

# Beschleunigerphysik im FB “Kondensierte Materie”

## Status und Ziele

*Wolfgang Hillert*



# KfB

Amtsperiode  
2014 - 2016

## Komitee für Beschleunigerphysik



Florian Grüner  
U Hamburg



Thomas Weiland  
TU Darmstadt  
(Chair 2011-2013)



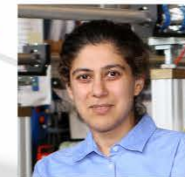
Wolfgang Hillert  
U Bonn  
(Chair 2014-2016)



Oliver Boine-Frankenheim  
GSI & TU Darmstadt  
(Vice Chair 2014-2016)



Andreas Jankowiak  
HZB & HU Berlin  
(Vice Chair 2011-2013)



Atoosa Meseck  
HZB



Jörg Rössbach  
U Hamburg



Shaukat Khan  
TU Dortmund



Rüdiger Schmidt  
CERN



Andreas Peters  
HIT



Hans Weise  
DESY



Anke-Susanne Müller  
KIT

## Mitglieder des Komitees

Legitimiert durch die Neuwahl im Oktober 2013

# Erforschung der KM mit:

## ➤ **Photonen:**

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

## ➤ **Neutronen:**

Reaktoren, demnächst Beschleuniger (ESS)

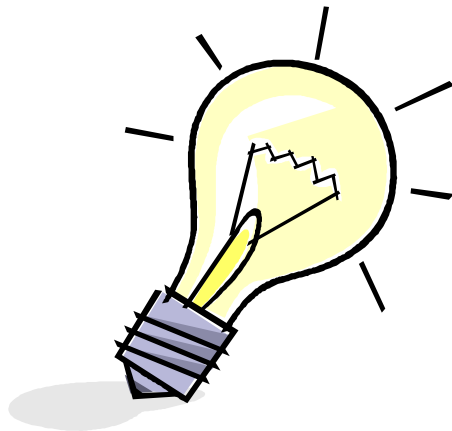
## ➤ **Nukleare Sonden und Ionenstrahlen:**

Reaktoren, Beschleuniger



**Status**

# Beschleuniger als Lichtquelle



←  $\approx 5 \text{ cm}$  →



←  $\approx 300 \text{ m}$  →

## 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!**

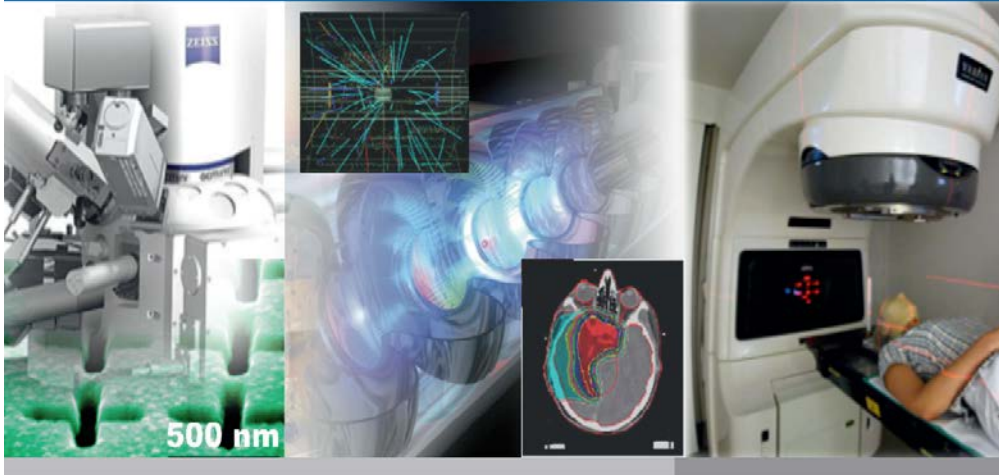
**Lange geübt in der Verbundforschung, weiter verstärkt durch die ARD Initiative !**



# ARD

## Accelerator Research and Development

Accelerators – Motors for Discovery and Innovation



Idee 2010

Genehmigung 2011

Start 07/2011

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 upgrade FEL operation , ERL**, low- $\beta$  CW structures for protons/ions
2. Future developments for FAIR , EDM
3. **Beam Dynamics, Diagnostics, Controls & Synchronization**
4. **LIA, LEA, BEA (→ compact beam sources)**



**HZDR**

**KIT**  
Karlsruhe Institute of Technology

**GSI**

**HELMHOLTZ  
ZENTRUM BERLIN**  
für Materialien und Energie

**HELMHOLTZ  
GEMEINSCHAFT**



## 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

## 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

## 2013 - 2016



### 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

### 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

## 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

# Beitrag der Universitäten:

---

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

# Nutzen für die Universitäten:

---

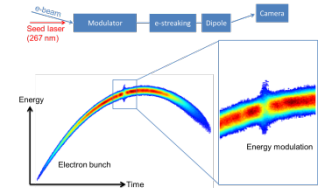
- Erkenntnisgewinn, Weiterentwicklung des Feldes
- Kooperationen, Partnerschaften
- Anbindung an Großgeräte
- ...

# Beschleunigerphysik KM 2010-2013

- FSP 302 - FEL: Beschleunigerphysik – Konzept und Vision

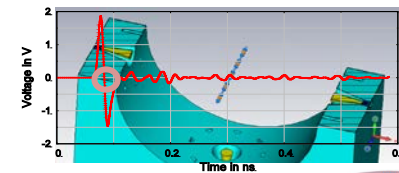
UHH

- a) Charakterisierung von **ultra-kurzen Röntgenpulsen**
- b) **Seeding in FLASH II** – FEL als Laserverstärker mit optimierter Pulsqualität



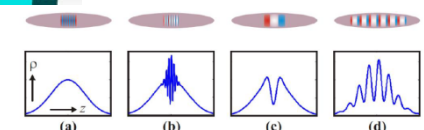
TUDA

- Weiterentwicklung der **Ankunftszeitmonitore** für sehr geringe Ladungen



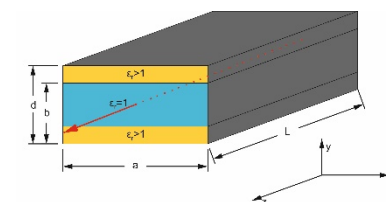
TUDO

- **EEHG bei FLASH und FLASH II**



URO

- Entwicklung von **Wakefield-basierten Apparaturen** zur Kompression der longitudinalen Phasenraumverteilung an ELBE



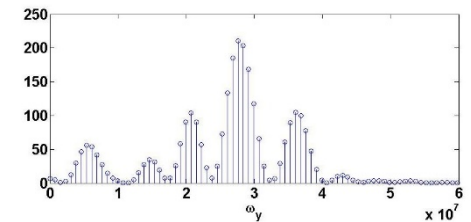
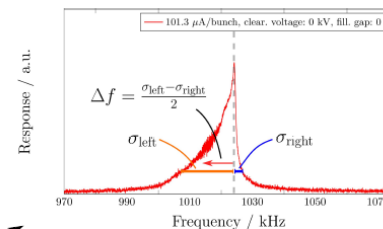
- MILOS: Experimentelle Verifikation von Maßnahmen zur Milderung von Ioneneffekten in Hochstrombeschleunigern**

URO

- Teilprojekt 1: Entwicklung

UBN

- Teilprojekt 2: Messung



# Beschleunigerphysik KM 2010-2013

## • HOPE: Hochbrillante photoinduzierte Hochfrequenz-Elektronenquellen

URO – Entwicklung einer **Multipacting-freien Kathodeneinheit** für supraleitende HF-Photoinjektoren (SRF-Guns, TP 1.1)

USI – Entwicklung einer **Multipacting-freien Kathodeneinheit** für supraleitende HF-Photoinjektoren (SRF-Guns, TP1.2)

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

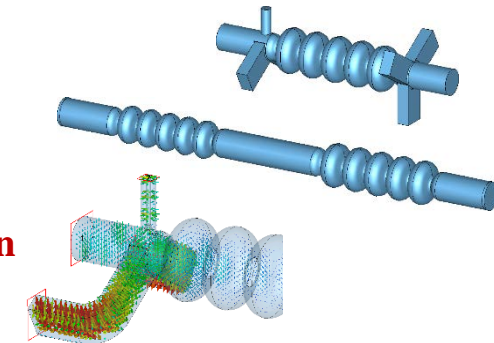
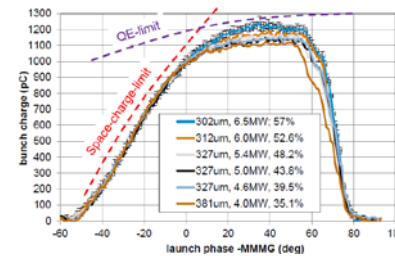
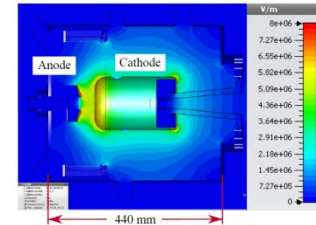
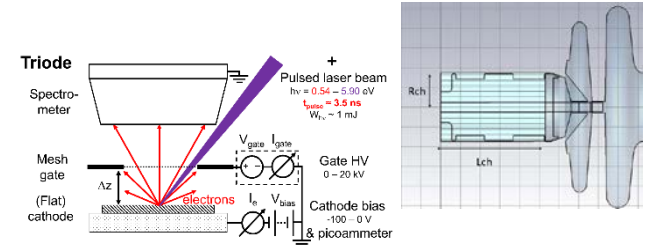
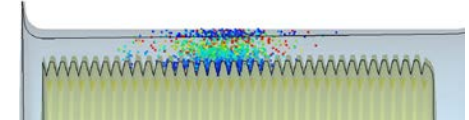
UMZ – Elektronenquelle mit **minimierter thermischer Emittanz und Strahlhalo**

TUDA – **Strahldynamik und Emissionsmodellierung** in hochbrillanten HF-Elektronenquellen

## • Supraleitende CW-Multizell-Resonatoren

TUDO – Neue Konzepte und Technologien bei der Anwendung **supraleitender Multizell-Resonatoren in Strahlungsquellen** mit besonderem Bezug zu BESSY-VSR

URO – Entwicklung von **Kavitäten und modenbasierten Diagnoseverfahren** für BESSY VSR unter Beachtung stochastischer Unsicherheiten



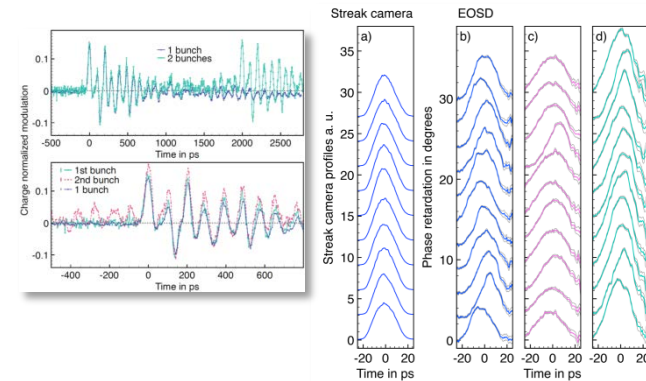


# Beschleunigerphysik KM 2010-2013

- **Strahldynamik/ -diagnose: Untersuchung der Strahldynamik kurzer Elektronenpakete mit innovativen Diagnosemethoden**

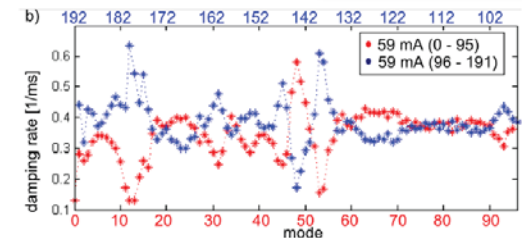
KIT

- a) Korrelierte Charakterisierung der Kurzbunch-Strahldynamik mit **EO-Methoden** und zeitlich **hochaufgelöster THz Detektion**
- b) **YBCO-Hot-Elektronen-Bolometer** für die simultane zeitliche und spektrale Einzelimpulsanalyse in einem Elektronenbeschleuniger



TUDO

- Untersuchung der Dynamik **transienter Prozesse in Elektronenspeicherringen**

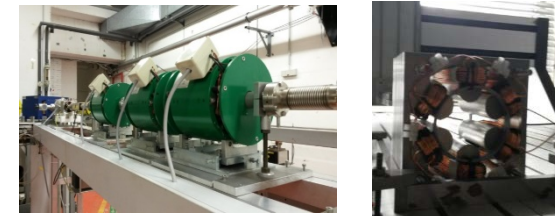


TUD

- Integriertes Spektrometer zur **Elektronenbunchform-Onlinediagnose**

TUDA

- Grundlegende Untersuchung zur **Strahldynamik von ERLs** und Messungen zum **Beam Breakup Limit**

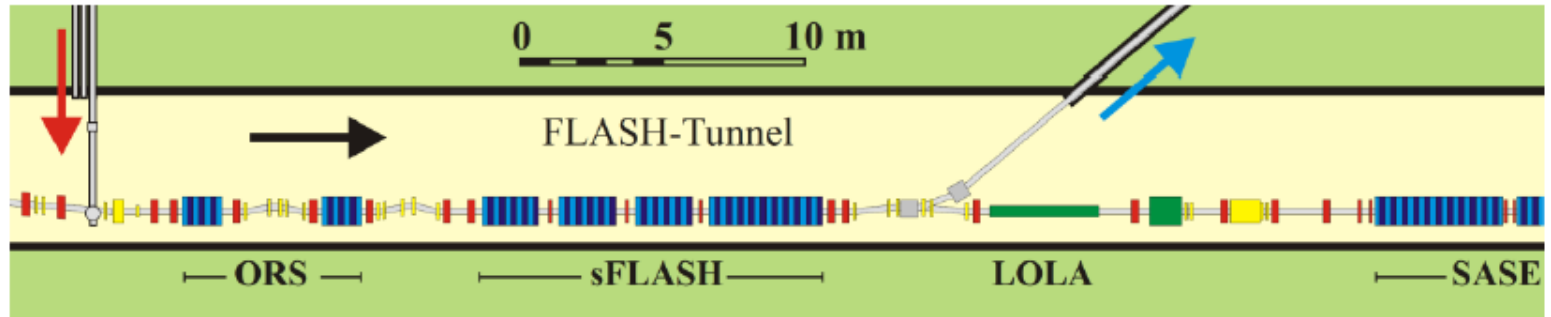


Insgesamt 19 Teilprojekte in 5 Forschungsverbänden

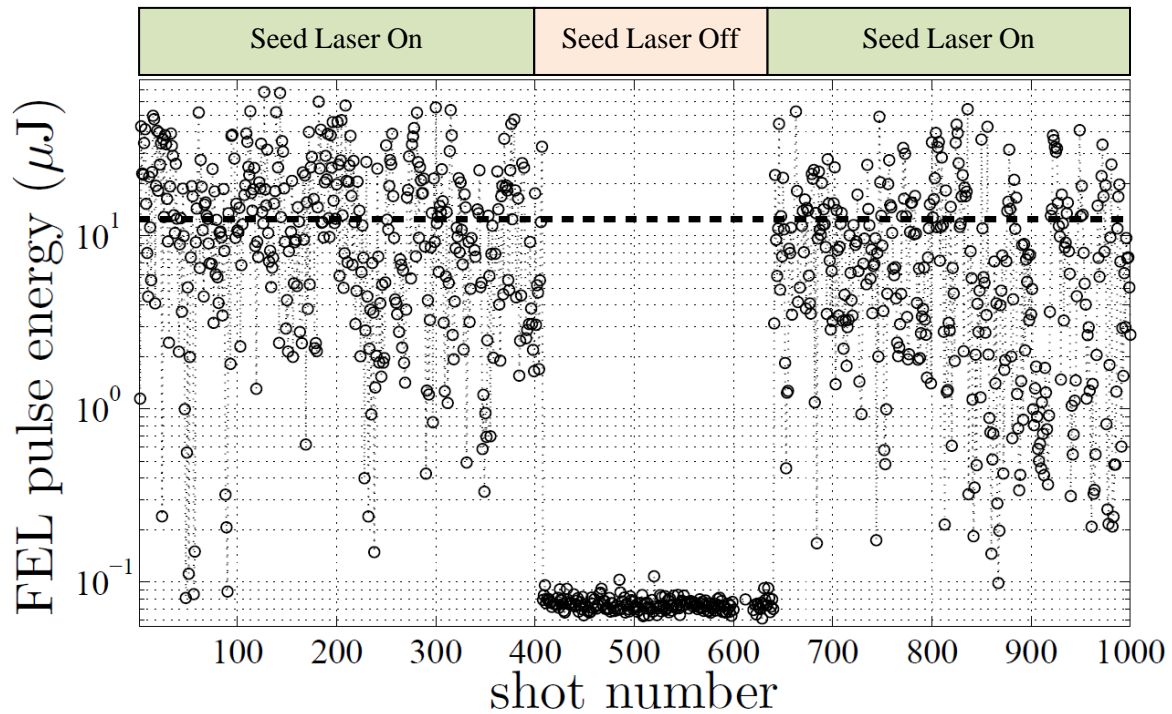
$\Sigma = 7,5 \text{ M€}$

# Ein Beispiel

Erfolgreiches „Seeding“ nach dem HGHG-Verfahren:



266 nm



38,1 nm

# 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?*

# Interessenschwerpunkte der Zentren

---

## DESY / Hamburg:

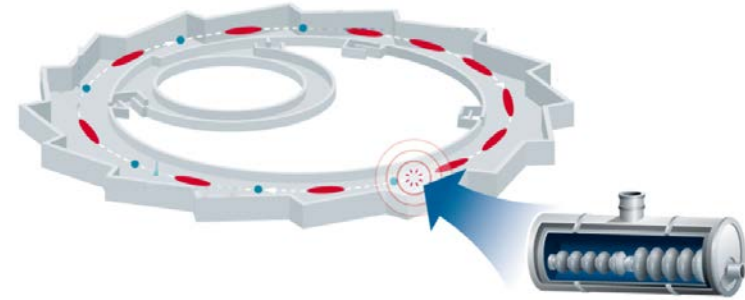
- **CW SRF Beschleunigungstechnologien & Injektoren**  
(Upgrades FLASH und XFEL)
- **fs Diagnostik/Synchronisation/Stabilisierung** (FEL Anlagen)
- **Advanced Seeding-Konzepte** (insbesondere EEHG)
- **kompakte (Pilot-) Anlagen mit hohen Beschleunigungsfeldern**  
(Plasma-Wakefield, dielektrische Strukturen)
- **Konzepte für ultra-low-emittance Speicherringe**  
(möglicher Upgrade von PETRA)

**FLASH, sFLASH, FLASHForward, PETRA, XFEL**

# Interessenschwerpunkte der Zentren

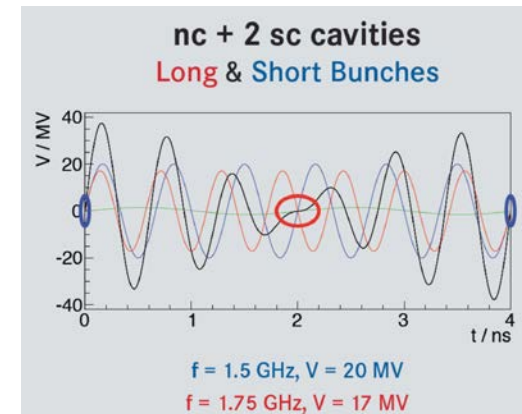
## HZB / Berlin:

### BESSY VSR – komplementär zu beugungsbegrenzten Speicherringen

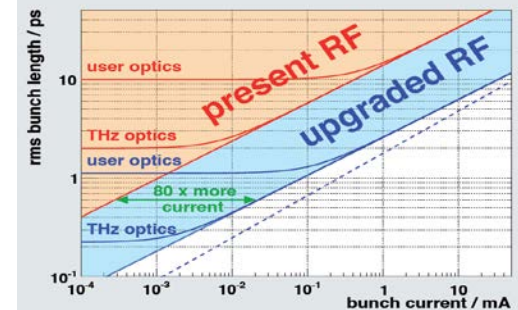
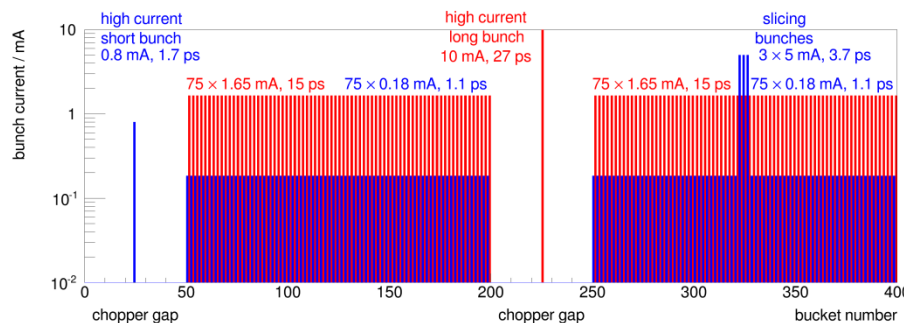


→ Antrag auf strategisches Invest (HGF), 2018 erste Tests, 2020 Nutzerbetrieb

- Kollektive Effekte und Instabilitäten
- Bunchlängen, Emittanz, ...
- sc. Multifrequenz-Resonatoren
- transiente Effekte (Robinson-Instabilitäten)
- Pseudo Einzelpuls mit schnellen Kickern



Bunch length vs. current





# Interessenschwerpunkte der Zentren

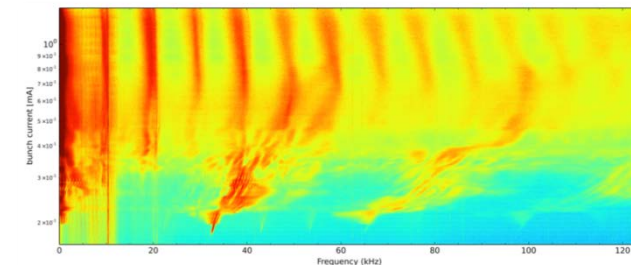
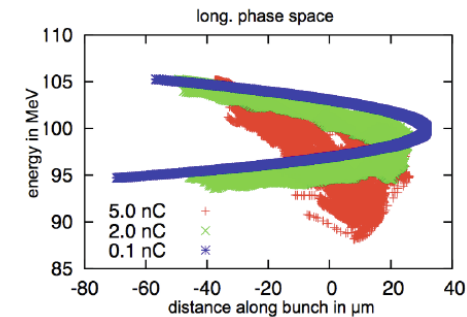
## KIT / Karlsruhe:

### Ultrakurze hochintensive Elektronen- und Photonenpulse

- Erzeugung ultrakurzer Pulse
- Dynamik ultrakurzer Elektronenpulse  
(Speicherringe, LINACs, PWA)
- Kurzpuls-Diagnostik für Signale im fs und as-Bereich
- Hochauflösende Mess- und Detektionsverfahren  
(Wiederholraten im MHz- und GHz-Bereich)

### Einsatz von PWAs als Lichtquelle

(spezialisierte IDs, anwendungsorientierter Einsatz)



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

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

- **Erzeugung** ultrakurzer Pulse ( $e^-$  und  $\gamma$ )
- **Diagnostik** ultrakurzer Pulse ( $e^-$  und  $\gamma$ )
- **Dynamik** kurzer Elektronenpulse in SRs, LINACs, ERLs, PWAs
- **Zeitliche Synchronisation** mit fs-Genauigkeit
- **Innovative Seeding-Verfahren** zur Steigerung der zeitl. Kohärenz

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

- sc Beschleunigungsresonatoren (HOMs, Multizellen, Geometrie, ...)
- Hochbrillanz-Elektronenquellen
- Charakterisierung von PWA-Strahlen
- PWAs als Lichtquellen, pump-probe und in der med. Bildgebung

# Projektvorschläge (Unis)

---

## ➤ Erzeugung ultrakurzer kohärenter Pulse:

### Elektronen:

- Weiterentwickelte Photoinjektoren
- Plasma-Wakefield Quellen ( $\varepsilon_n \sim 100\text{nm}$ ,  $\tau < \text{fs}$  @ FLASHForward)
- Kompression in Speicherringen

### Photonen:

- Seeding-Verfahren zur Erzeugung kürzerer Wellenlängen ( $\lambda < 10\text{nm}$ )
- PWA-basierte Undulatorstrahlung

## ➤ Diagnostik ultrakurzer Pulse:

- elektronische ( $\leq \text{ps}$ ) und optische ( $\leq \text{fs}$ ) Abtastung, hohe Wiederholraten
- zeitliche und spektrale Charakterisierung der Strahlungspulse

# Projektvorschläge (Unis)

---

## ➤ **Dynamik ultrakurzer Elektronenpulse**

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

## ➤ **Zeitliche Synchronisation**

- Weiterentwicklung der Verfahren

## ➤ **Beschleunigungsresonatoren und HF-Systeme**

- Ab-initio Studien zum Multipacting in SRF-Elektronenquellen
- HOM-Dämpfung durch Absorber im Strahlrohr
- SRF Resonatoren mit Spline-basierter Geometrie
- Hocheffiziente Klystron-Verstärker

# Projektvorschläge (Unis)

---

## ➤ Hochbrillanz-Elektronenquellen

- CW-Quellen mit hoher Intensität für z.B. ERLs
- Photoinduzierte Feldemission

## ➤ Einsatz von PWAs als Lichtquellen

- Charakterisierung von Plasma-basierten Elektronenstrahlen
- Pump-Probe-Experimente mit Plasma-basierten Lichtquellen
- PWA für die medizinische Bildgebung
- PWA als Thomson-Rückstreu-Röntgenquelle
- Entwicklung von „insertion devices“ für PWAs
- Strahlführung und -formung für PWA-basierte Lichtquelle
- Untersuchungen zum praktischen Einsatz von PWAs als Lichtquelle
- Verfeinerte numerische Simulationen des PWA-Prozesses
- ...



# Langfristige Forschungsziele

---

- **Erzeugung von Strahlung mit:**
  - hoher Intensität, Kohärenz, extrem kurzer Pulslänge
  - hoher Wiederholrate
  - exzellenter 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:

- Weiterer **Ausbau der erfolgreichen 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!