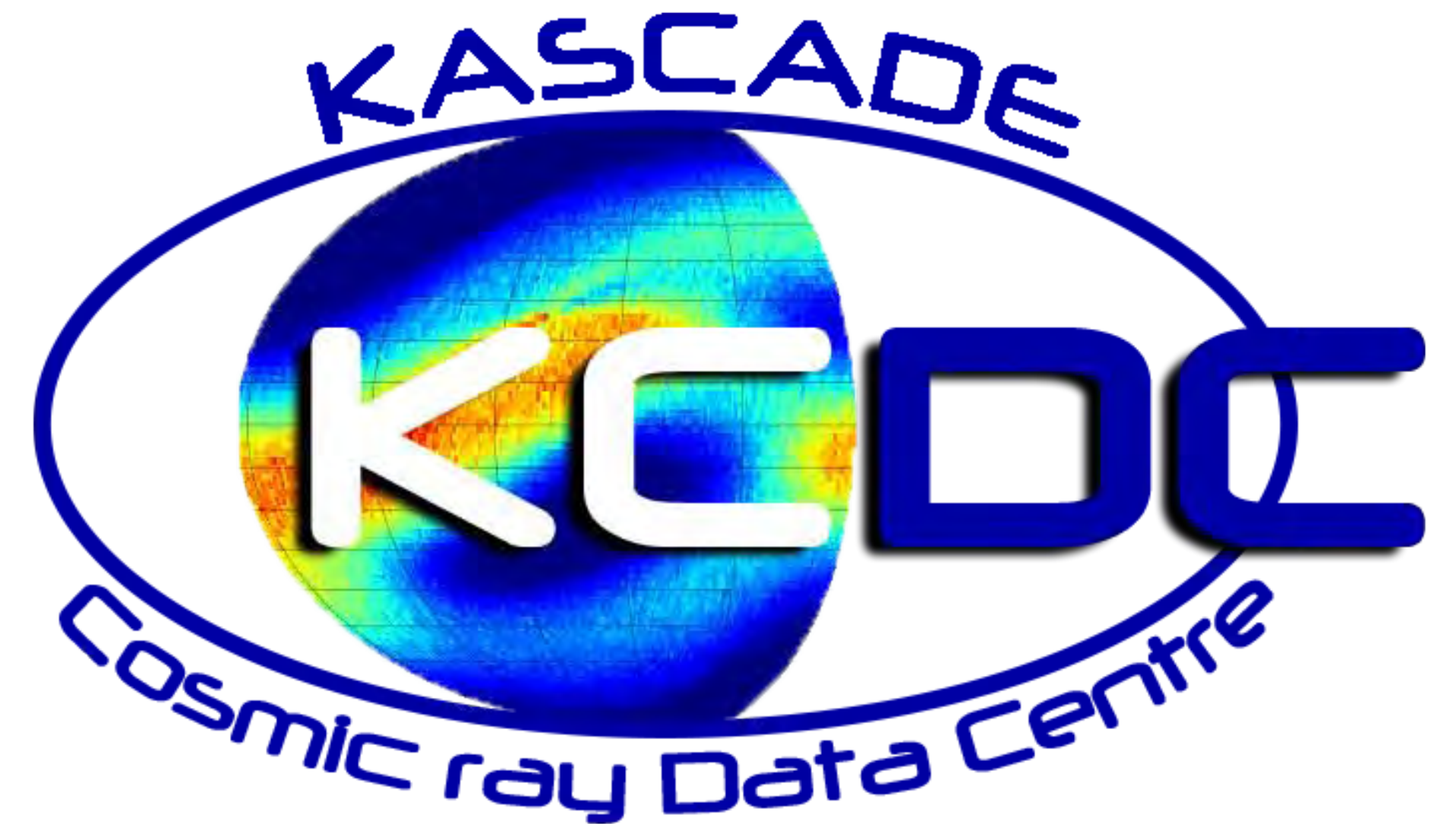
⁹ Dept. of Astrophysics, Radboud University Nijmegen, The Netherlands

¹⁰ National Centre for Nuclear Research, Department of Astrophysics, Łódź, Poland

¹¹ Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS), Frankfurt am Main, Germany

¹² Department of Physics, University of Bucharest, Bucharest, Romania

Received: date / Revised version: date





KASCADE Cosmic Ray Data Centre (KCDC) / *Open β*

[KCDC Homepage](#)

[KCDC Motivation](#)

[KCDC Regulations](#)

► [Information](#)

► [Announcements](#)

[FAQs](#)

► [User Account](#)

► [Data Shop](#)

[Spectra](#)

[Publications](#)

► [Report a Bug](#)

[Education/Lehre](#)

Welcome to KCDC

The aim of the project **KCDC** (**K**ASCADE **C**osmic Ray **D**ata **C**entre) is the installation and establishment of a public data centre for high-energy astroparticle physics based on the data of the KASCADE experiment. KASCADE was a very successful large detector array which recorded data during more than 20 years on site of the KIT-Campus North, Karlsruhe, Germany (formerly Forschungszentrum, Karlsruhe) at 49,1°N, 8,4°E; 110m a.s.l. KASCADE collected within its lifetime more than 1.7 billion events of which some 433.000.000 survived all quality cuts and are made available here for public usage.



KASCADE
Karlsruhe Shower Core
and Array Detector

Institute for Nuclear Physics
(IKP)
KIT Campus North

Address:
Institute for Nuclear Physics
Karlsruhe Institute of
Technology
Hermann-v.Helmholtz-Platz 1
D-76344 Eggenstein-
Leopoldshafen

Postal Address:
Institute for Nuclear Physics
Karlsruhe Institute of
Technology
Postbox 3640
D-76021 Karlsruhe

Phone: +49/721/608-23546
Fax: +49/721/608-23548

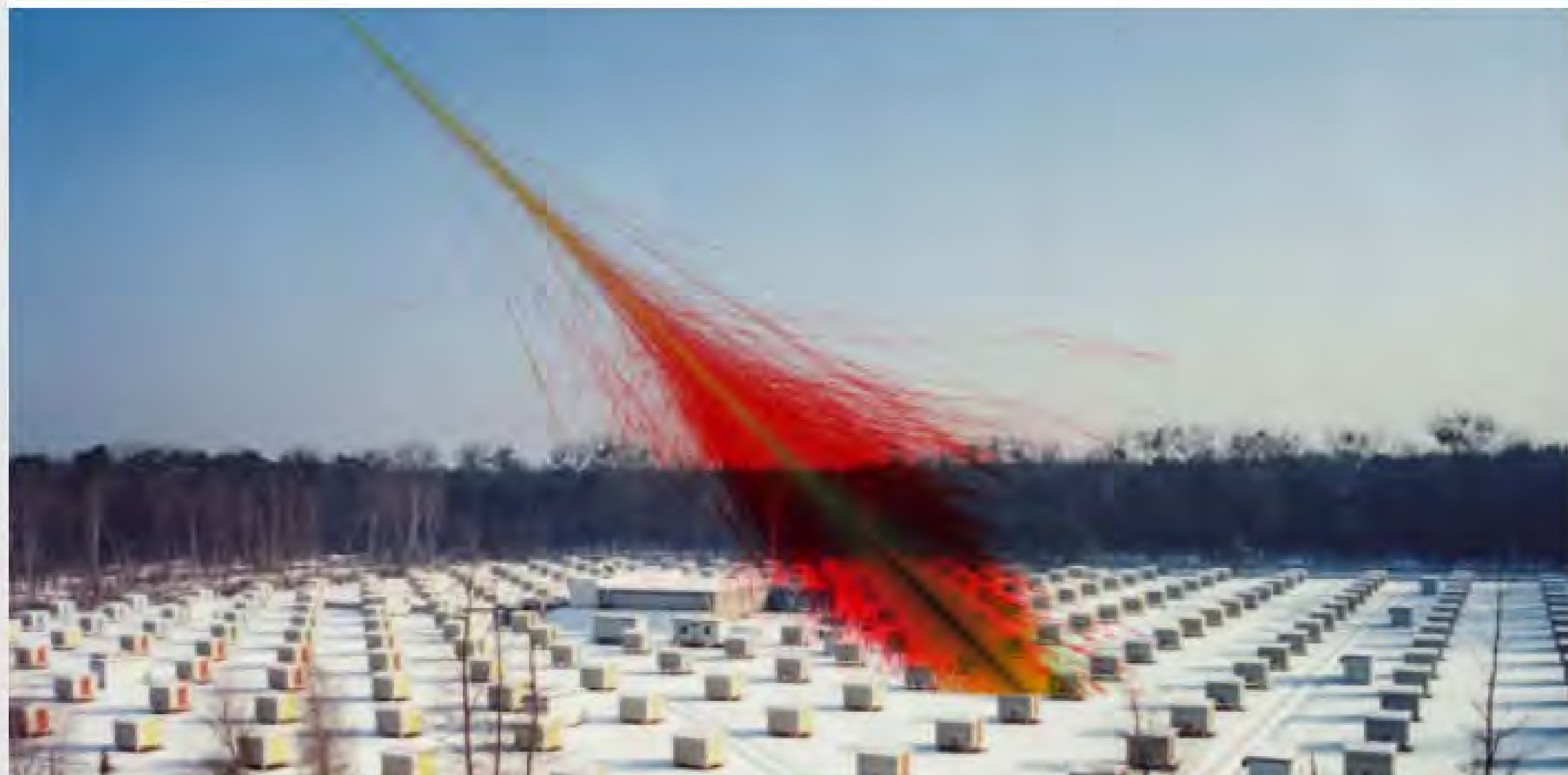
E-Mail:
[ikp-kcdc\[at\]lists.kit.edu](mailto:ikp-kcdc[at]lists.kit.edu)

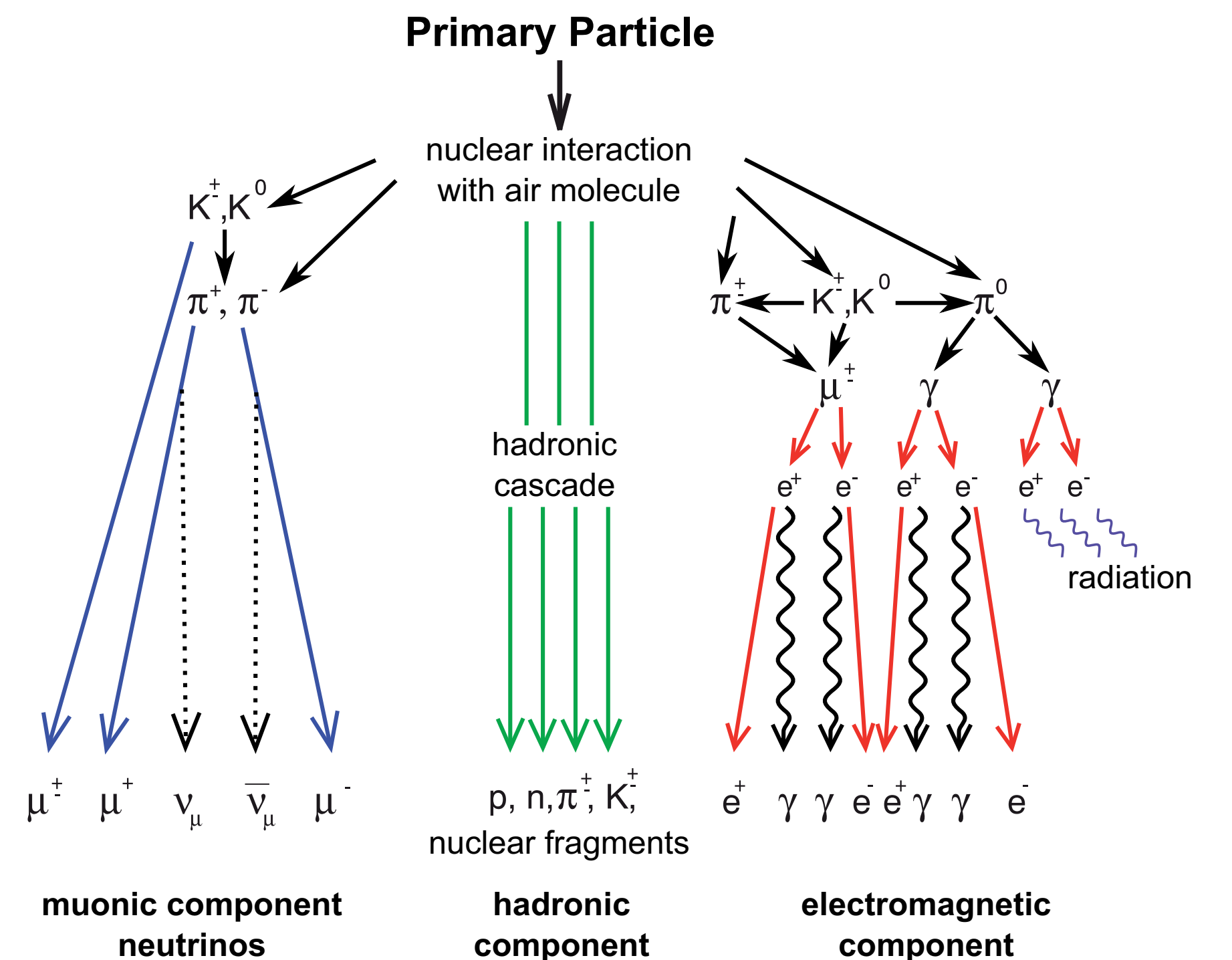
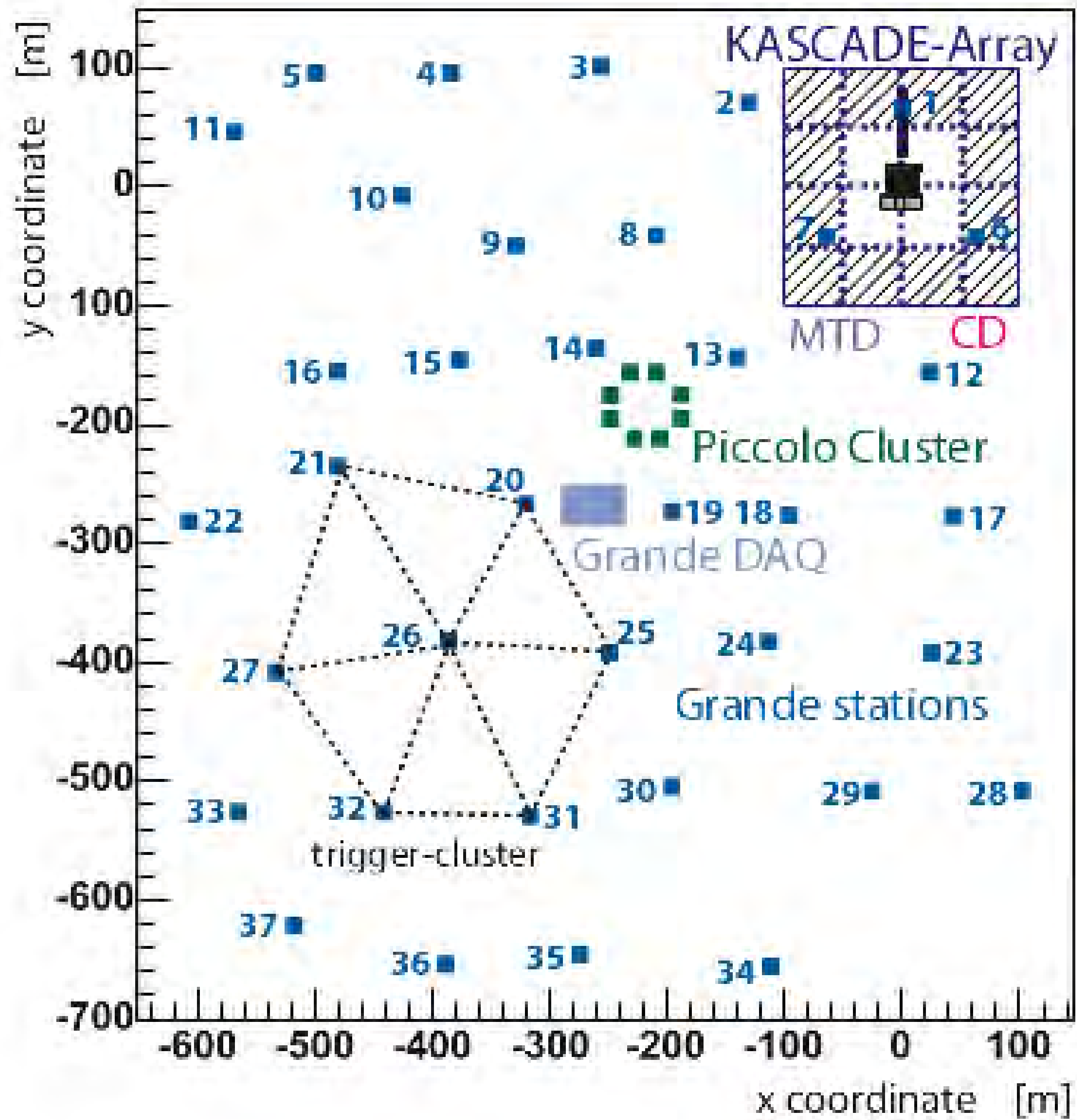
Downloads
[KCDC Manual \(english\)](#)

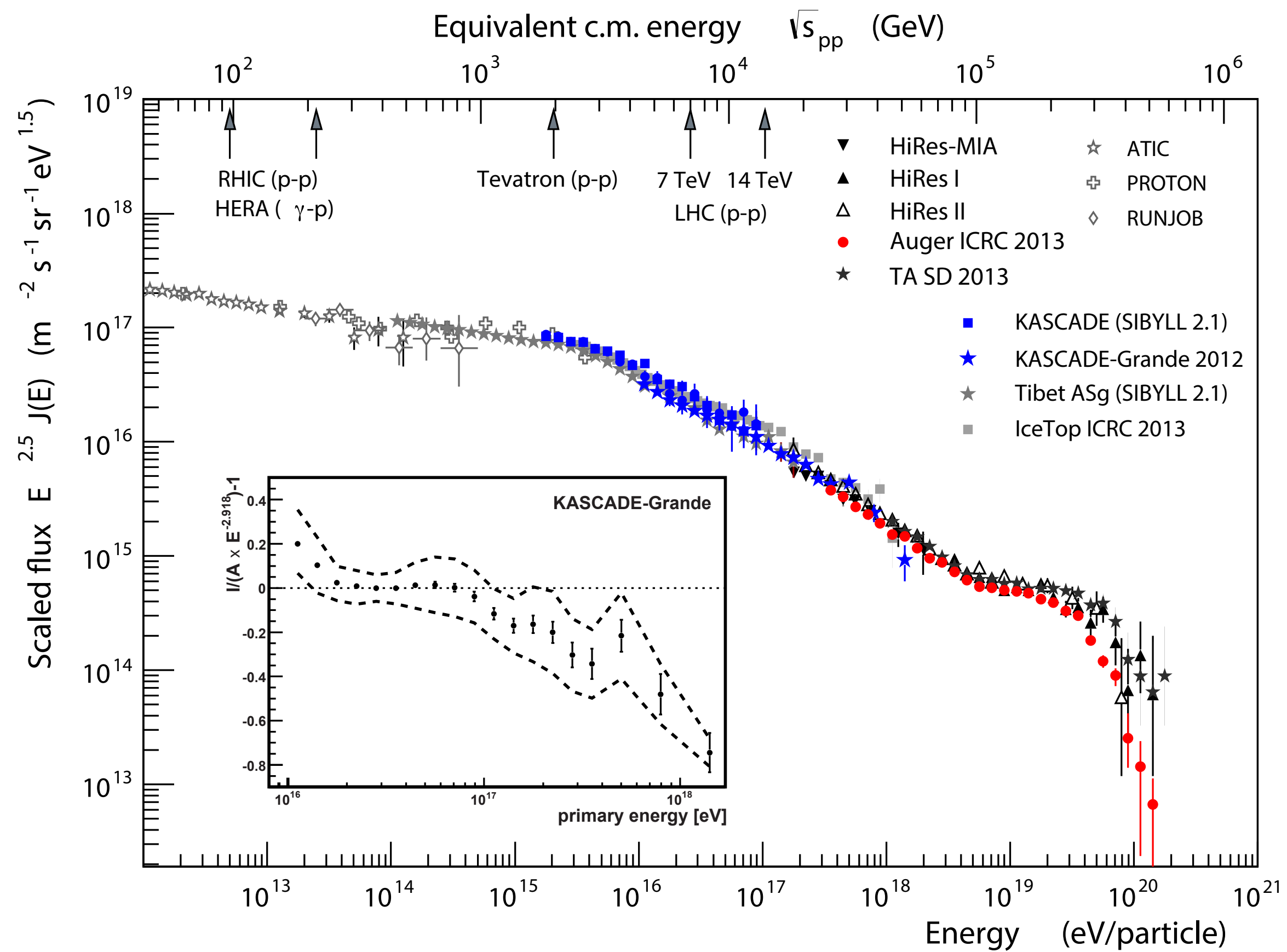
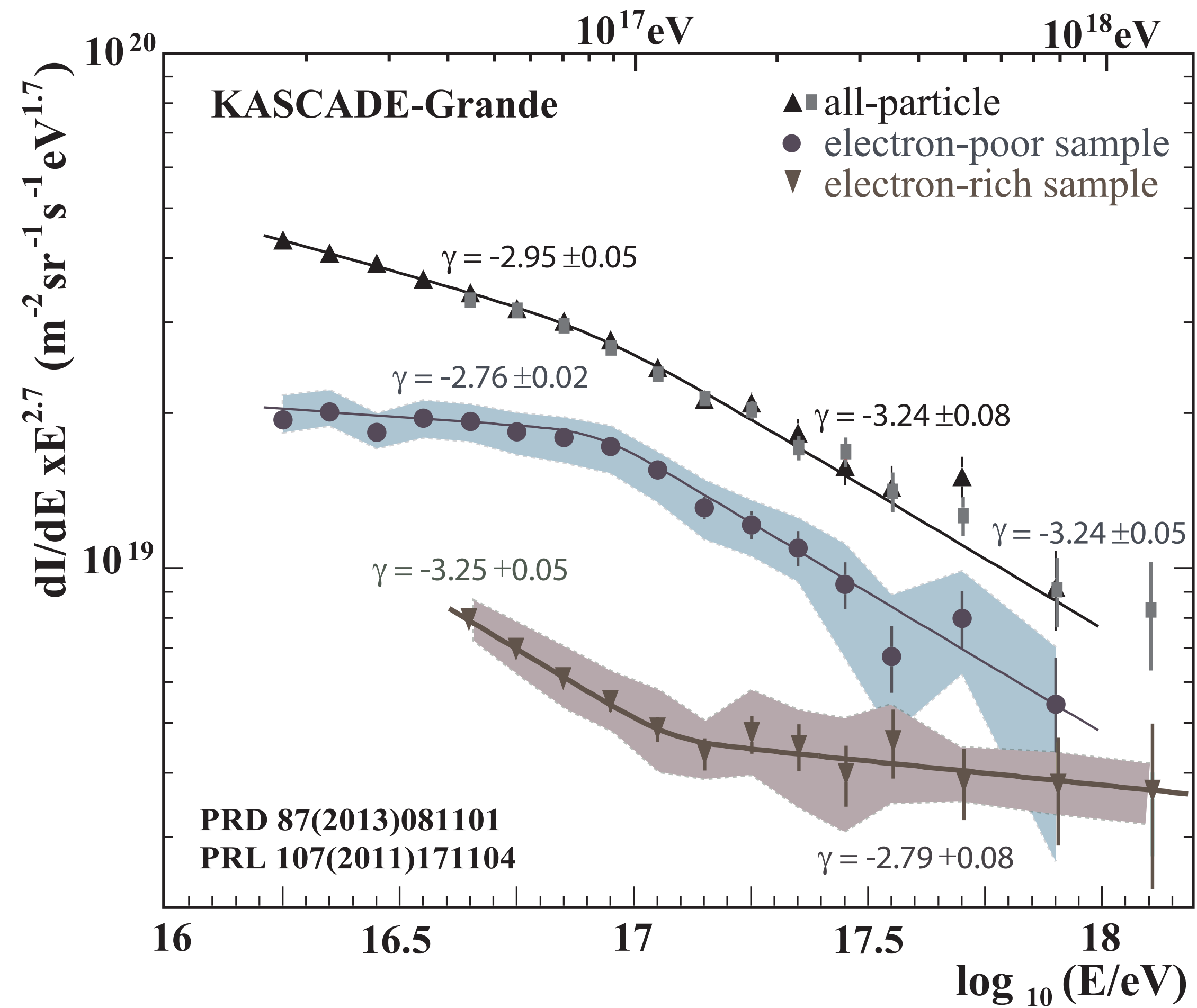
[KCDC Homepage](#)[KCDC Motivation](#)[KCDC Regulations](#)[► Information](#)[► Announcements](#)[FAQs](#)[► User Account](#)[► Data Shop](#)[Spectra](#)[Publications](#)[► Report a Bug](#)[Education/Lehre](#)

Welcome to KCDC

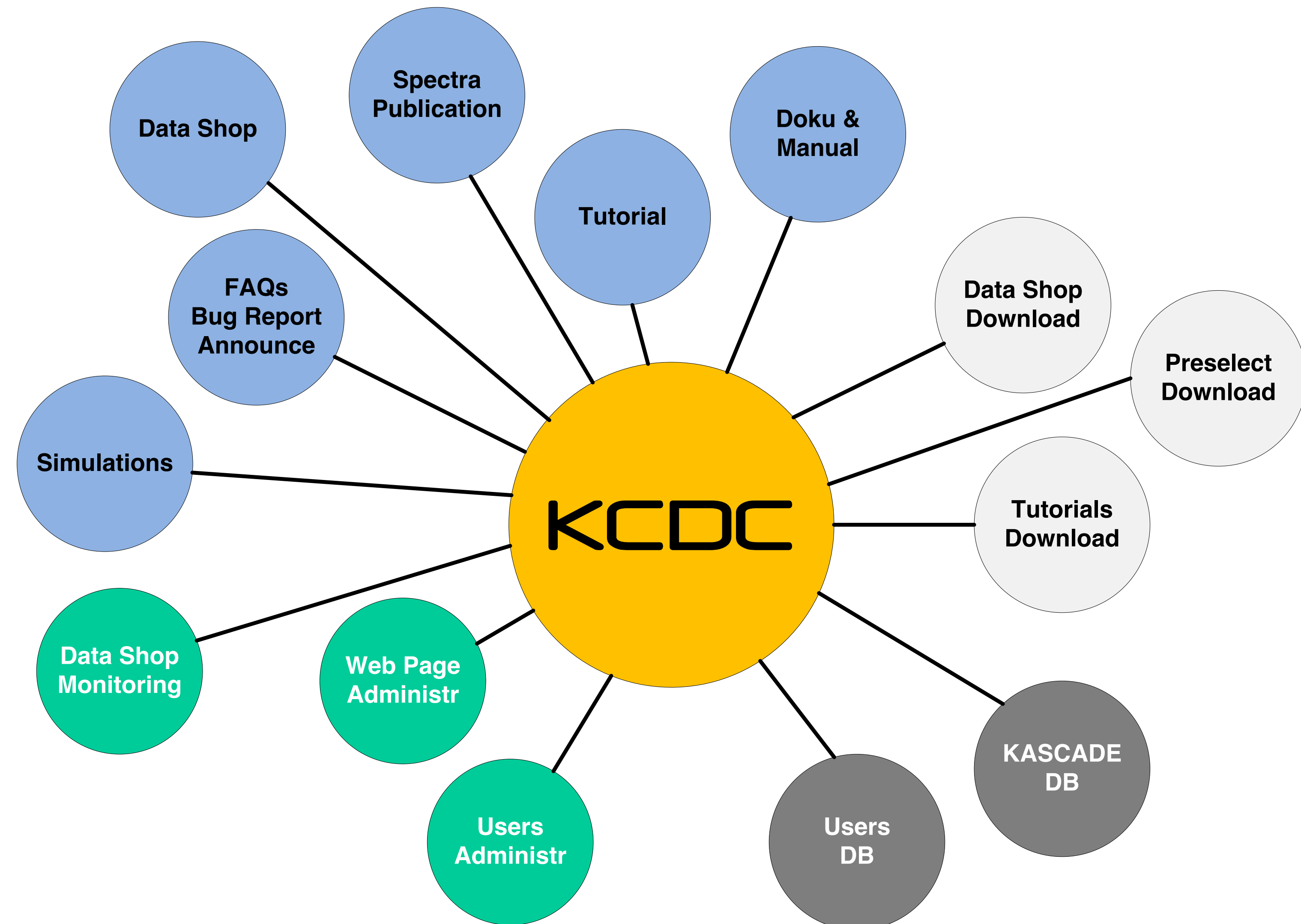
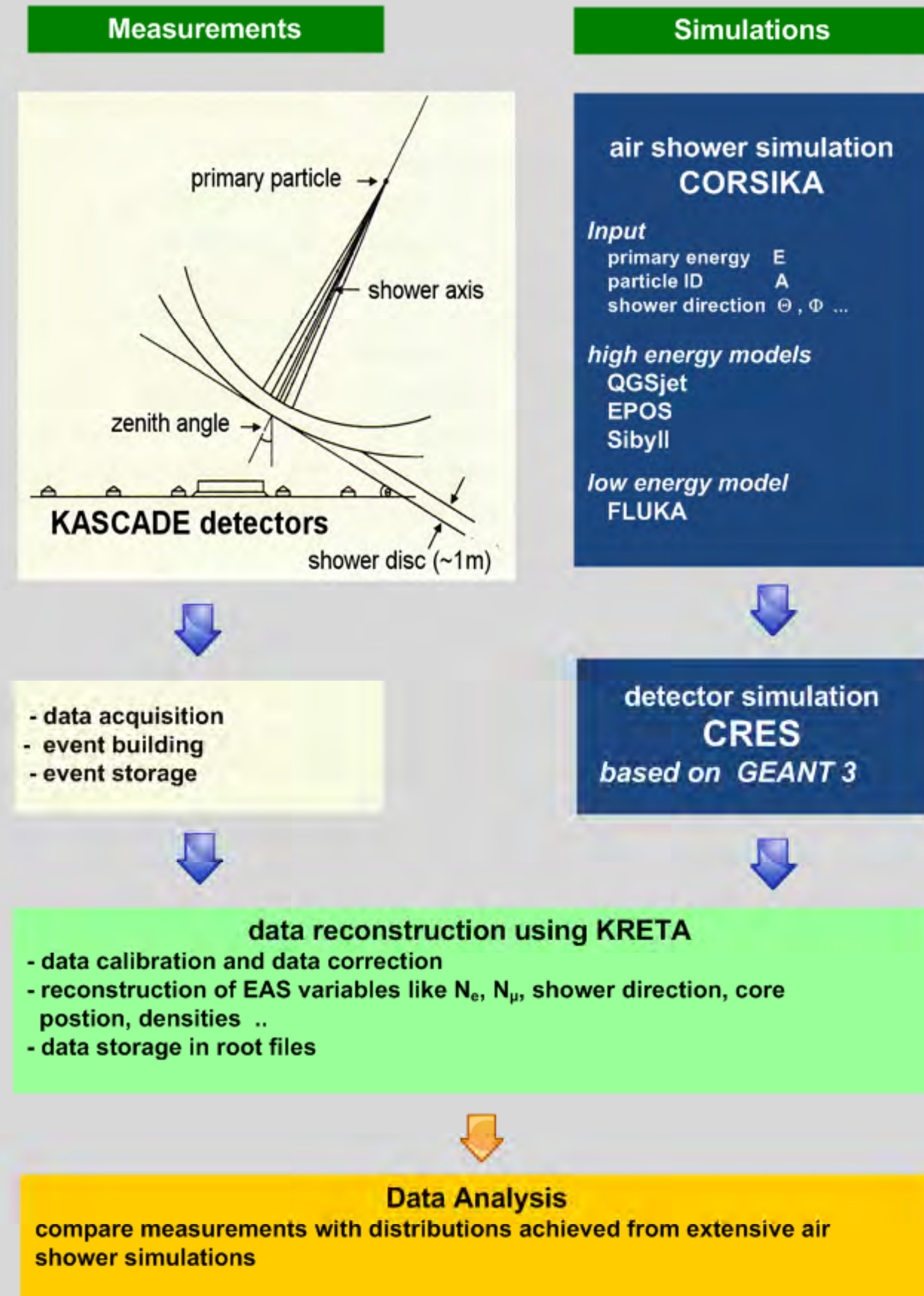
The aim of the project **KCDC** (**K**ASCADE **C**osmic Ray **D**ata **C**entre) is the installation and establishment of a public data centre for high-energy astroparticle physics based on the data of the KASCADE experiment. KASCADE was a very successful large detector array which recorded data during more than 20 years on site of the KIT-Campus North, Karlsruhe, Germany (formerly Forschungszentrum, Karlsruhe) at $49,1^{\circ}\text{N}$, $8,4^{\circ}\text{E}$; 110m a.s.l. KASCADE collected within its lifetime more than 1.7 billion events of which some 433.000.000 survived all quality cuts and are made available here for public usage.







Workflow for KASCADE Measurement and Simulation Data



Portal für Lehrer und Schüler

[switch to english version](#)

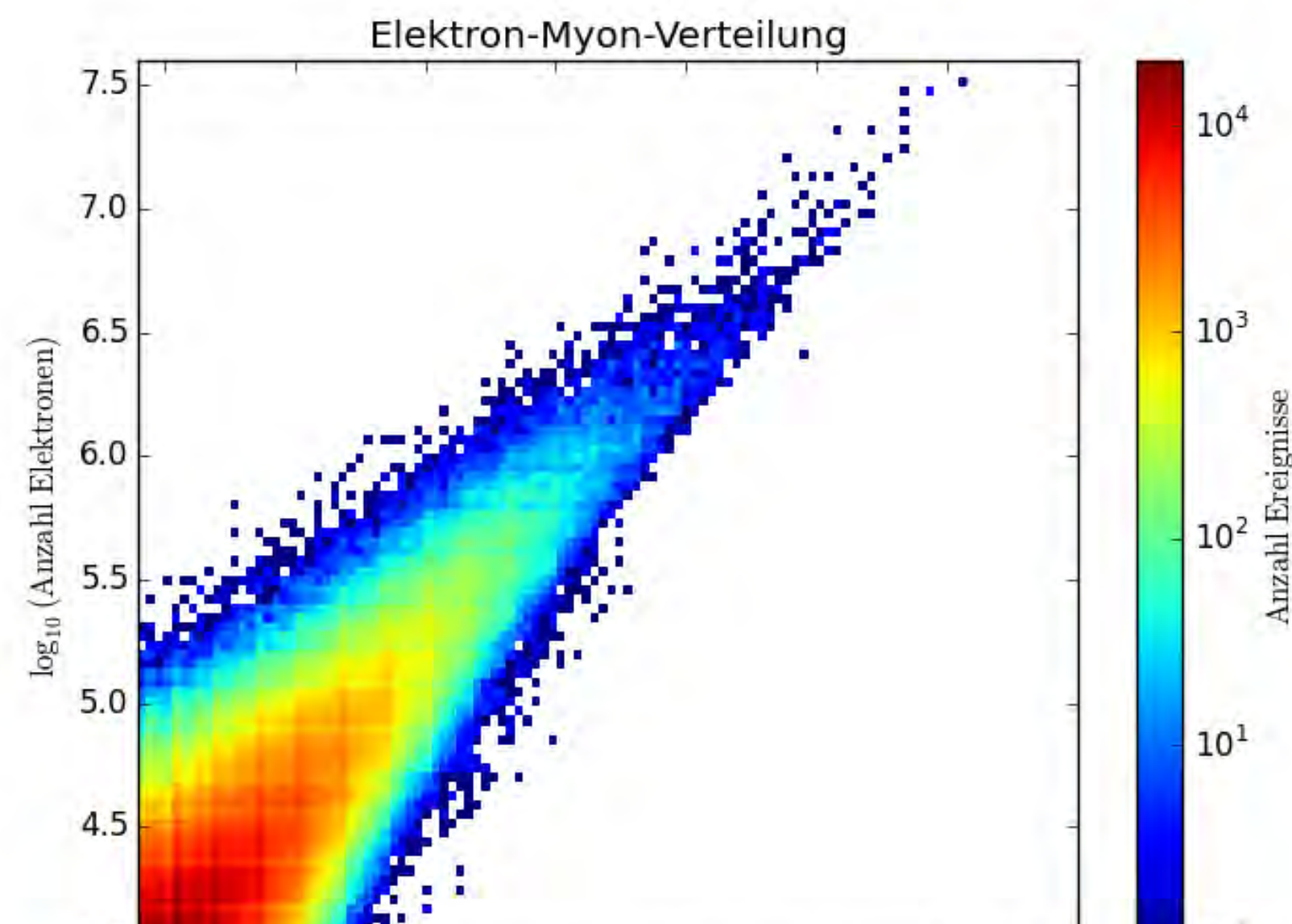


Auf dieser Seite sind interessante Aufgaben zusammengestellt rund um den Bereich kosmische Strahlung, die mit Hilfe der Daten des KASCADE Experimentes einige der Vorgänge ausserhalb und innerhalb unserer Erdatmosphäre veranschaulichen sollen. Diese Aufgabensammlung soll in Zusammenarbeit mit interessierten Lehrern und Schülern stetig erweitert werden und so zum Verständnis der kosmischen Strahlung beitragen.

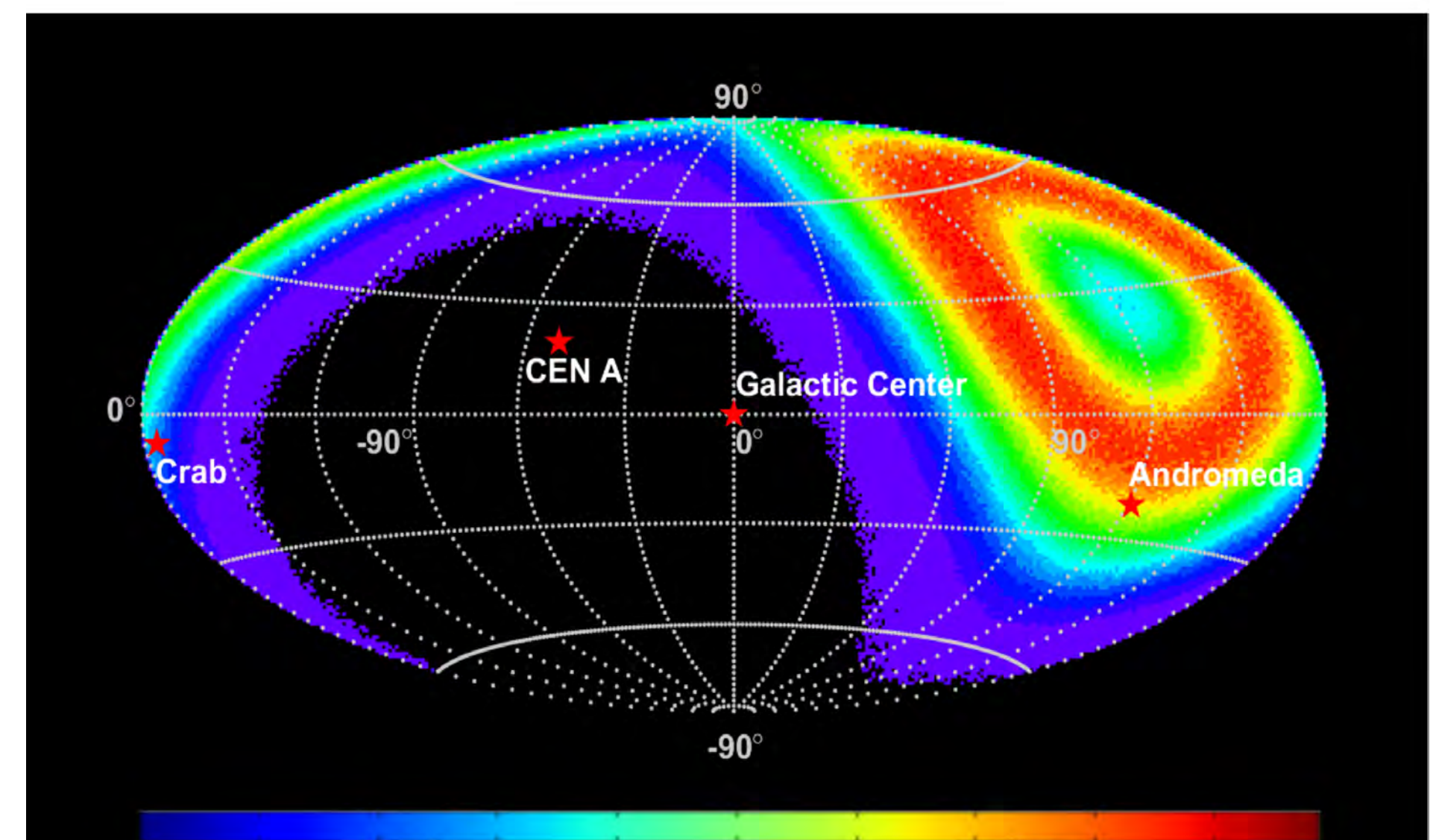
Die Rahmenfarben geben einen Hinweis auf den Schwierigkeitsgrad der Aufgaben:

rot bedeutet 'ziemlich schwierig', **gelb** bedeutet 'mitteschwer' und **grün** 'ziemlich einfach' während **blau** als 'Fingerübung' zu betrachten ist.

Wie schwer ist ein kosmisches Teilchen?



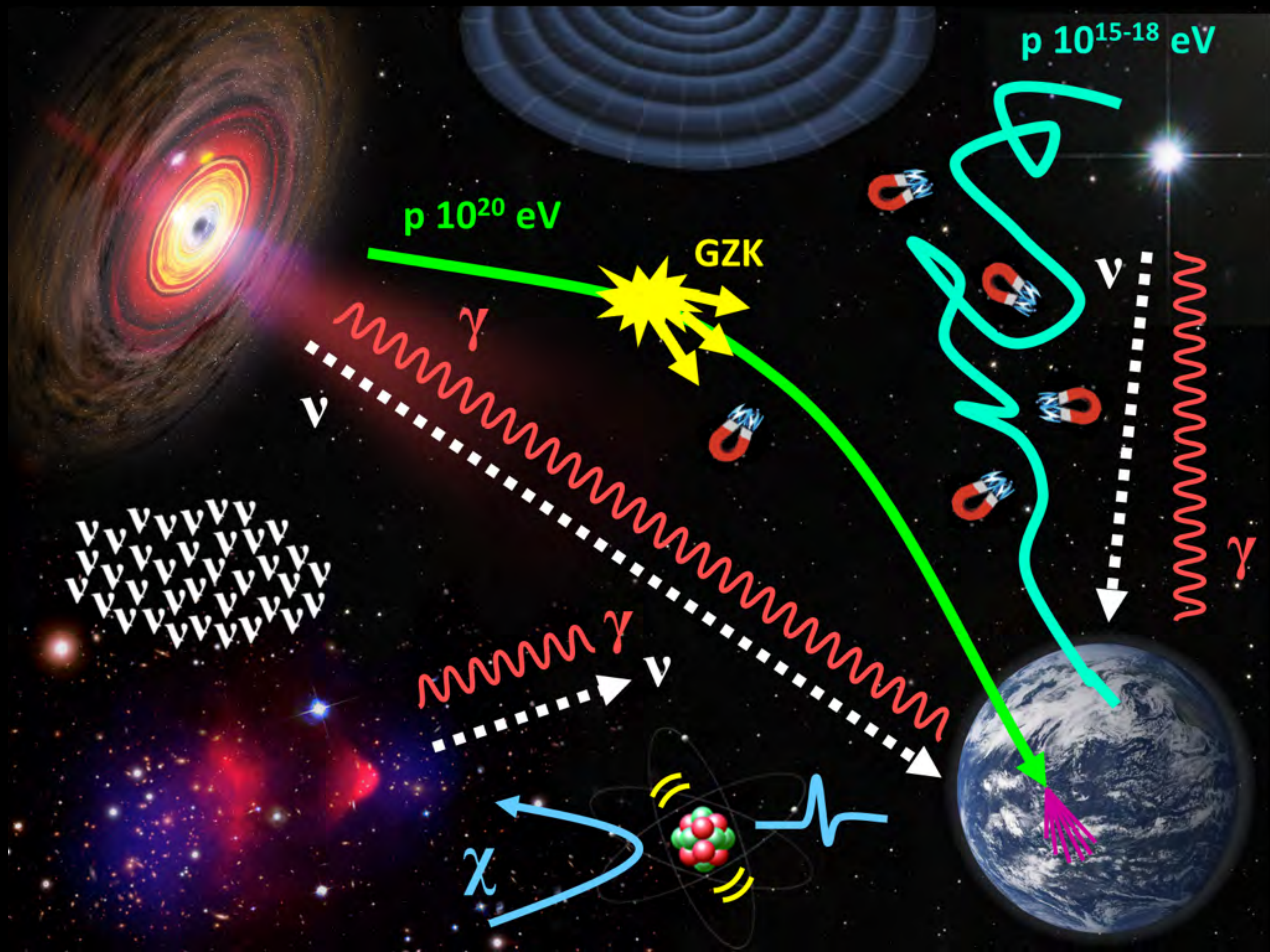
Was sieht KASCADE am Himmel?



D. Wochele A. Haungs D. Kang J. Wochele S. Schöo



Ausblick



Wo geht die Astroteilchenphysik hin?

- Multi-messenger Astroteilchenphysik:
 - Gravitationswellen! Einstein-Teleskop ET ?
 - Cherenkov Teleskope Array CTA
 - Hochenergie-Neutrinoastronomie mit IceCube(-Gen2)
 - GCOS wenn Auger mit AugerPrime Quellen entdeckt
- Neutrinomasse und -hierarchie; CP-Verletzung bei Neutrinos; kompakte Neutrinodetektoren, Geoneutrinos...
- Dunkle Materie bis zum Neutrinountergrund: DARWIN u.a. ... von meV-Axionen bis Schwarzen Löchern...

Was sagen uns
LHC, HL-LHC,
Belle-II, ... ?