

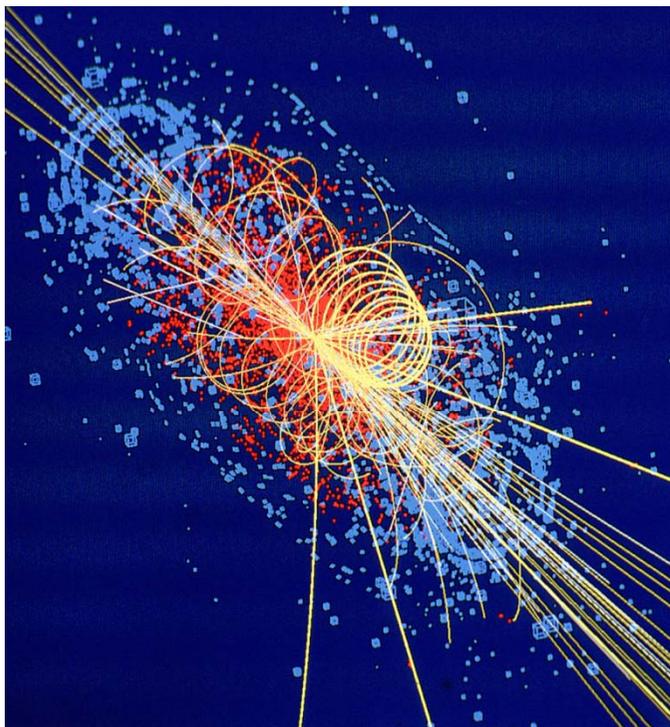
Inauguration

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**

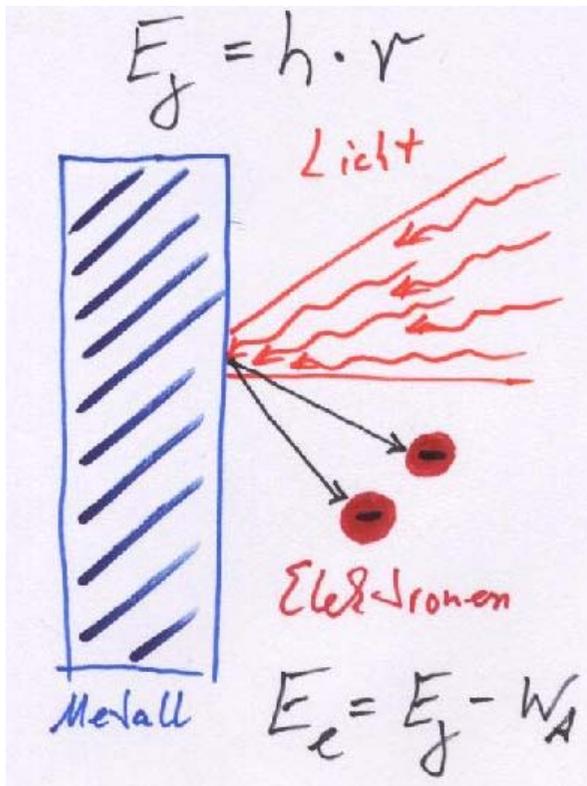
Maxwell-Gleichungen

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \rho / \epsilon_0 \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$
$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

- 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

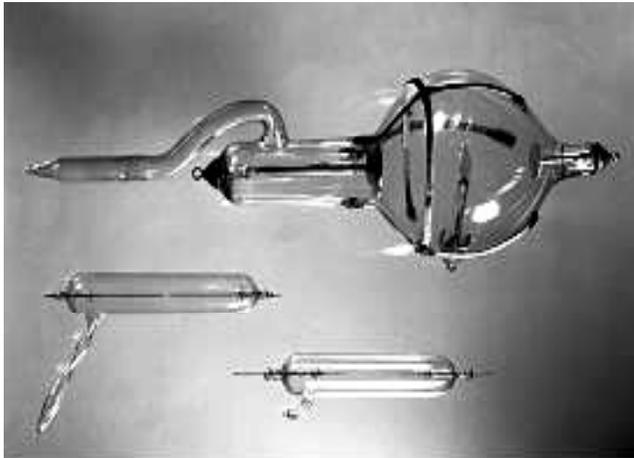




- „Lichtelektrischer Effekt“ (Bequerel 1839)
- systematisch studiert von Hertz Assistent Hallwachs 1887
- Schlüsselexperiment zur Quantenphysik (Einstein 1905, Nobelpreis 1921)
- Vollständige Klärung erst durch die Quantenelektrodynamik

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

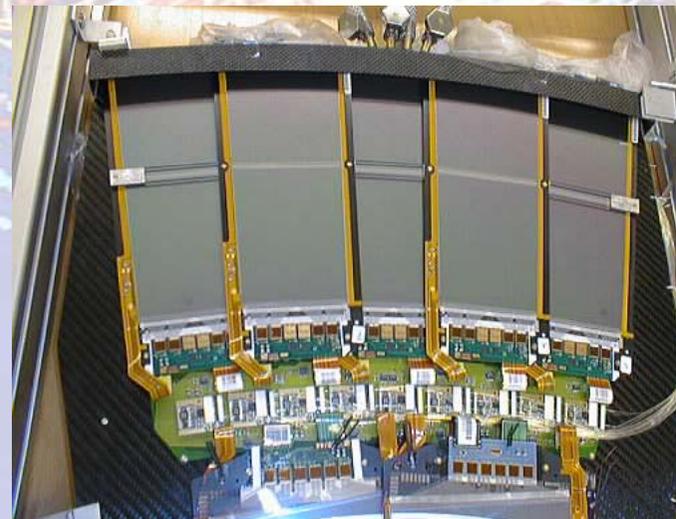
- Erzeugung verschiedener Teilchenarten
- Beschleunigung u. Transport
- Speicherung u. Führung von Teilchenstrahlen



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

CERN – LHC



FNAL- Tevatron

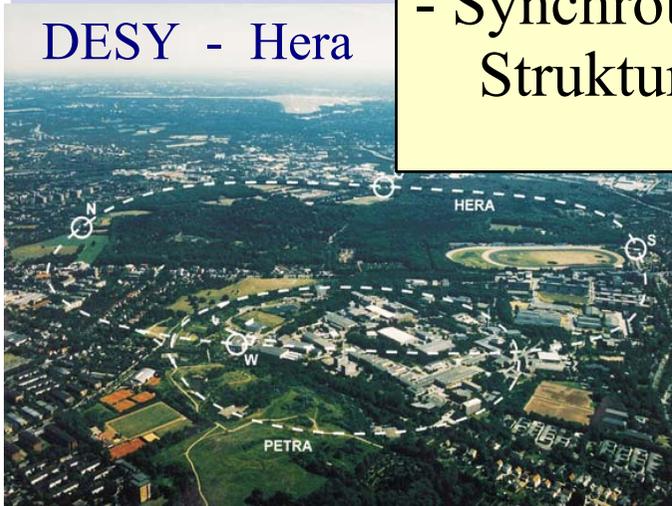


Entwicklung der Technologie getrieben vor allem durch Kern- u. Teilchenphysik aber viele weitere Anwendungsgebiete:

- 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

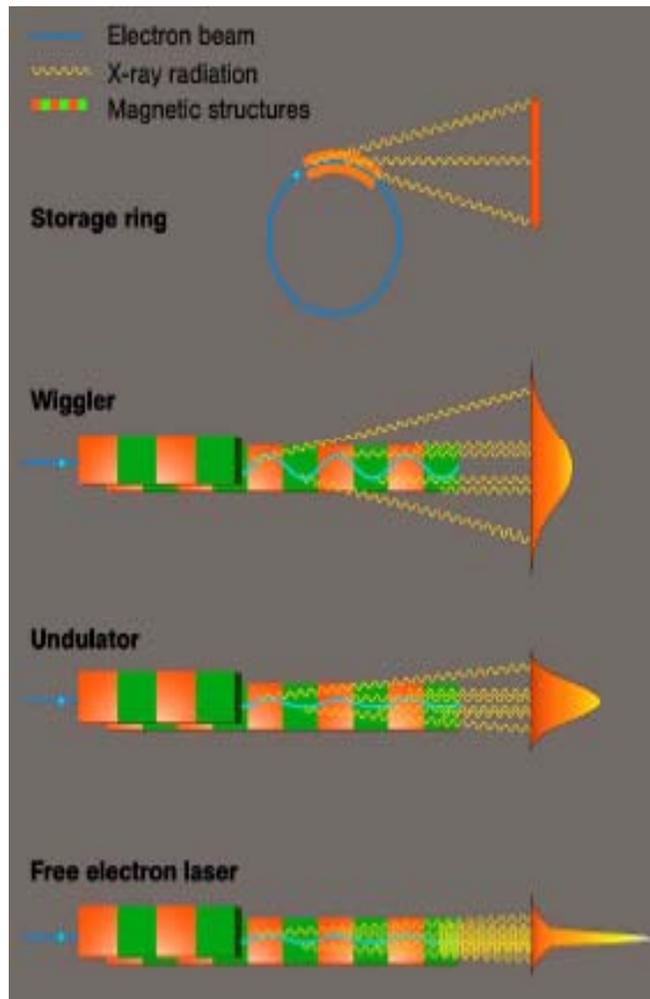
DESY - Hera



Linearbeschleuniger zur Bestrahlung (Siemens)

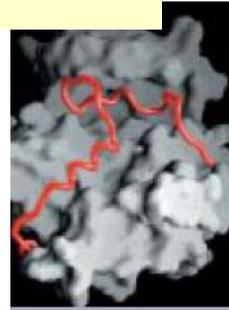


Anwendungen der Synchrotronstrahlung

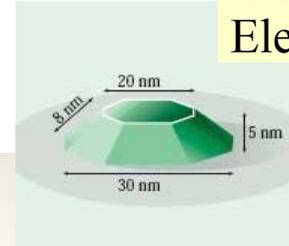


Beispiel Hasylab, DESY

Biologie:
Aufbau von Eiweiß



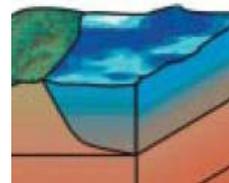
Physik:
neue Halbleiter für die Elektronik



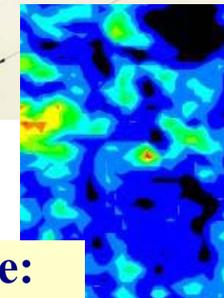
Medizin:
schonende Röntgenverfahren



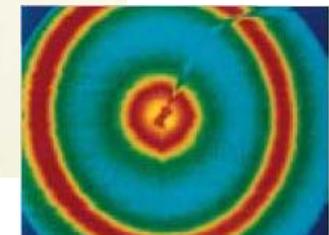
Geowissenschaft:
Simulation v. Extremverhältnissen im Erdkern

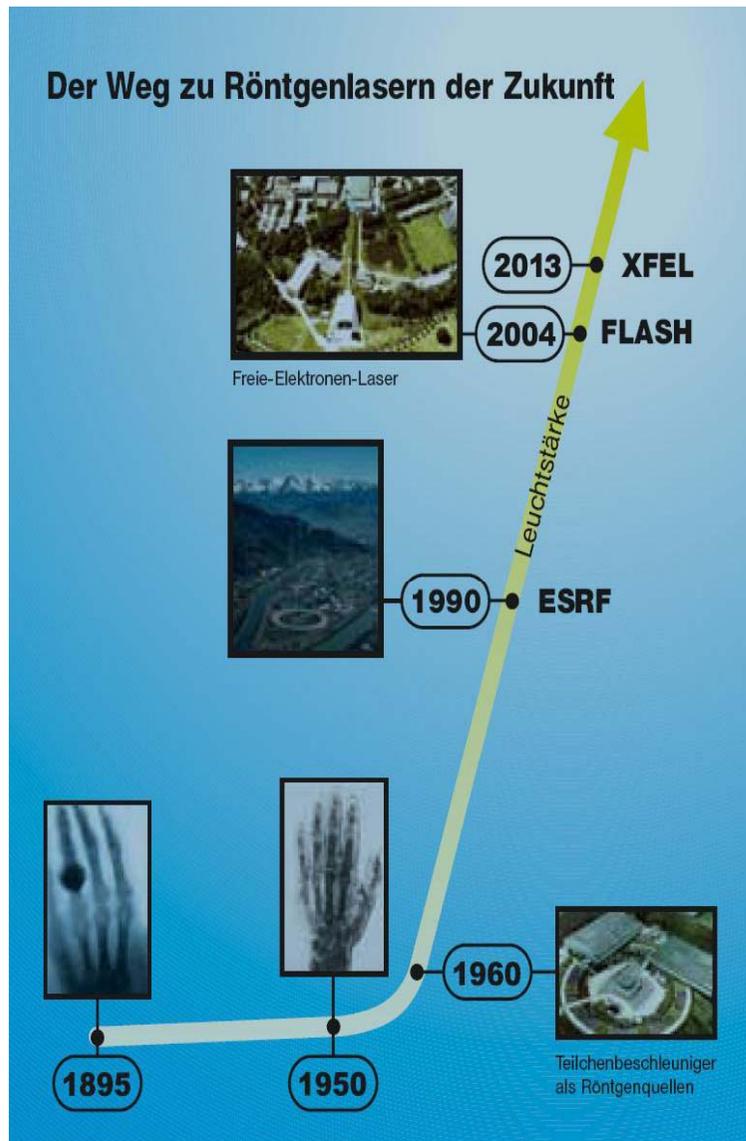


Chemie:
Aufspüren kleinster Verunreinigungen



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

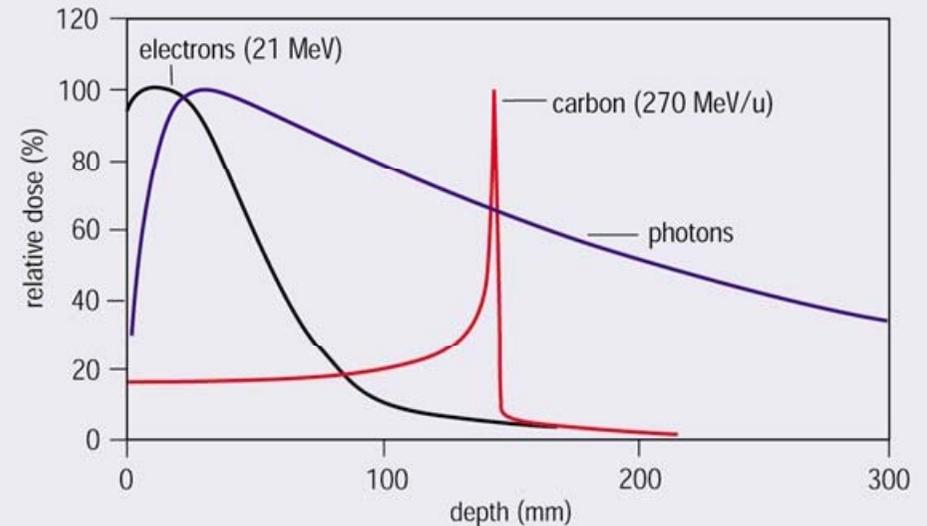
Besonderheiten des XFEI

- 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

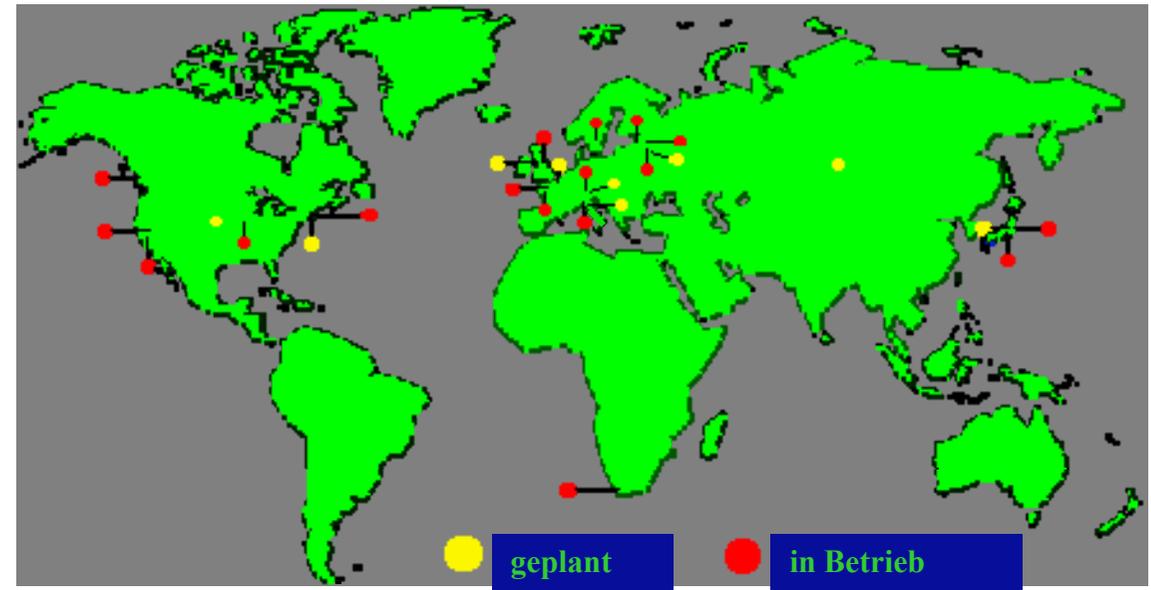


- genaue Strahlpositionierung, präzise Energie
- Ionenbestrahlung an der GSI Darmstadt mit Krebsforschungszentrum Heidelberg
- bisher über 300 Patienten in der Pilot-Anlage
- Aufbau eines Ionenstrahl-Therapiezentrum an der Uni-Klinik Heidelberg
- Vermarktung der schlüsselfertigen Technologie durch Siemens.



Die nächstgelegenen
Adressen: GSI, Darmstadt
DKFZ, Heidelberg
PSI, Schweiz (Protonen)

Weltweit einige Projekte dieser Art (geplant)



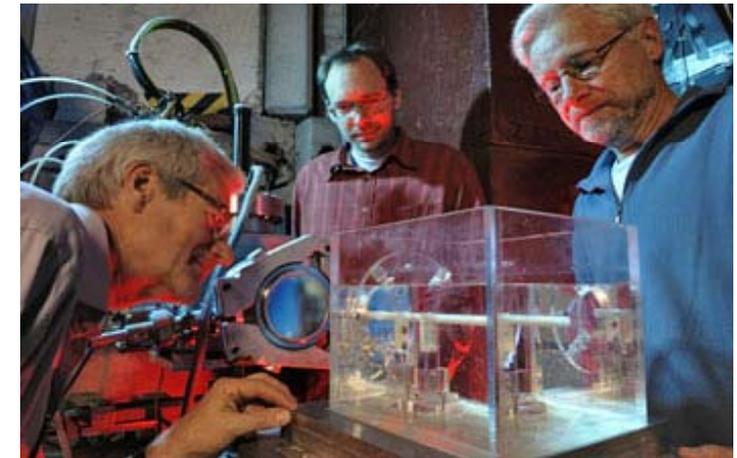
CERN, GSI, DKFZ u.v.a. sind
Mitglieder in **ENLIGHT**
European Network for **LIGht Hadron Therapy**

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



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

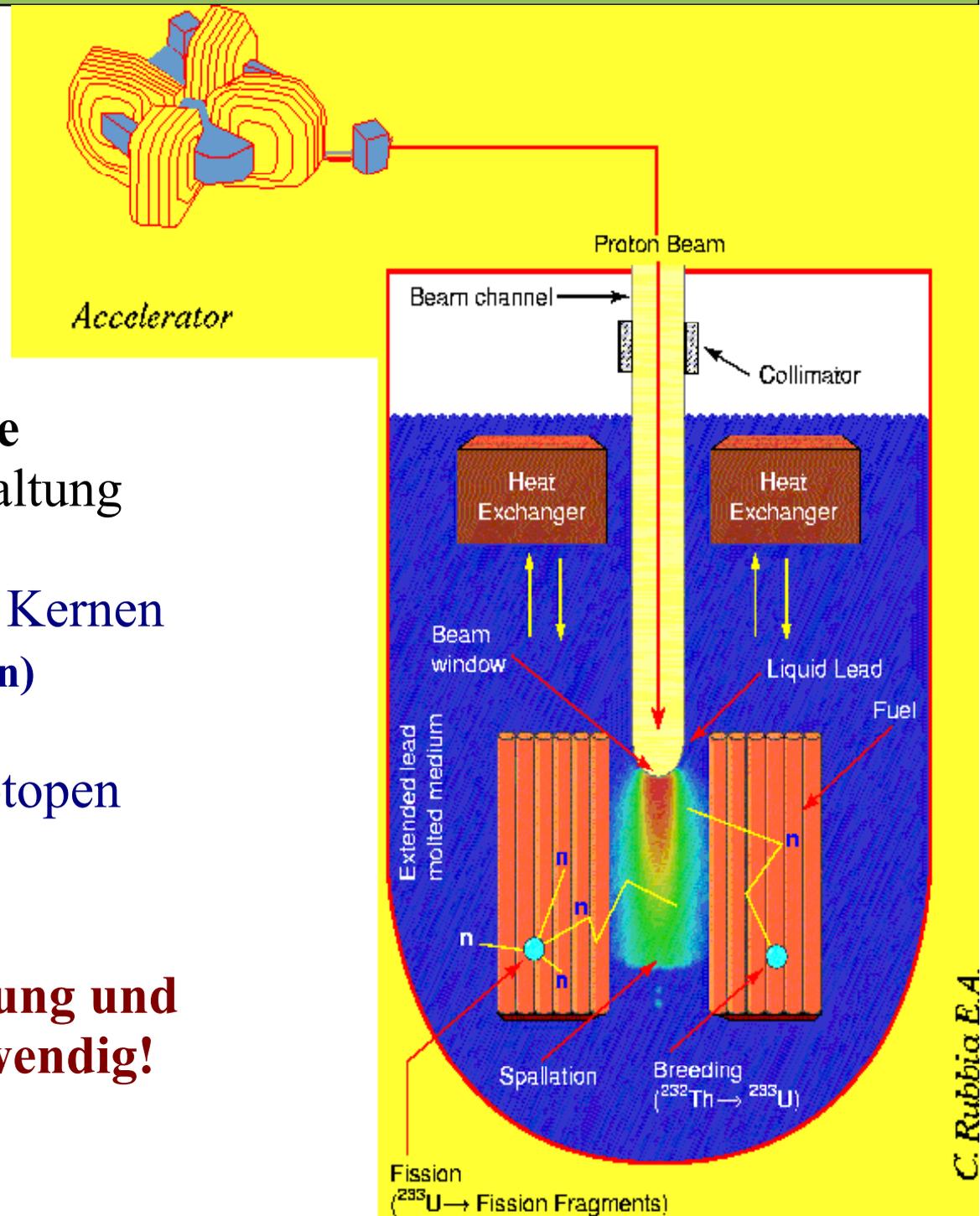
Externe Neutronenquelle durch
intensiven Teilchenstrahl, d.h. **keine**
unkontrollierte, selbsterhaltende Spaltung

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

oder

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

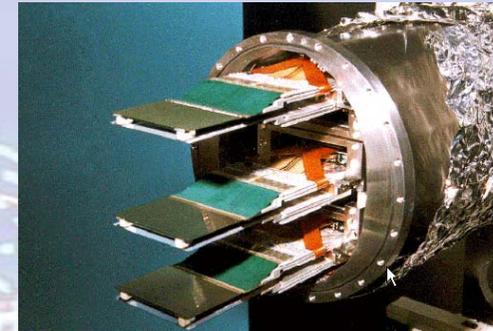
**Viel technologische Entwicklung und
Aufbau von Prototypen notwendig!**



**Detektoren aus der Teilchenphysik
finden Anwendung in**

- Medizin
- Biologie
- Materialwissenschaften

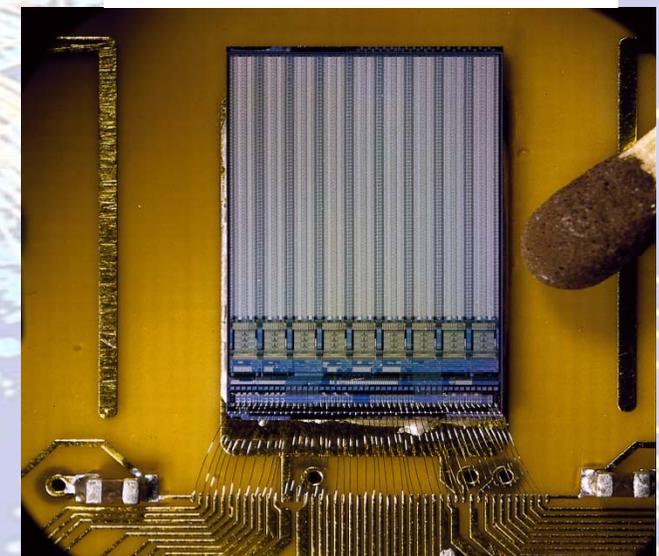
**Silizium-Streifen-
Detektor**



**Mikrostreifen-
Gasdetektor**



Pixeldetektor



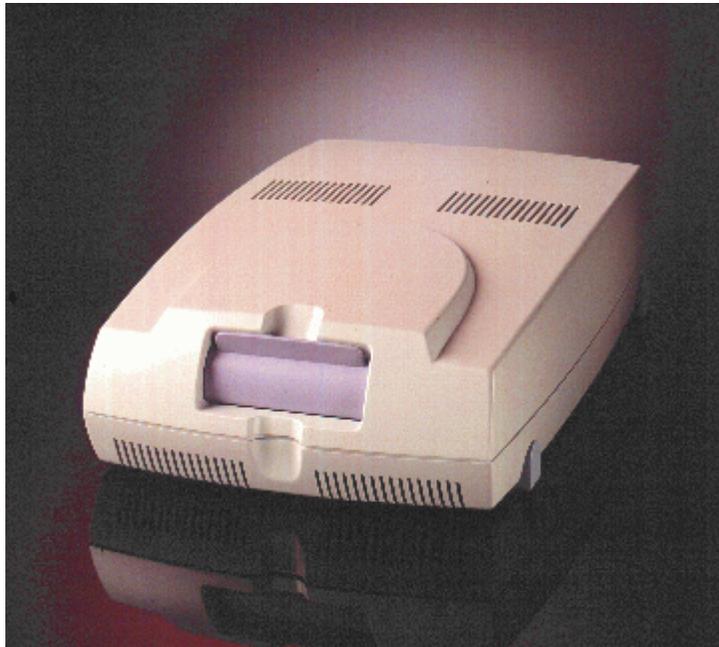
Drahtkammer



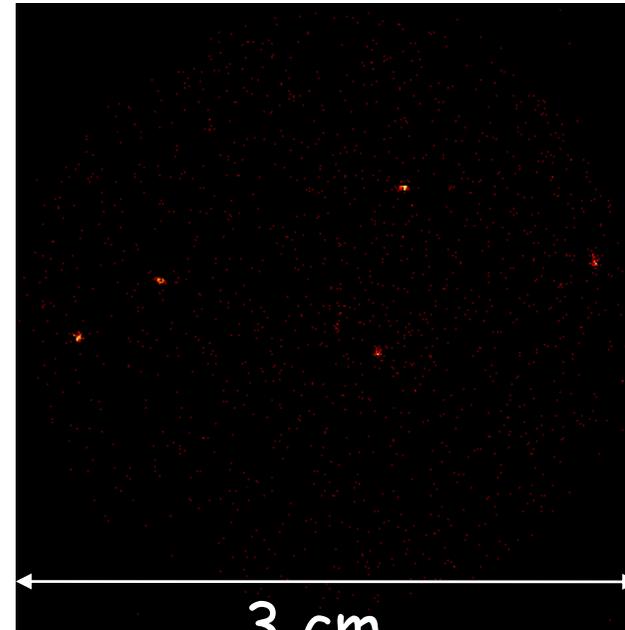
Mikrostreifendetektoren für biomedizinische Autoradiographie.

Ermöglicht zeitaufgelösten Nachweis von radiomarkiertem Gewebe.

Uni Bonn, 90er Jahre



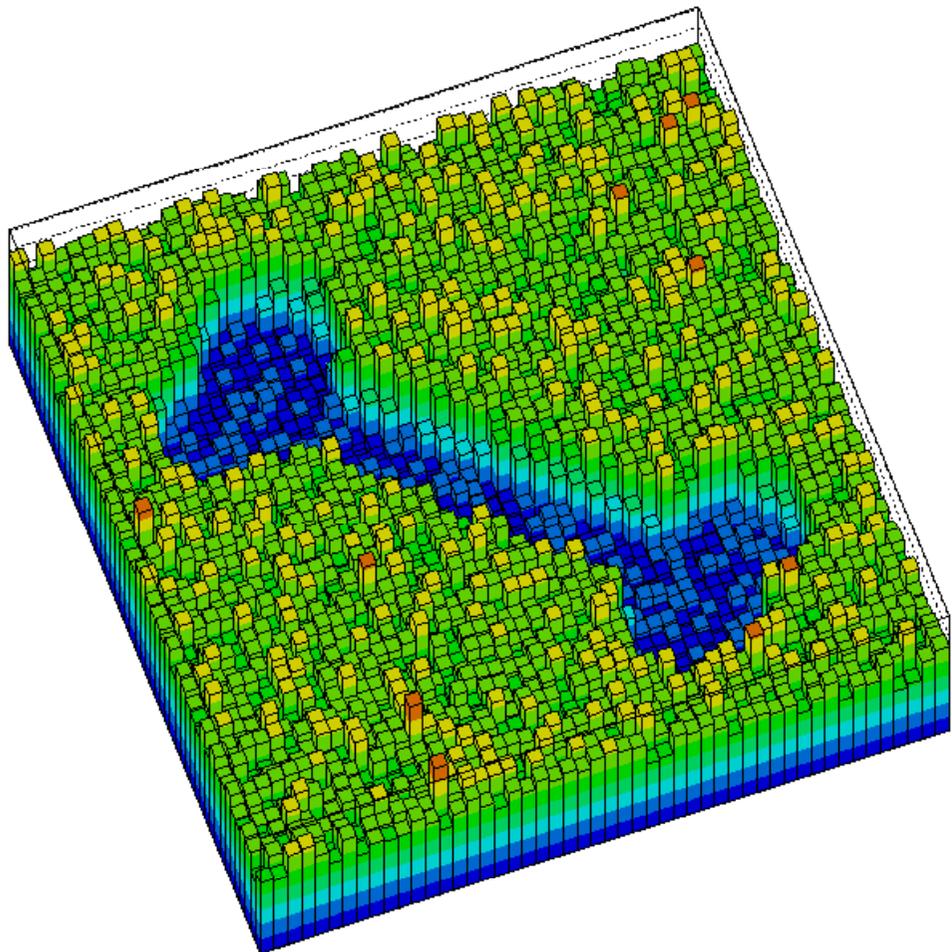
**Mikrostreifendetektor
mit Ladefach für
biologisches Gewebe**



**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

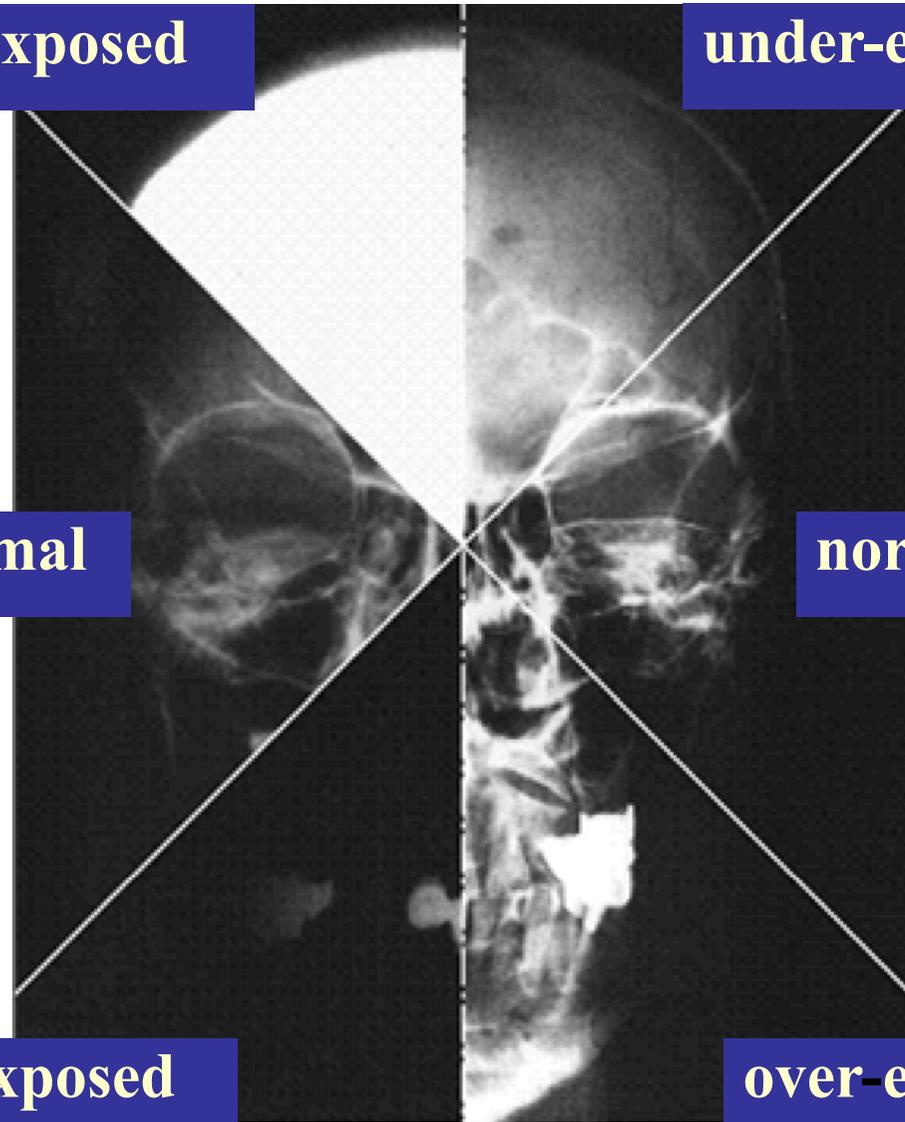
under-exposed

normal

normal

over-exposed

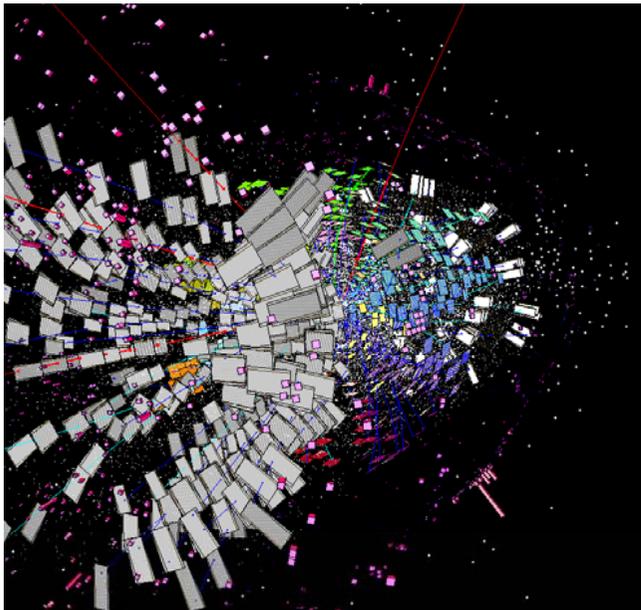
over-exposed



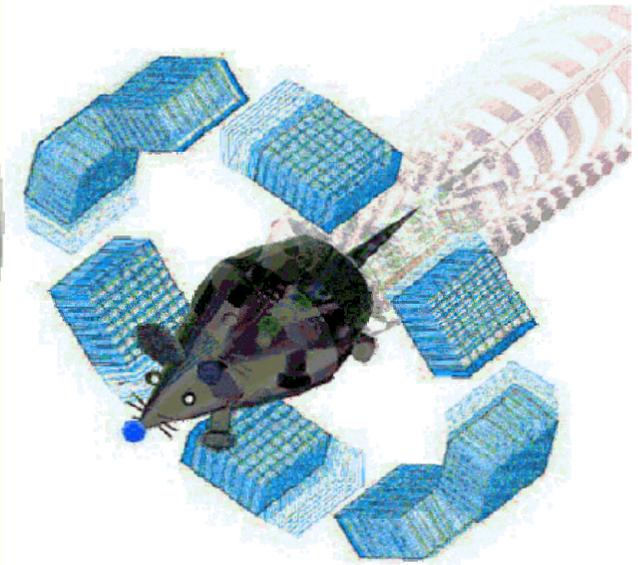
Geometry and tracking Vers. 4 = **Geant 4**

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 !

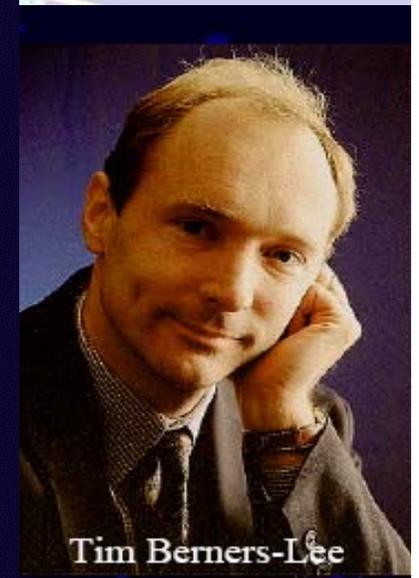
- Schnelle on-line Prozessoren zur Detekorauslese
- Bus-Systeme
- Computer-Cluster
- World-Wide Web
- Grid-Entwicklung
- Simulationswerkzeuge
- Datenanalyse-Methoden u. Software



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

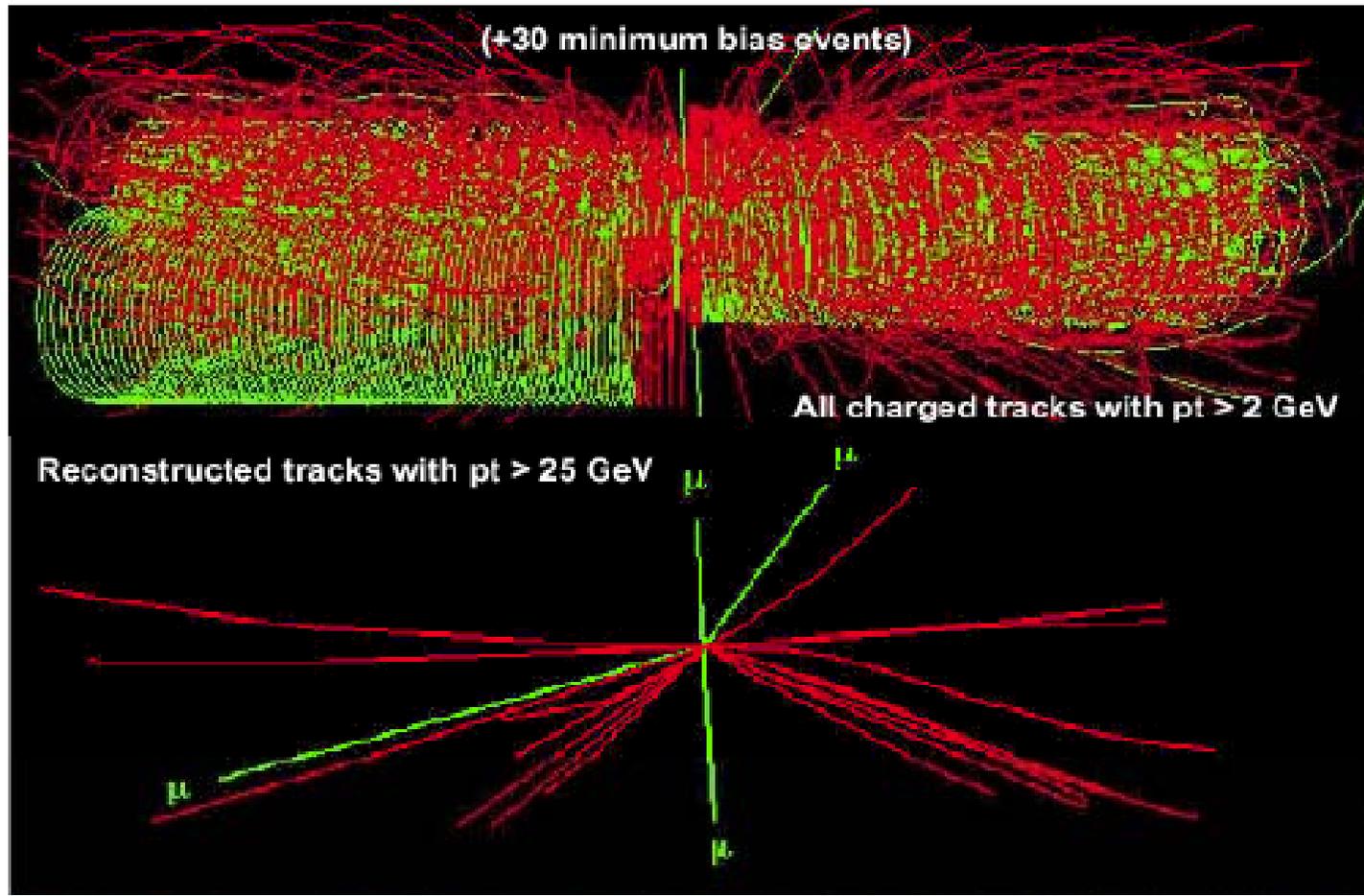
The screenshot shows the CERN website homepage. At the top right, there are links for 'Languages | Search | SiteMap | Contacts | Credits'. Below this is a navigation bar with 'Press & Media', 'Job Opportunities', 'Industry -- Technology', and 'for CERN Users'. The main content area features the CERN logo and the text 'The world's largest particle physics laboratory ... where the web was born!'. There is a section for 'LHC: Dashboard' with a 'Cost to completion (updated 2003-01-09)' link. Below this, it says 'WWW Public Domain: 10 years today!'. At the bottom, there is a row of icons for 'About CERN', 'Visit CERN', 'Education', 'News', 'Spotlight on', and 'Ask an Expert'.

Web Communications ETTWPE - Copyright CERN 2002



Tim Berners-Lee

... die Nadel im Heuhaufen suchen!



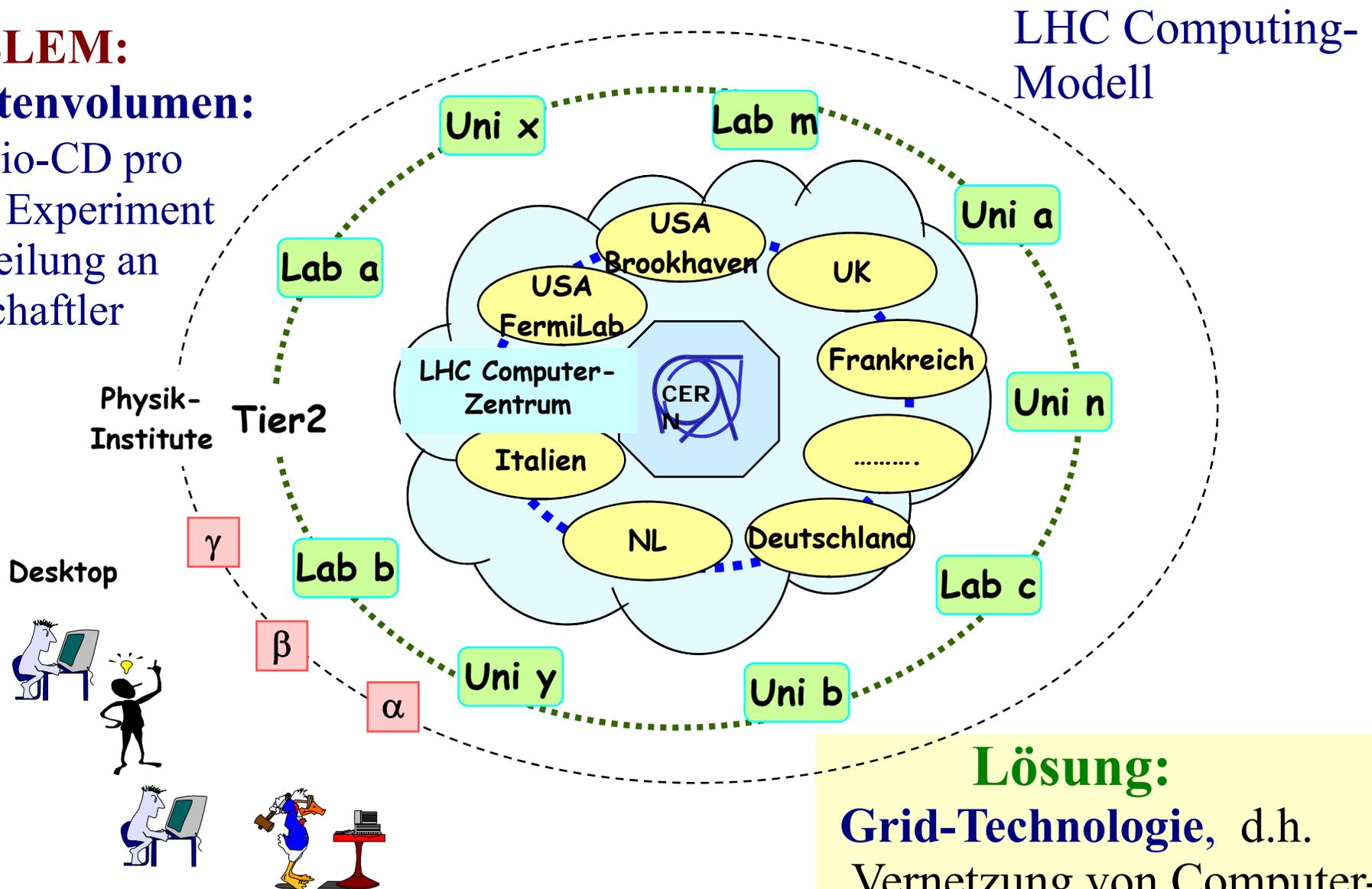
40 Millionen mal pro
sec. ca. 1500 Spuren
im Detektor

Nach selektiver Spur-
rekonstruktion!

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

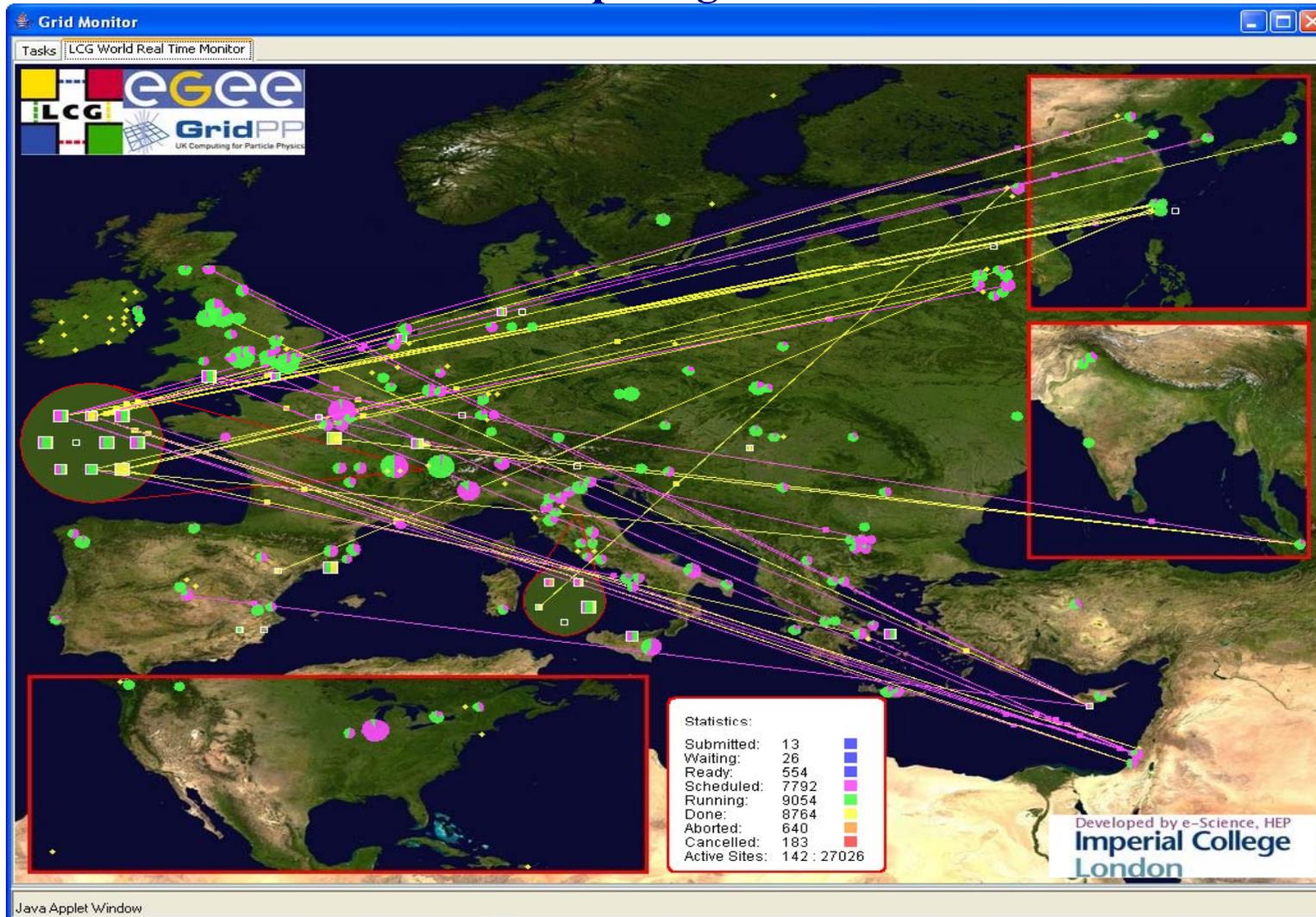
Leistungsfähige **Algorithmen** und viel **Computer-Leistung**
zur Ereignisselektion, Rekonstruktion, Analyse und Interpretation

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 LHC 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

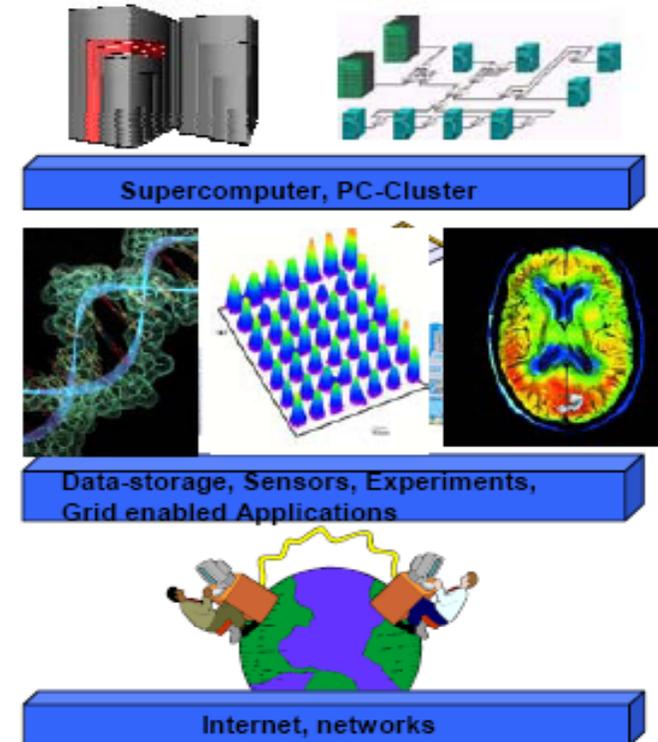
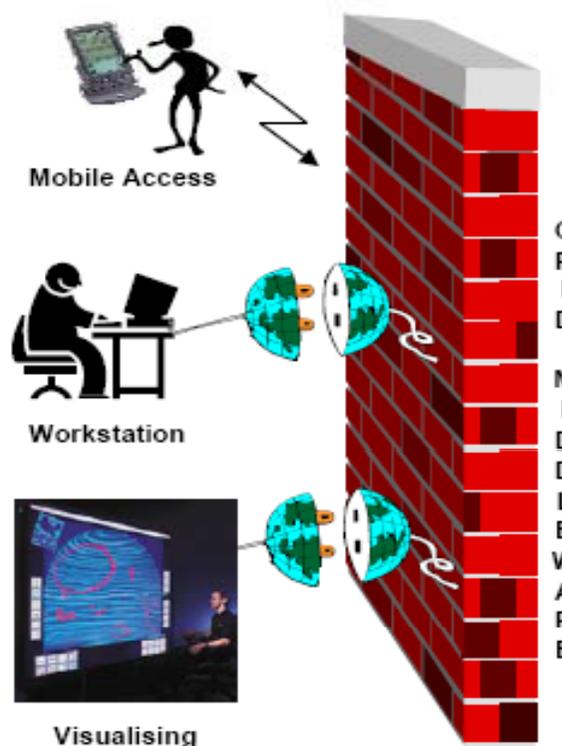
Die Vision: Zugang zu Rechenleistung ...



... 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

Grid-Standorte (LCG) in D :

- Desy Hamburg u. Zeuthen
- Uni Dortmund
- Uni Wuppertal
- RWTH Aachen
- GSI Darmstadt
- GridKa Karlsruhe
- Uni Karlsruhe
- Uni Freiburg
- MPI München
- LMU München

Stand: Jan. 07



Neben Kenntnissen in Teilchenphysik

breite Ausbildung in :

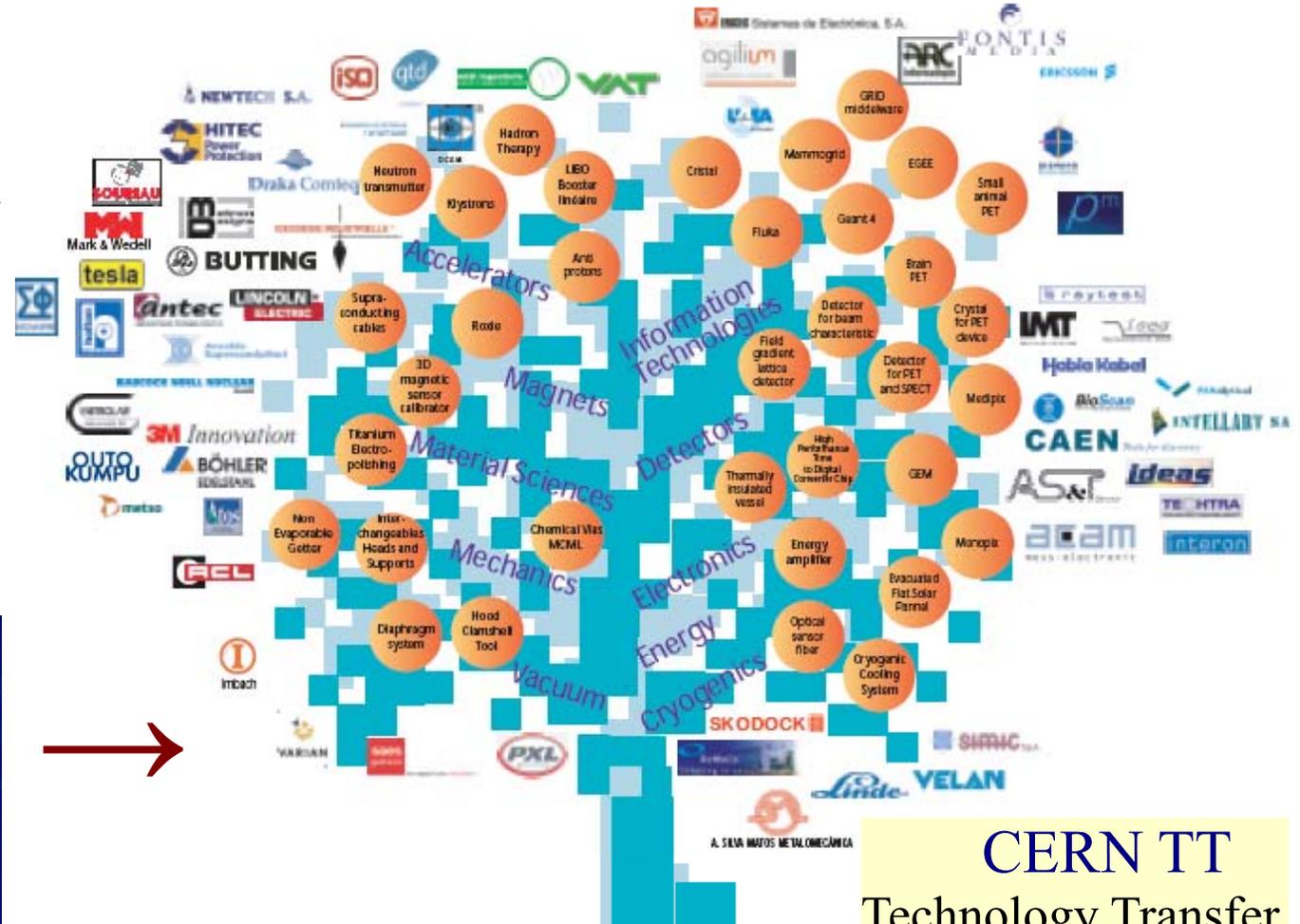
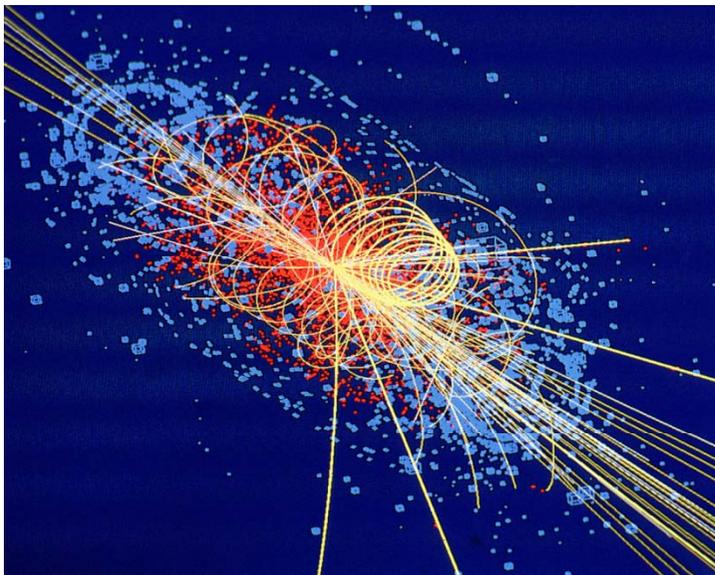
- Detektorentwicklung und -test
- Mikroelektronik und Datenauslese
- Aufbau und Betrieb komplexer Detektoren
- Computernetzwerke & Datenmanagement
- Softwareentwicklung in großen Projekten
- Auswertungsalgorithmen und Analysemethoden
- Beschleunigerphysik
- Zusammenarbeit in internationalen Teams
→ Palette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

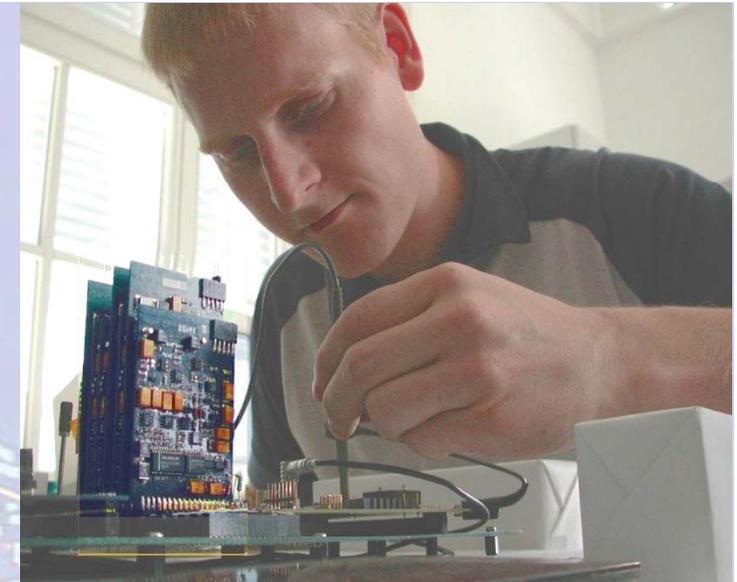


... Teilchenphysik ist ein exzellenter Nährboden für Anwendungen !

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 !