

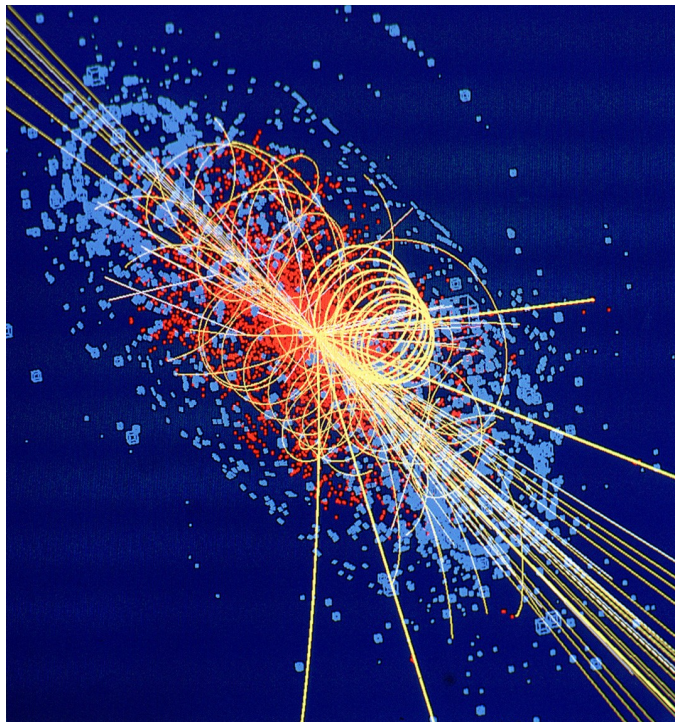
# Inauguration

der BMBF- Forschungsschwerpunkte



## Technologischer Fortschritt durch Grundlagenforschung

Günter Quast, Universität Karlsruhe (TH)  
Bonn, 2. Februar 2007



## • **Teilchenphysik**

- fundamentale, „einfache“ Fragen,
- Grundlagenwissenschaft für Kosmologie
- keine direkten Anwendungen zum Ziel

**ABER**

- erfordert Technologie bis an die Grenzen des Machbaren
- Große internationale Kollaborationen und lange Projektdauer →
  - professionelles, aber pragmatisches Management
  - effiziente Kommunikation
  - hohe Motivation und Begeisterung aller Beteiligten

**Anwendungen durch  
„spin-off“ und Entwicklung u. Transfer von Technologie**



## Maxwell-Gleichungen

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \rho / \epsilon_0 \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

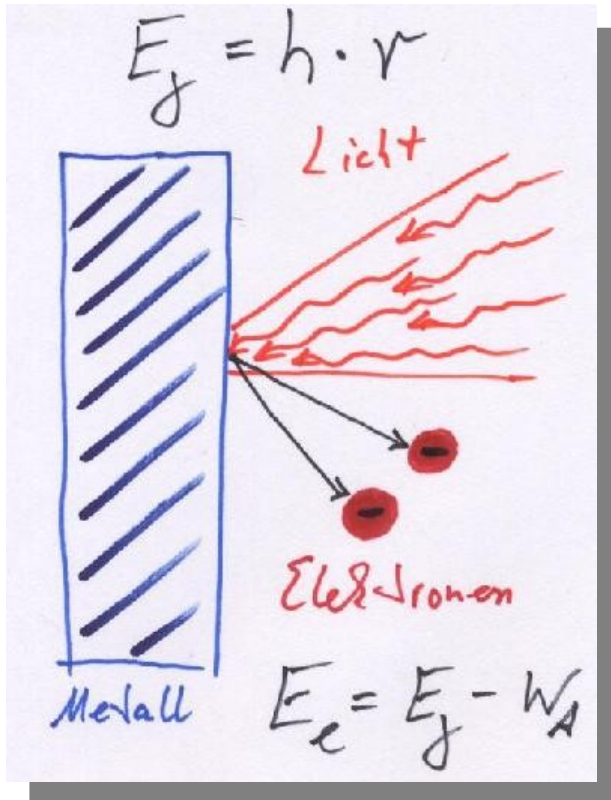
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

- James Clerk Maxwell, 1864
- Vorhersage elektromagnetischer Wellen (entdeckt von Hertz 1888)
- elektromagnetische Natur des Lichts
- Einsteins Relativitätstheorie
- Als „Quantenelektrodynamik“ Modell für moderne Theorien

## Grundlage unserer gesamten modernen Technologie

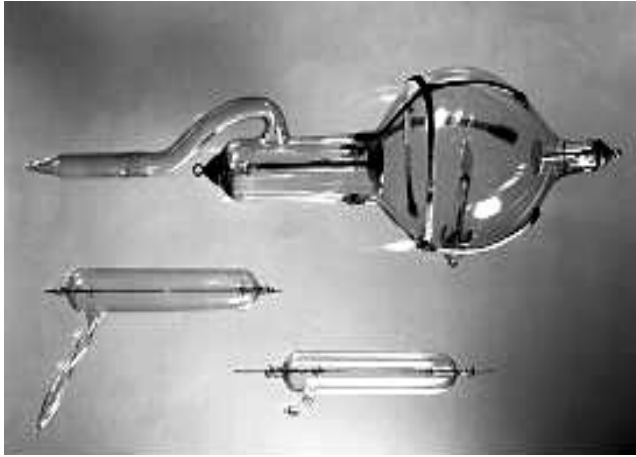




- „Lichtelektrischer Effekt“ (Bequerel 1839)
- systematisch studiert von Hertz Assistent Hallwachs 1887
- Schlüsselexperiment zur Quantenphysik (Einstein 1905, Nobelpreis 1921)
- Vollständige Klärung erst durch die Quantenelektrodynamik

**Unzählige Anwendungen erst später !**





Röntgens Originalröhre

## „Röntgenstrahlen“ (W.C. Röntgen, 1895)

Anwendungen schon in  
Röntgens Originalarbeit

Aufnahme der Hand von  
Frau Röntgen



Benötigte als technologische Voraussetzungen  
evakuierte Glasröhren mit Elektroden (d.h. Vakuumtechnik) und Hochspannung

**Röntgens Entdeckung bedeutsam für**

- **Grundlagenforschung,**
- **wissenschaftliche sowie**
- **technisch-medizinische Anwendungen**



## Teilchen- beschleuniger

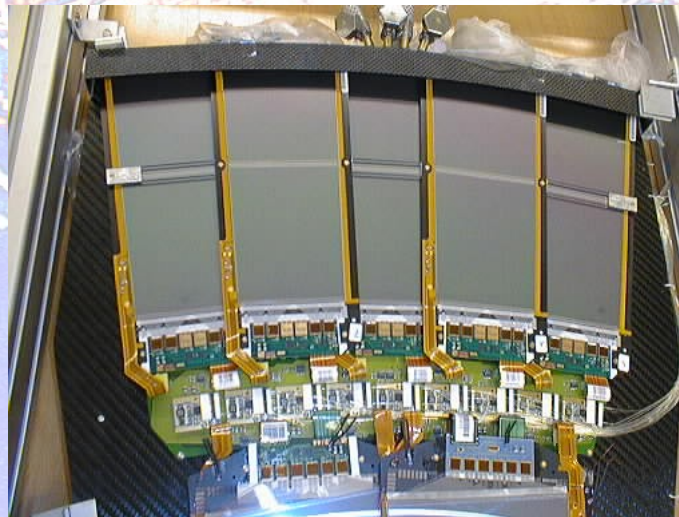
- Erzeugung verschiedener Teilchenarten
- Beschleunigung u. Transport
- Speicherung u. Führung von Teilchenstrahlen



CERN Proton Synchrotron

## Detektoren

- Präzise Messung von Teilchenwechselwirkungen
- Simulation
- Rekonstruktion und bildgebende Verfahren



Silizium-Streifen-Detektor

## Computing

- Digitale Auslese, Trigger u. Daten-  
Prozessierung in Echtzeit
- Visualisierung
- Simulationsrechnungen
- verteiltes Computing,  
- Datenanalyse



GridKa, Racks mit Arbeitsknoten



# Anwendungen von Beschleunigern

7

CERN – LHC



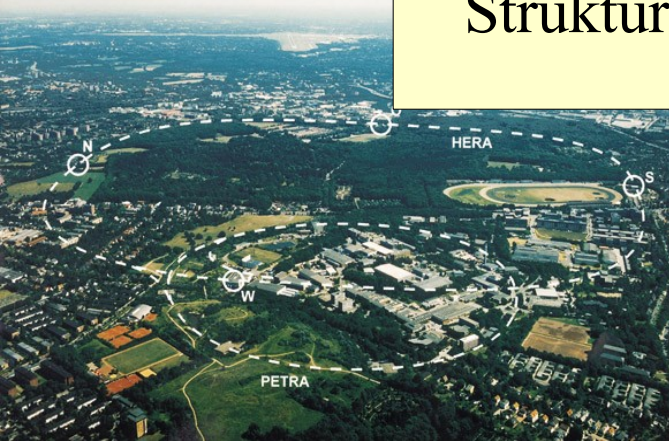
FNAL- Tevatron



**Entwicklung der Technologie getrieben vor allem durch Kern- u. Teilchenphysik aber viele weitere Anwendungsgebiete:**

- Linacs und Betatrons in Krankenhäusern
  - Zyklotrons für Isotopenproduktion
  - Proton- u. Ionen-Synchrotrons für Krebstherapie
  - Elektronenstrahlen zur Sterilisation
  - Schwerionenstrahlen zum Dotieren von Halbleitern
  - Synchrotronstrahlung zur Werkstoffprüfung, Strukturuntersuchung u. Röntgenlithographie
- insges. >17000 Anlagen

DESY - Hera

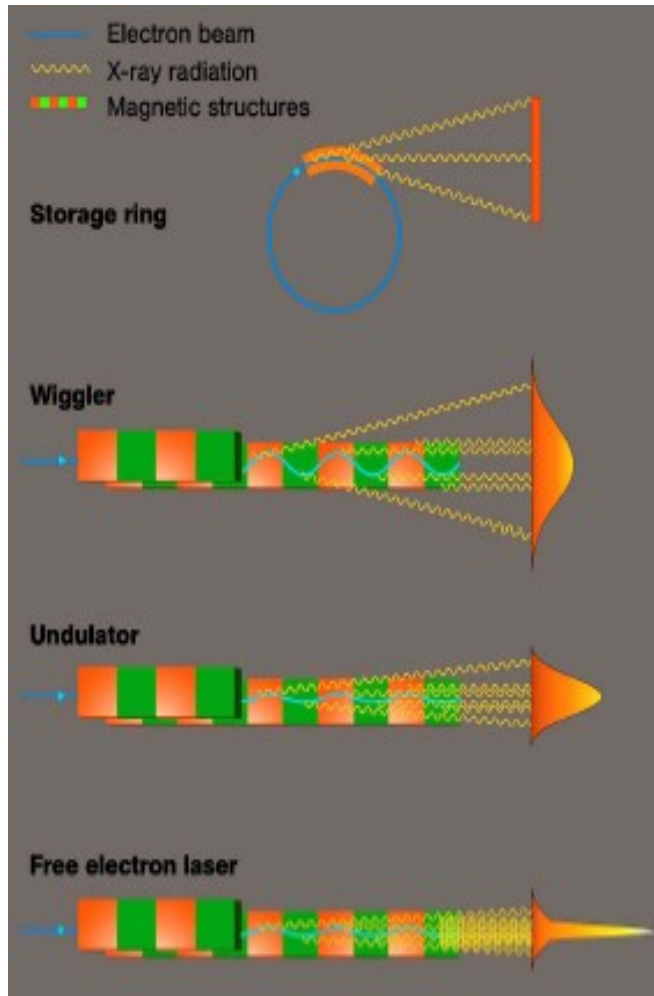


Linearbeschleuniger zur Bestrahlung (Siemens)





## Anwendungen der Synchrotronstrahlung

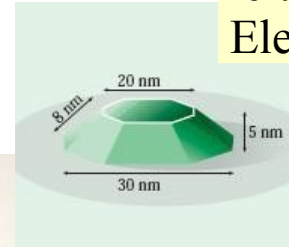


## Beispiel Hasylab, DESY

**Biologie:**  
Aufbau von Eiweiß



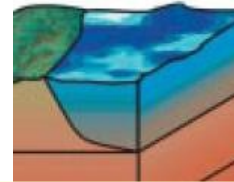
**Physik:**  
neue Halbleiter für die Elektronik



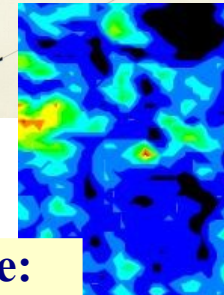
**Medizin:**  
schonende Röntgenverfahren



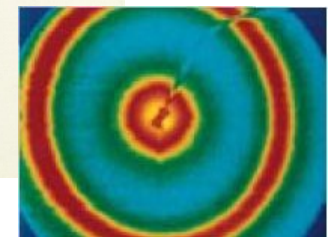
**Geowissenschaft:**  
Simulation v. Extremverhältnissen im Erdkern



**Chemie:**  
Aufspüren kleinster Verunreinigungen



**Materialwissenschaft:**  
Rissfestigkeit von Materialien



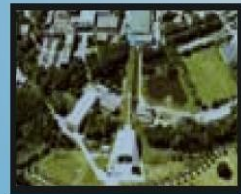


**An vorderster Front der Technologie:**  
supraleitender Elektron-Linearbeschleuniger  
für den Röntgenlaser **XFEL** am DESY  
Technologie zur Beschleunigung wie für  
Hochenergie-Elektron-Beschleuniger (ILC)



Visualisierung von EM  
Feldern in supraleitendem  
Hohlraumresonator

## Der Weg zu Röntgenlasern der Zukunft



Freie-Elektronen-Laser

2013 • XFEL

2004 • FLASH



1990 • ESRF



1895



1950



Teilchenbeschleuniger  
als Röntgenquellen

1960

Leuchtstärke

## Besonderheiten des XFEL

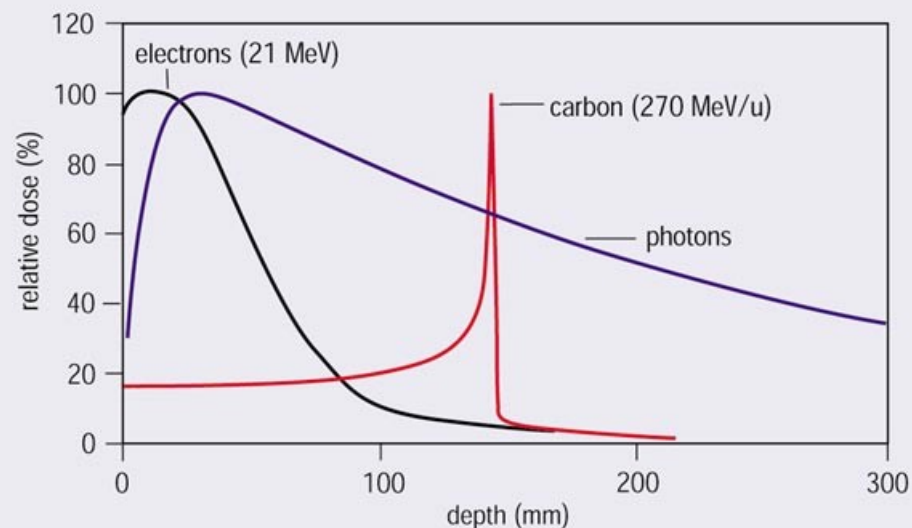
- Hohe Leuchtstärke
- kurze Pulse ( $< 100\text{fs}$ )
- atomare Auflösung
- kohärente Strahlung

## Anwendungen

- „Femtochemie“, d.h. zeit-  
aufgelöste Reaktionen
- Strukturbiologie
- Formation von Festkörpern,  
Materialuntersuchungen



**Protonen oder  
leichte Ionen**  
- zerstören Tumore  
- schonen davor liegendes  
Gewebe



- genaue Strahlpositionierung, präzise Strahlenergie
- Ionenbestrahlung an der GSI Darmstadt mit Krebsforschungszentrum Heidelberg
- bisher über 300 Patienten in der Pilot-Anlage
- Aufbau eines Ionenstrahl-Therapiezentrum an der Uni-Klinik Heidelberg
- Vermarktung der schlüsselfertigen Technologie durch Siemens.





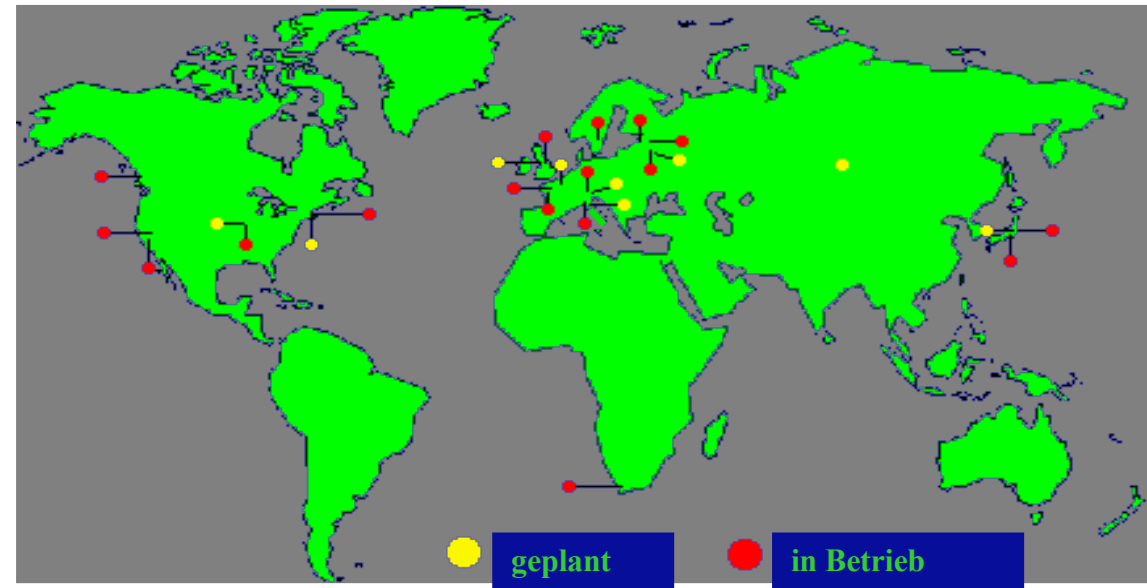
Die nächstgelegenen Adressen:

GSI, Darmstadt

DKFZ, Heidelberg

PSI, Schweiz (Protonen)

Weltweit einige Projekte dieser Art (geplant)



CERN, GSI, DKFZ u.v.a. sind

Mitglieder in **ENLIGHT**

European **N**etwork for **L**ight **H**adron **T**herapy

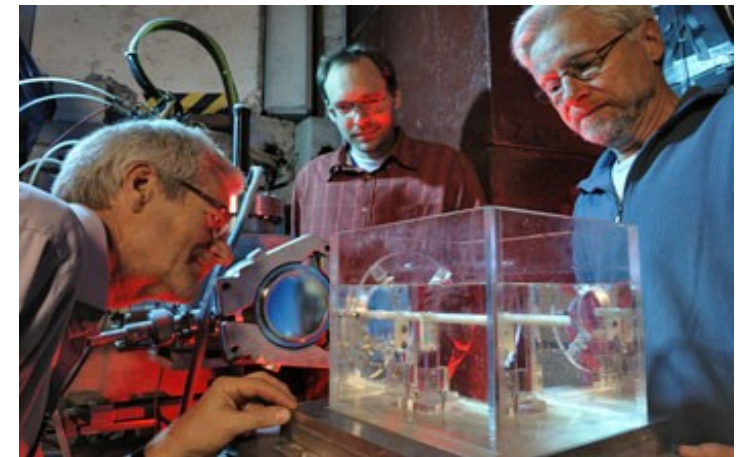
---

Kürzlich am CERN:

Modell-Experiment mit Anti-Protonen (ACE):

biologischer Effekt von Antiprotonen  
vier mal höher als der von Protonen !

**aber** technischer Aufwand deutlich höher



# Zukunftsmusik? Der „Energy Amplifier“

12

Vorgeschlagen 1996 von C. Rubbia:  
Einsatz eines hochintensiven  
Teilchenbeschleunigers  
zur kontrollierten Kernspaltung.

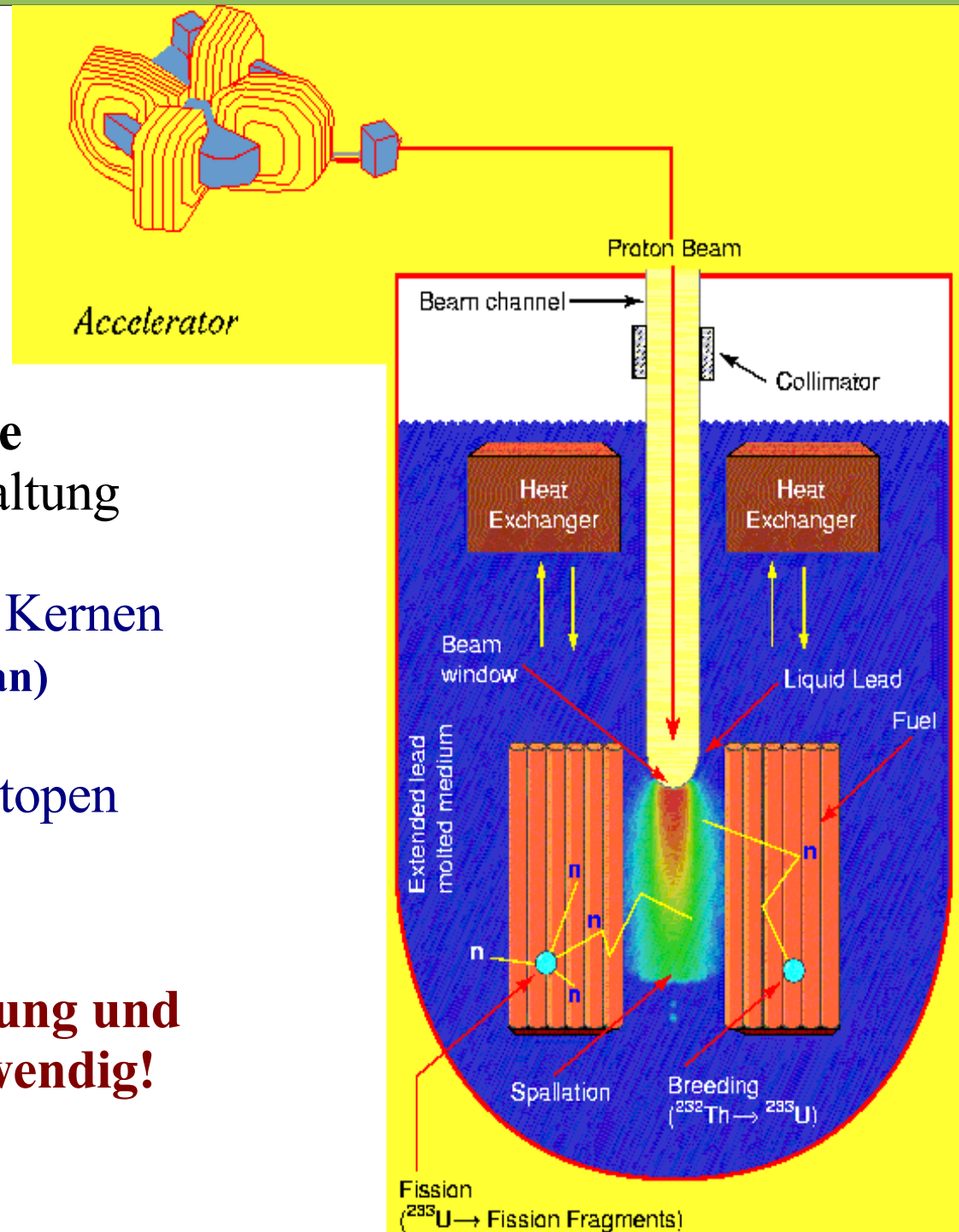
Externe Neutronenquelle durch  
intensiven Teilchenstrahl, d.h. **keine**  
unkontrollierte, selbsterhaltende Spaltung

**Energieproduktion** aus schweren Kernen  
(Thorium) (d.h Alternativen zum Uran)

**oder**

**Umwandlung** von langlebigen Isotopen  
in kurzlebige (verspricht kürzere  
Lagerzeiten von Nuklear-Abfällen)

**Viel technologische Entwicklung und  
Aufbau von Prototypen notwendig!**

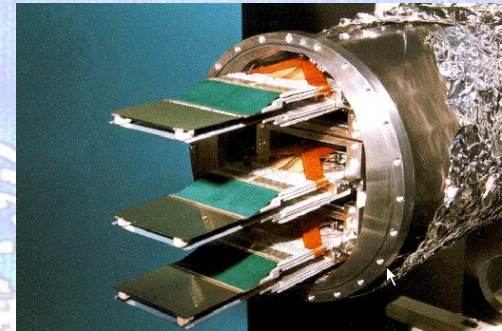




**Detektoren aus der Teilchenphysik  
finden Anwendung in**

- Medizin
- Biologie
- Materialwissenschaften

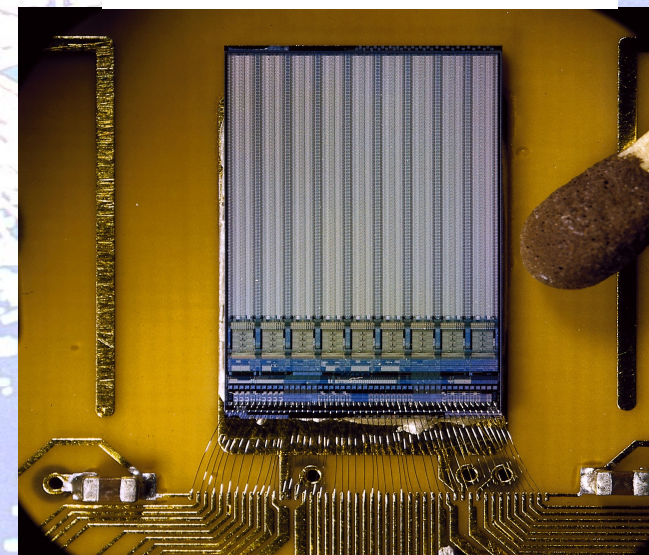
**Silizium-Streifen-  
Detektor**



**Mikrostreifen-  
Gasdetektor**



**Pixeldetektor**



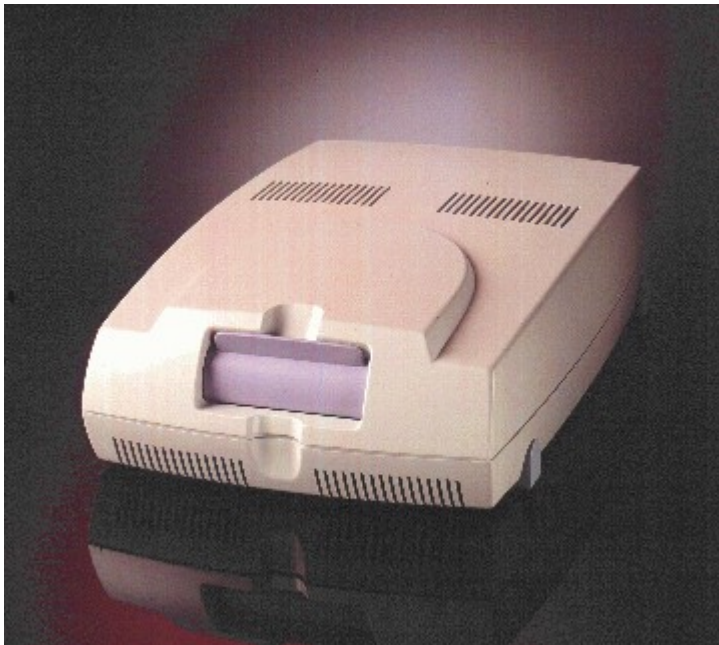
**Drahtkammer**



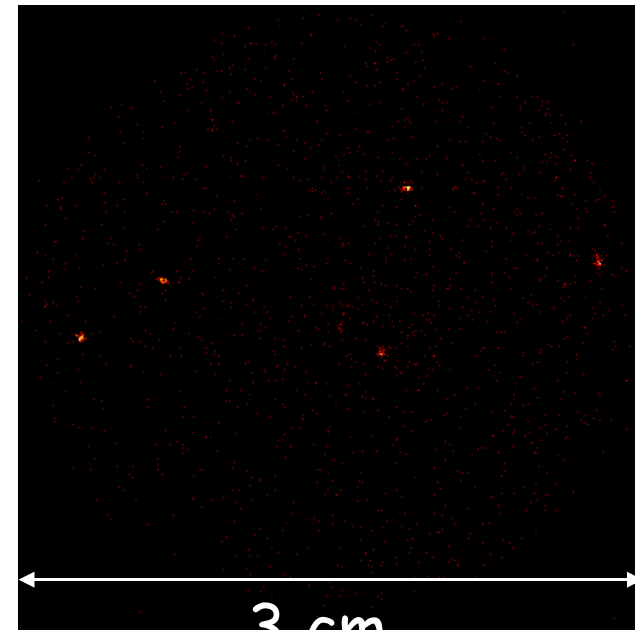


**Mikrostreifendetektoren** für biomedizinische Autoradiographie.  
Ermöglicht zeitaufgelösten Nachweis von radiomarkiertem Gewebe.

Uni Bonn, 90er Jahre



**Mikrostreifendetektor  
mit Ladefach für  
biologisches Gewebe**

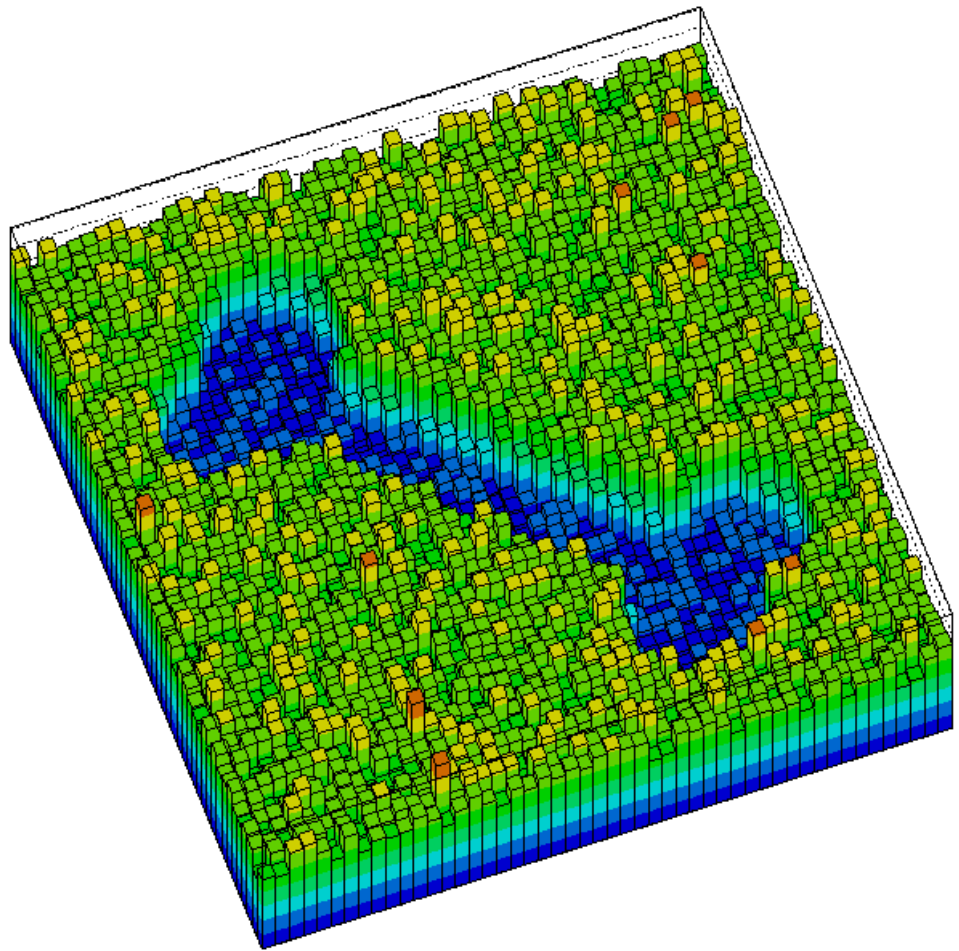


**Radio-markierte  
Amöben**

Gerät in kleinen Stückzahlen produziert (IDE Oslo)

Aufnahmen in Echtzeit oder bewegte Bilder nur mit elektronischer Registrierung und Auslese möglich





Statt  
Adresse eines  
einzelnen Treffers

Innerhalb der  
Belichtungszeit alle  
Treffer (Röntgenquanten)  
in jeder Zelle zählen !

**digitales Röntgen**

z.B. MPEC (Bonn),  
MEDIPIX (CERN et al.),  
CIX (Bonn-Mannheim-Phillips)

Detektorgruppen aus der TP oft mit Anwendungen befasst !

Vorteile:

- hoher dynamischer Bereich
- schnelle Bildfolgen
- geringere Strahlendosis  
oder mehr Information aus  
der gleichen Dosis

**under-exposed**

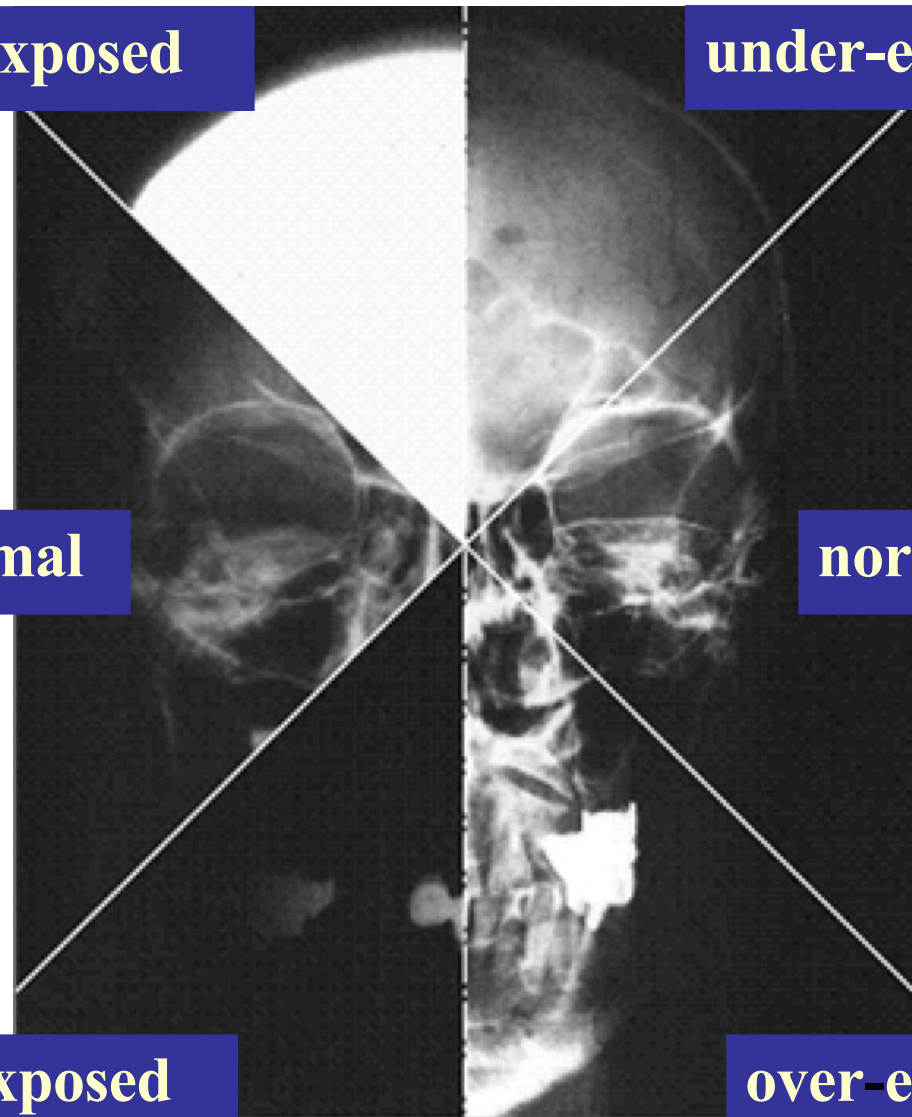
**under-exposed**

**normal**

**normal**

**over-exposed**

**over-exposed**

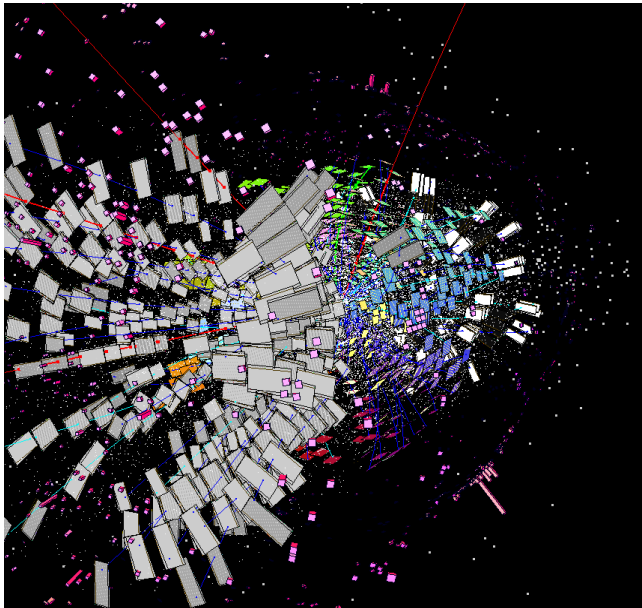




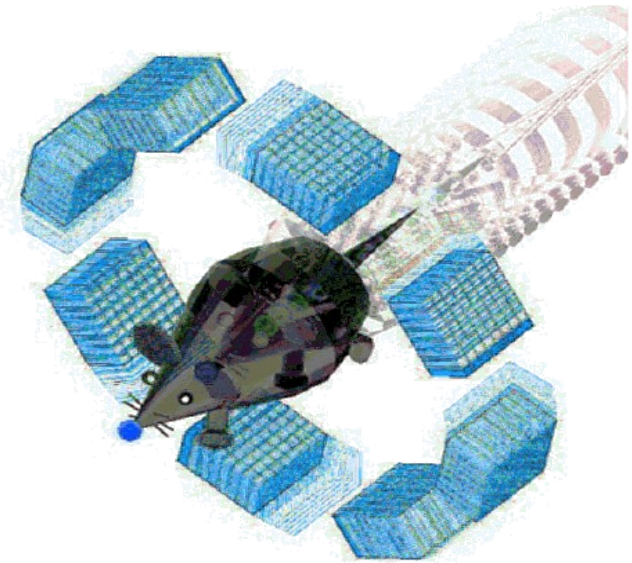
Geometry and tracking Vers. 4 = **Geant 4**

**OpenSource-Projekt der Teilchenphysik**, simuliert Wechselwirkung von Strahlung und Teilchen in komplexen Geometrien  
**genutzt in Medizin und Raumfahrt**

- Bildgebende Verfahren (z.B. PET-Scanner)
- Abschätzung von Strahlenbelastungen
- Planung von Tumor-Bestrahlungen



Ereignis im CMS-Tracker



Maus in PET-Scanner  
(GATE-Projekt)



## Teilchenphysik hat viel zur Entwicklung der Informationstechnologie beigetragen !

- Schnelle on-line Prozessoren zur Detekorauslese
- Bus-Systeme
- Computer-Cluster
- World-Wide Web
- Grid-Entwicklung
- Simulationswerkzeuge
- Datenanalyse-Methoden u. Software



Wohl am bekanntesten: das **World-Wide Web**  
entwickelt am **CERN**

Languages | Search | SiteMap | Contacts | Credits

Press & Media | Job Opportunities | Industry -- Technology | for CERN Users

# CERN

The world's largest particle physics laboratory ... where the web was born!

LHC:  
Dashboard  
Cost to completion (updated 2003-01-09)

WWW Public Domain: 10 years today!

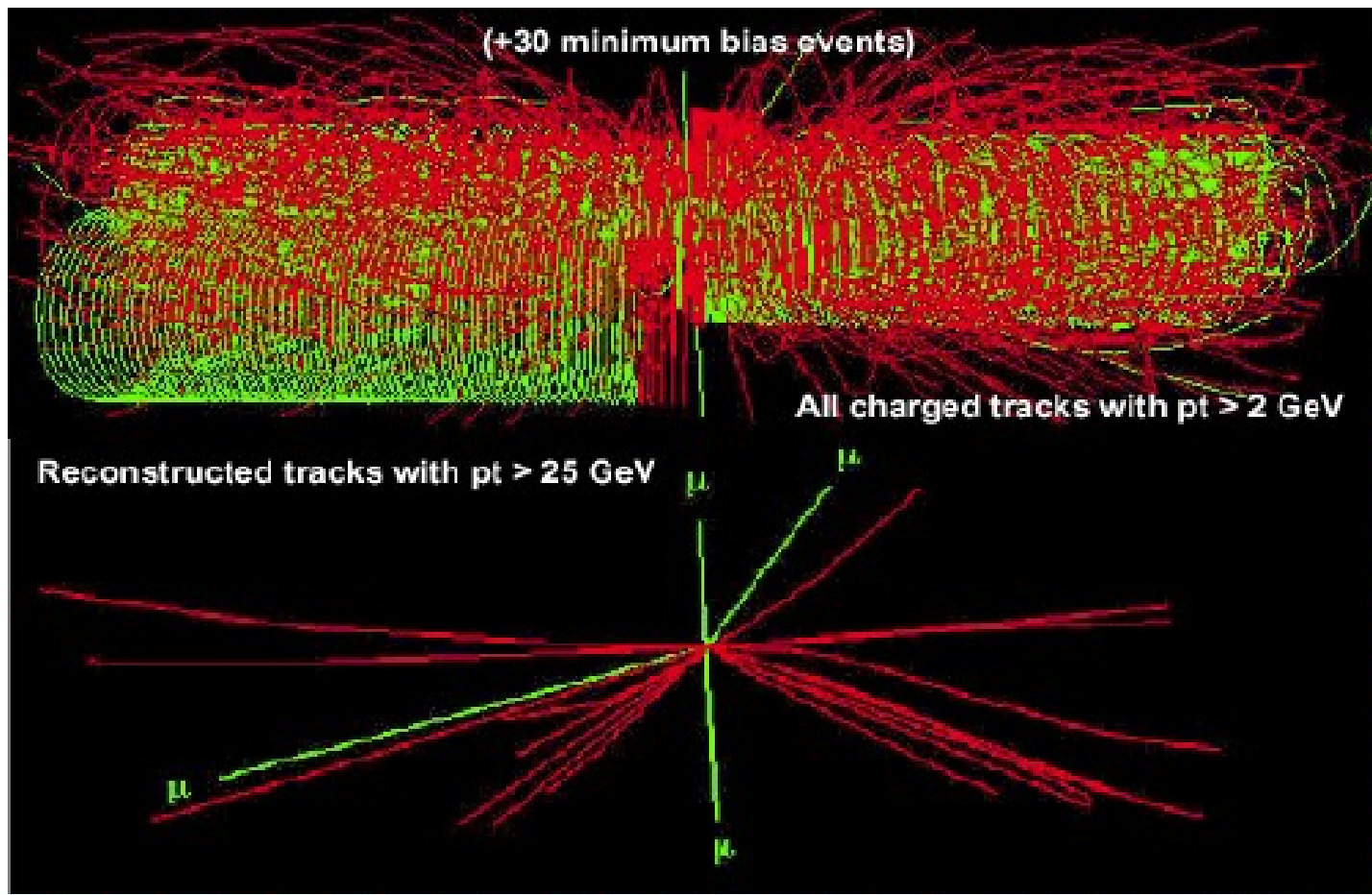
About CERN | Visit CERN | Education | News | Spotlight on | Ask an Expert

Web Communications ETTWPE - Copyright CERN 2002





## ... die Nadel im Heuhaufen suchen!



40 Millionen mal pro sec. ca. 1500 Spuren im Detektor

Nach selektiver Spur-rekonstruktion!

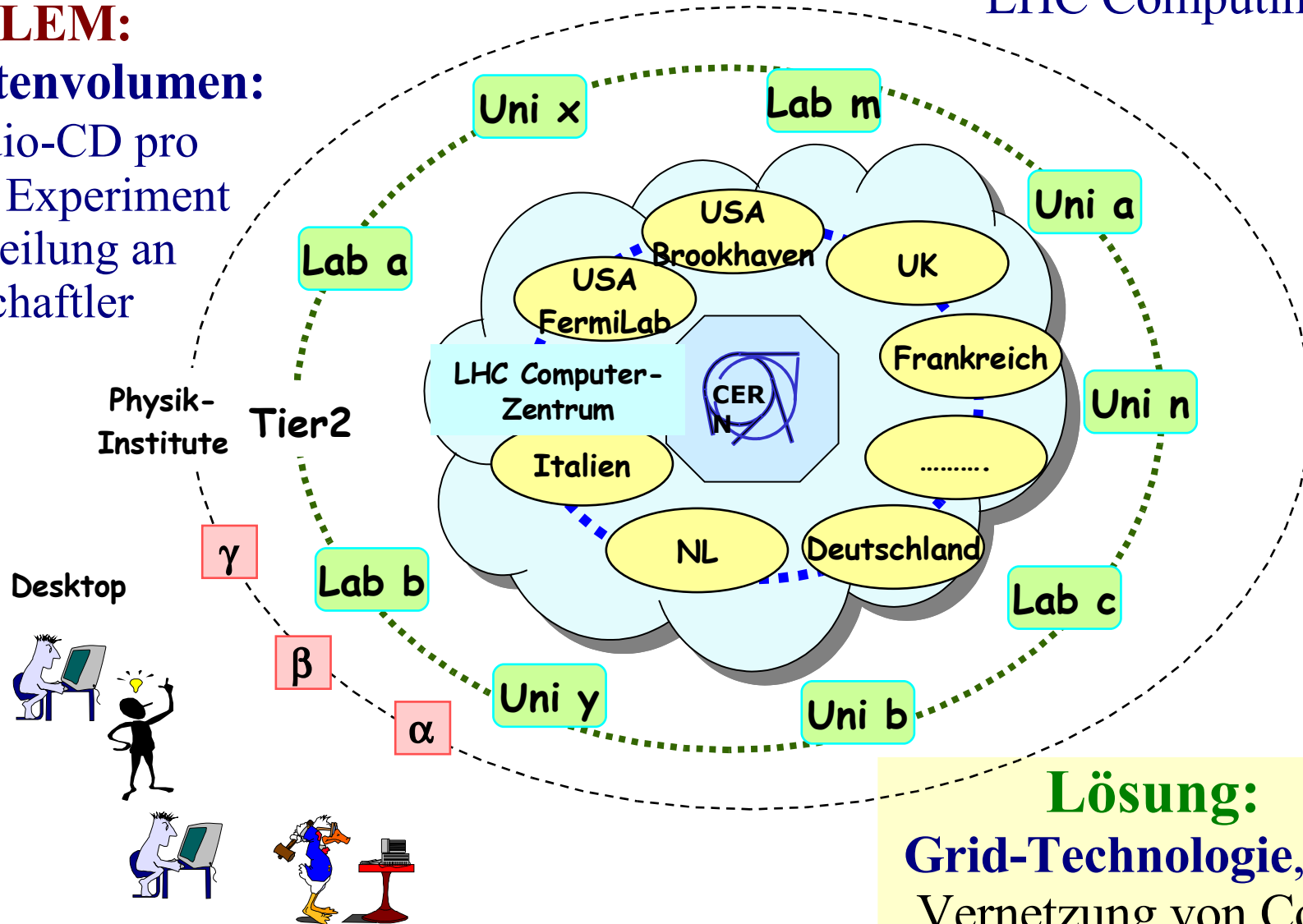
Einmal in hundert Milliarden:  
ein **Higgs** !

Leistungsfähige **Algorithmen** und viel **Computer-Leistung**  
zur Ereignisselektion, Rekonstruktion, Analyse und Interpretation

## PROBLEM:

### LHC Datenvolumen:

ca. 1 Audio-CD pro  
Sec. und Experiment  
zur Verteilung an  
Wissenschaftler

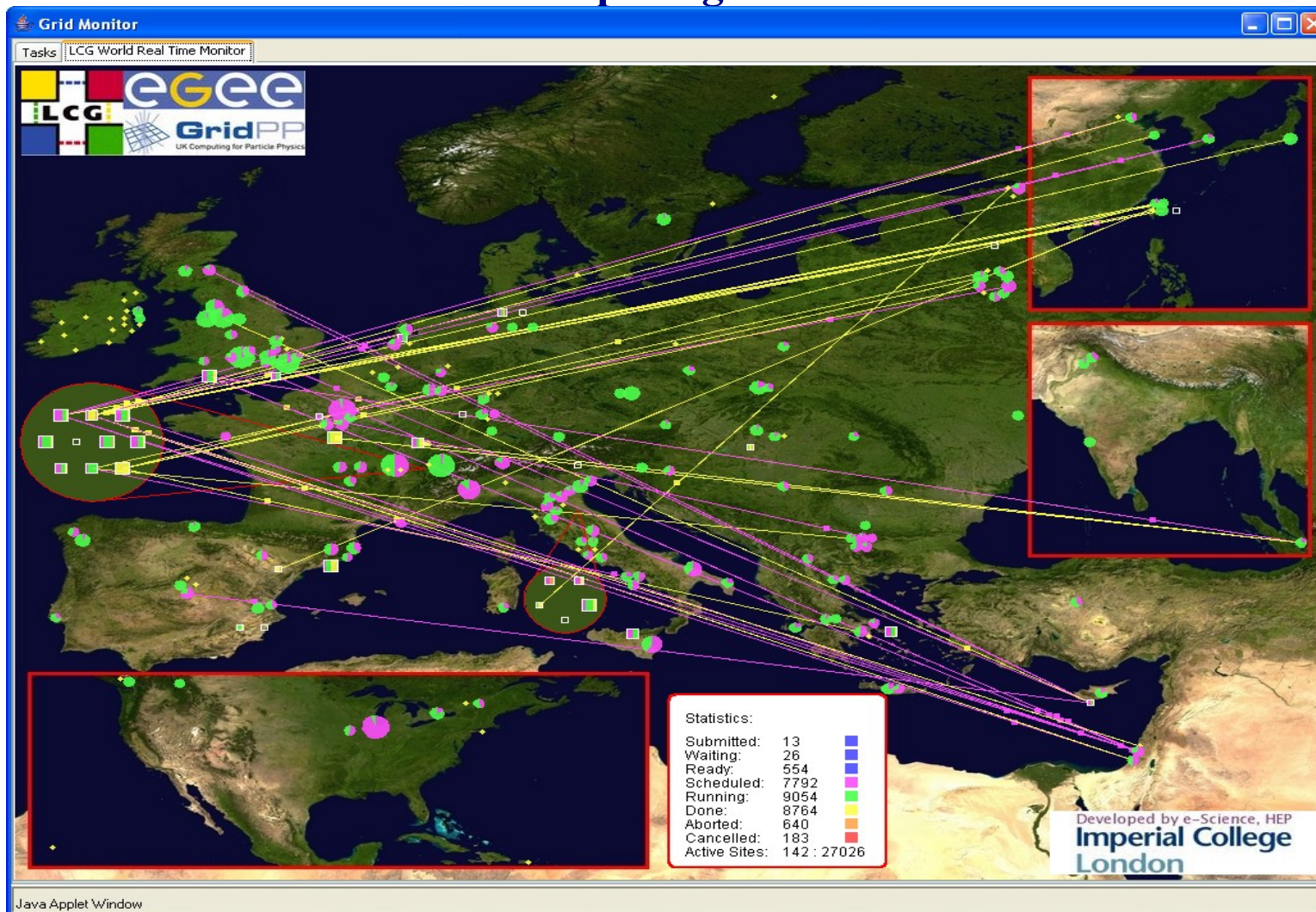


## Lösung:

**Grid-Technologie**, d.h.  
Vernetzung von Computer-  
Zentren, gleichberechtigter  
Zugang für alle !



## World-wide LCG Computing Grid im Januar 2007



**EGEE Grid (Europa) u. Open Science Grid (USA)**

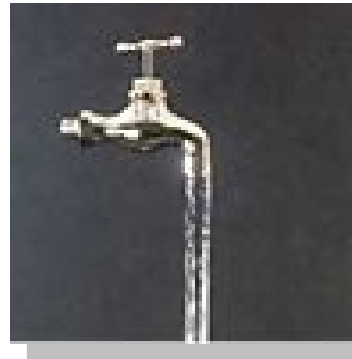
**EGEE z. Zt. 177 Zentren mit insg.  
~30000 CPUs Rechenleistung  
~15000 TB Speicher**

**Tier1 in D**  
**GridKa** am  
Forschungszen-  
trum Karlsruhe

(geplante) **T2 in D**

- DESY
- MPI München
- RWTH Aachen
- Uni Freiburg
- LMU München
- Uni Wuppertal

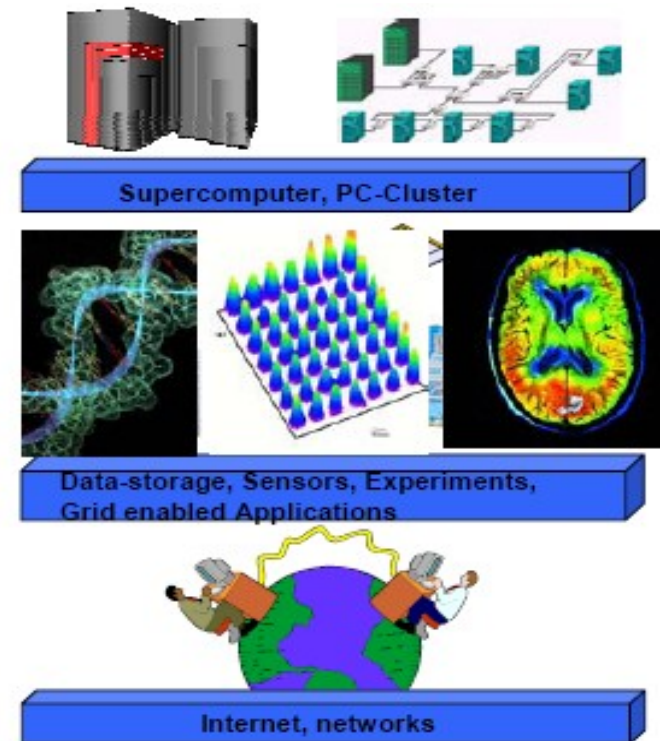
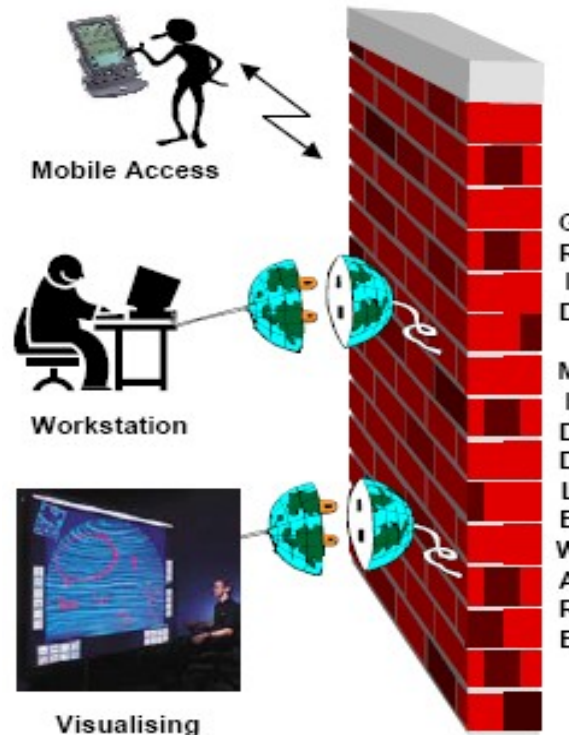
## Die Vision: Zugang zu Rechenleistung ...



... wie Strom aus der Steckdose oder Wasser aus dem Hahn.

Teilchenphysik betreibt derzeit größtes Grid, mit Ausstrahlung in

- Medizin
- Astro- und Astroteilchenphysik
- Biologie
- Meteorologie
- Industrie
- ...





## Aufbau einer leistungsfähigen Grid-Struktur zur LHC Datenanalyse

- eingebettet in das internationale LHC-Grid
- Testläufe zur Sicherung der Funktionalität
- Instituts-übergreifende Zusammenarbeit
- **aktive Nutzer !**
- Regelmäßige Nutzerschulungen.

Größte Grid-Struktur in Deutschland  
mit Ausstrahlung in andere Bereiche



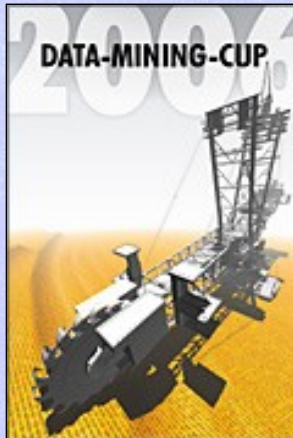
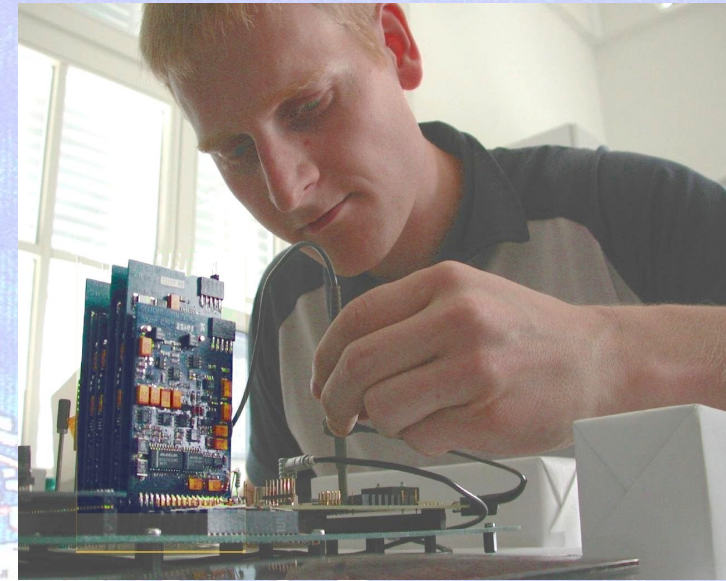
Teilchenphysik-Gruppen sind  
wichtige Partner in D-Grid-Initiative



Neben Kenntnissen in Teilchenphysik

**breite Ausbildung** in :

- Detektorentwicklung und -test
  - Mikroelektronik und Datenauslese
  - Aufbau und Betrieb komplexer Detektoren
  - Computernetzwerke & Datenmanagement
  - Softwareentwicklung in großen Projekten
  - Auswertungsalgorithmen und Analysemethoden
  - Beschleunigerphysik
  - Zusammenarbeit in internationalen Teams
- Palette an „Soft-Skills“

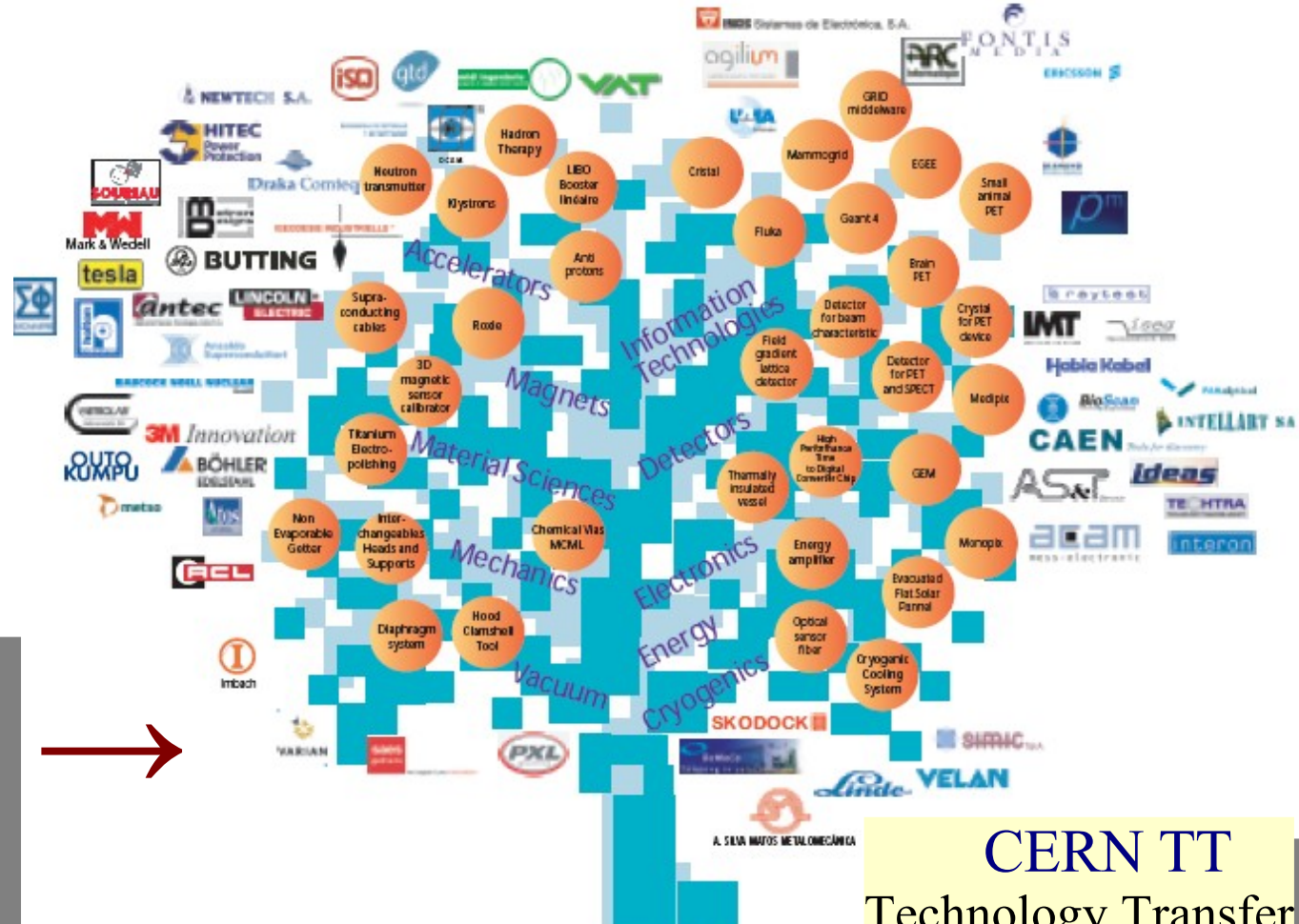
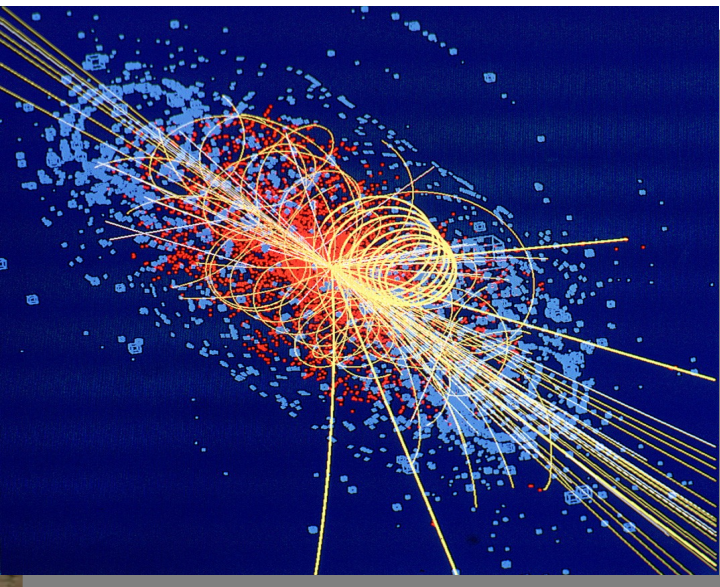


Von der Industrie als Mitarbeiter hoch geschätzt !



## Technologie-Transfer aus der Teilchenphysik (Firmenlogos sprechen für sich)

am CERN organisiert  
durch die TT-Abteilung



CERN TT  
Technology Transfer

... Teilchenphysik ist ein exzellenter Nährboden für Anwendungen !