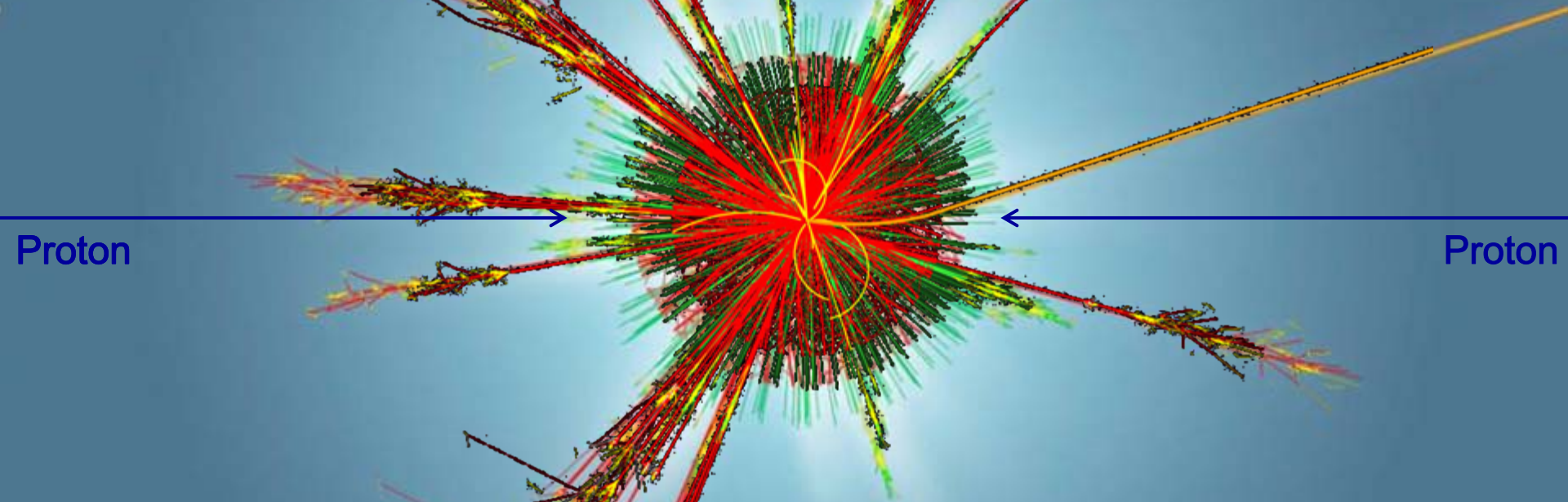


Der Urknall im Labor -

Hermann Kolanoski, Humboldt-Universität zu Berlin



Teilchenphysik bei den höchsten Energien

... worüber ich berichten will:



Gigantisch:

- Large Hadron Collider
- Detektor
- Datenströme
- Datenverarbeitung

Motivation:

- hohes Forschungsziel:
unser Universum verstehen

Soziologie:

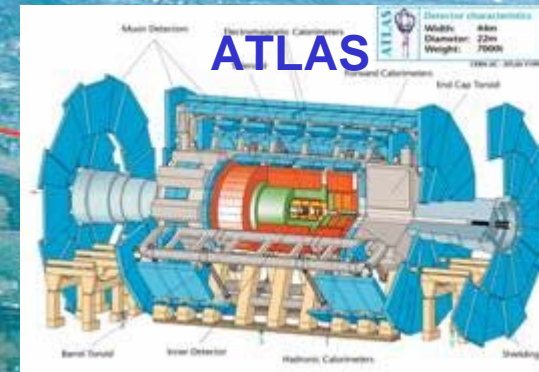
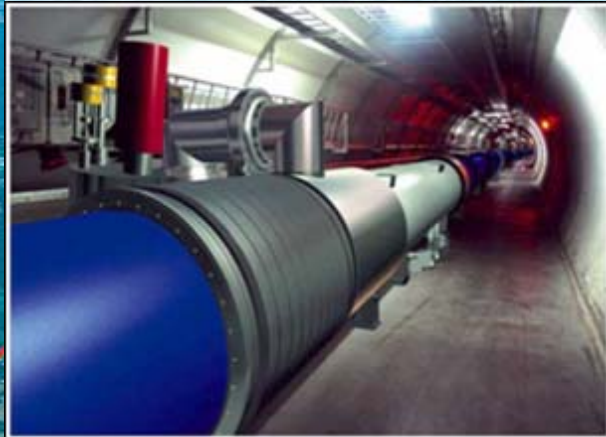
- internationale Kollaborationen
- Management
- Kommunikation
- Individuen in der Menge



CERN, der Large Hadron Collider und seine Experimente

B-Physik,
CP-Verletzung

Proton-Proton-Collider LHC :
27 km lang
100 m unter der Erde

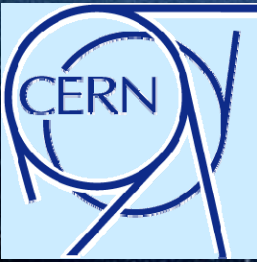


Universelle
Detektoren



Schwerionen, pp

ALICE



Was ist CERN?



- CERN ist das weltweit **größte Zentrum für Teilchenphysik**
- was Teilchenphysiker suchen::
 - **elementaren Bausteine der Materie**
 - **die fundamentalen Kräfte, die alles zusammenhalten**
- dazu braucht die Teilchenphysik:
 - **aufwendige Apparaturen** um neue Teilchen zu erzeugen und zu untersuchen

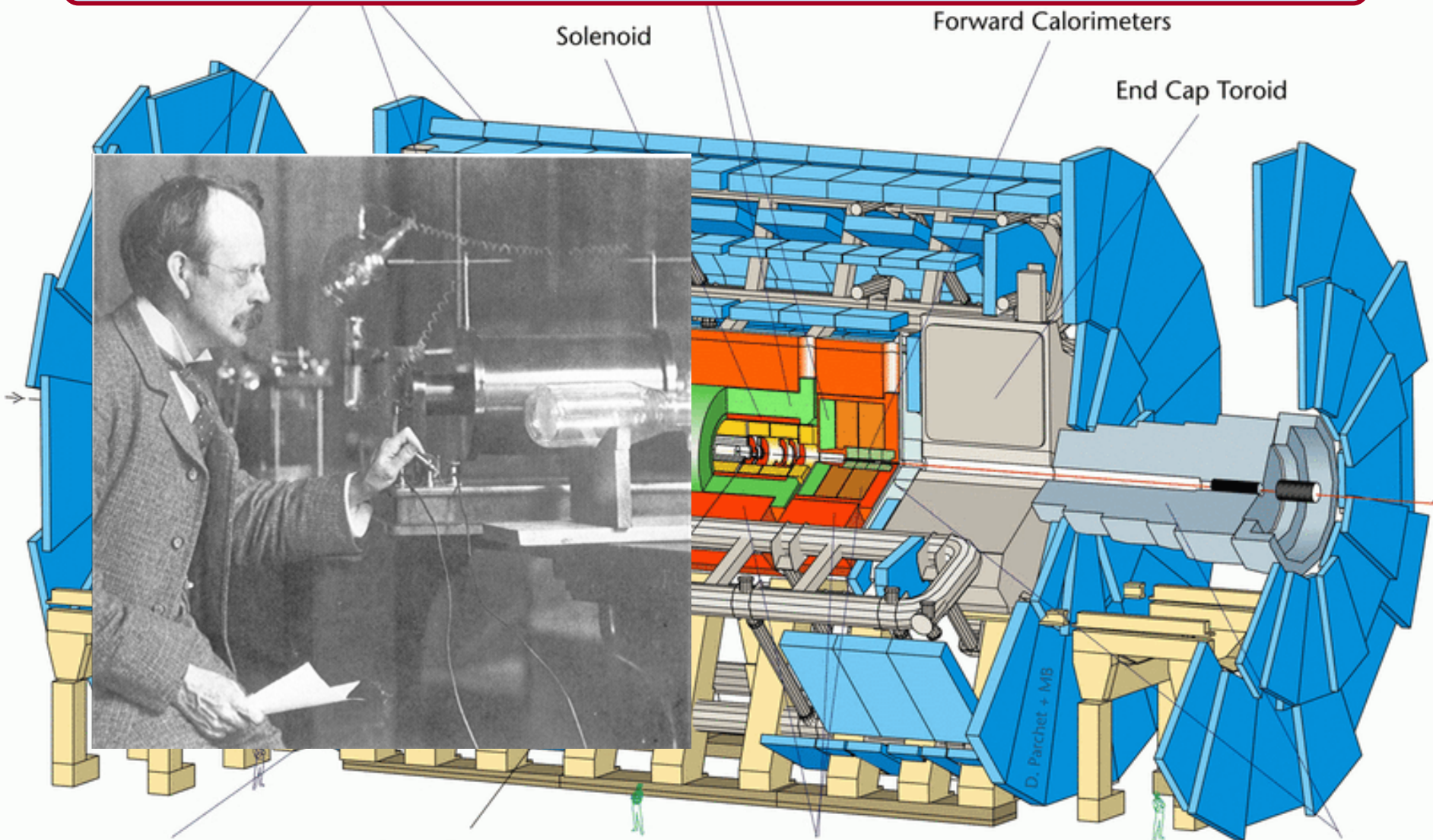
CERN is:

- **~ 2500 staff scientists** (physicists, engineers, ...)
- **Some 6500 visiting scientists** (half of the world's particle physicists)

They come from 500 universities representing 80 nationalities.

CERN

Von der Entdeckung des Elektrons bis ...



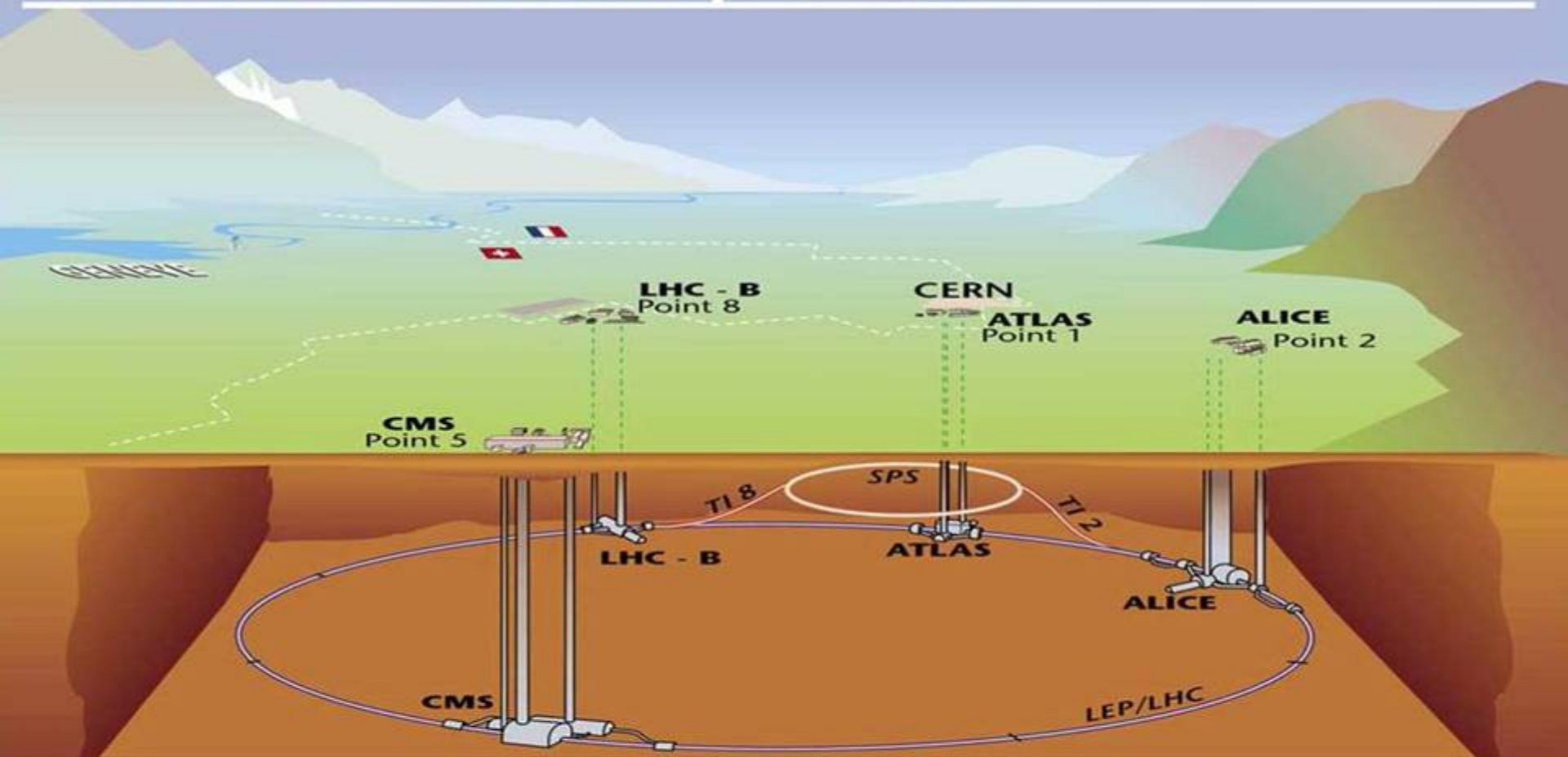
... bis zu der Entdeckung des Higgs, SUSY, Extra-Dimensionen ...

Das ATLAS-Areal überirdisch



LHC-Tunnel und Experimentierhallen

Overall view of the LHC experiments.



E540 - V10/09/97



- | | |
|----------------|-------------|
| Argentina | Netherlands |
| Armenia | Norway |
| Australia | Poland |
| Austria | Portugal |
| Azerbaijan | Romania |
| Belarus | Russia |
| Brazil | Serbia |
| Canada | Slovakia |
| China | Slovenia |
| Czech Republic | Spain |
| Denmark | Sweden |
| France | Switzerland |
| Georgia | Taiwan |
| Germany | Turkey |
| Greece | UK |
| Israel | USA |
| Italy | CERN |
| Japan | JINR |
| Morocco | |

ATLAS Collaboration



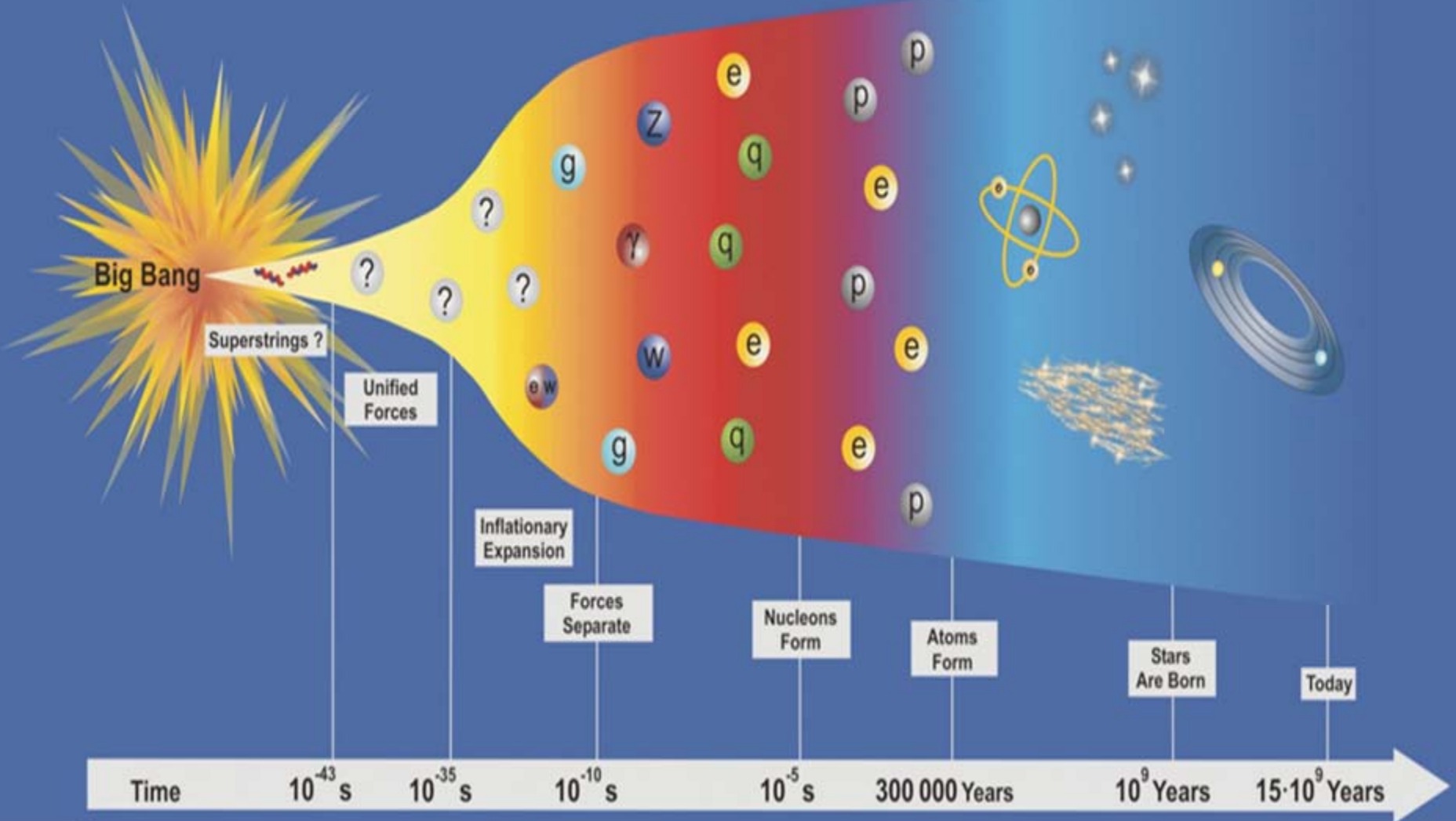
„Dass ich erkenne,

Die Motivation ...

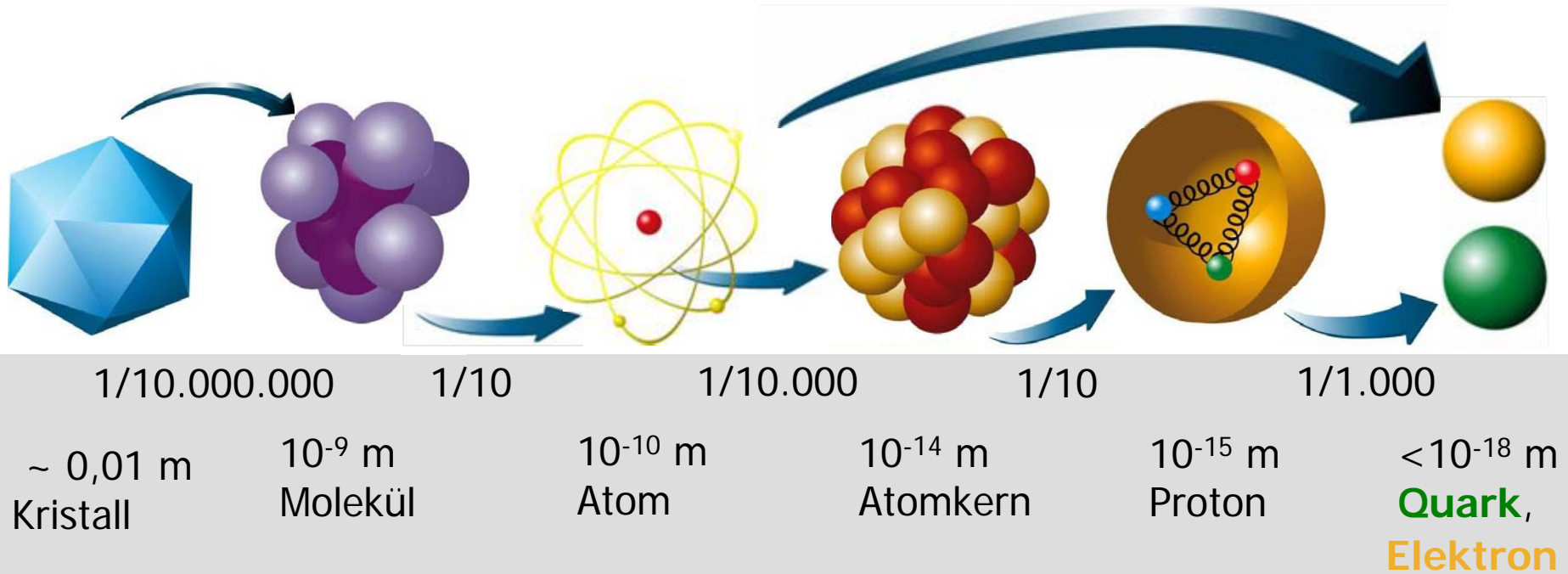
zusammenhält“

Standardmodelle: Kosmologie und Teilchenphysik

Entwicklung des Universums



Der Aufbau der Materie



Stecknadelkopf:

$$10^{-3}\text{m} = 0,001\text{m}$$

Elektron, Quark:

$$< 10^{-18}\text{m} = 0,00000000000000000001\text{m}$$

Elementare Quanten der Ursuppe?

Was noch?

Systematik in der Welt der Teilchen

Systematik \Leftrightarrow Symmetrien

Periodic Table of the Elements

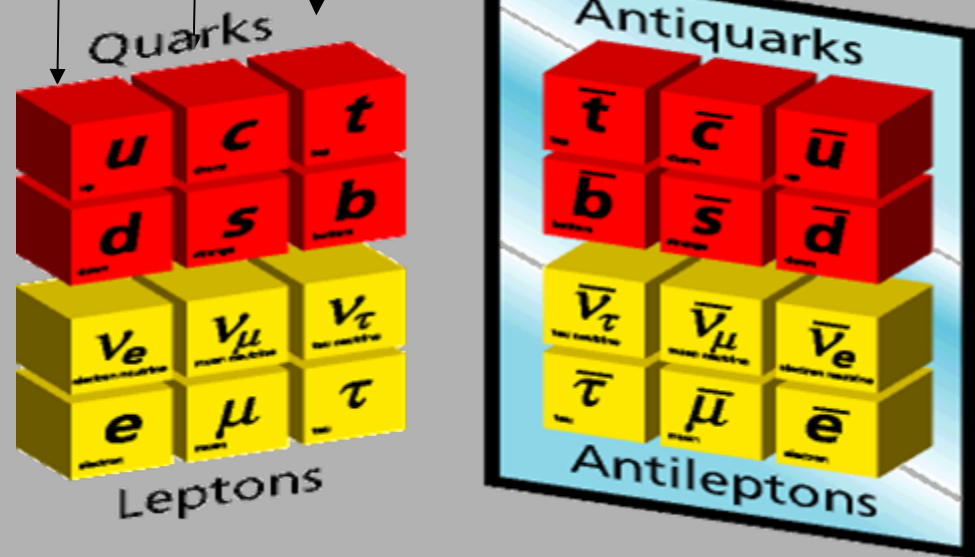
1 H He
2 Li Be B C N O F Ne
3 Na Mg Al Si P S Cl Ar
4 K Ca Sc Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn Ga Ge As Se Br Kr
5 Rb Sr Y Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te I Xe
6 Cs Ba La Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Po At Rn
7 Fr Ra Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr

* Lanthanide Series
58 Ce 59 Pr 60 Nd 61 Pm 62 Sm 63 Eu 64 Gd 65 Tb 66 Dy 67 Ho 68 Er 69 Tm 70 Yb 71 Lu

+ Actinide Series
90 Th 91 Pa 92 U 93 Np 94 Pu 95 Am 96 Cm 97 Bk 98 Cf 99 Es 100 Fm 101 Md 102 No 103 Lr

Warum 3?

3 Familien von Quarks und Leptonen

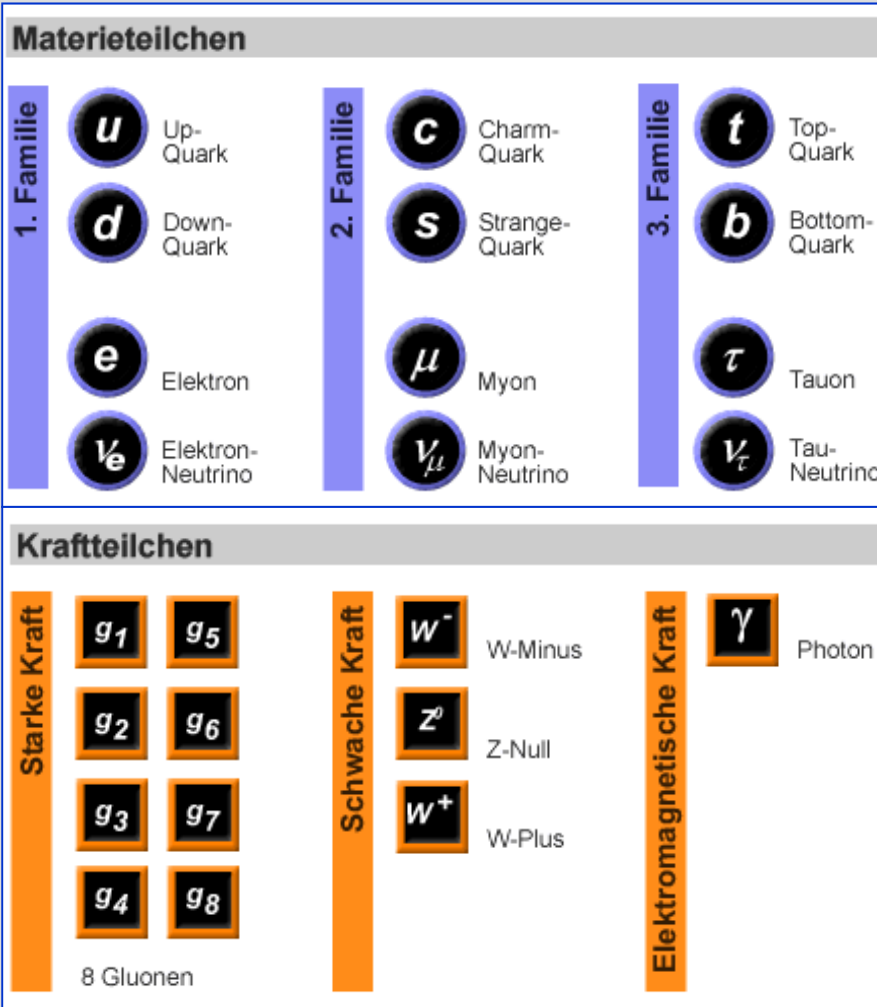


Brauchen nur 1. Familie für die Atome:
Proton=uud, Neutron=uud, Elektron
!?

Ist das alles?

+ Kraftteilchen γ , W^\pm , Z^0 , 8 Gluonen, Graviton

Standardmodelle: Kosmologie und Teilchenphysik



$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{4}W_{\mu\nu}W^{\mu\nu} - \frac{1}{4}B_{\mu\nu}B^{\mu\nu} - \frac{1}{4}G_{\mu\nu}G^{\mu\nu} \\
 & + \bar{L}\gamma^\mu (iD_\mu - \frac{1}{2}g_2 W_\mu - \frac{1}{2}g_1 B_\mu)L \\
 & + \bar{T}\gamma^\mu (iD_\mu - \frac{1}{2}g_2 W_\mu - \frac{1}{2}g_1 B_\mu)T \\
 & + \bar{Q}\gamma^\mu (iD_\mu - \frac{1}{2}g_2 W_\mu - \frac{1}{2}g_1 B_\mu)Q \\
 & - (g_1 \bar{L}L + g_2 \bar{L}\gamma_5 L + i\bar{Q}\gamma_5 Q + i\bar{u}\gamma_5 u + i\bar{d}\gamma_5 d) \\
 & + \frac{1}{2}(g_1 \bar{L}\gamma_5 L + g_2 \bar{L}\gamma_5 L + i\bar{Q}\gamma_5 Q + i\bar{u}\gamma_5 u + i\bar{d}\gamma_5 d)
 \end{aligned}$$

Massenerzeugung

Higgs-Teilchen

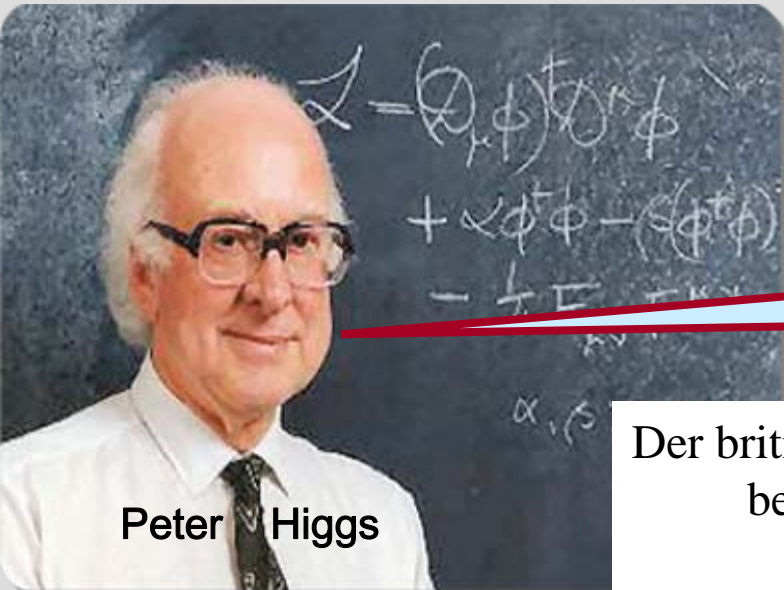
Alles verstanden? Es bleiben Fragen:
 Higgs, Dunkle Materie, Quantentheorie der Gravitation,

HIGGS-Teilchen

Die Teilchen in den 3 Familien unterscheiden sich nur in ihrer Masse.

Schöne Symmetrie, wenn alle Teilchen keine Masse hätten.
Warum haben die Teilchen Masse?

Antwort der Theoretiker: **Higgs-Teilchen** „gibt“ allen Teilchen Masse



Peter Higgs

Wie kann man das verstehen????

Masse \Leftrightarrow Trägheit

Der britische Wissenschaftsminister wollte das auch verstehen, bevor er das Geld für den „Large Hadron Collider“ locker macht

Wie die HIGGS-Teilchen träge machen



Party: Gäste erwarten
Angela ...



Angela kommt –
Wellenbewegung in Richtung Tür

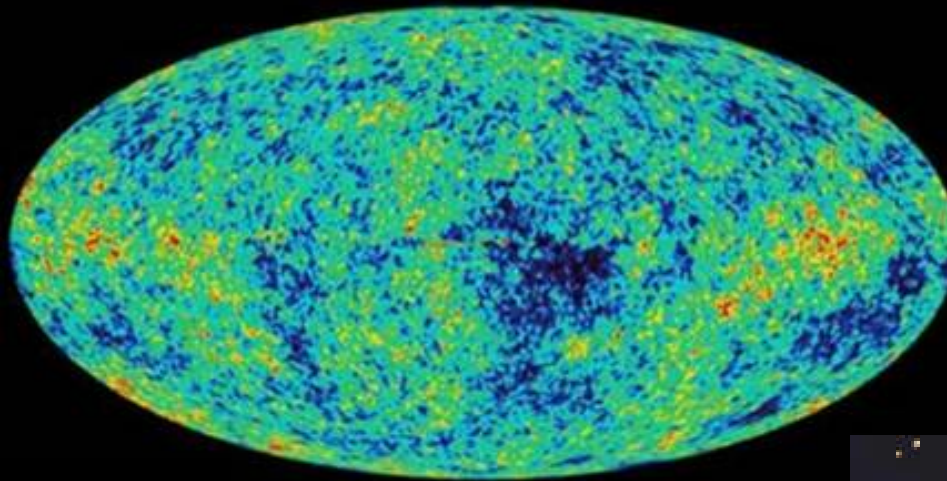


Gäste suchen die Nähe
von Angela

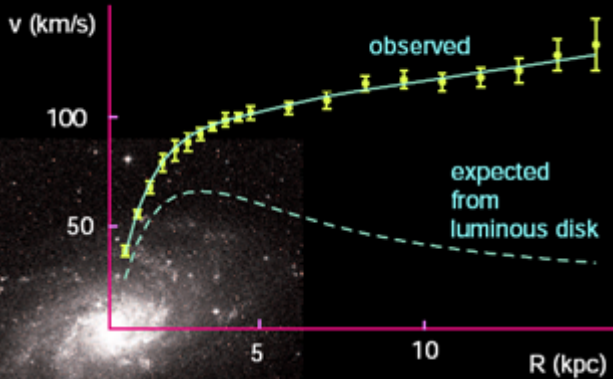
Gäste = Higgs-Feld
Angela = massives Teilchen

**Angela wird unbeweglich –
bekommt Masse**

Dunkle Materie und ...



Mikrowellenhintergrund
(Nobelpreis 2006)



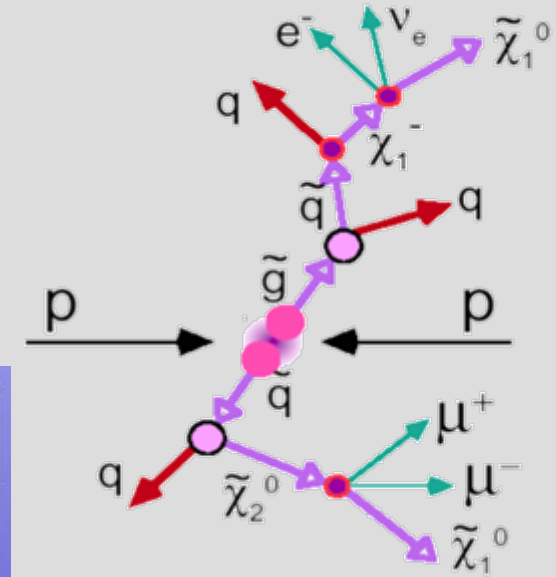
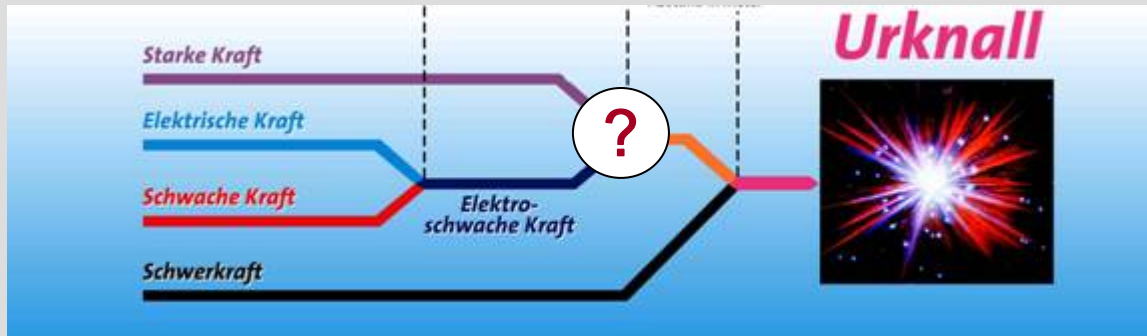
M33 rotation curve
(fig. 1)

Rotationskurven von Galaxien



Dynamik von Galaxienhaufen

... und Supersymmetrie



Teilchen und ihre supersymmetrischen Partner (SUSY)

Spin	Normales Teilchen	Superpartner	Spin
1/2	Leptons (e, ν_e, \dots) Quarks (u, d, \dots)	Sleptons ($\tilde{e}, \tilde{\nu}_e, \dots$) Squarks ($\tilde{u}, \tilde{d}, \dots$)	0
1	Gluons W^\pm Z^0 Photon (γ)	Gluginos Wino Zino Photino ($\tilde{\gamma}$)	1/2
0	Higgs	Higgsino	1/2
2	Graviton	Gravitino	3/2

stabiles **LSP**
„lightest SUSY particle“

„Neutralinos“ sind Kandidaten
für Dunkle Materie

Suche nach ‚Extra-Dimensionen‘



Mini
Schwarzes
Loch

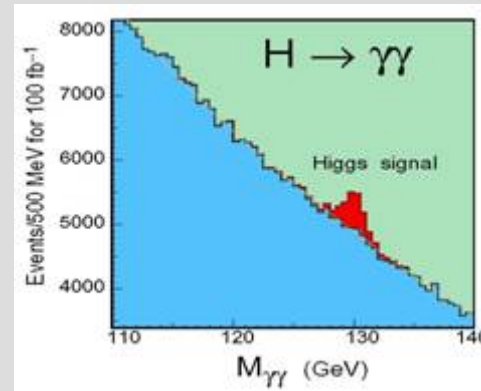
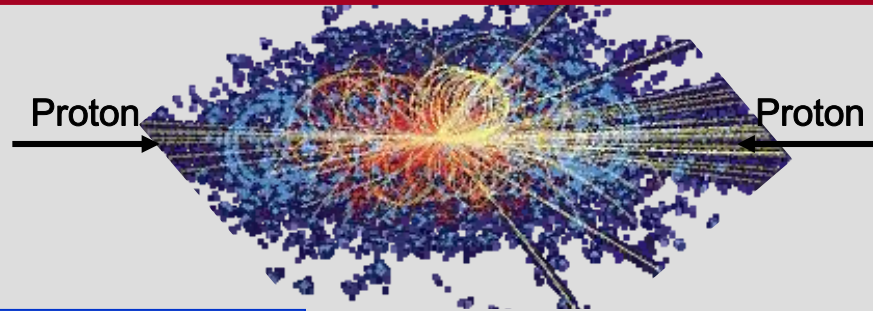
Basic idea : solve hierarchy problem $M_{EW} / M_{Planck} \sim 10^{-17}$ by lowering gravity scale from $M_{Planck} \sim 10^{19}$ GeV to MD ~ 1 TeV
Possible if gravity propagates in $4 + n$ dimensions.

Warum hohe Energien?

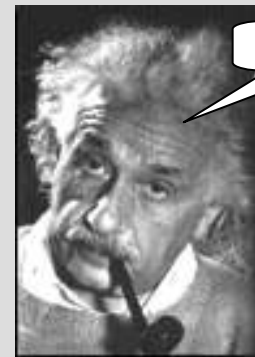


Ortsauflösung
Mikroskop: 10^{-6} m

Ortsauflösung
LHC: 10^{-20} m



$$\Delta x = h / \Delta p$$

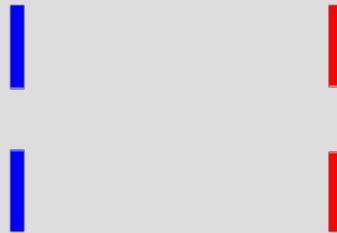


$$E=mc^2$$

Energie:

- Abtasten von Strukturen
- Aufbrechen von Strukturen
- Erzeugung von neuer Materie: $E=mc^2$

Energie = Masse = 1/Abstand



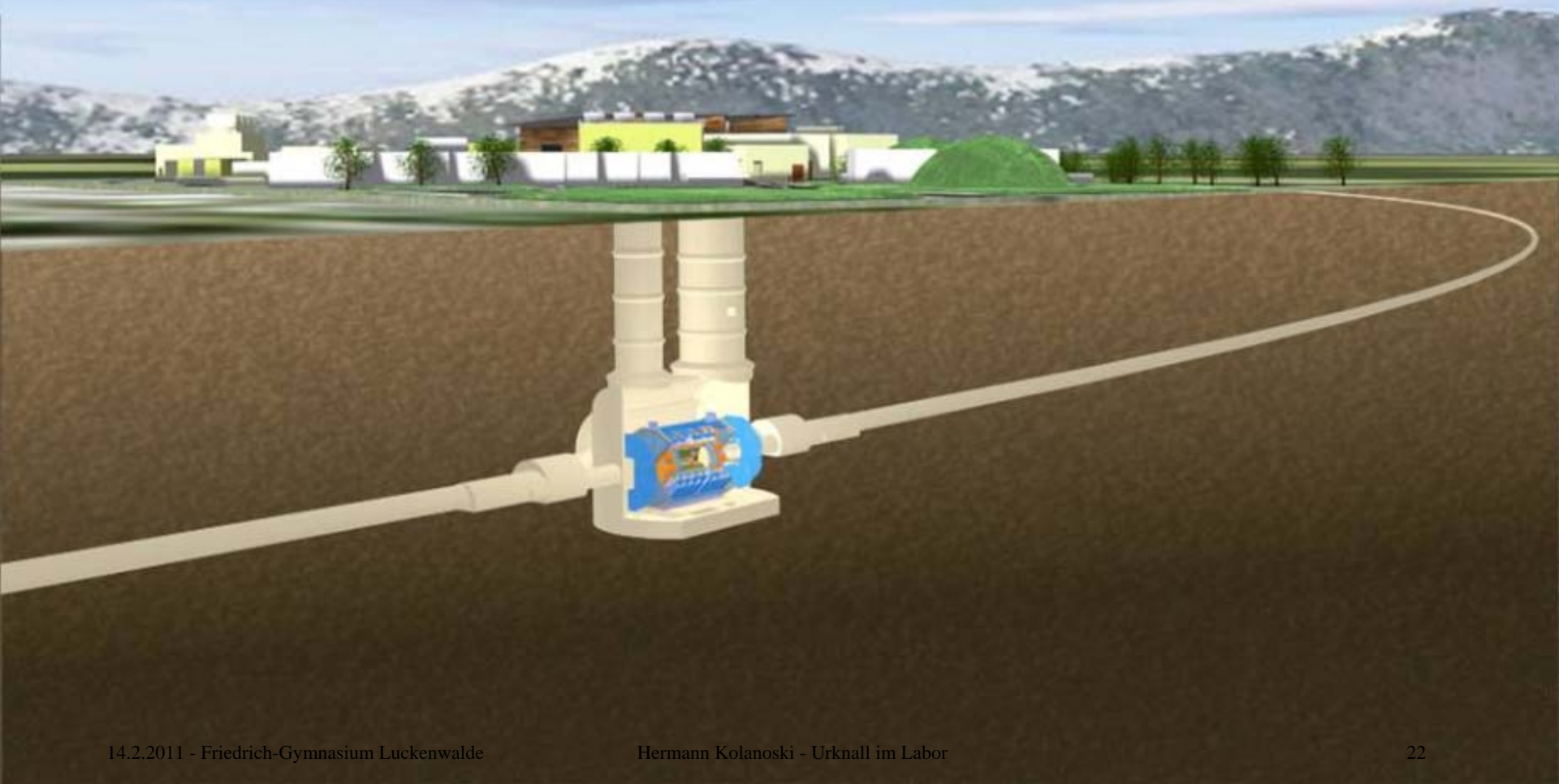
Energie: eV, keV, MeV, GeV, TeV, PeV, EeV,

Masse: $E=mc^2 \rightarrow$ H-Masse etwa 1 GeV/c²

Impuls: masselose Teilchen: $p= E/c$
1 Proton (H-Kern) in LHC: 7 TeV/c

Abstand: $\Delta x = h/ \Delta p \approx 10^{-19}$ m (LHC)

Apparaturen



Maschine: Large Hadron Collider

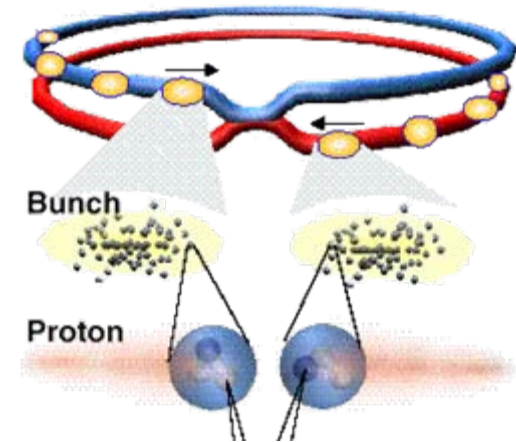
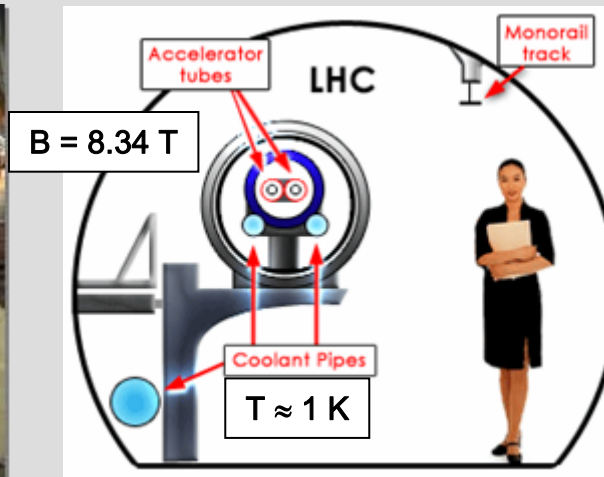
Maschine: Large Hadron Collider (LHC)

Ablassen des ersten Dipolmagneten
in den Tunnel im März 2005

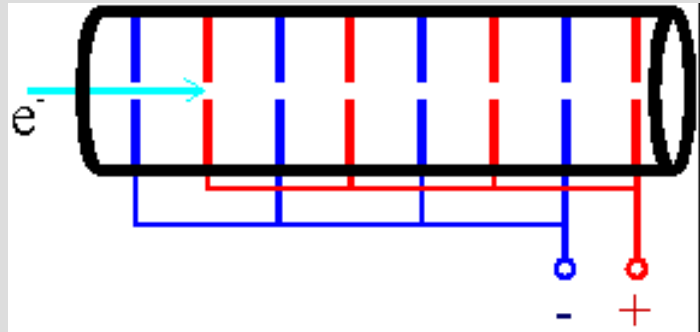


... und der 616. Magnet von
insgesamt 1232 im Juli 2006

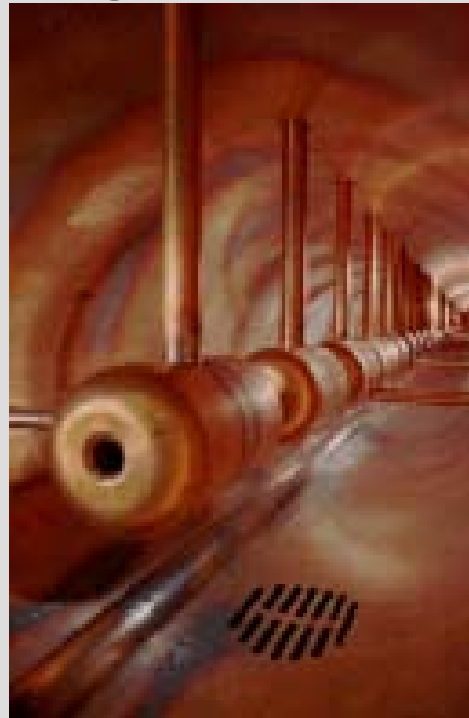
Supraleitende Magnettechnologie basiert auf Pionierarbeit für HERA-Collider im DESY



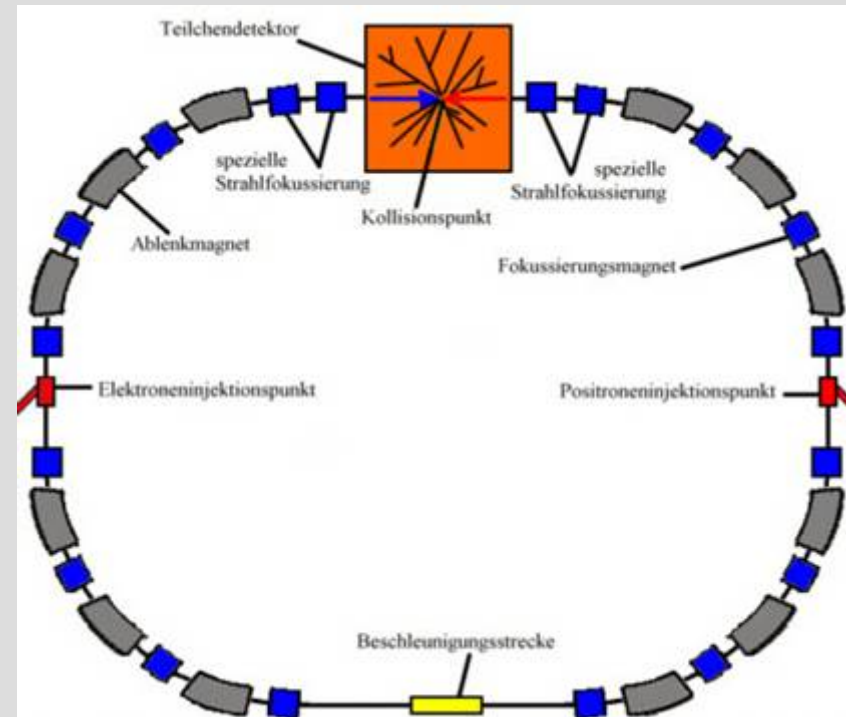
Beschleuniger



Linearbeschleuniger:

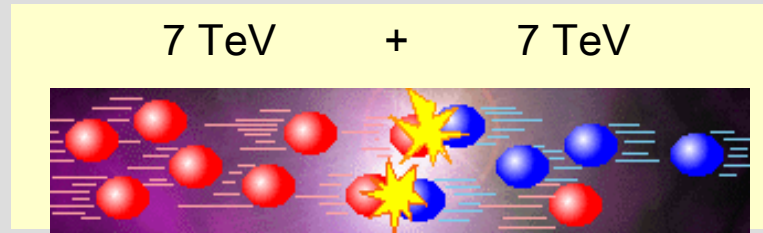


Speicherring:



LHC-Parameter

Energie

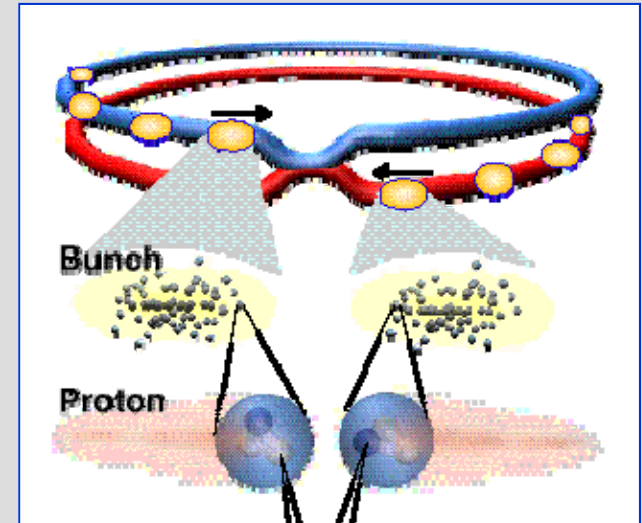


Bunch-Kollisionen:

40 MHz = 40 Mio Kollisionen pro s
oder
1 Kollision pro 25 Nanosekunden

Intensität der Strahlen
= Luminosität:

$$L = \frac{10^{34}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$$



$$\dot{N} = \sigma \cdot L$$

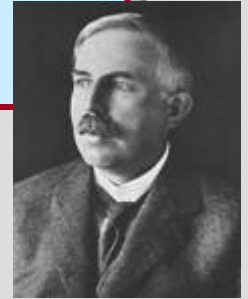
mit $\sigma_{pp} \approx 100 \text{ mb} = 10^{-25} \text{ cm}^2$ folgt:
 $\dot{N} = 10^9 \text{ Ereignisse/s} = 1 \text{ GHz} !!!$



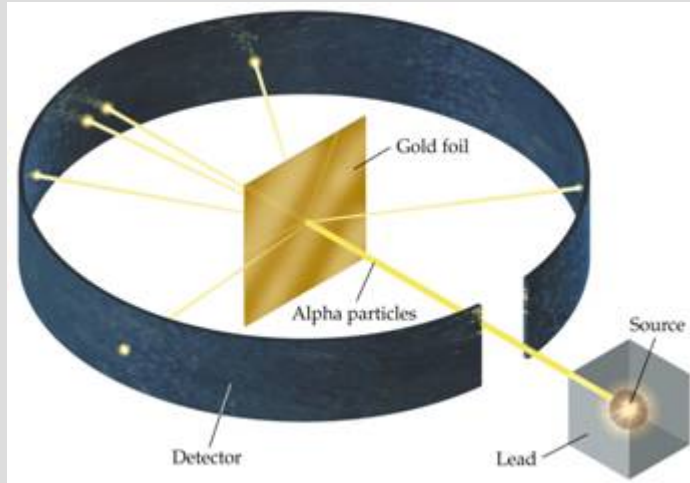
σ = „Wirkungsquerschnitt“

⇒ in 1 Jahr = 10^7 s wird 1 Ereignis erzeugt,
das 10^{16} – mal seltener als eine Proton-Proton-Kollision ist !!

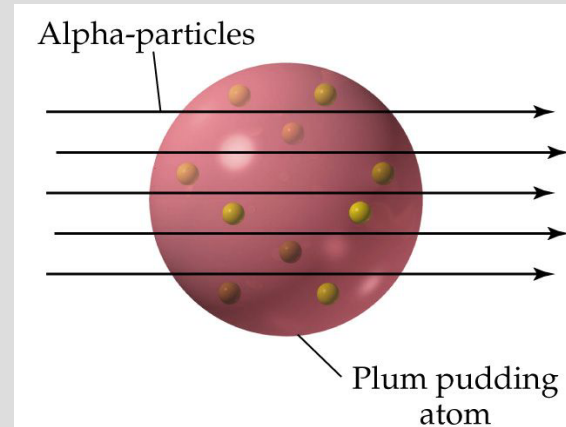
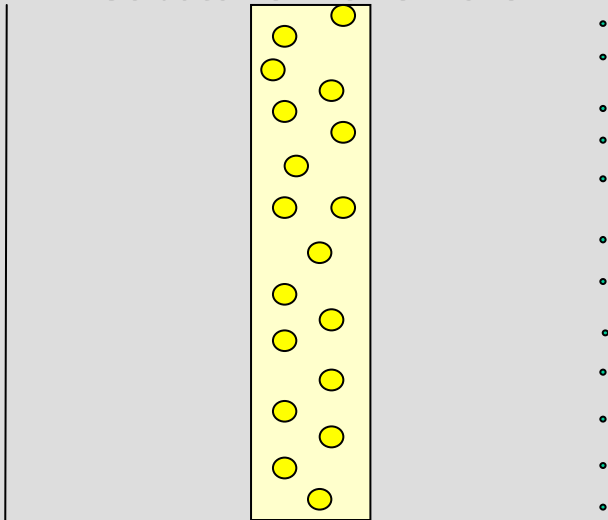
Wie kann man kleine Teilchen „sehen“ ?



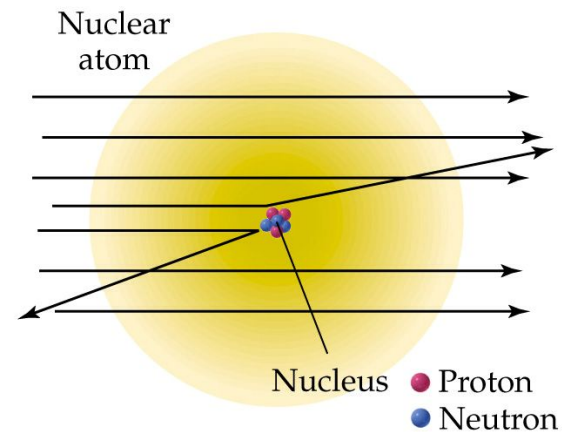
E.Rutherford misst die Struktur der Atome durch Streuversuche



Goldatome in einer Folie



a) Rutherfords Erwartung



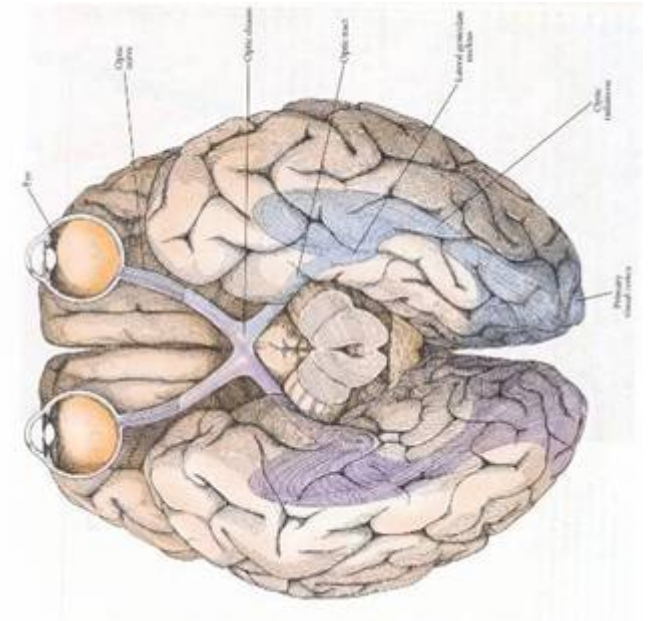
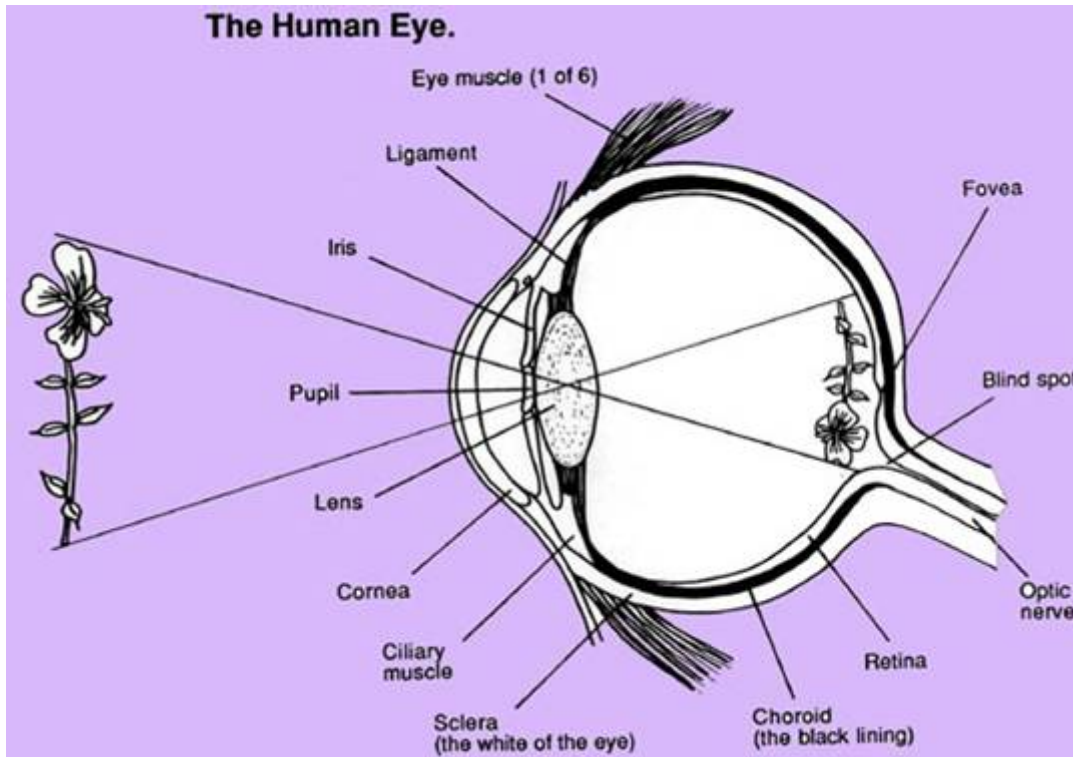
b) Rutherfords Ergebnis

[Rutherford Applet](#)

A detailed 3D cutaway illustration of a particle detector, likely a calorimeter or similar high-energy physics instrument. The central part shows a cylindrical structure with a grid of detector elements. The outer layers consist of various materials, including a large, multi-faceted calorimeter structure on the right and a complex support and shielding structure on the left. The entire assembly is mounted on a base with various components and wiring.

Der Detektor

Seh-Apparat verglichen mit einem Detektor



Strahlung

Licht

Teilchenstrahlen

Fokussierung

Linse

Magnete

**Wechselwirkung
mit Sensor**

Netzhaut

Detektor

Signaltransfer

Nerven

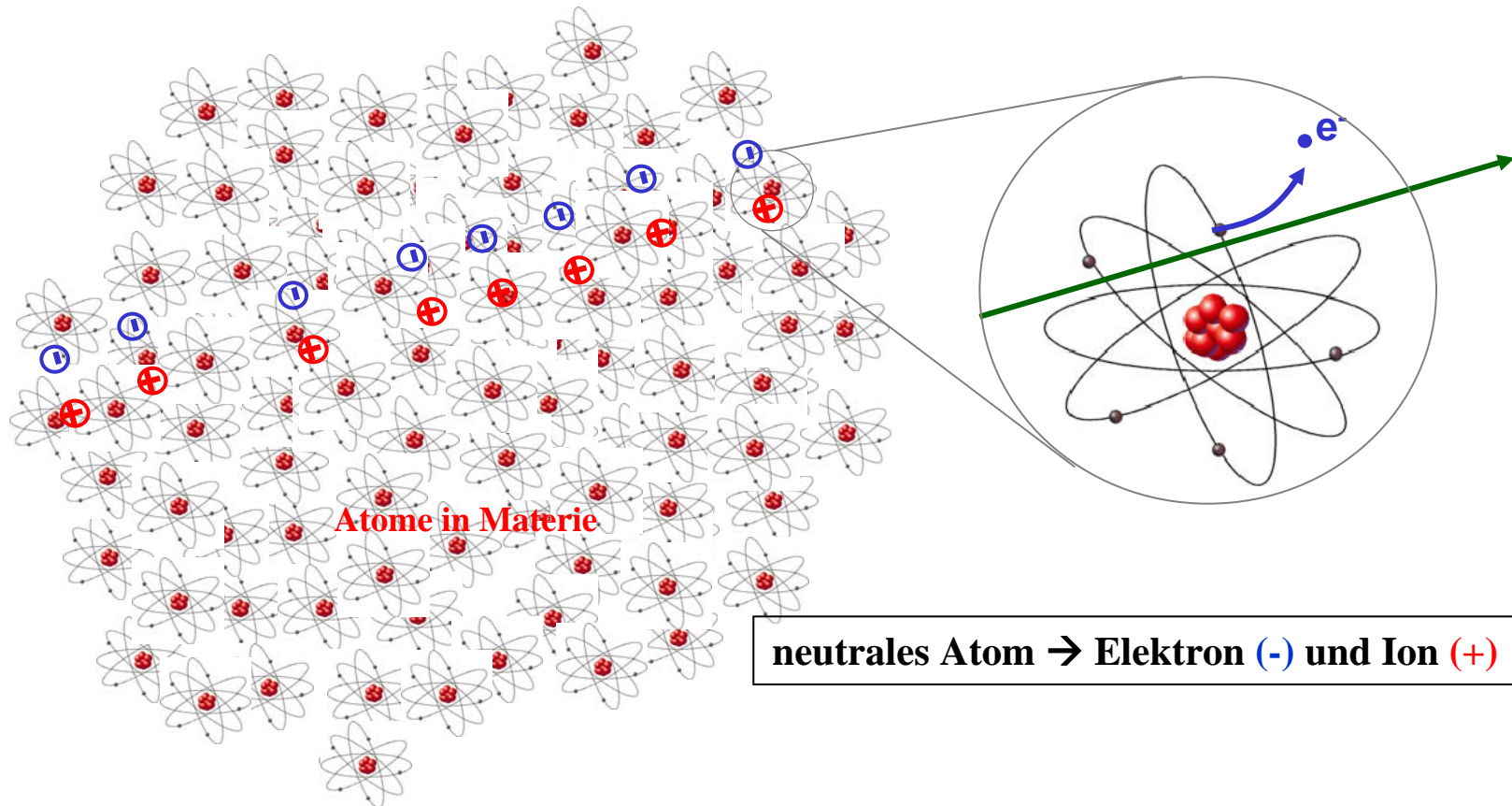
Kabel

Datenverarbeitung

Gehirn

Computer

Ionisation: Erzeugung elektrischer Ladungen

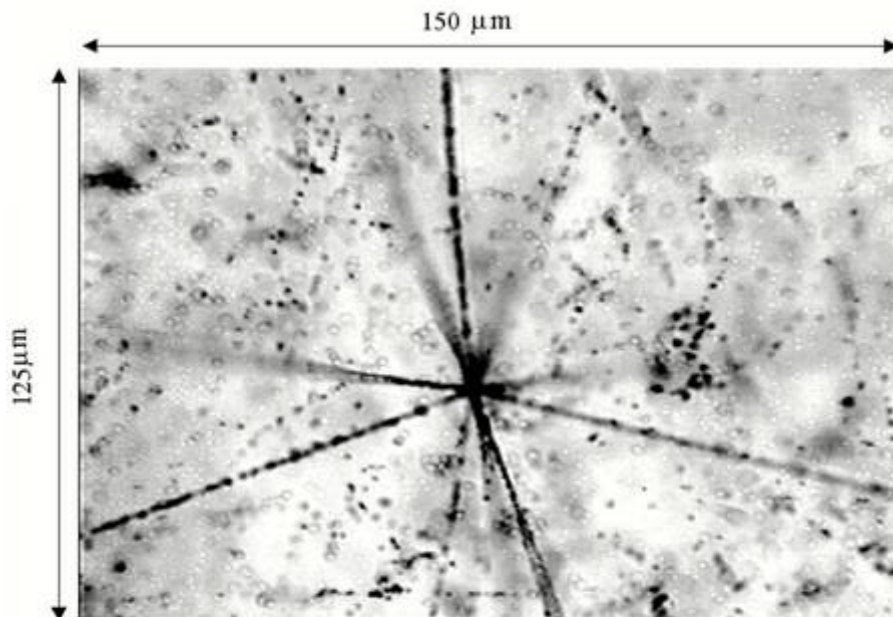


Beispiel: ein Teilchen erzeugt etwa 100 Ionen pro 1 cm in Argon
und etwa 25000 Ionen pro 300 μm in Silizium

\leftarrow Driftkammern
 \leftarrow Si-Detektoren

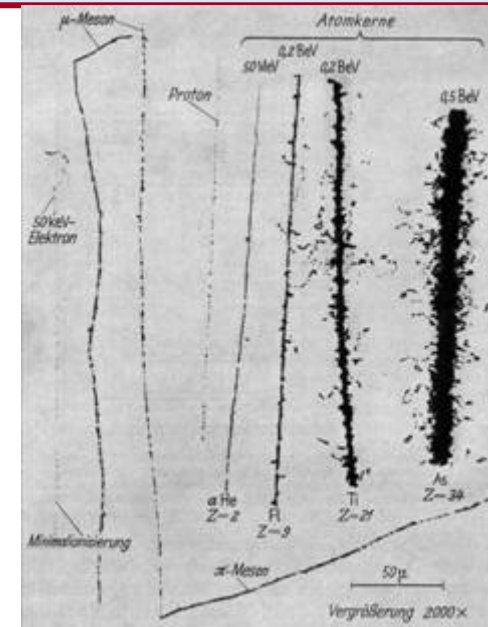
Ionisationsspuren sichtbar machen: Photoemulsion

Schwärzung einer Photoemulsion



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

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



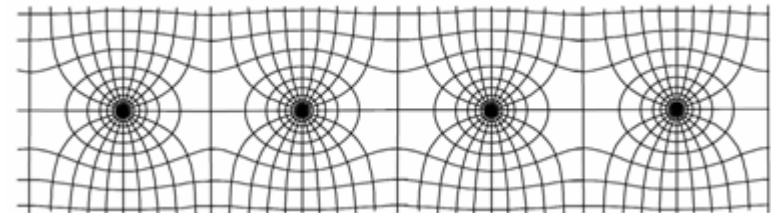
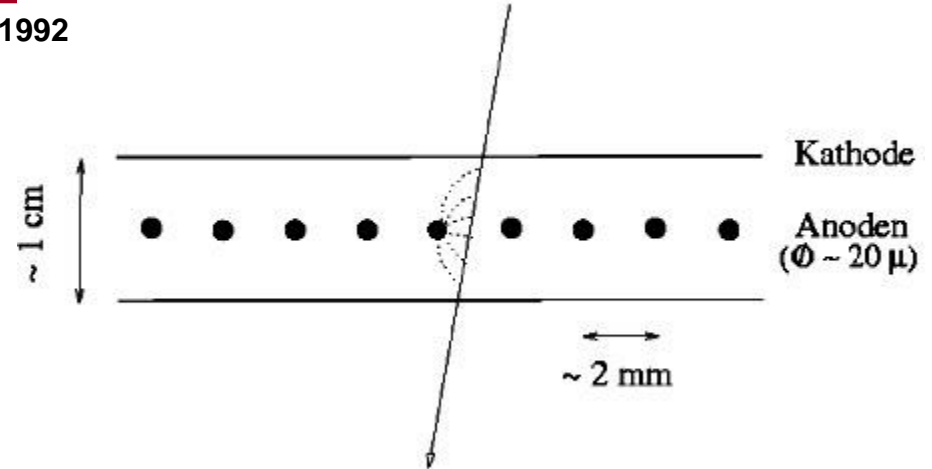
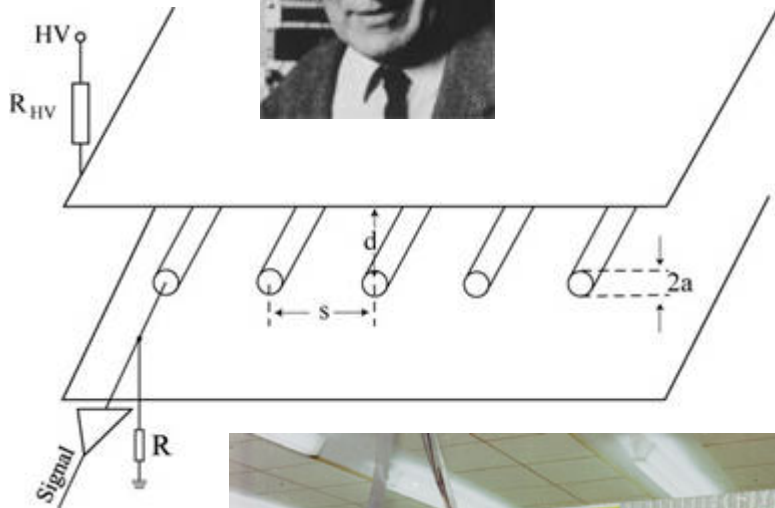
**Langsame schwere Teilchen machen
mehr Ionisation als schnelle leichte Teilchen**

Mikroskopische Vermessung der Spuren

Ortsbestimmung: **Vieldrahtproportionalkammer**



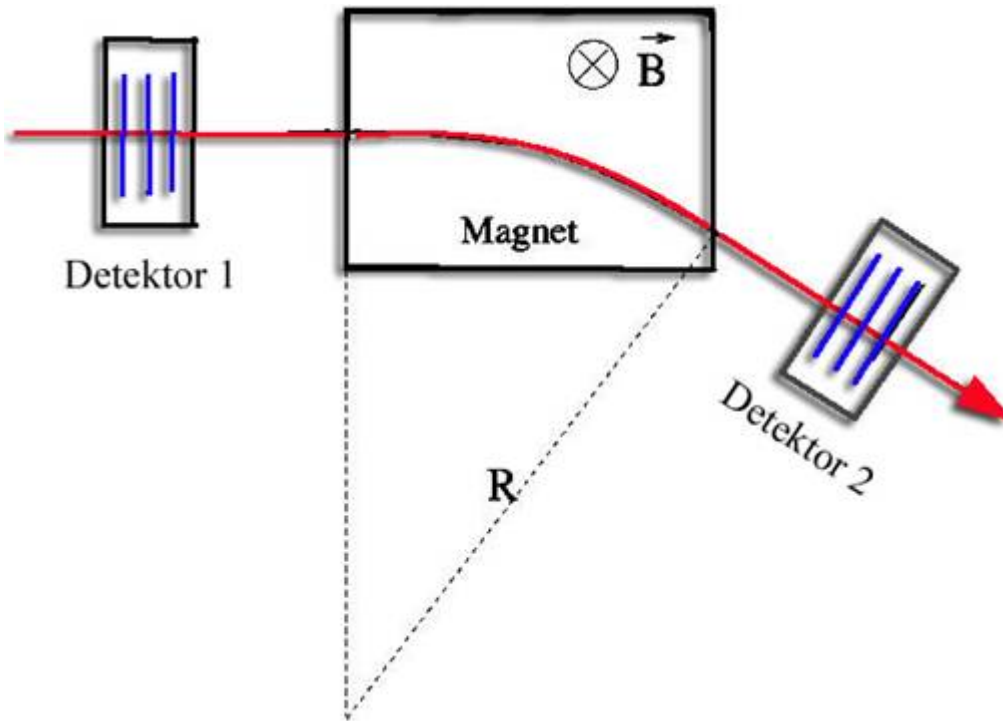
G. Charpak, Nobelpreis 1992



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

Impulsmessung

Impuls = Masse × Geschwindigkeit



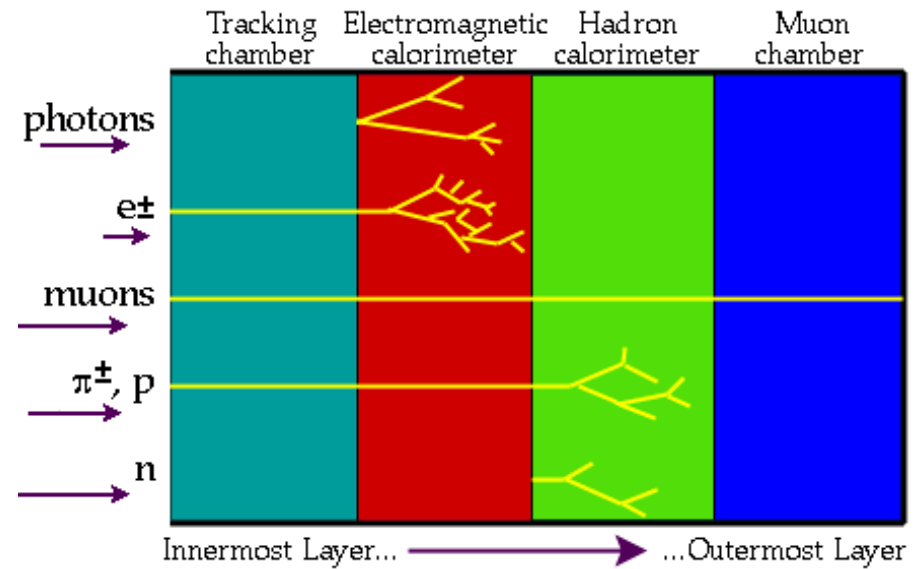
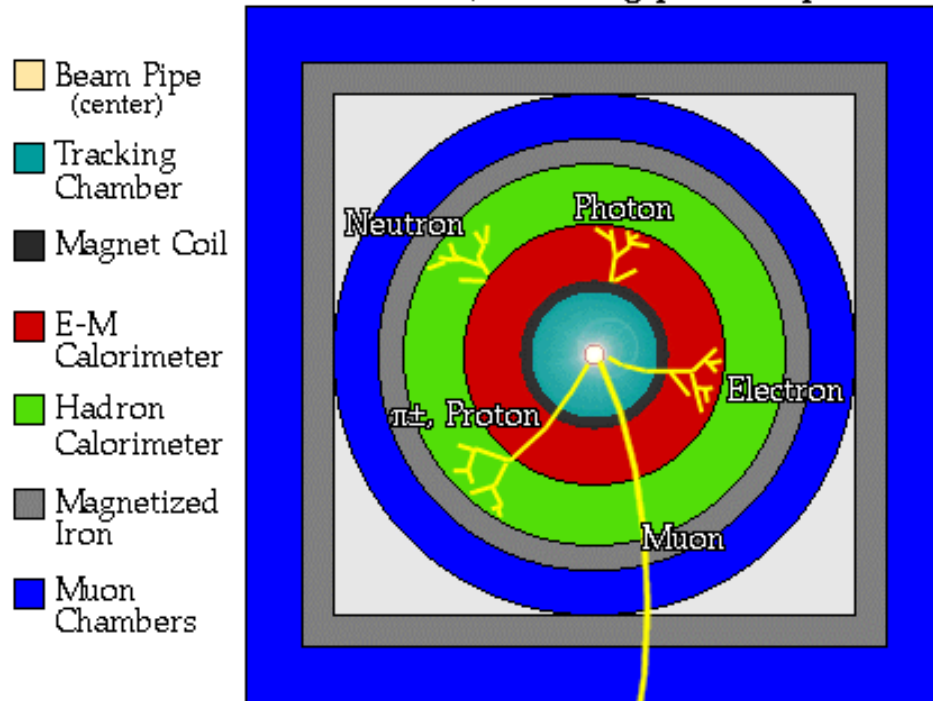
$$R[\text{m}] = \frac{p_T[\text{GeV}]}{0.3 \cdot B[\text{T}]}$$

Häufig auch Detektoren im Magnetfeld



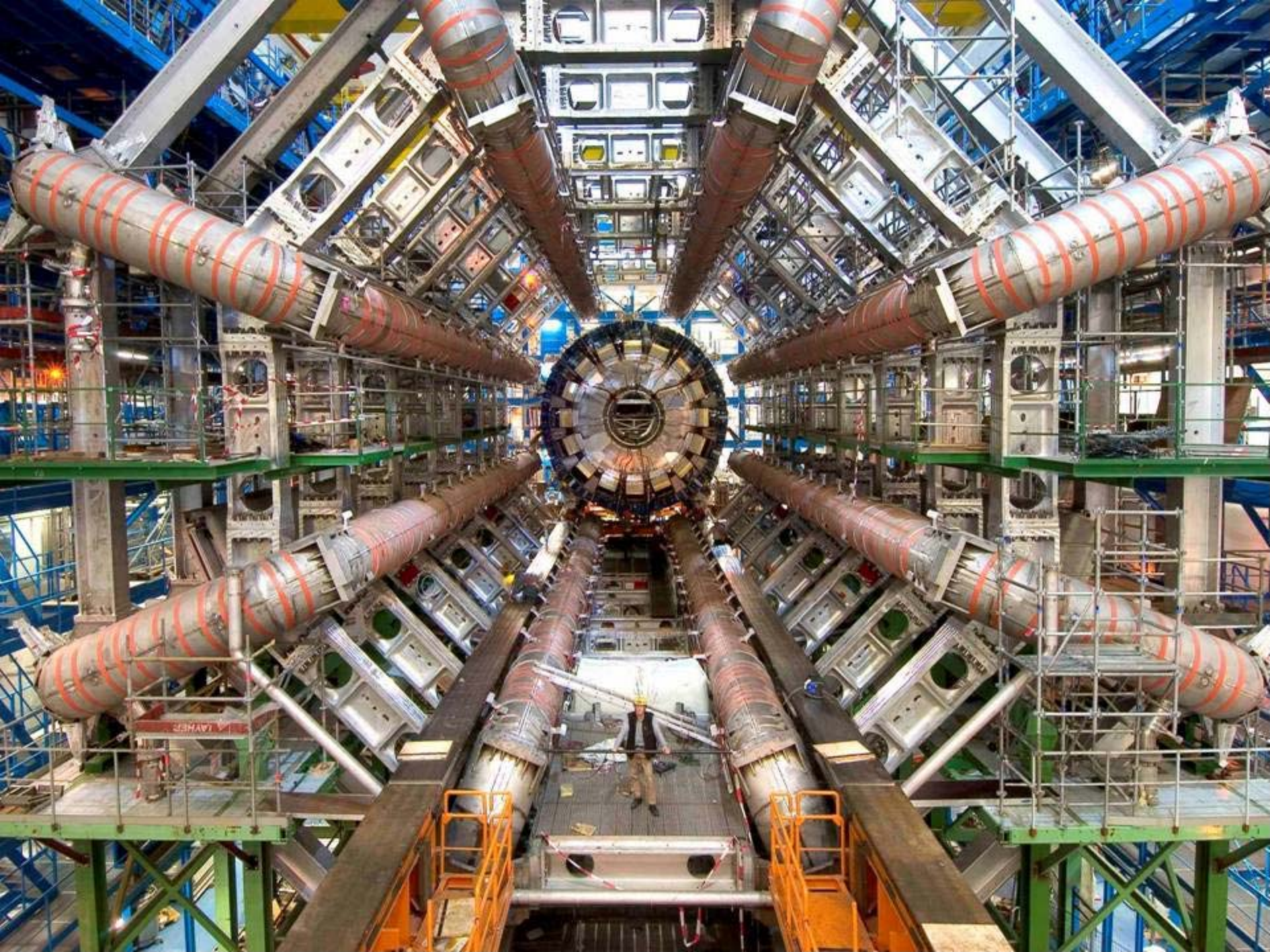
Typischer Detektor

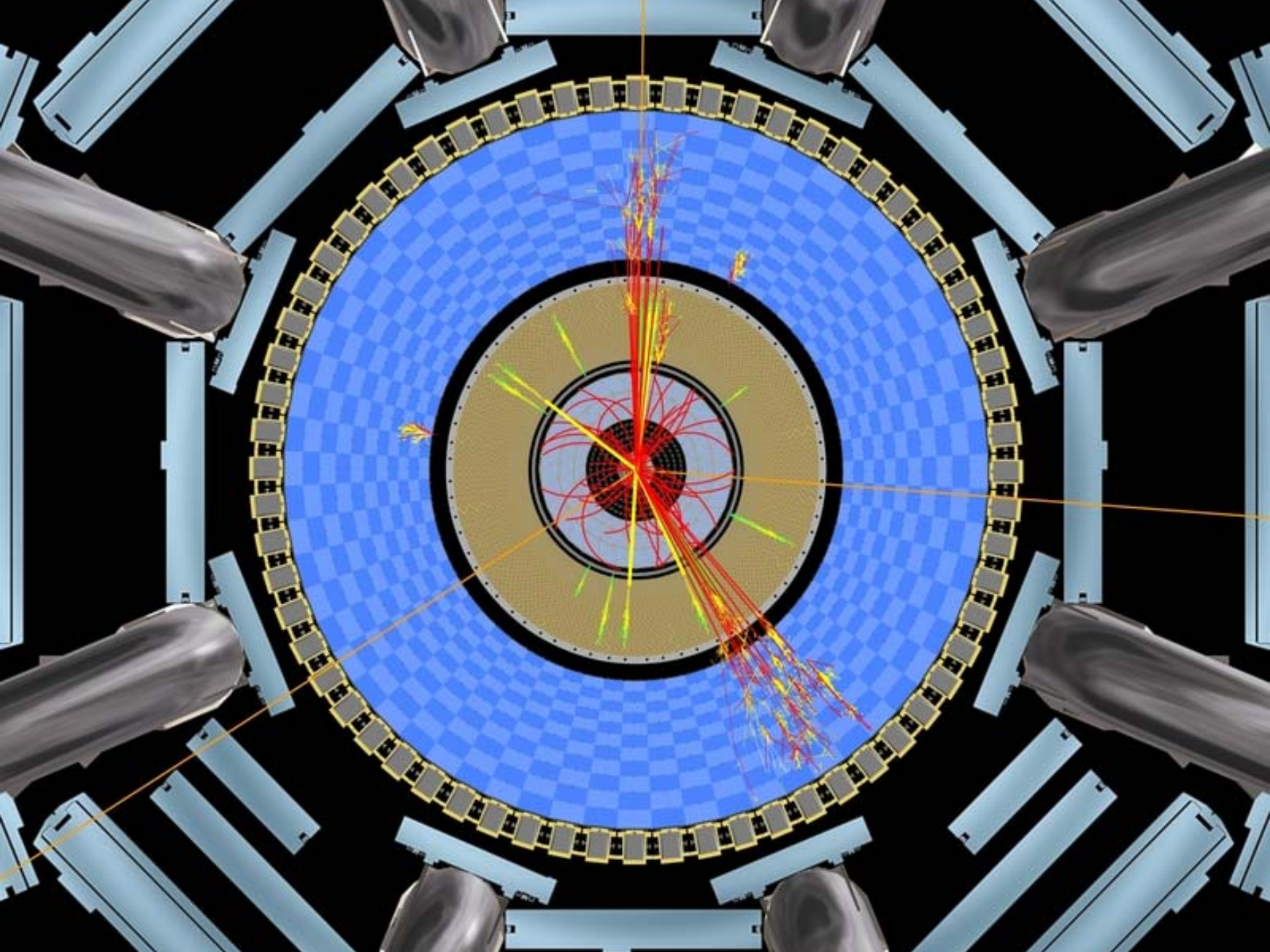
A detector cross-section, showing particle paths



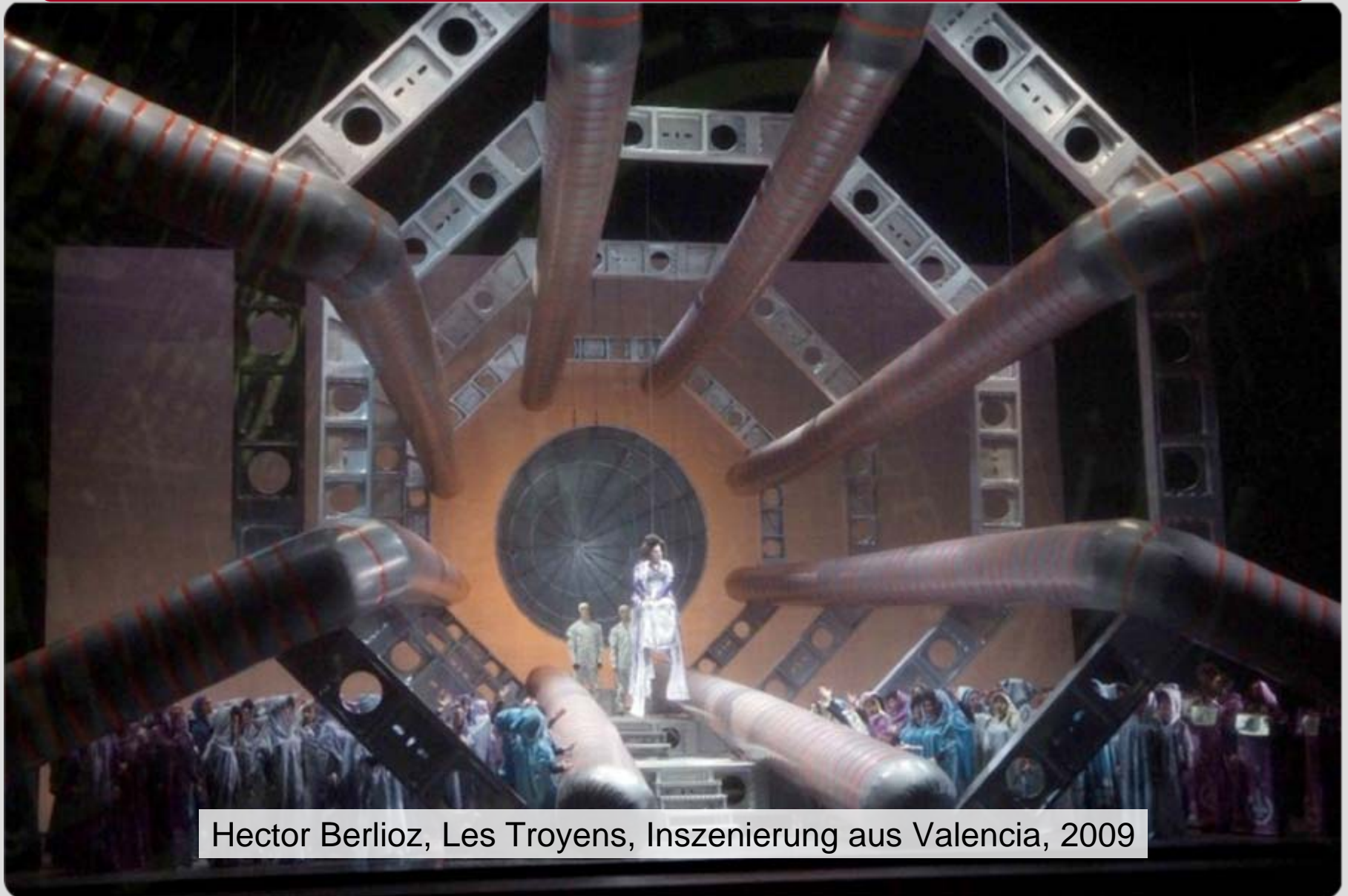
Toroidmagnet-Installation







ATLAS als Opernbühne



Hector Berlioz, Les Troyens, Inszenierung aus Valencia, 2009

Trigger, Datennahme und Detektorkontrolle

Trigger = Auswahl "guter" Ereignisse

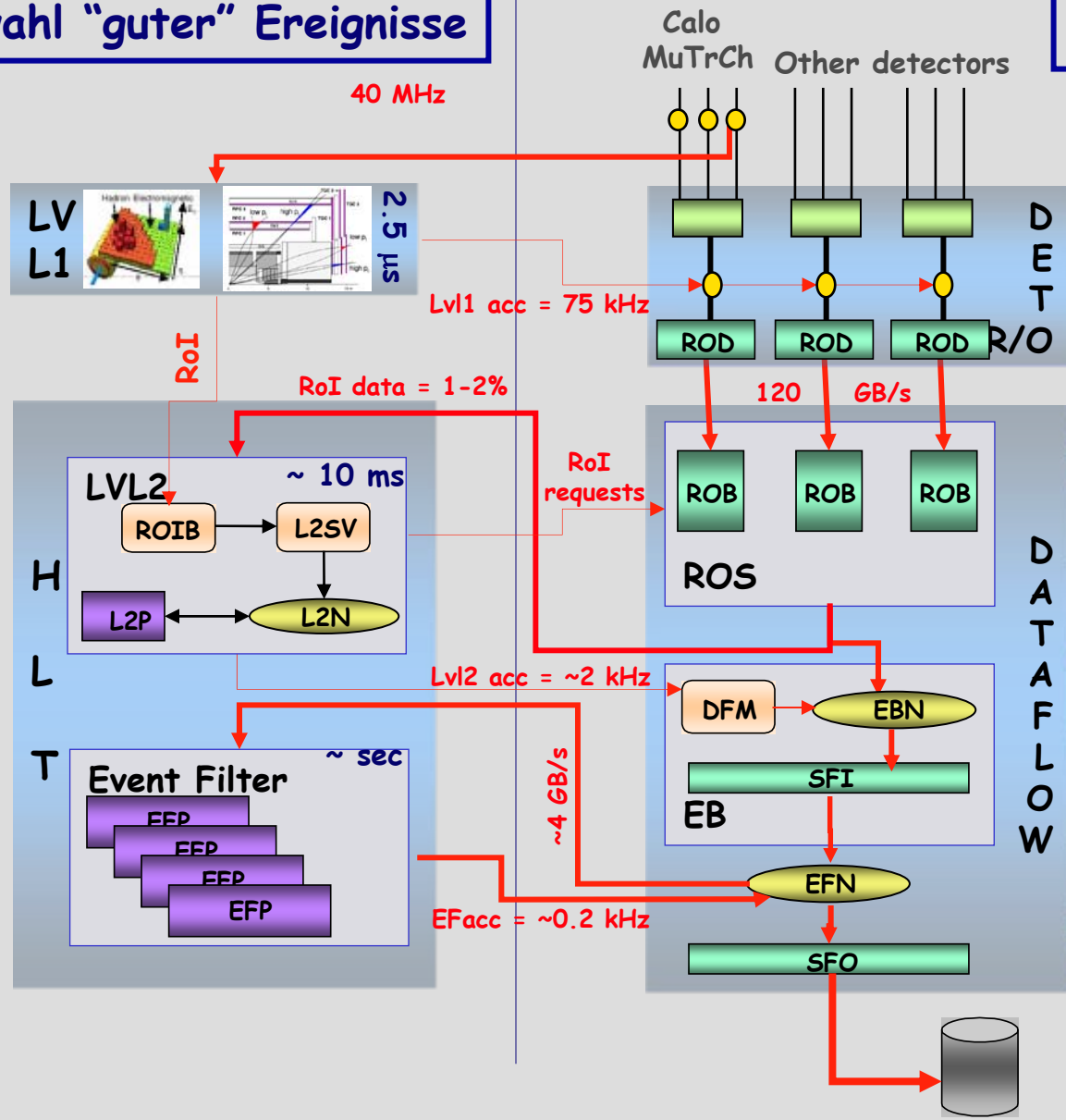
Datennahme

40 MHz

75 kHz

~2 kHz

~ 200 Hz

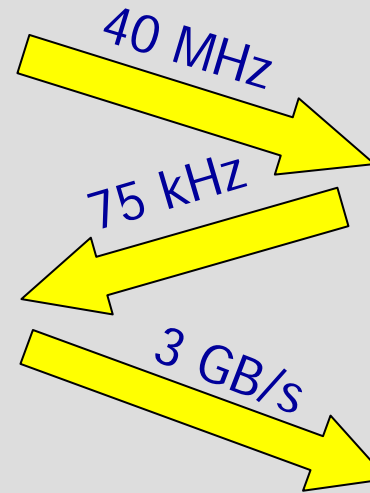
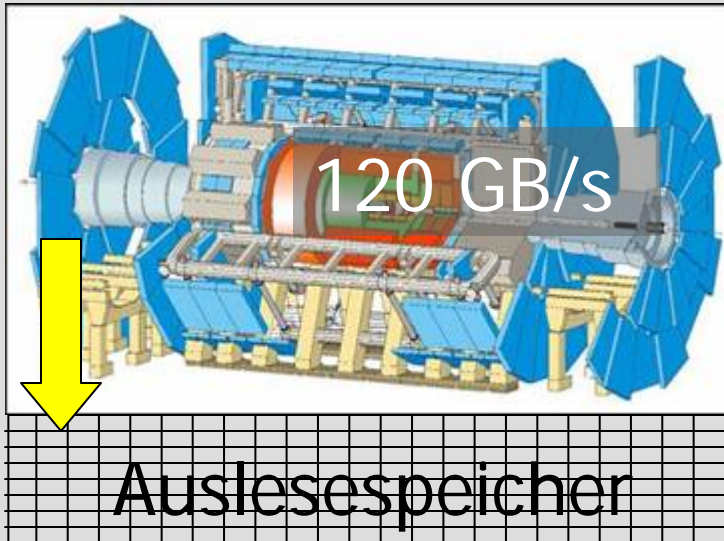


120 GB/s

~2+4 GB/s

~ 300 MB/s

Datennahme und Speicherung



Hardware Trigger

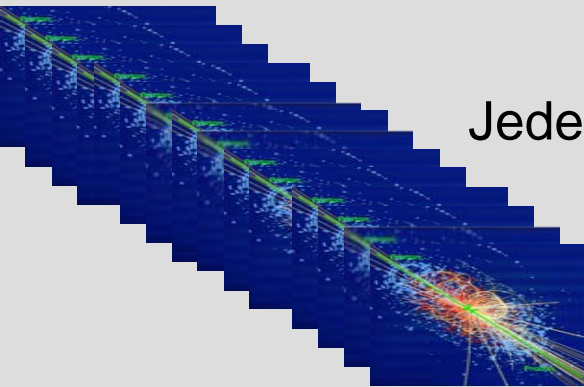


**1 Petabyte
pro Jahr
(10⁶ Gigabyte)**



LHC und die Datenflut

„The Big Data Bang“



Jede Sekunde -

600 000 000 Ereignisse

x 20 000 000 Sensoren

≈ 10 Petabyte/s

Datenfilter: 1 : 10 000 000

Datenspeicher: 10 Petabyte pro Jahr

(~ 1% der globalen Information)

1 Megabyte (1MB)
A digital photo

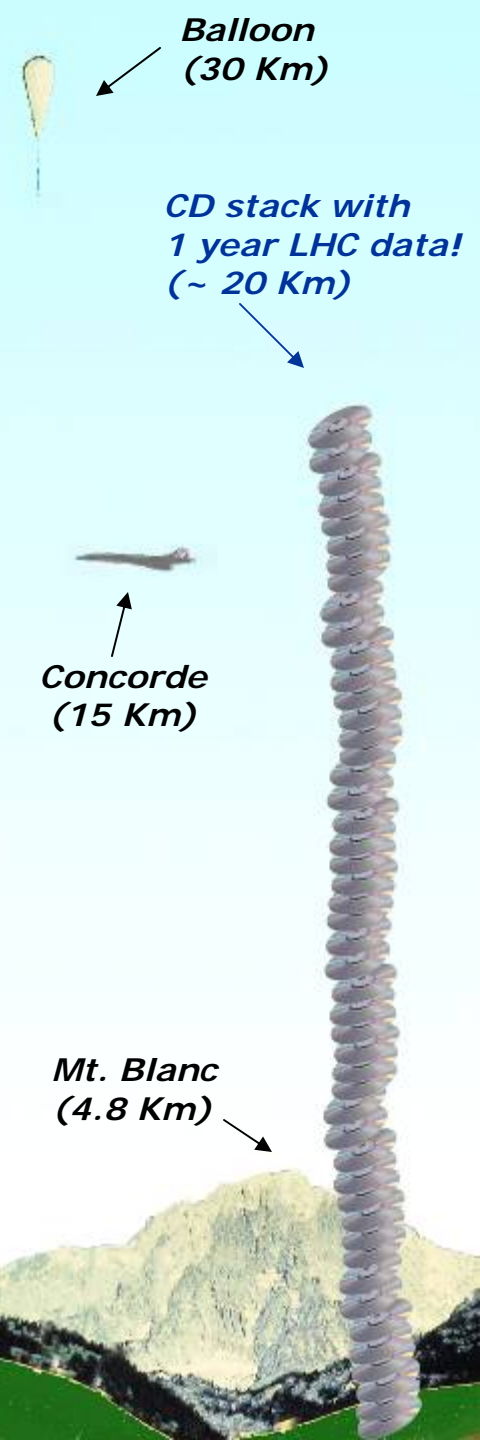
1 Gigabyte (1GB)
= 1000MB
A DVD movie

1 Terabyte (1TB)
= 1000GB
World annual
book production

1 Petabyte (1PB)
= 1000TB
Annual production of one
LHC experiment

1 Exabyte (1EB)
= 1000 PB
World annual information
production

http://edu-resources.web.cern.ch/edu-Resources/CERN_Intro_061101.pdf

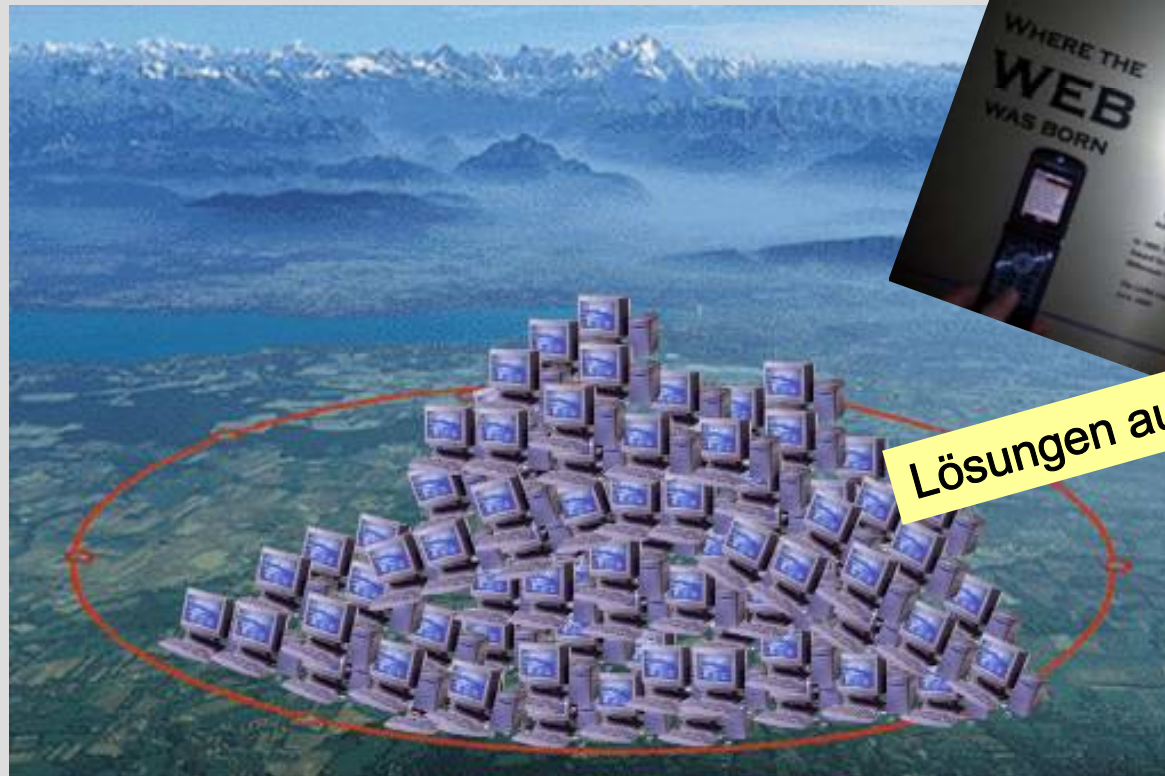




LHC Datenverarbeitung

LHC-Datenanalyse erfordert Computer Kapazitäten entsprechend ~ 100,000 der schnellsten heutigen PC's

Wo findet man das?

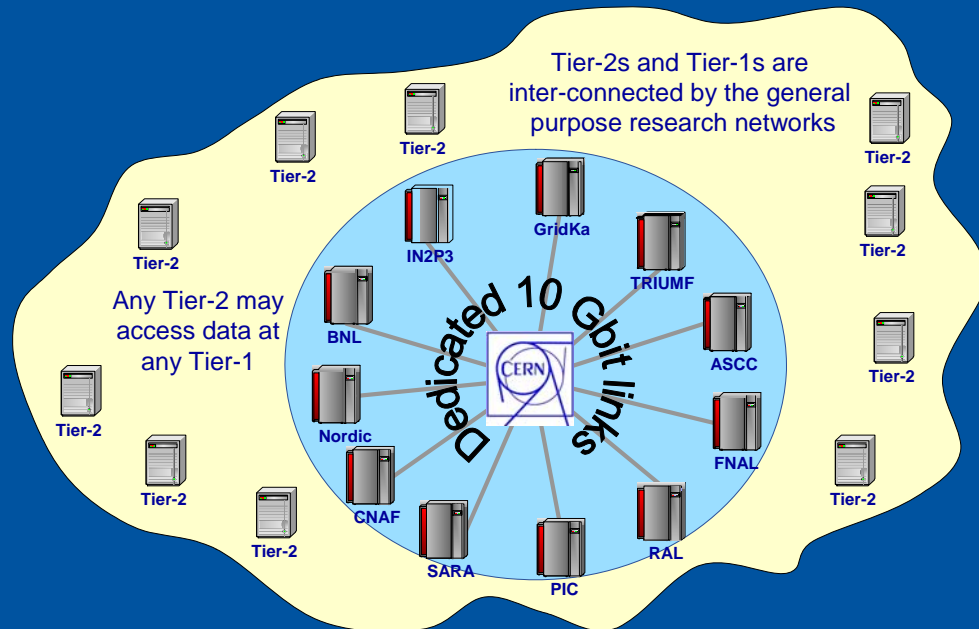


LHC Computing Grid

Web für Informationen ↔ Grid für Computing

LHC-Experimente:

- ~200 Computer-Center
- 12 große Zentren (Tier-0, Tier-1)
- 38 kleinere "Tier-2"-Zentren



LCG-TDR-001
CERN-LHCC-2005-024

www.cern.ch/lcg

LHC Computing Grid
Technical Design Report

Editor: Jürgen Knobloch





15:38:56 UTC

Tier-1 Centers: TRIUMF (Canada); GridKA(Germany); IN2P3 (France); CNAF (Italy); SARA/NIKHEF (NL); Nordic Data Grid Facility (NDGF); ASCC (Taipei); RAL (UK); BNL (US); FNAL (US); PIC (Spain)

LHC-Start im Dezember 2009



ATLAS-Kontrollraum in DESY Zeuthen

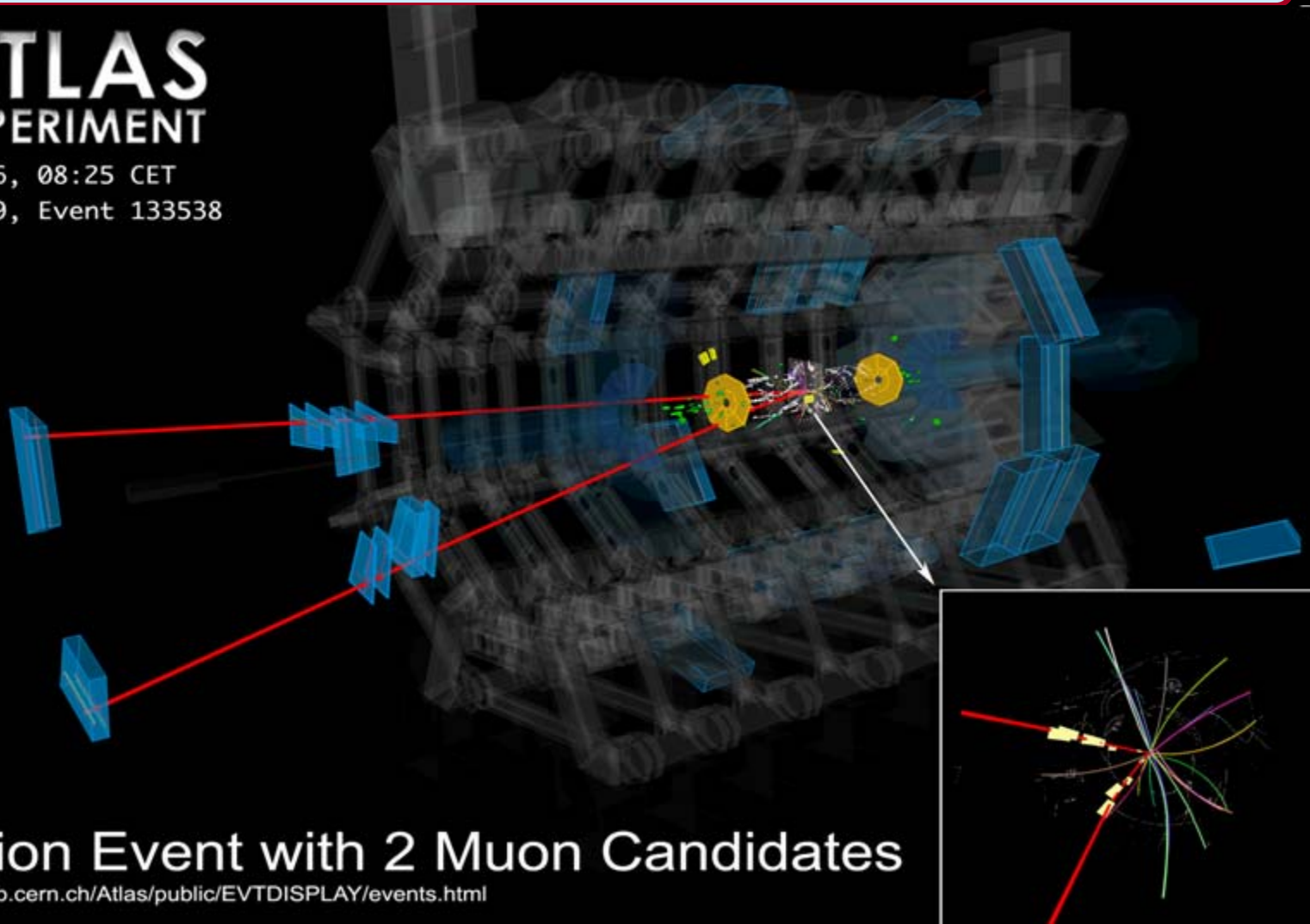


Myon-Spuren



2009-12-06, 08:25 CET

Run 141749, Event 133538



Collision Event with 2 Muon Candidates

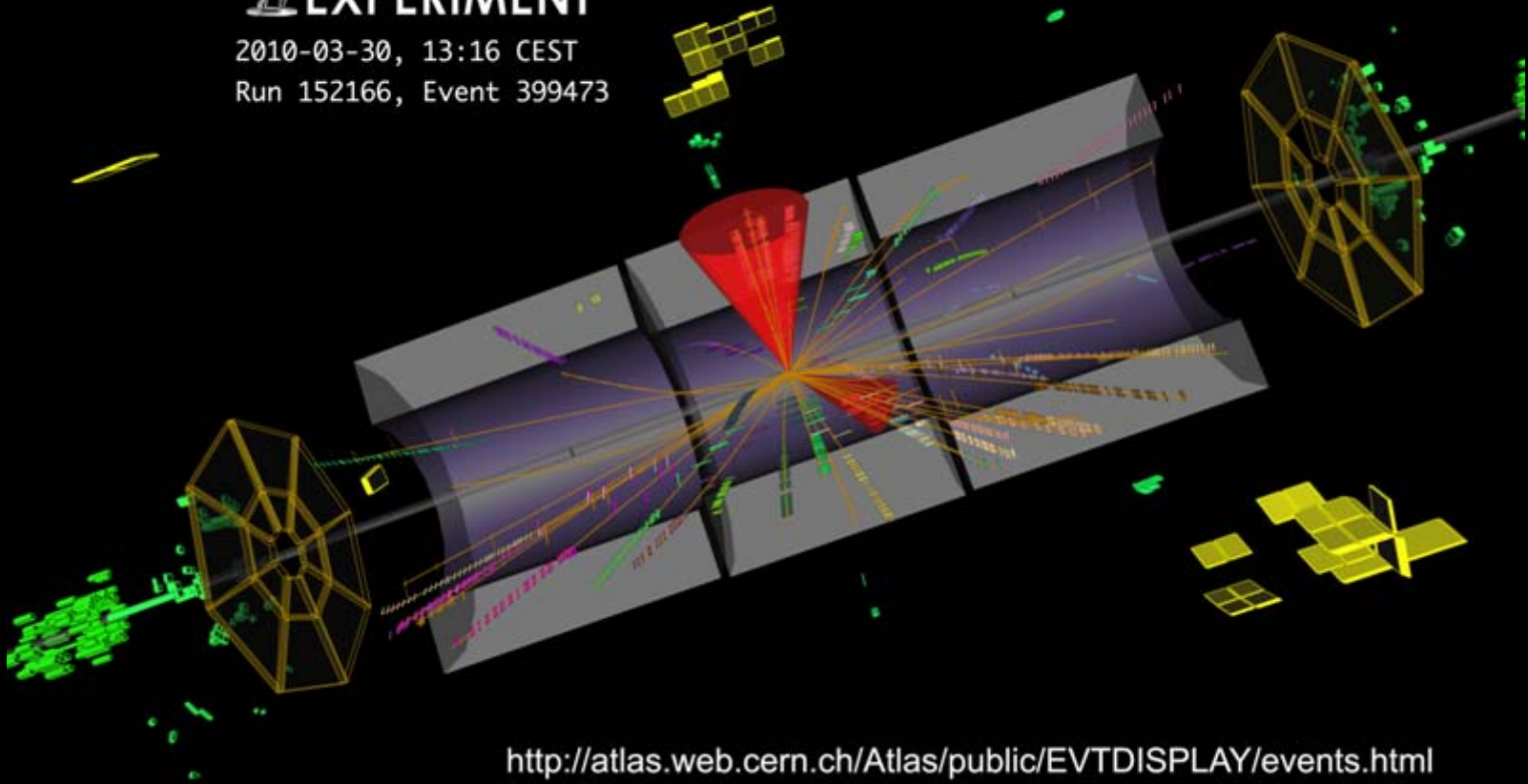
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

Erste Kollisionen bei 7 TeV !

 **ATLAS**
EXPERIMENT

2010-03-30, 13:16 CEST
Run 152166, Event 399473

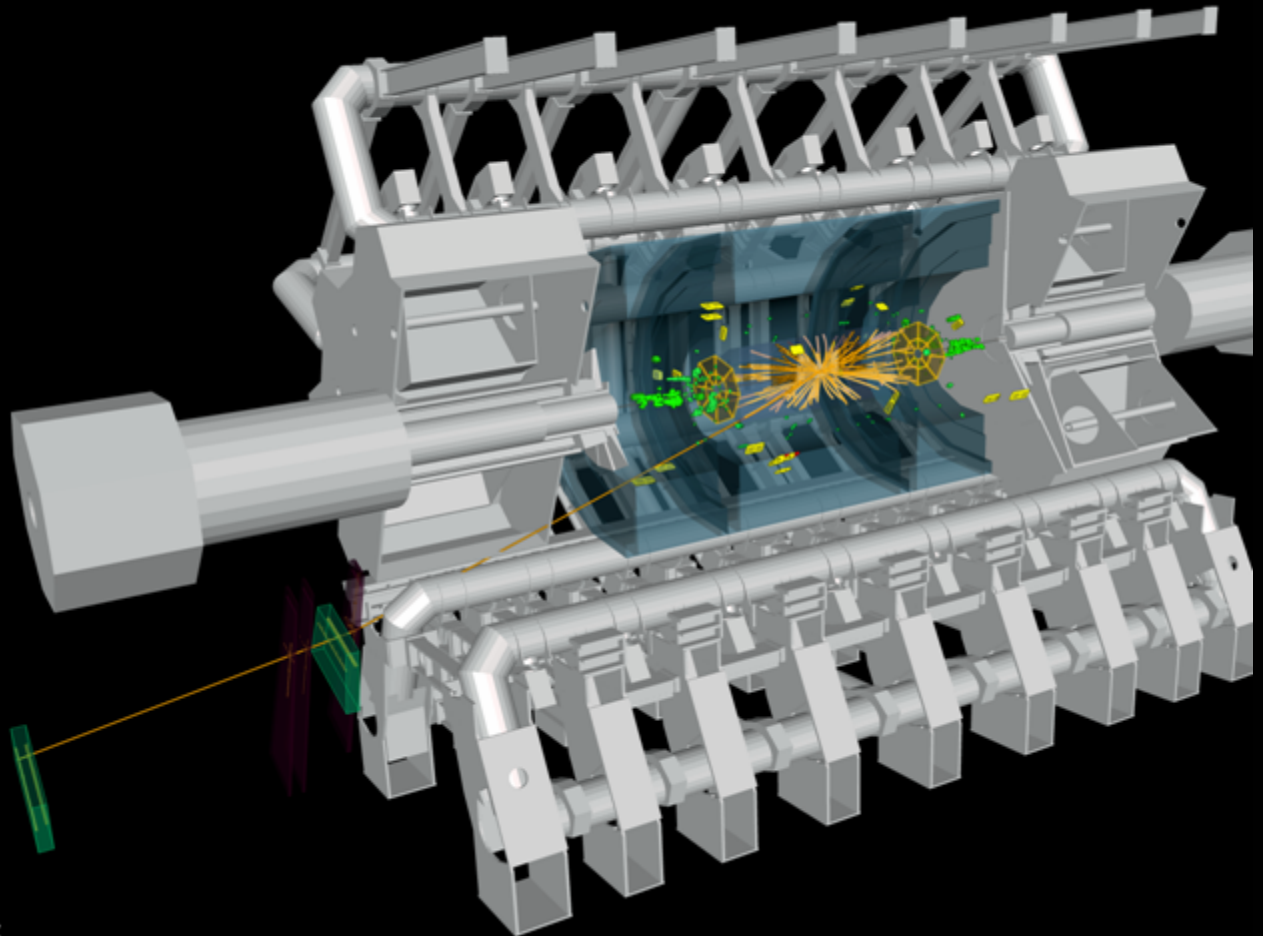
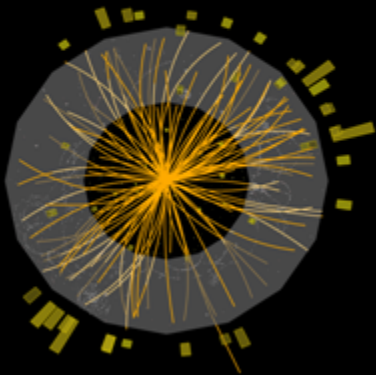
2-Jet Collision Event at 7 TeV



<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

Myon-Spuren bei 7 TeV

Collision Event at 7 TeV with Muon Candidate



2010-03-30, 12:59 CEST
Run 152166, Event 322215

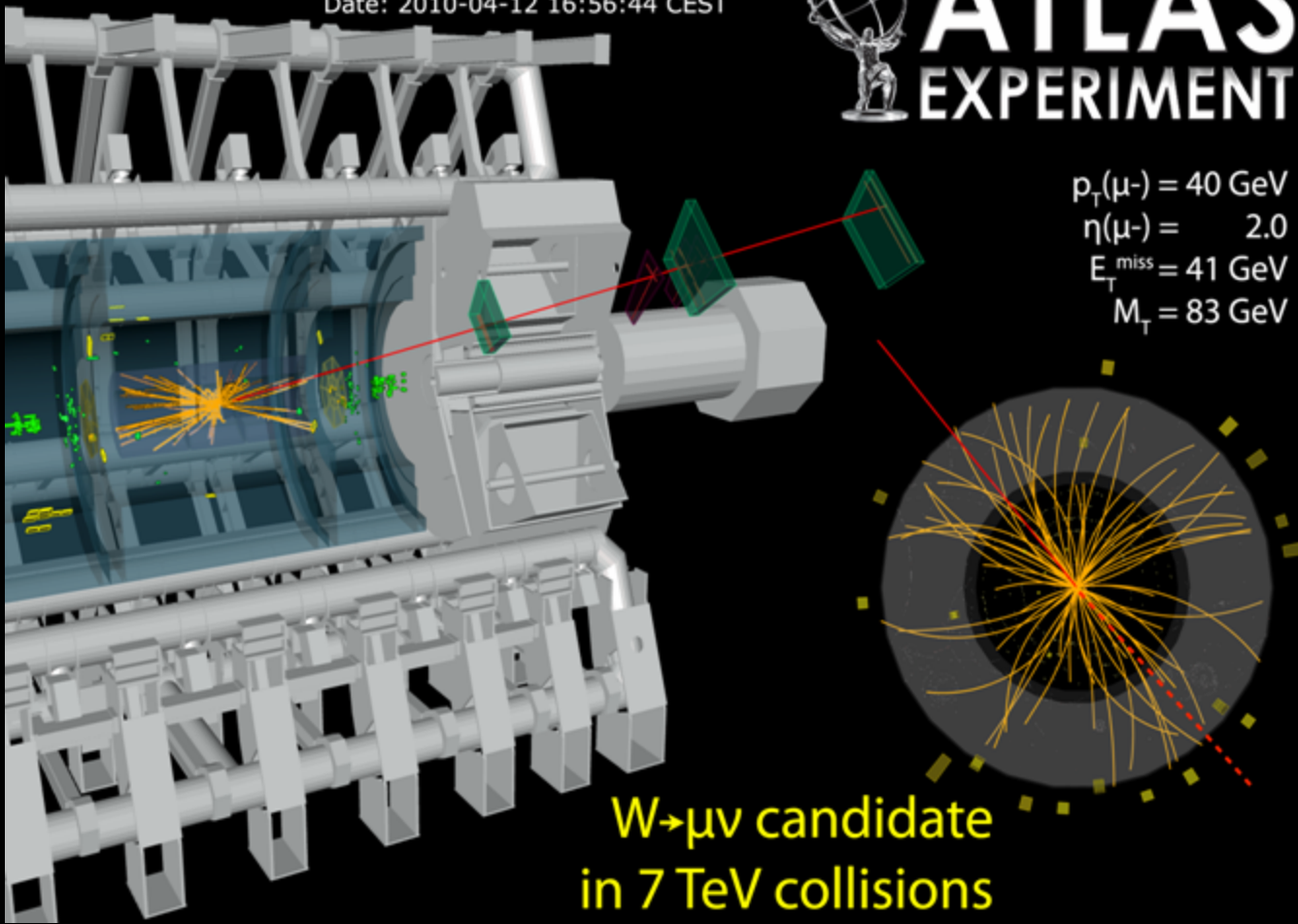
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

Erster Kandidat für ein W-Boson

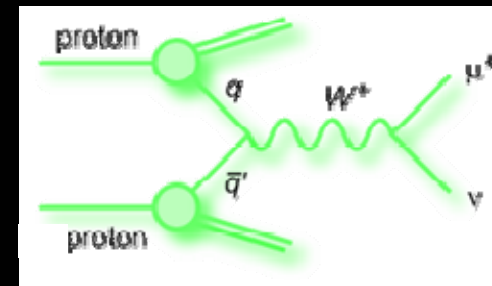
Run: 152845, Event: 3338173
Date: 2010-04-12 16:56:44 CEST



$p_T(\mu^-) = 40 \text{ GeV}$
 $\eta(\mu^-) = 2.0$
 $E_T^{\text{miss}} = 41 \text{ GeV}$
 $M_T = 83 \text{ GeV}$



$W \rightarrow \mu\nu$ candidate
in 7 TeV collisions





Kollaboration und Individuen in ATLAS

Arbeiten am und für das Experiment



This month's photo is of the insertion of ATLAS pixel barrel layer 2 into the global support frame.



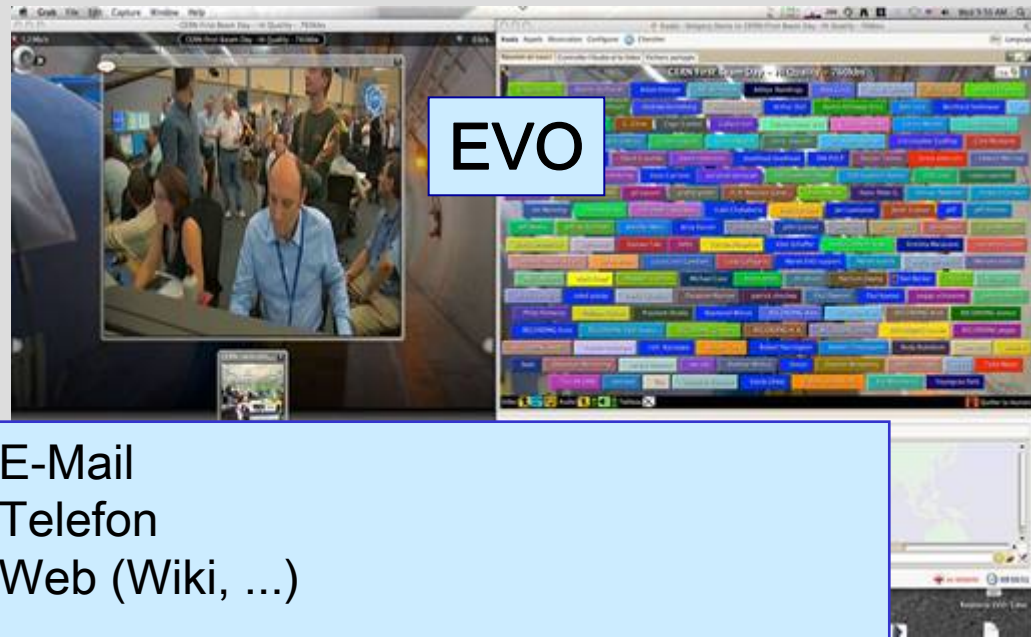
Kontrollraum eines Teststrahls

Control room at H8 2am Saturday morning, red team raises the alarm.
"We have lost contact with module 2, Sir..."



ATLAS-Kontrollraum

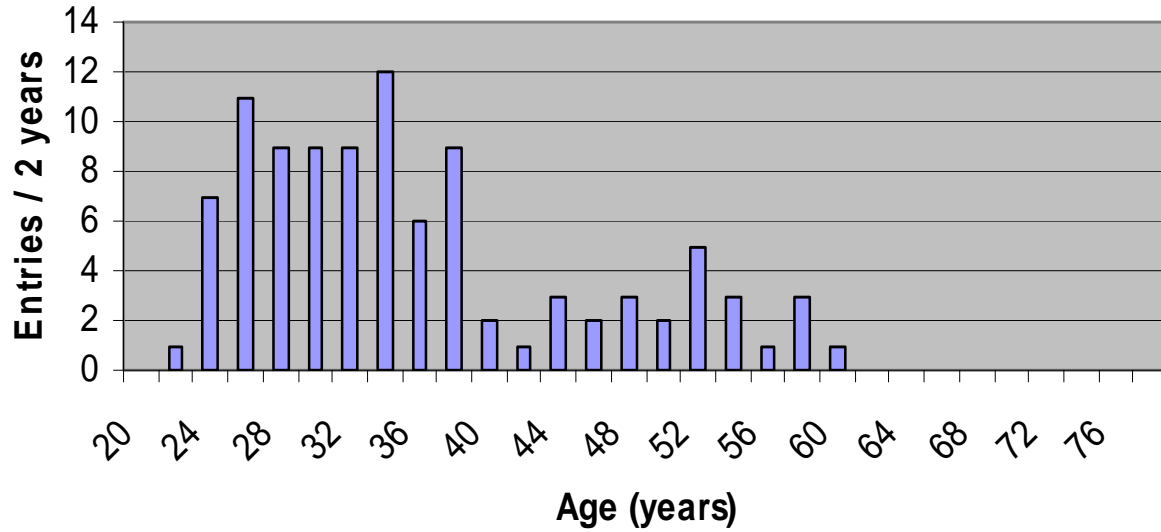
Kommunikation



- E-Mail
- Telefon
- Web (Wiki, ...)
- Meetings, lokal und fern mit:
 - Telefon-Konferenz
 - Video-Konferenz
 - EVO
- 3-mal pro Jahr „ATLAS Overview Week“ (davon 1-mal ausserhalb CERN)

Speakers age distribution

99 entries
(21 F plus 78 M)



**5th ATLAS Physics WS
Rome 6-11 June 2005**



ROMA TRE
Università degli studi



441 registered participants

Studenten in ATLAS



arbeitet an einer graphischen Darstellung eines Online-Überwachungssystems

studiert die „Physik der 1.Stunde“

ATLAS-Studenten
von der Humboldt-Universität



arbeitet an einer Testinstallation für die „Higher-Level-Triggerfarm (im DESY-Rechenzentrum)“

Etwa 400 Doktoranden in ATLAS

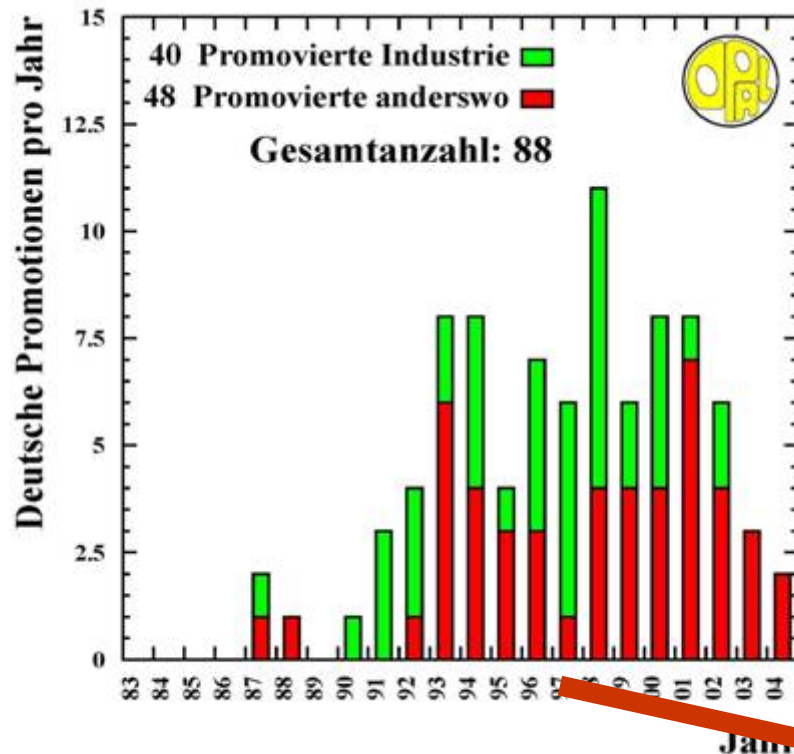
Einzigartige Möglichkeiten:

- Teil von etwas Bedeutendem
- Teamarbeit, Kommunikation
- Sichtbarkeit in der Kollaboration und nach außen
- Internationalität

Die Größe der Kollaboration scheint für Studenten kein Problem zu sein (eher für die Bosse).

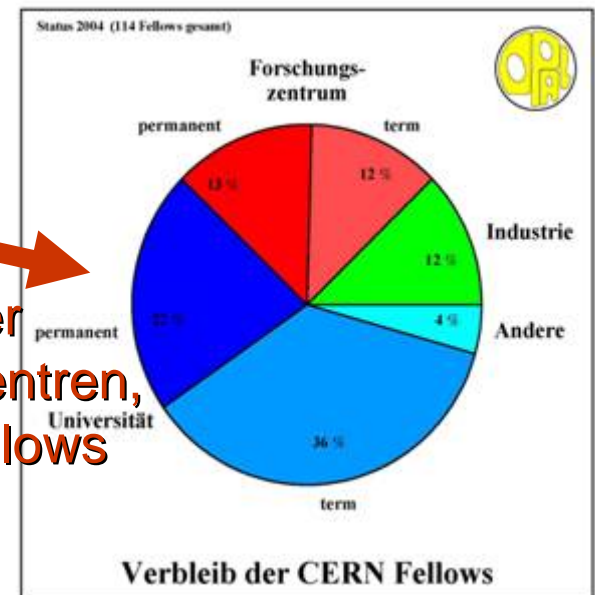
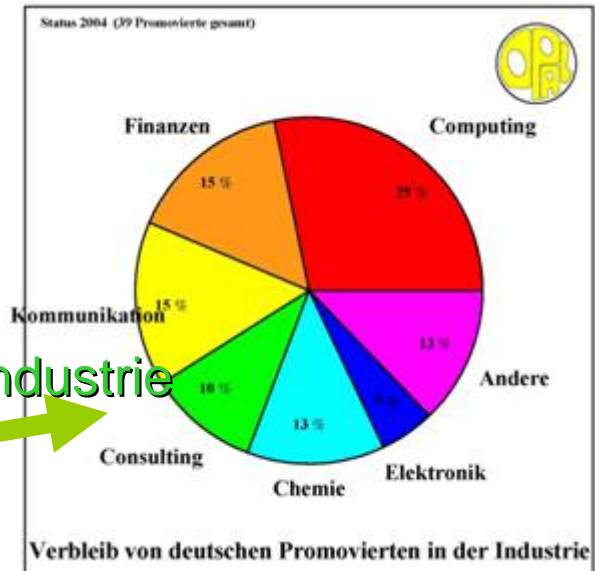
Aufgaben sind eingebettet in kleinere Arbeitsgruppen, in denen auch ein Diplomand für sein Gebiet der Spezialist sein kann.

Berufsentwicklung am Beispiel OPAL (LEP)

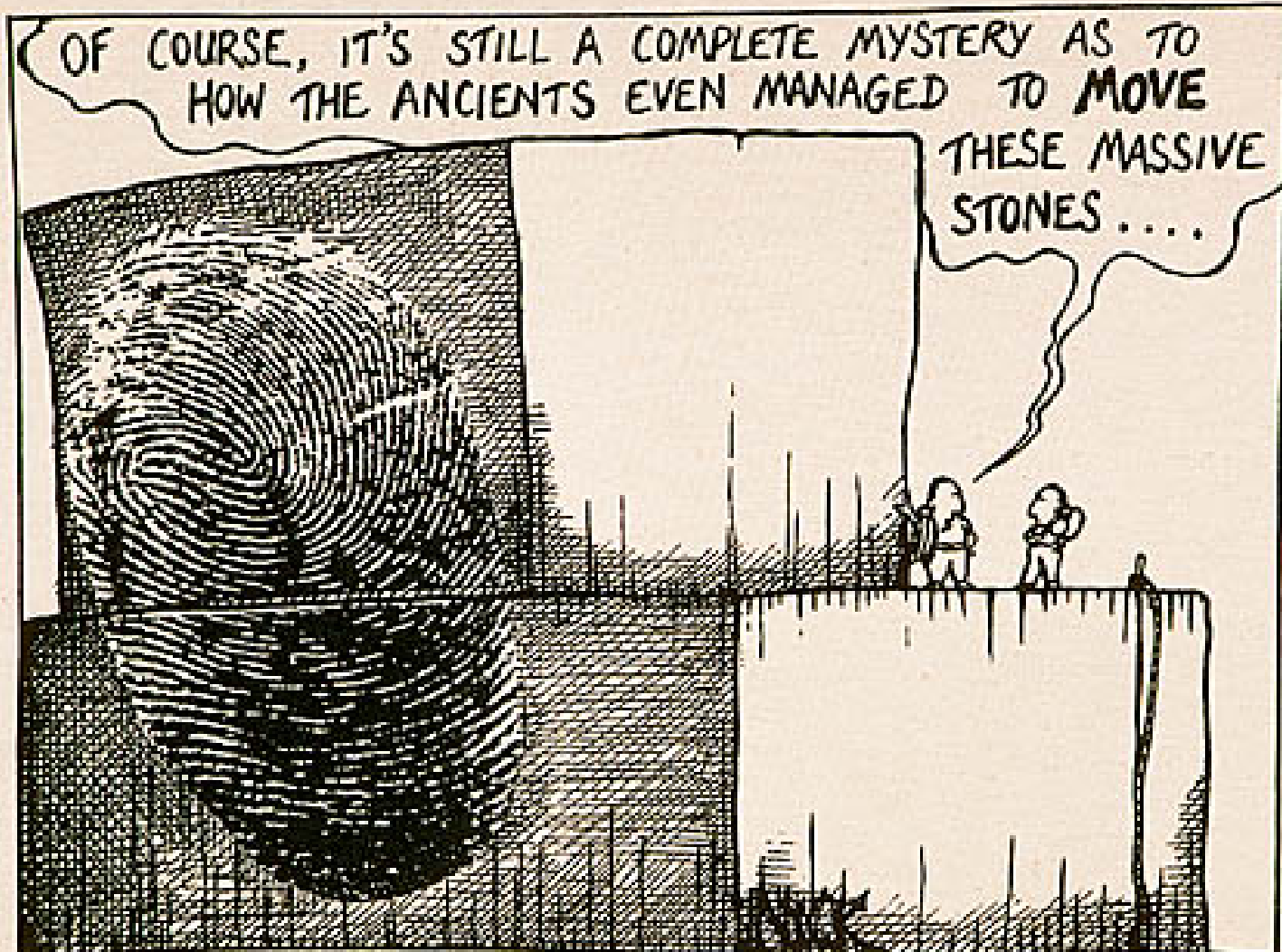


50% Industrie

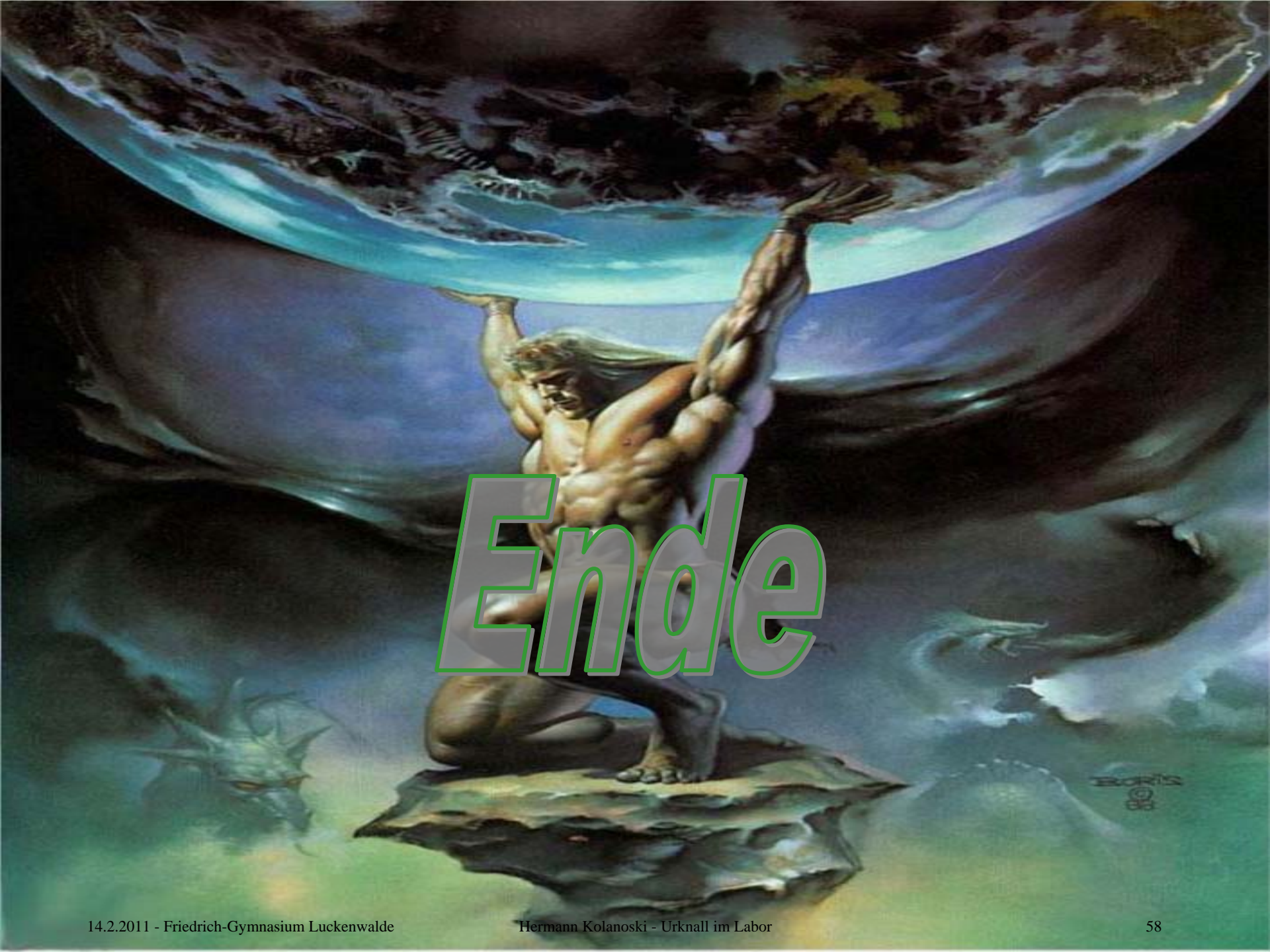
50% Unis oder Forschungszentren, z.B. CERN fellows



Das Gigantische schafft man mit Giganten ...



© 1995 Nicholas D. Klein, Printed and Distributed by Comic Expressions, Ltd. - Chicago, IL



Ende