

Beschleunigerphysik im FB “Kondensierte Materie”

Status und Ziele

Wolfgang Hillert



Mitglieder (2011 – 2013):

Thomas Weiland (Vorsitzender)	TU Darmstadt
Andreas Jankowiak (stellv. Vorsitzender)	HZB
Oliver Boine-Frankenheim	GSI
Reinhard Brinkmann	DESY
Ralf Eichhorn	TU Darmstadt
Wolfgang Hillert	U Bonn
Shaukat Khan	TU Dortmund
Anke-Susanne Müller	KIT
Jörg Rossbach	U Hamburg
Rüdiger Schmidt	CERN
Hans Weise	DESY

z.B. Organisation Verbundforschungsworkshops (Zentren + Universitäten)

2011 / TU Darmstadt (ETP und HKP)

2012 / HZB Berlin (KM)

2008 / Universität Frankfurt (ETP u. HKP)

2009 / DESY Hamburg (KM)

Erforschung der KM mit:

➤ **Photonen:**

Beschleuniger (SR, FEL, ERL, ...?...)

➤ **Neutronen:**

Reaktoren, demnächst Beschleuniger (ESS)

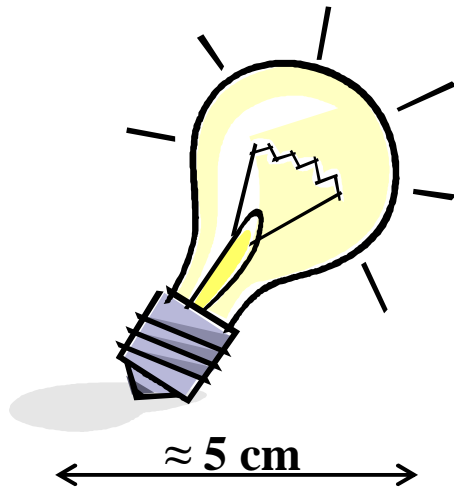
➤ **Nukleare Sonden und Ionenstrahlen:**

Reaktoren, Beschleuniger



Status

Beschleuniger als Lichtquelle



Sichtbares Licht:

$\lambda \approx 500 \text{ nm}$, $E \approx 2 \text{ eV}$ $\xrightarrow{10^{+3}}$

Synchrotronstrahlung

$\lambda \approx \text{\AA} - \mu\text{m}$, $E \approx 10 \text{ keV} - \text{meV}$

X-Rays – EUV – THz



- höchste Intensität
- höchste Brillanz
- kürzeste Pulse

„Das ultimative Mikroskop in Zeit und Raum“



PETRA III
FLASH
XFEL DESY

BESSY II HZB

ELBE HZDR

**KM-Beschleuniger
in Deutschland**

UNILAC/SIS18 GSI

ANKA KIT

Beschleunigerentwicklung

- **Sehr gute experimentelle Infrastruktur vorhanden!**
- **Neue Anlagen im Aufbau (XFEL / FAIR)**
- **Kontinuierliche Weiterentwicklung und Ausbau der bestehenden und zukünftigen Anlagen notwendig!**
- **Erschließung neuer Methoden, Technologien, Themenfelder**

Personal



Finanzen

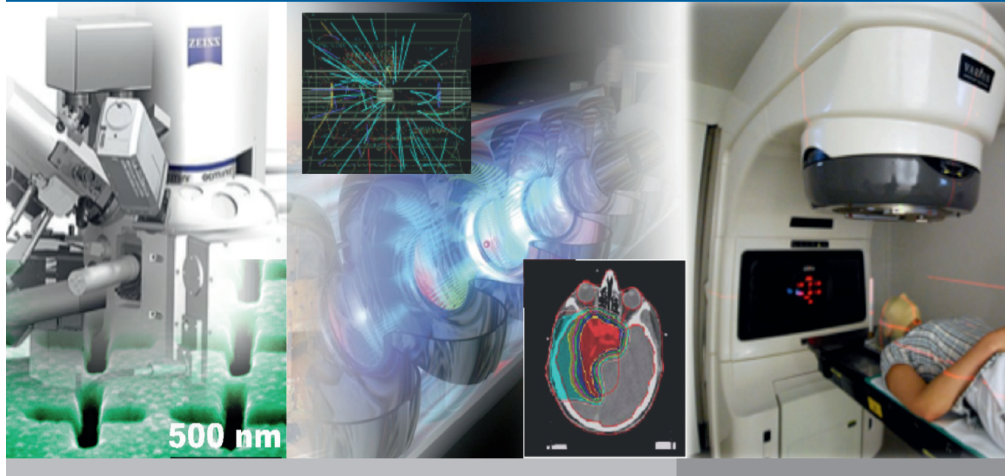
Fruchtbare Zusammenarbeit zwischen den Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft als Betreiber der Großgeräte und den deutschen Universitäten!

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

ARD

Accelerator Research and Development

Accelerators – Motors for Discovery and Innovation



Idee 2010

Genehmigung 2011

Start 07/2011

Ziele:

- Beschleunigerphysik stärken
- Grundlagenforschung BP fördern
- Neues Programm in POFIII etablieren
- Kooperationen mit Universitäten weiter verstärken

Topic 1: Superconducting rf technology (cw and high brilliance guns)

Topic 2: Novel technologies for hadron accelerators

Topic 3: ps and fs photon beams

Topic 4: Novel acceleration concepts



Beschleunigerphysik wird eigenes Topic in der nächsten POF Periode:

Research field „Structure of Matter“ in POF-II



Research field „Matter“ in POF-III (2015 – 2019)

- > **Elementary particle physics**
- > **Astroparticle physics**
- > **Hadrons and nuclear physics**
- > **Research with Photons, Neutrons and Ions**

ARD implementation phase 2011 - 2014 as part of portfolio process

> **Matter and the universe**

- Research of fundamental building blocks of Matter
- Cosmic matter in the laboratory
- Matter and radiation from the universe

> **From matter to materials and life**

- Research of structure, dynamics and function of matter
- Research with brilliant light sources
- Neutron probes for condensed matter research
- Physics and material science with ion beams
- Research with highest electromagnetic fields

> **Matter and technologies**

- **Accelerator research and development**
- Detector technologies and systems
- Handling and analysis of large data amounts



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
- KIT (← U Karlsruhe)
- TU Dresden (eingeschr. Themenkreis)
- U Göttingen (Blockvorlesung)
- U Siegen (Blockvorlesung)

Unis mit „Beschleunigerforschung“:

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

Ausländische Labore:

- CERN, ESRF

Verbundforschung KM

2010 - 2013



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
- KIT (← U Karlsruhe)
- TU Dresden (eingeschr. Themenkreis)
- U Göttingen (Blockvorlesung)
- U Siegen (Blockvorlesung)

Unis mit „Beschleunigerforschung“:

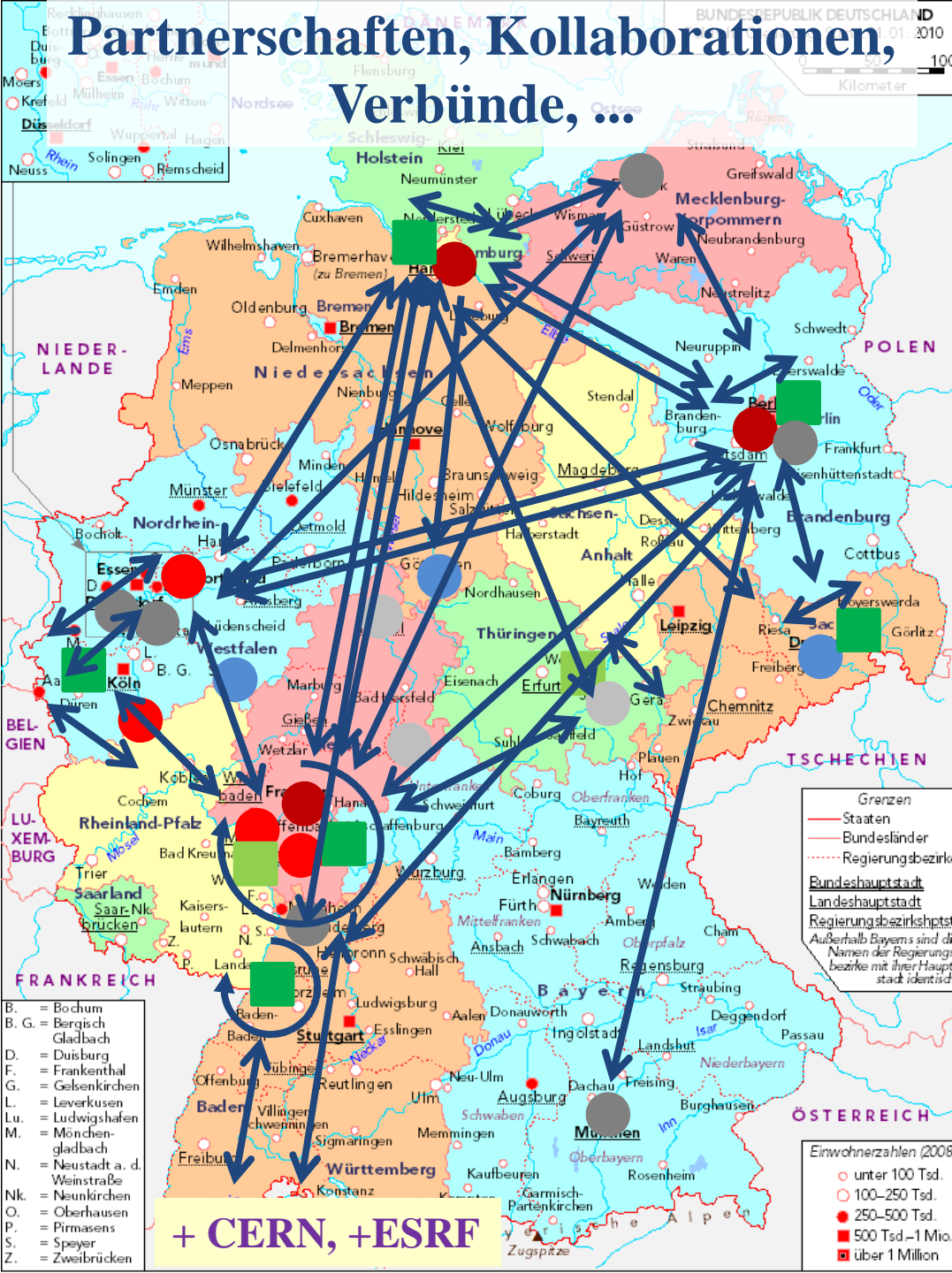
- U Rostock
- TU Aachen
- TU Berlin
- U Düsseldorf
- U Heidelberg: MPIK
- LMU München
- (U Wuppertal)
- (FSU Jena)
- (HS Fulda)
- (U Kassel)

Ausländische Labore:

- CERN, ESRF

+ CERN, + ESRF

Partnerschaften, Kollaborationen, Verbünde, ...



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
- KIT (← U Karlsruhe)
- TU Dresden (eingeschr. Themenkreis)
- U Göttingen (Blockvorlesung)
- U Siegen (Blockvorlesung)

Unis mit „Beschleunigerforschung“:

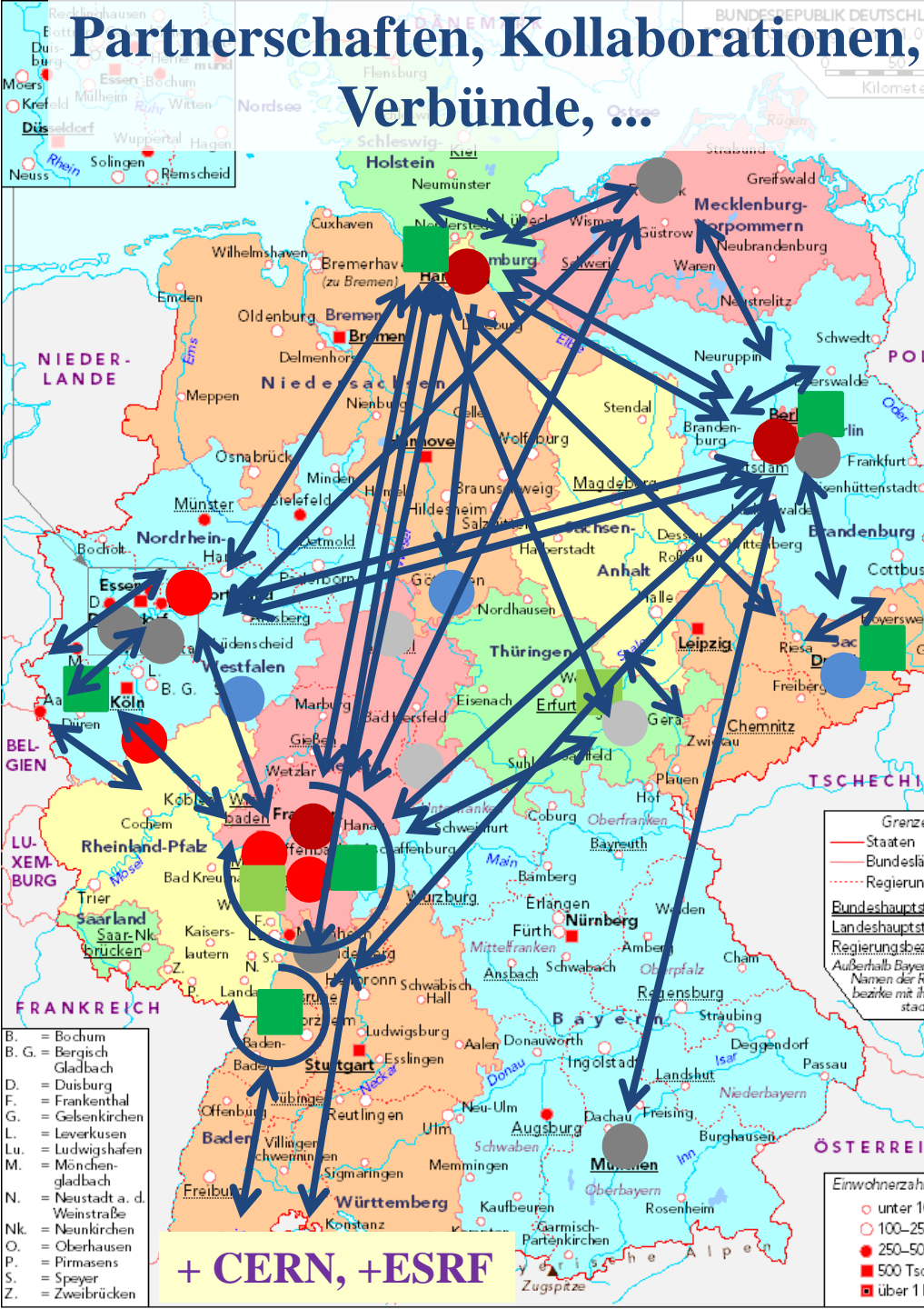
- U Rostock
- TU Aachen
- TU Berlin
- U Düsseldorf
- U Heidelberg: MPIK
- LMU München
- (U Wuppertal)
- (FSU Jena)
- (HS Fulda)
- (U Kassel)

Ausländische Labore:

- CERN, ESRF

+ CERN, + ESRF

Partnerschaften, Kollaborationen, Verbünde, ...



Beispiel für Kollaborationen:

FLASH: Materie im Licht ultrakurzer und extrem intensiver Röntgenpulse

DESY mit

- Universität Hamburg
- Technischen Universität Berlin
- Freien Universität Berlin
- Max-Planck-Gesellschaft
- Fritz-Haber-Institut Berlin
- Technischen Universität Darmstadt
- Technischen Universität Dortmund
- Universität Duisburg-Essen
- Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
- Friedrich-Schiller-Universität Jena
- Christian-Albrechts-Universität Kiel
- Fachhochschule Koblenz
- Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
- Universität Rostock
- Bergischen Universität Wuppertal

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 KM 2010-2013

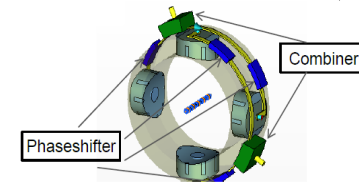
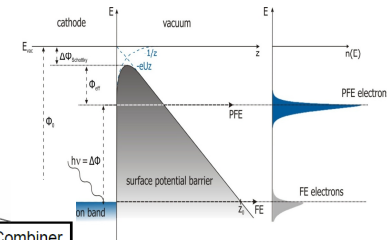
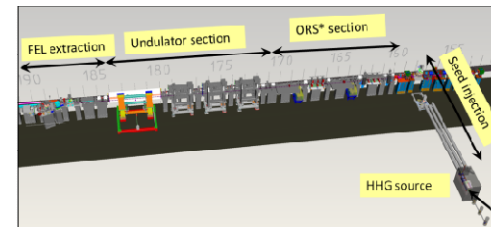
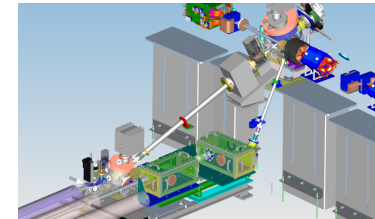
- **FLASH: Beschleuniger-basierte Erzeugung kurzer Pulse**

TUDO – Weiterentwicklung des **Optical Replica Synthesizer** für FLASH und für Laser-Plasma-Beschleuniger

UHH – Erzeugung sehr kurzer, kohärenter Strahlungspulse mittels **High-Harmonic-Seeding** bei FLASH

UW – Untersuchung der **photoinduzierten Feldemission** für Elektronenquellen hoher Brillanz

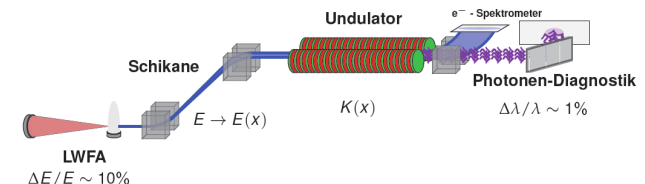
TUDA – Entwicklung eines **Ankunftszeitmonitors** für FLASH
– **Wakefeld-Simulationen** mit kurzen Elektronenpulsen für zukünftige FELs



- **JETI & TBONE: Diagnostik für Elektronenstrahlen mit kleiner Impulslänge und großer Energieverteilungsbreite**

KIT – Teilprojekt 1

UJ – Teilprojekt 2



Beschleunigerphysik KM 2010-2013

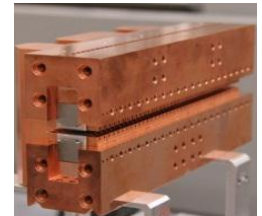
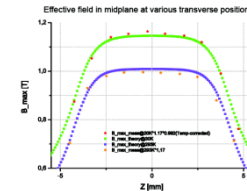
- **Kryogener PR-Fe-B-Undulator**

HZB

- Aufbau einer **Messkammer** sowie eines **Antriebssystems** zum magnetischen Abgleich

LMU

- **Undulatorentwicklung**



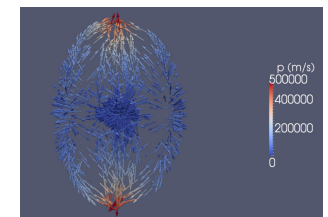
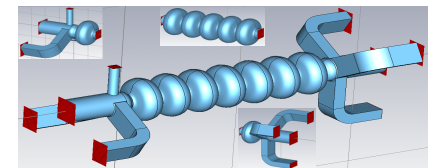
- **Teilchen- und Feldsimulationen für Beschleunigerentwicklung**

TUDO

- **Cavityentwicklung** für neue beschleunigerbasierte Synchrotronstrahlungsquellen mit hohen Strahlströmen

UHRO

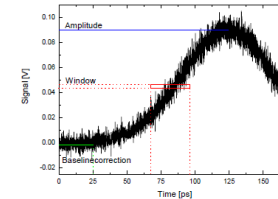
- Design von **Kopplern für höhere Moden** zur Dämpfung und Strahlanalyse in supraleitenden Linearbeschleunigern
- **Ionenakkumulation** und Ionen-Effekte in Speicherringen und ERLs



Beschleunigerphysik KM 2010-2013

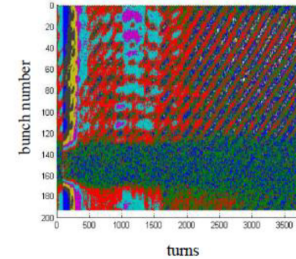
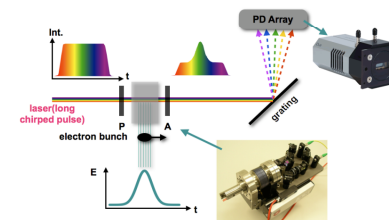
• Terahertzstrahlung

TUB – Korrelationstechniken für **zeitaufgelöste Terahertz/Infrarot-Spektroskopie** an einem Elektronenspeicherring

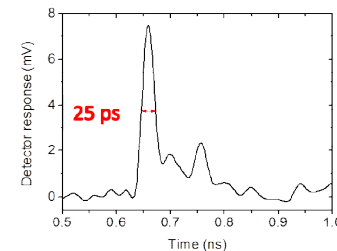


TUDO – **Elektronenstrahldiagnose** mit laserinduzierter Terahertz-Strahlung und optischen Regelsystemen

KIT – **Zeitliche Abtastung von THz-Bunch-Feldern** mit Femtosekunden-Lasern und Untersuchungen von **Strahlinstabilitäten im low-Alpha-Betrieb**



KIT – **Ultraschnelle Detektoren** für zeitaufgelöste Terahertz-Spektroskopie an einem Elektronenspeicherring

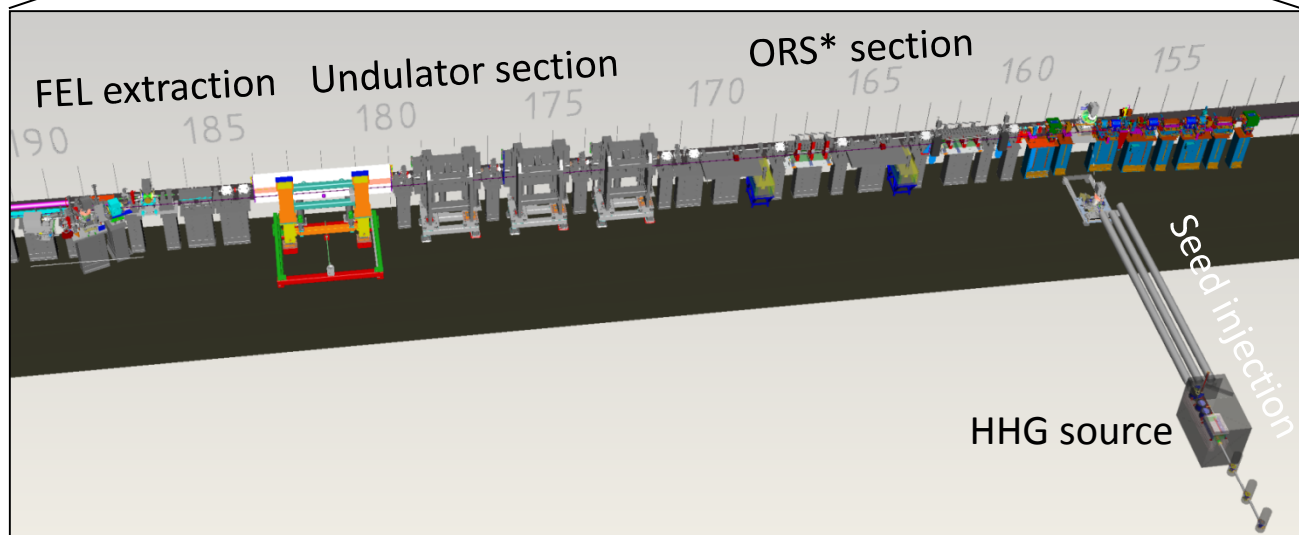
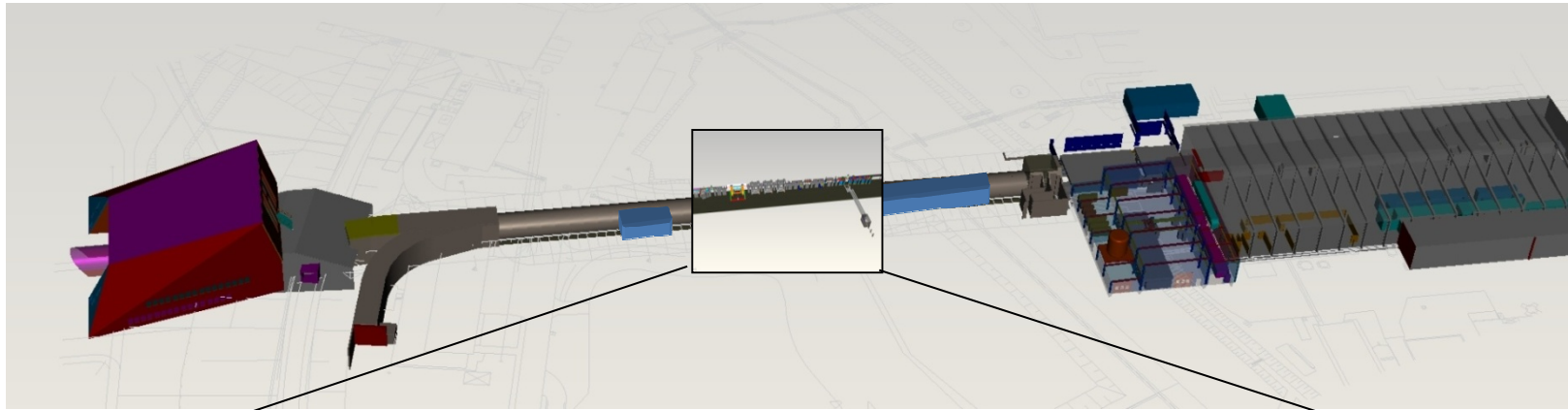


Σ: Insgesamt 16 Teilprojekte in 5 Forschungsverbänden

First demonstration of seeding with 38 nm pulses at sFLASH on 28.4.12

(world record so far: 62nm at SCSS/Japan)

Plot shows excess of FEL radiation due to seeding compared to SASE mode vs. time delay
between electron bunch and seeding HHG pulse



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?*

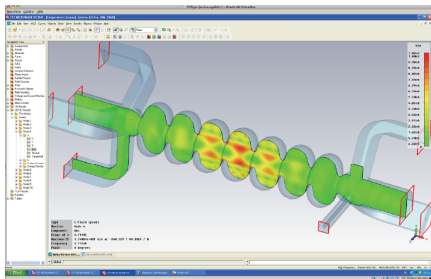
Langfristige Forschungsziele:

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

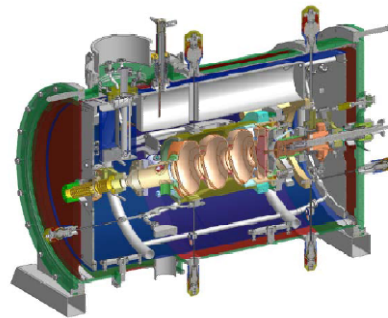
Interessensschwerpunkte der Zentren

➤ Hochintensive Elektronenstrahlen im Dauerstrich-Modus

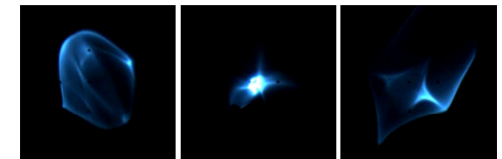
Supraleitende
CW-Linearbeschleuniger



Hochbrillante CW
Elektronenstrahlquellen



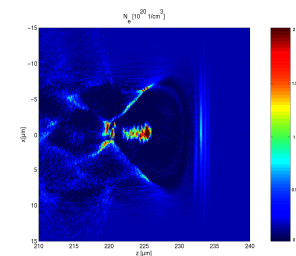
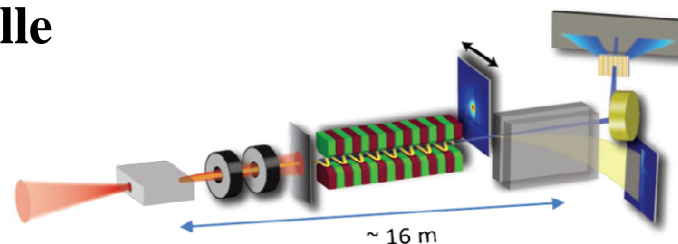
Quellen für ultrakurze
Elektronenpakete



➤ Neue Beschleunigerkonzepte

LWPA als:

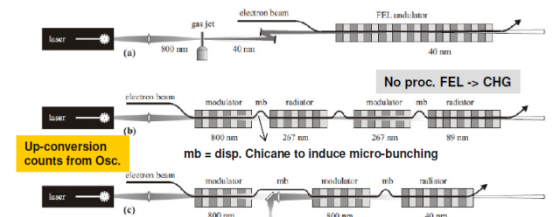
- hochbrillante e^- -Strahlquelle
- Treiber für „Table-Top“ Strahlungsquellen



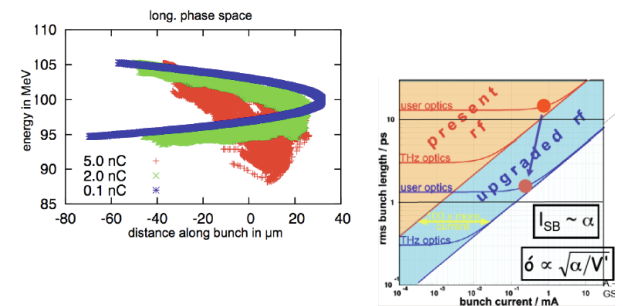
Interessensschwerpunkte der Zentren

➤ Piko- und Femtosekunden Elektronen- und Photonen-Strahlen

Seeding und harmonische Erzeugung kohärenter Strahlung

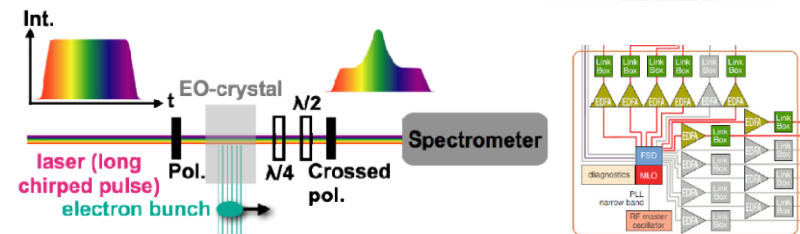


Dynamik extrem komprimierter Elektronenpakete

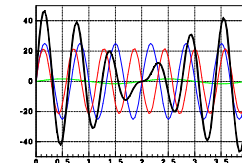


Mikro-Modulation und THz Strahlung

fs Strahldiagnose und Synchronisation



Erzeugung und Kontrolle von intensiven ps und sub-ps Elektronenpaket-Strukturen in Speicherringen



F&E-Aktivitäten in der nächsten FP aus Sicht der Universitäten

Ultrakurze intensive Elektronen- und Photonenpulse
↔ *zentrales Interesse der KM-Gemeinde*

- **Erzeugung** ultrakurzer Pulse (e^- und γ)
- **Diagnostik** ultrakurzer Pulse (e^- und γ)
- **Dynamik** kurzer Elektronenpulse in SRs, LINACs, ERLs, PWAs
- **Zeitliche Synchronisation** mit fs-Genauigkeit

*Innovative Basistechnologien und Komponenten,
Steigerung der Leistungsfähigkeit vorhandener und zukünftiger GG*

- Beschleunigungsresonatoren (HOMs, Multizellen)
- Feedbacksysteme
- Hochbrillanz-Elektronenquellen
- PWAs als Lichtquellen
- ...

Projektvorschläge (Unis)

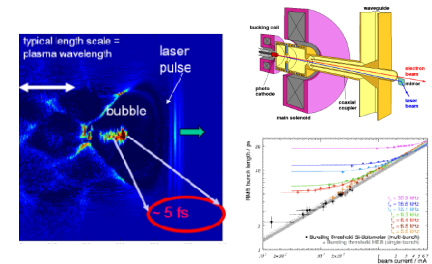
➤ Erzeugung ultrakurzer Pulse:

Elektronen:

- Weiterentwickelte Photoinjektoren
- Plasma-Wakefield Quellen
- Kompression in Speicherringen (Überspannungskavitäten, low- α , femto-slicing, CHG)

Photonen:

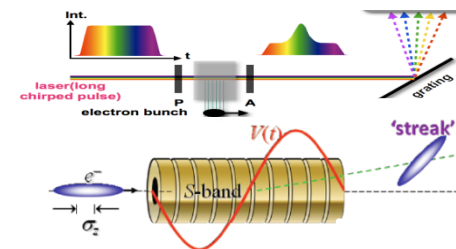
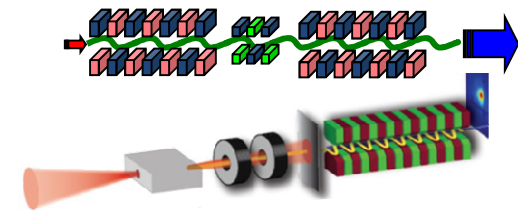
- Seeding-Verfahren (HHG, HGHG, EEHG, sSASE, ...)
- Verstärkung von Intensitätsschwankungen (LSCA)
- PWA-basierte Undulatorstrahlung



➤ Diagnostik ultrakurzer Pulse:

Elektronen:

- elektrooptische Abtastung
- WW mit Laserpulsen: „streaking“, „ponderom. scattering“
- HF-Systeme zur Strahlableitung
- zeitaufgelöste Messung der THz-Strahlung



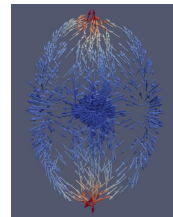
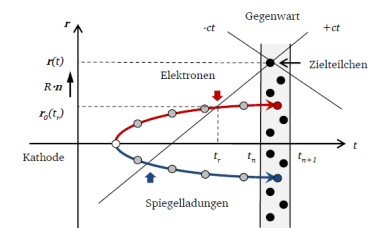
Photonen:

- zeitaufgelöstes „electron-streaking“
- ...

Projektvorschläge (Unis)

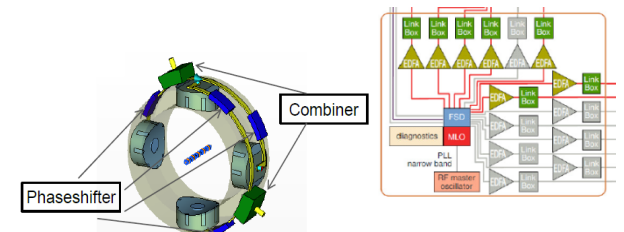
➤ **Dynamik ultrakurzer Elektronenpulse**

- Experimentelle Untersuchungen in SR, LINACs, ERLs und PWAs
- Numerische Simulationen (Emissionsmechanismen, Emittanzerhaltung, Ionenakkumulation, ...)



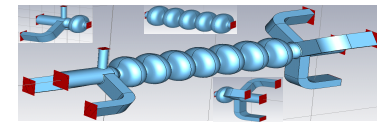
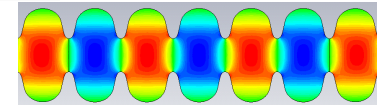
➤ **Zeitliche Synchronisation**

- Synchronisation von Laser- und Elektronenpulsen an FELs (fs!)
- Ankunftszeitmonitore



➤ **Beschleunigungsresonatoren**

- Designoptimierung von sc Kavitäten und Mehrzellenstrukturen
- Entwicklung von HOM-Kopplern (Dämpfung, Diagnose)



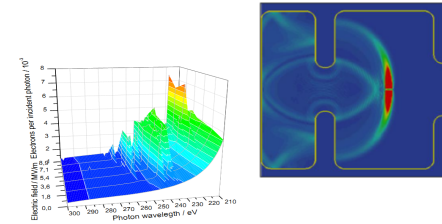
➤ **Feedbacksysteme**

- Neue Entwicklungen für kurze Pulse und zukünftige Quellen

Projektvorschläge (Unis)

➤ Hochbillanz-Elektronenquellen

- CW-Quellen mit hoher Intensität für ERLs
- Photoinduzierte Feldemission



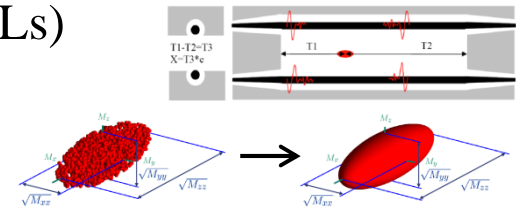
➤ Einsatz von PWAs als Lichtquellen

- spontane Synchrotronstrahlung in PWAs
- Entwicklung von „insertion devices“ für PWAs
- Untersuchungen zum praktischen Einsatz als Lichtquelle



➤ ...

- Strahlagenomitore für sehr geringe Bunchladungen (FELs)
- Schnelle Online Simulationsmethoden für Beschleuniger (Vlasovlöser)
- Einflüsse unsymmetrischer Beschleunigerkomponenten auf die Strahlqualität
- ...



Langfristige Forschungsziele

- **Erzeugung von Strahlung mit hoher**
 - Intensität, Kohärenz, extrem kurzer Pulslänge
 - hoher Wiederholrate
 - exzellente Reproduzierbarkeit
 - extrem breitbandiger Verfügbarkeit (THz → harte X-Rays)

Voraussetzungen müssen bereits jetzt geschaffen werden!

- **Strahlungsquelle der Zukunft?**
 - *kompakt, zuverlässig, energieeffizient, ...*
 - **PWA-basierte Systeme geeignete Kandidaten?**

Fazit für die zukünftige VFF:

- **Ausbau der erfolgreich begonnenen Förderung** von Projekten der Beschleunigerphysik!
- **Fruchtbare Zusammenarbeit** von HGF-Zentren und Universitäten, auch bei der Förderung (ARD ↔ VFF)!
- Stärkung des Wissenschaftsstandortes Deutschland und der **Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses**
- **Wissenschaftliches Potential und innovative Ideen** für Forschungsschwerpunkte sind reichlich vorhanden!