

R&D Beschleuniger

in den Förderbereichen *ETP* und *HKP*

Wolfgang Hillert





PETRA III
FLASH
XFEL

DESY

BESSY II

HZB

ELBE

HZDR

ETP- und HKP-
Beschleuniger

FAIR

FZJ

ANKA

KIT

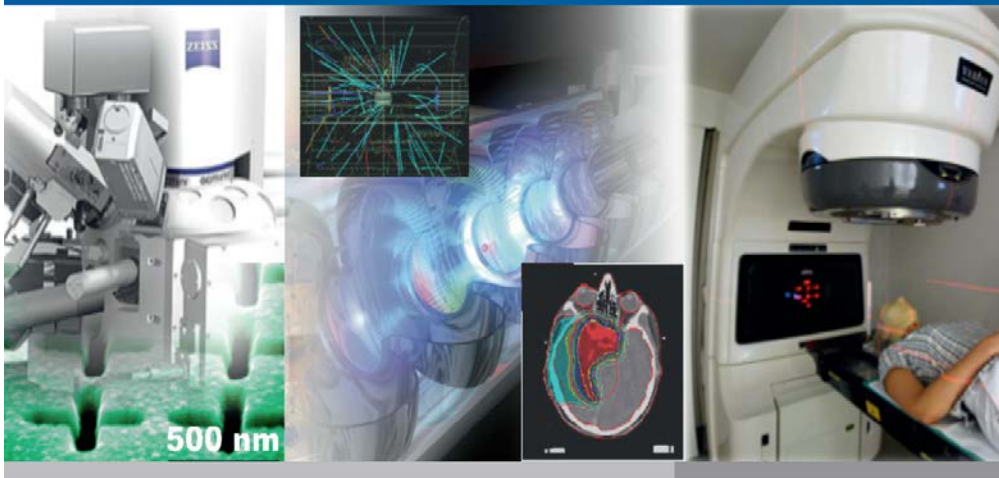
ILC



ARD

Accelerator Research and Development

Accelerators – Motors for Discovery and Innovation



Idee 2010

Genehmigung 2011

Start 07/2011

Implementation
Phase (2011-14)

Research Field *Matter* in POF III

Matter and Technology (2015-2019)

→ Accelerator R&D

4 Areas:

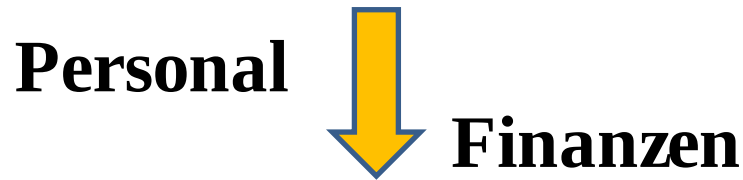
1. SRF Science & Technology
2. Concepts and Technologies for Hadron Accelerators
3. ps & fs Electron and Photon Beams
4. Novel Acceleration Concepts

1. **CW Injectors and Acceleration** (ERL, low- β cw Structures)
2. → **FAIR** (Sources, Magnets, Diagnostics, Feedback, Linac, int. Targets), **EDM**
3. **Beam Dynamics, Diagnostics, Controls & Synchronization**
4. **LIA, LEA, BEA** (except. ion bunches, beam self-modulation)



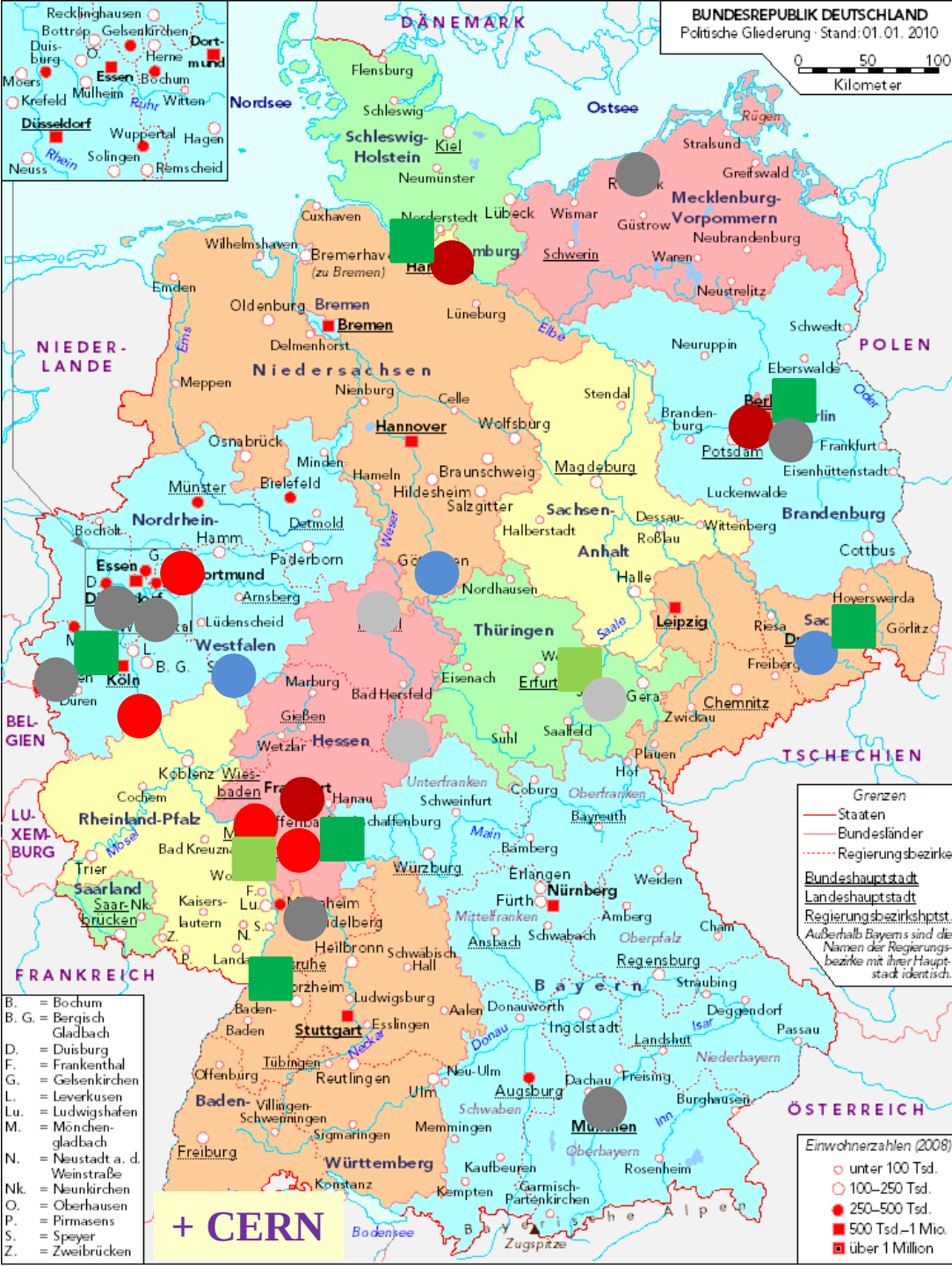
Beschleunigerentwicklung

- **HGF-Zentren verstärkt im Bereich der Synchrotronstrahlungsquellen aktiv!**
- **Neue Anlagen in Planung und Aufbau (FAIR, ILC, ...)**
- **Kontinuierliche Weiterentwicklung für zukünftige Experimente und Forschungsinteressen notwendig!**
- **Erschließung neuer Methoden, Technologien, Themenfelder**



Fruchtbare Zusammenarbeit zwischen CERN, den Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft und den deutschen Universitäten!

**Lange geübt in der Verbundforschung,
weiter verstärkt durch die ARD-Initiative !**



HH-Zentren und Institute:

- DESY, GSI, FZJ, HZB, KIT, HZD
- HIM, HIJ

Unis mit BP-Vorlesungen & Forschung:

- TU Dortmund (DELTA)
- U Bonn (ELSA)
- U Mainz (MAMI)
- TU Darmstadt (S-DALINAC)
- U Hamburg
- U Frankfurt
- HU Berlin
- TU Aachen
- KIT (← U Karlsruhe)
- TU Dresden (eingeschr. Themenkreis)
- U Göttingen (Blockvorlesung)
- U Siegen (Blockvorlesung)

Unis mit „Beschleunigerforschung“:

- U Rostock
- TU Berlin
- U Düsseldorf
- U Heidelberg: MPIK
- LMU München
- (U Wuppertal)
- (FSU Jena)
- (HS Fulda)
- (U Kassel)

Ausländische Labore:

- CERN



HH-Zentren und Institute:

- DESY, GSI, FZJ, HZB, KIT, HZD
- HIM, HIJ

Unis mit BP-Vorlesungen & Forschung:

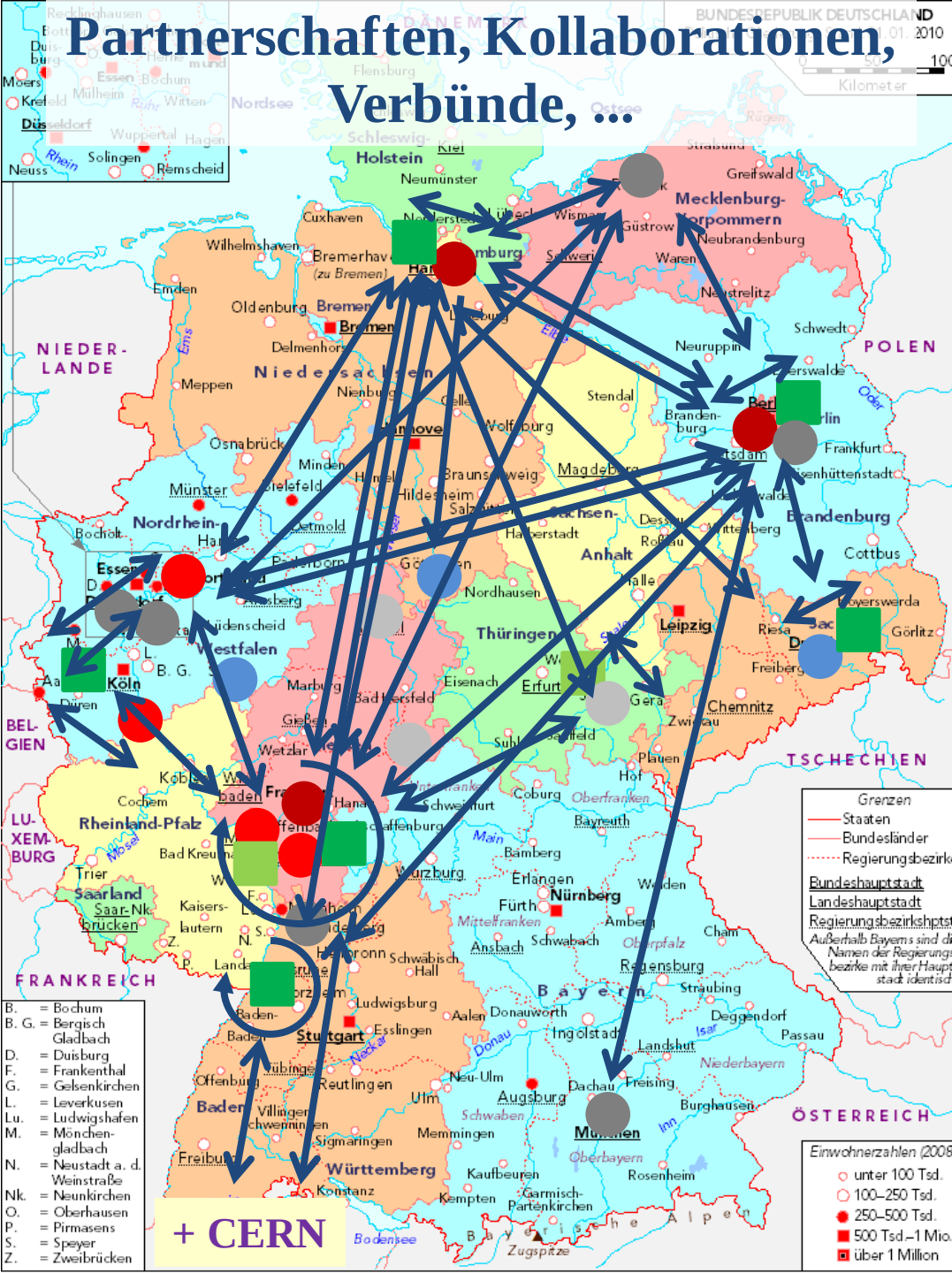
- TU Dortmund (DELTA)
- U Bonn (ELSA)
- U Mainz (MAMI)
- TU Darmstadt (S-DALINAC)
- U Hamburg
- U Frankfurt
- HU Berlin
- TU Aachen
- KIT (← U Karlsruhe)
- TU Dresden (eingeschr. Themenkreis)
- U Göttingen (Blockvorlesung)
- U Siegen (Blockvorlesung)

Unis mit „Beschleunigerforschung“:

- U Rostock
- TU Berlin
- U Düsseldorf
- U Heidelberg: MPIK
- LMU München
- (U Wuppertal)
- (FSU Jena)
- (HS Fulda)
- (U Kassel)

Ausländische Labore:

- CERN



HH-Zentren und Institute:

- DESY, GSI, FZJ, HZB, KIT, HZD
- HIM, HIJ

Unis mit BP-Vorlesungen & Forschung:

- TU Dortmund (DELTA)
- U Bonn (ELSA)
- U Mainz (MAMI)
- TU Darmstadt (S-DALINAC)
- U Hamburg
- U Frankfurt
- HU Berlin
- TU Aachen
- KIT (← U Karlsruhe)
- TU Dresden (eingeschr. Themenkreis)
- U Göttingen (Blockvorlesung)
- U Siegen (Blockvorlesung)

Unis mit „Beschleunigerforschung“:

- U Rostock
- TU Berlin
- U Düsseldorf
- U Heidelberg: MPIK
- LMU München
- (U Wuppertal)
- (FSU Jena)
- (HS Fulda)
- (U Kassel)

Ausländische Labore:

- CERN

Beitrag der Universitäten:

- Einbringung **spezieller Expertise** (und Personals!)
- **Kreativität**, Erschließung neuer **Fragestellungen**
- **Ausbildung wissenschaftlichen Nachwuchses!!**

Nutzen für die Universitäten:

- Erkenntnisgewinn, Weiterentwicklung des Feldes
- Kooperationen, Partnerschaften
- Anbindung an Großgeräte
- ...

Beschleunigerphysik *HKP* 2012-2015

- **Synchrotron Beam Measurement and Control:**

- Neuartiger **DC Strahltransformator**

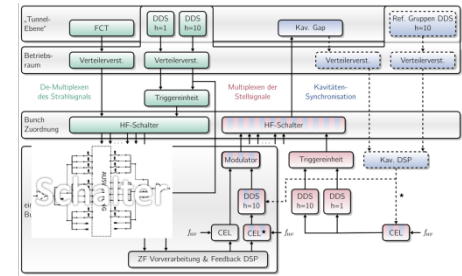
TUDA

- **Signalverarbeitungsalgorithmen** für programmierbare Logik

UKS

- **Longitudinale Strahlstabilisierung** in Schwerionensynchrotrons

TUDA



- **Strahldiagnose und Strahlenschädendiagnose:**

- Szintillator-Materialien für **Hochstrom-Diagnose**

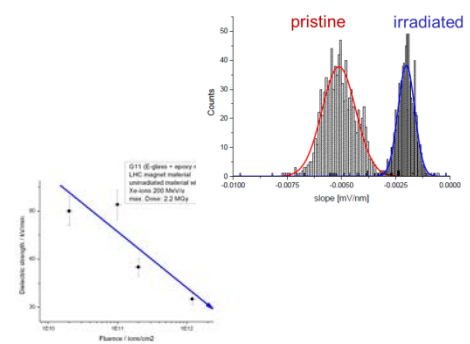
TUDA

- **Strahlenschädigung von Beschleunigerkomponenten auf Kunststoffbasis**

TUDA

- Stickingkoeffizienten und Verweildauern von Restgasen an **kryogenen Oberflächen**

TUDA

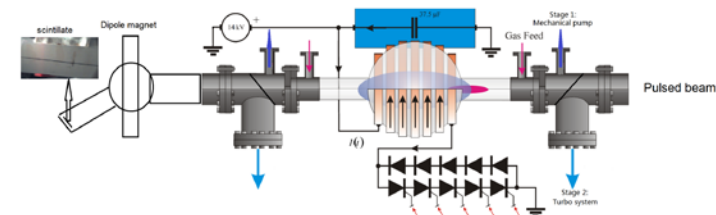


- Lebensdauererhöhung von **UNILAC-Stripperfolien**

TUDA

- Dichter und hochionisierter **Plasmastripper**

UF



Beschleunigerphysik *HKP* 2012-2015

• Hochstrom-Ionenanlagen:

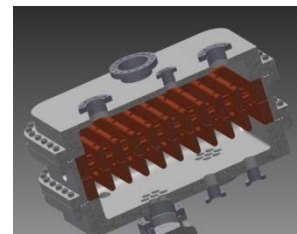
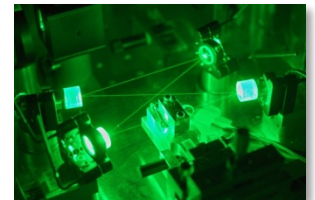
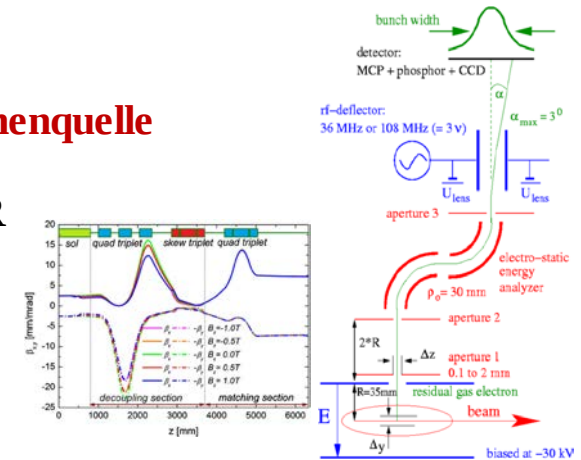
- TUDA – Numerische Simulation zur **Extraktion aus einer EZR Ionenquelle**
- TUDA – Entwicklung **minimalinvasiver Strahldiagnostik** für FAIR
- UF – **Brillanzoptimierung intensiver Schwerionenstrahlen** aus Ionenquellen

• SPARC:

- TUDA – **Lasersystem zur effizienten Laserkühlung** relativistischer Ionenstrahlen an ESR, HESR und SIS100/300
- TUDD – **Kurzpuls-Hochenergieverstärker** zur schnellen Laserkühlung

• Beschleunigungsstrukturen:

- UF – Entwicklung von **Prototypkomponenten für FAIR**
- UF – Weiterentwicklung und Test **supraleitender CH-Struktur**

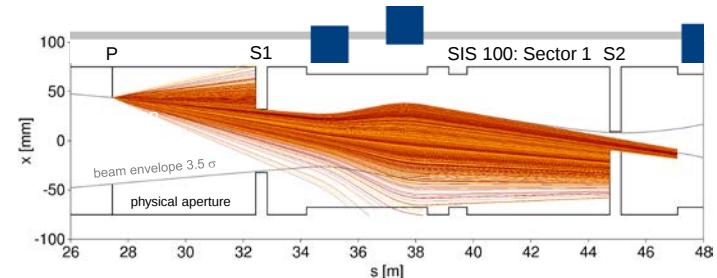


Beschleunigerphysik *HKP* 2012-2015

TUDA – **Magnet- und Strahldynamiksimulation** für den Super-FRS

TUDA – Herstellung **kryogener Targets** für die Untersuchung von Laser-Plasma-WW sowie HIHEX und LPLAS

TUDA – **Halo-Kollimation leichter und schwerer Ionen** im SIS100



Insgesamt 18 Teilprojekte in 5 Forschungsverbünden, $\Sigma = 3,35$ Mio Euro

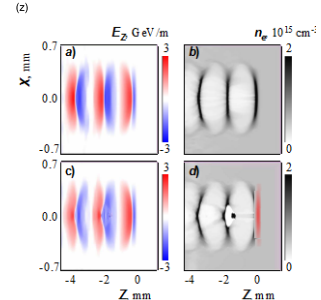
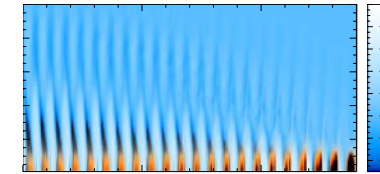
Beschleunigerphysik *ETP* 2012-2015

- Plasma-Wakefield-Beschleunigung (PWA):

UHH – **Selbstmodulation eines Elektronenstrahls** für strahlgetriebene PWA

TUDA – Hochauflösendes Simulationswerkzeug zur **numerischen Modellierung von PWA**

UD – **Hybrid-Simulationsmethoden** für strahlgetriebene PWA



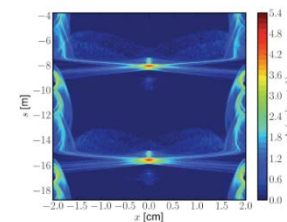
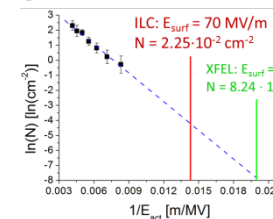
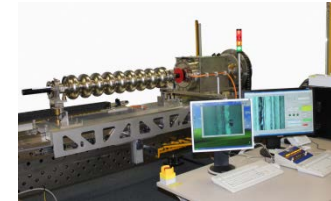
- Supraleitende Hochfrequenztechnik (SC RF):

TUDA – **Numerische Berechnung elektrischer Felder**

UHH – **SC-Kavitäten für ILC** und andere zukünftige Beschleuniger

UW – Untersuchung und Reduktion von **Elektronen-Feldemission von Oberflächen**

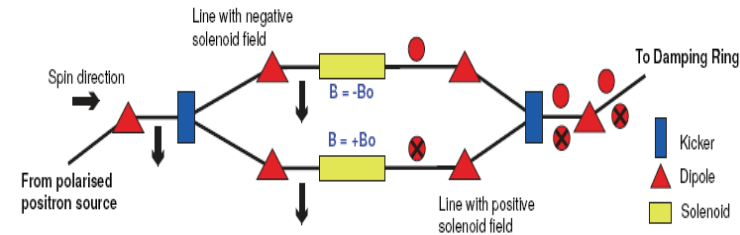
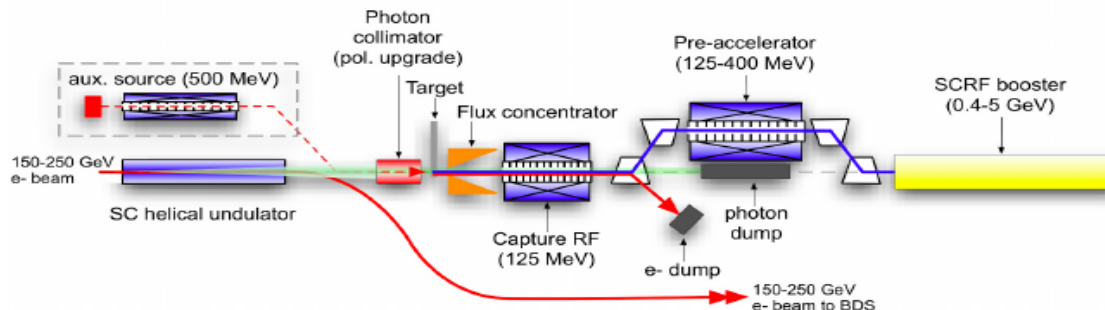
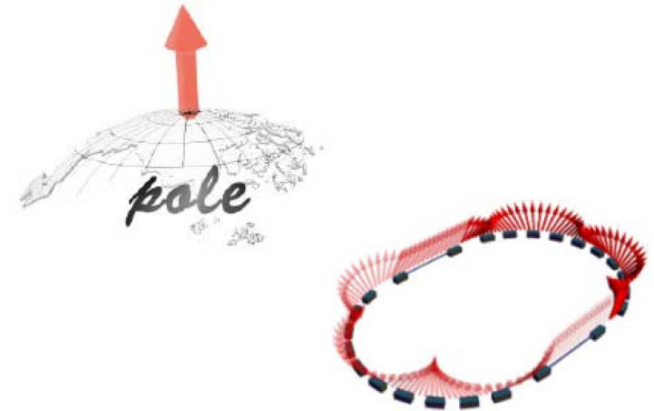
TUDA Simulation von **Elektronenwolken und Strahlinstabilitäten** in SPS und LHC



Beschleunigerphysik *ETP* 2012-2015

- **Polarisierte Leptonenstrahlen:**

- UHH – **Spin-Umsetzung** in Hochenergieprozessen
- UBN – **Spin-Justierung** an Leptonen-Beschleunigern
- UMZ – **Spin-Produktion** an Leptonen-Beschleunigern



Insgesamt 10 Teilprojekte in 3 Forschungsverbünden, $\Sigma = 2,1$ Mio Euro

Fragen an Unis und Zentren zur Ausrichtung der zukünftigen VFF:

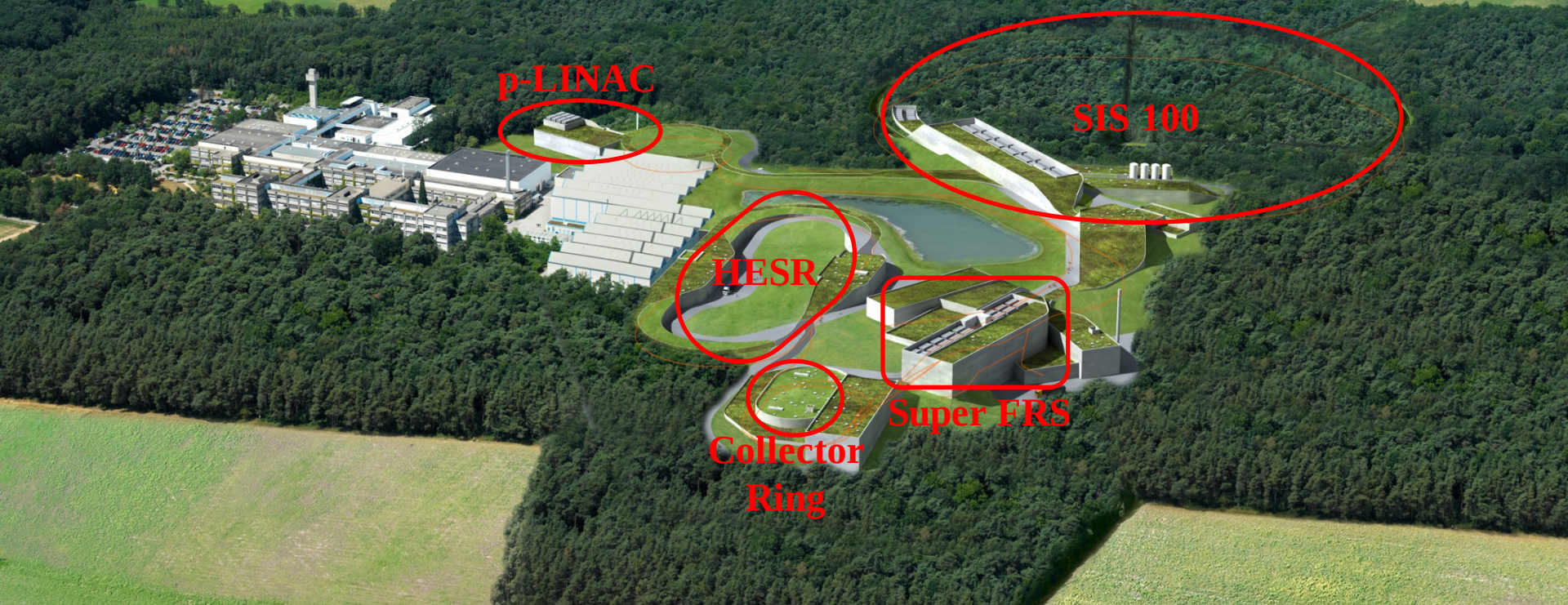
F&E-Aktivitäten in der nächsten FP:

- *Welche Forschungsaktivitäten sind von großer Dringlichkeit und Bedeutung und sollen in den nächsten 3 Jahren prioritär unterstützt werden?*

Langfristige Forschungsziele:

- *Welche Forschungsschwerpunkte sollen auf lange Sicht verfolgt werden und welche Schritte sind dazu bereits in der nächsten Förderperiode und auch darüber hinaus zu unternehmen?*

HKP: FAIR / GSI



Ionenbeschleunigung:

- Ionenquellen
- Beschleunigungsstrukturen
- Breitbandresonatoren
- HF-Systeme, -regelungen
- Synchronisation
- Ladungsstripper

Strahldynamik:

- Simulationen (Instabilitäten, (Raumladung, Halo, ...))
- Impedanzen, E-Wolken
- Strahlkollimation
- Dynamisches Vakuum
- Strahlkühlung
- Interne Targets

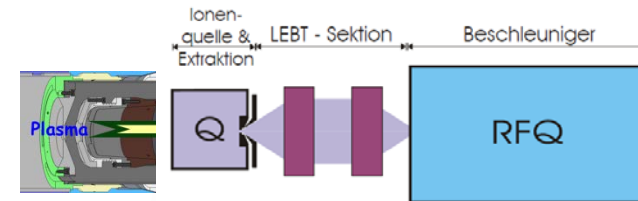
Diagnose und Kontrolle:

- Strahlmonitore (HF-Systeme, Schirme, ...)
- Feedback-Systeme (long./transv./HF)
- Injektion/Extraktion
- Strahlmanipulation

Themenliste I:

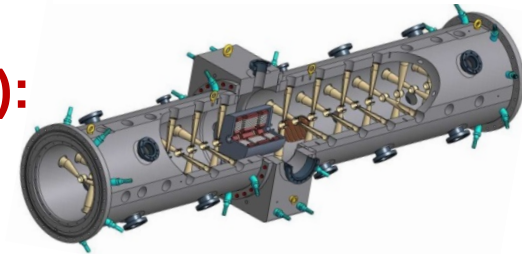
➤ Ionenquellenentwicklung:

Extraktion und Strahltransport – Korrektur, Kollimation, intensive Protonenstrahlen mit hohen Repetitionsraten



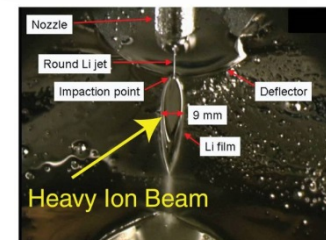
➤ Entwicklung von LINAC-Strukturen (low- β Cavities):

H-Typ Resonatoren, Buncher Cavities, SC-Cavities



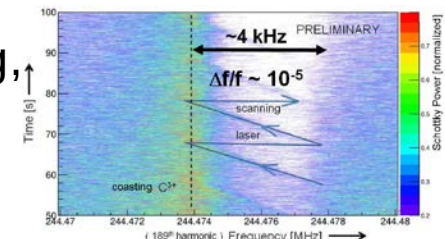
➤ Ladungsstripper:

Untersuchung von C-Folien, alternativen Szenarien (Hochdruck Gasstripper, Plasma- und Flüssigmetallsystemen)



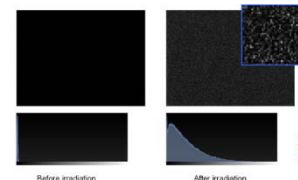
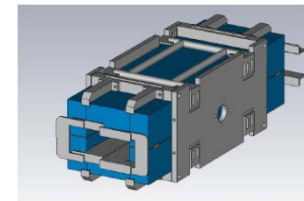
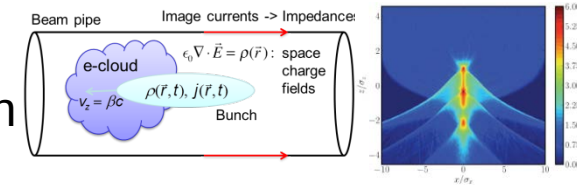
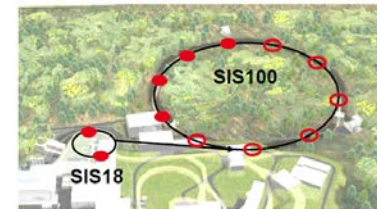
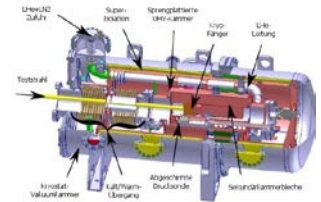
➤ Strahldynamik:

Raumladungsdominierte HI-Strahlen in LINACs, Halo-Bildung, Laserkühlen von Schwerionenstrahlen



Themenliste II:

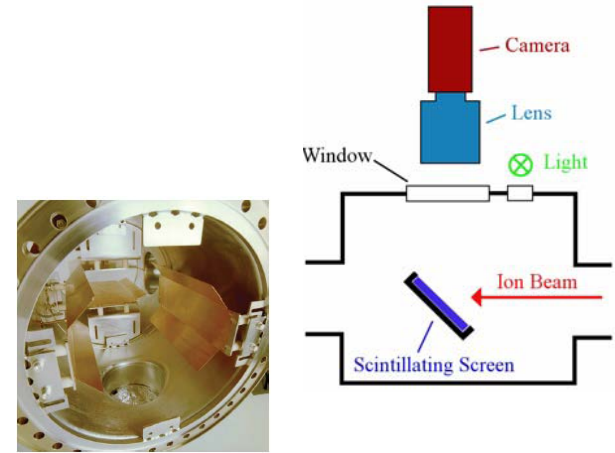
- **Strahlkollimation in Hochstrombeschleunigern:**
Konzepte für Kryosysteme, Materialien, Channeling in Kristallen, Dynamisches Vakuum: Strahlverlust → Desorption
- **HF-Resonatoren und -Systeme:**
Magnetic-Alloy Ring-Core Cavities, Barrier-Bucket, Bunch to Bucket Transfer, Bunchverschmelzung
- **Strahldynamik:**
Elektronenwolken in HI Maschinen, Instabilitäten, Impedanzen (Bibliotheken), Strahlverluste → Simulation
- **Injektion, Extraktion und Strahltransfer:**
HV-Kicker und gepulste strahloptische Elemente
- **Strahlenschäden und Aktivierung von Materialien, machine protection**



Themenliste III:

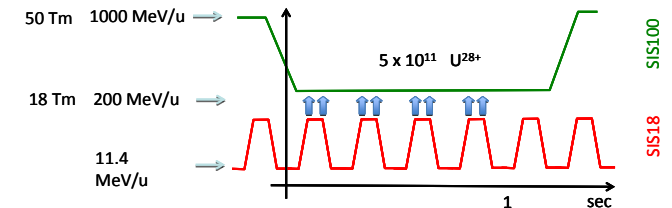
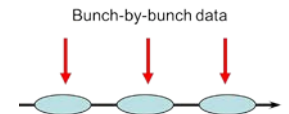
➤ **Strahldiagnose-Systeme:**

Szintillationsschirme (Strahlprofil, Pepper-Pot, ...),
Restgas-Strahlprofilmonitore,
DC-Current-Transformer (GMR-Systeme),
Schottky Pick-Ups



➤ **Hochfrequenzsysteme:**

Longitudinale Feedback-Systeme, Schottky Pick-Ups mit
hoher Bandbreite (Arbeitspunktmessung, stochastisches Kühlen),
Closed-Orbit Feedback für SIS100,
Hochpräzisions-Timing



➤ **Erzeugung von Sekundärstrahlen:**

Hochleistungspulser für magnetisches Horn
(Antiproton-Fokussierung), Target-Entwicklung

Beitragende Universitäten:

➤ **TU Darmstadt:**

SIS 100, Impedanzen, Laserkühlung, Steuerung komplexer HF-Systeme, Numerische Methoden für Beschleunigersimulationen

➤ **U Frankfurt:**

Transport, Injektion und Diagnose von Schwerionenstrahlen, Normal- und Supraleitende H-Moden-HF-Beschleunigungsstrukturen, 4-Rod-RFQ Strukturen, Magnetic-Alloy-Resonatoren, Plasmastripper

➤ **U Rostock:**

Entwicklung von Simulationswerkzeugen für allgemeine Strahldynamik und Elektronenwolken

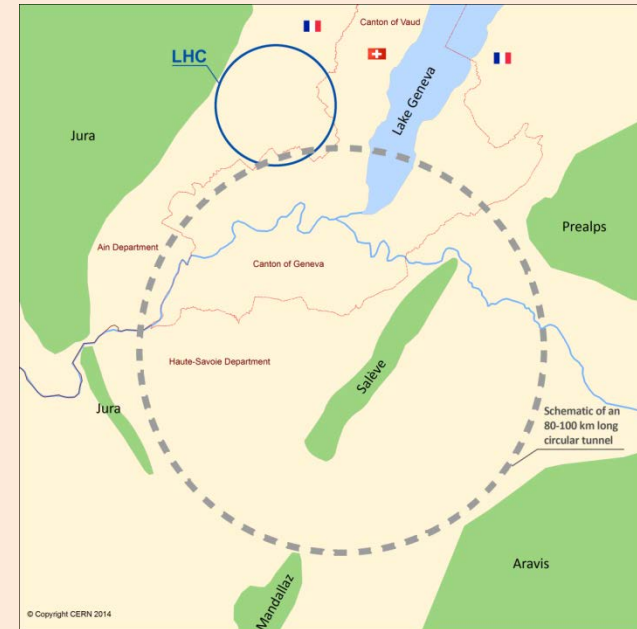
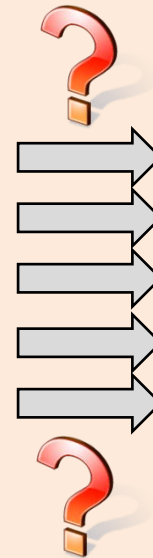
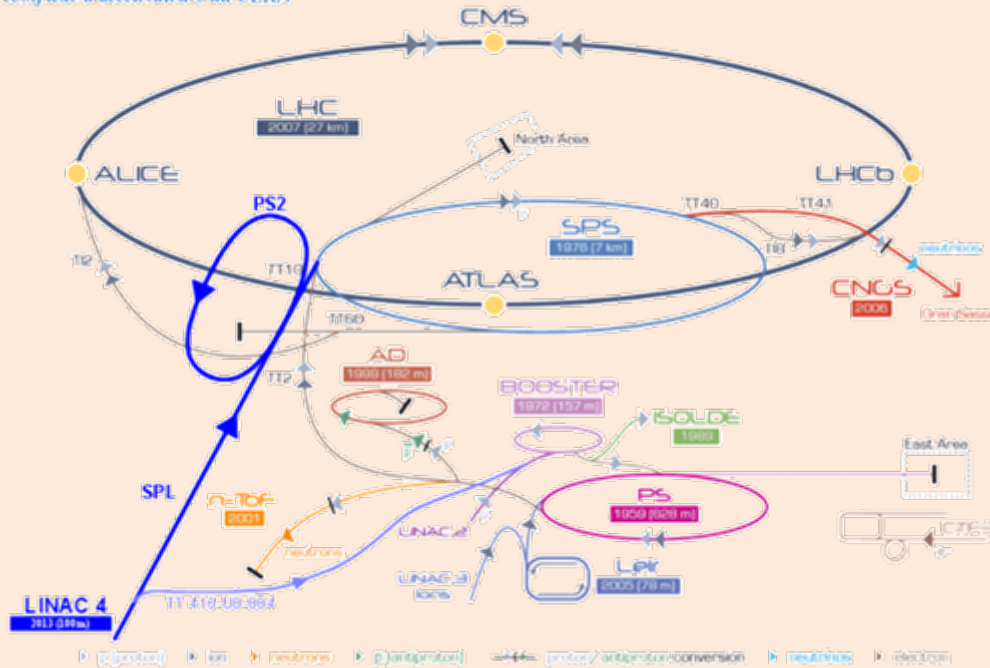
➤ **TU Dresden:**

Laserkühlen von Schwerionenstrahlen

ETP:



Le complexe d'accélérateurs du CERN



Generelle Stoßrichtungen zukünftiger Beschleunigerentwicklungen

- Weiterentwicklung des LHC zum **HL-LHC**
- Elektronen-Protonen-Collider **LHeC**
- Energy-Recovery-Linac Testfacility **ERL**
- Future Circular Collider **FCC** (VL-LHC, TLEP,...)

➤ **High-Lumi-LHC (HL-LHC):**

- Quenchuntersuchungen von supraleitenden Hochfeldmagneten (auch für FCC)
TU Darmstadt, KIT
- Diagnose und Kollimation des Strahl-Halos
U Bonn

➤ **Future Circular Collider (100 TeV Hadron Collider):**

- Neuartige Kryo-Kühlsysteme (Verwendung von Helium-Neon Gas-Mischungen)
U Dresden, WEKA
- Impedanzberechnungen, Feedback-Systeme und Elektronenwolkenstudien
U Darmstadt, U Dortmund, U Rostock
- Weiterentwicklung von sc HF-Systemen
U Frankfurt, U Siegen, U Wuppertal, U Göttingen, TU Berlin

➤ **Elektronen-Protonen-Collider (LHeC):**

- Entwicklung von 800 MHz SC HF-Systemen und Komponenten
U Mainz

➤ **Test-Facility für Energy Recovery LINACs (ERL):**

- Test-Facility für ERL Technologie, supraleitende HF-Beschleunigungsstrukturen, Hochfeldmagnete und Kabel-Tests
U Mainz, HU Berlin?, TU Darmstadt
- Entwicklung von cw Hochbrillanzquellen (Polarisation?!)
U Bonn, U Mainz, HU Berlin?, DESY/HZB?

➤ **Untersuchungen mit Bedeutung für verschiedene Beschleuniger:**

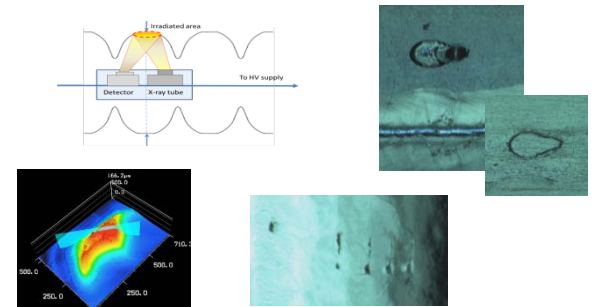
- Numerische Behandlung von Transienteneffekten in supraleitenden Magneten
TU Darmstadt
- Analyse der Betriebssicherheit von Teilchenbeschleunigern
U Stuttgart
- Strahlstrommessung via CCC (Cryogenic Current Comparator)
U Jena, Elena und FAIR Projekte
- Schnelle Strahlverlustmonitore basierend auf Diamant-Detektoren
(erwägt, aber noch nicht endgültig bestätigt)

International Linear Collider ILC

➤ **Supraleitende Beschleunigungsstrukturen**

Verlässliche Massenproduktion hochqualitativer Beschleunigungsstrukturen, erhöhte Feldstärken

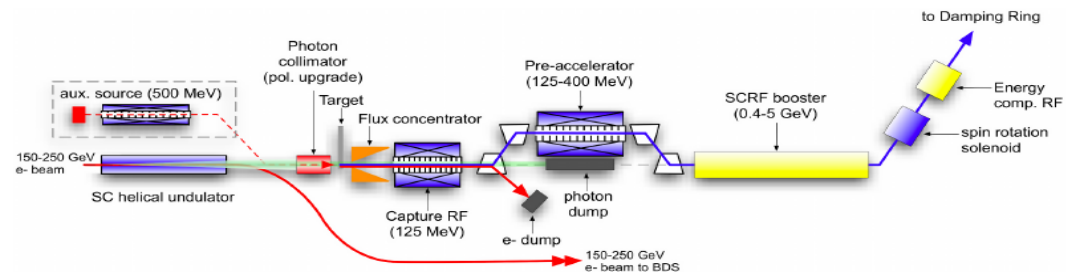
U Hamburg, U Wuppertal, DESY



➤ **Polarisierte Positronenstrahlen**

Intensive Quelle polarisierter Positronen, geeignet für alle unterschiedlichen Energieausbaustufen

U Hamburg, U Bonn, DESY



Themen von übergreifender Relevanz

➤ **Laser- bzw. Plasma-Wakefield basierte Teilchenbeschleunigung:**

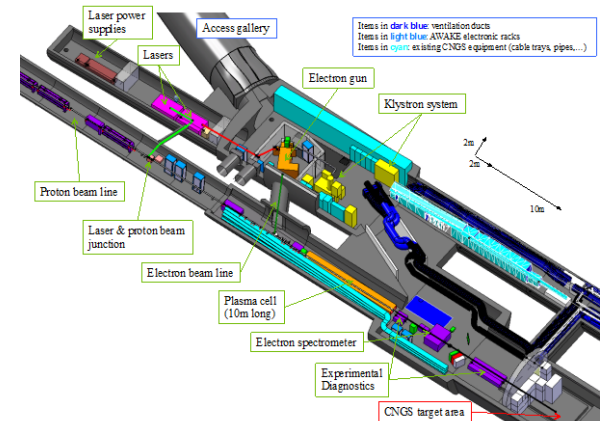
LIA, LEA, BEA, Relevanz für ETP und HKP,

Teilchenbeschleuniger der Zukunft???

Beispiel AWAKE@CERN:

Proton-getriebene Beschleunigung durch Selbstmodulation eines Elektronenstrahls

U Düsseldorf, LMU München,
MPI Physik und Plasmaphysik



➤ **EDM von Proton, Deuteron und Helionen:**

Entwicklung von Hochpräzisionsspeicherringen polarisierter Strahlen zur Messung des elektrischen Dipolmoments

U Aachen, U Bonn, FZJ



Fazit für die zukünftige VFF:

- **Ausbau der erfolgreich begonnenen Förderung** von Projekten der Beschleunigerphysik! ($\approx 5,5$ Mio € in ETP & HKP)
- **Fruchtbare Zusammenarbeit** von CERN, HGF-Zentren und Universitäten, auch bei der Förderung ($ARD \leftrightarrow VFF$)!
- Stärkung des Wissenschaftsstandortes Deutschland und der **Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses**
- **Wissenschaftliches Potential und innovative Ideen** für Forschungsschwerpunkte sind reichlich vorhanden!