

Beschleunigerentwicklung an deutschen Hochschulen für die Grundlagenforschung an Großgeräten

Wolfgang Hilleert

Universität Bonn

Schwerpunktthema:

Strahldynamik

Strahldynamik

„Zeitliche Entwicklung der Phasenraumverteilung eines Teilchenstrahls“

Wird beeinflusst von:

- linearer und nichtlinearer Strahloptik (Magnete, Undulatoren, ...)
- Beschleunigungsresonatoren
- Selbstwechselwirkung (Raumladung, Touschek-Streuung, ...)
- Induzierten elektromagnetischen Feldern
- Streuung am Restgas, Ionenerzeugung und –einfang
- Emission von Synchrotronstrahlung (inkoh. und koh.)
- Strahl-Strahl-WW (hier vornehmlich mit Lichtstrahlen)

→ Teilchenstrahlen hoher Brillanz (I , ε), kurze Pulse

BMBF-Ausschreibung

Erforschung kondensierter Materie an Großgeräten:

- Innovative Instrumentierung entwickeln und aufbauen
- Neue Forschungsmethoden erarbeiten
- Schlüsselkomponenten entwickeln
- Konzepte, Basistechnologien zu neuen beschleunigerbasierten Quellen

Ein strategischer Schwerpunkt:

Arbeiten zur Entwicklung und Nutzung von FEL's

Bevorzugung von Vorhaben:

- Einbindung der Ausbildung wiss. Nachwuchses in die Forschung
- Einbeziehung der Ausbildung in größere Forschungszusammenarbeiten

Rahmenbedingungen

Durchführung an folgenden **Großgeräten:**

Photonen:

- DESY: PETRA III, FLASH, XFEL
- HZB: BESSYII, (ERL?????)
- FZK: ANKA
- ESRF

(**Neutronen:** FRMII, BERII, HFR)

Nukleare Sonden:

- GSI: UNILAC, SIS18
- TUM: FRMII, Positronenquelle
- CERN: ISOLDE



Antragsteller:

Alle deutsche Universitäten

Speicherringe:

Brillante Strahlen:

Verkleinerung der Strahlemittanz:

Emission von Synchrotronstrahlung:

- Dämpfung durch Verringerung von p_t
- Anregung durch Schwingung um Dispersionsbahn (wo $D \neq 0$)

Strahlungsgleichgewicht, „low emittance lattice“

Dispersionsunterdrückung in den Bögen: DBA, TBA, ...

Emittanz kann nicht beliebig verkleinert werden

$$\varepsilon \geq 1 \text{ nm} \cdot \text{rad}$$

Kurze Dipole, großer Ringumfang, spezielle Optik,
ggf. combined function, ggf. Dämpfungswiggler

Speicherringe:

Brillante Strahlen:

Erhöhung des Strahlstroms:

Strahl induziert em-Felder in Vakuumkammer und Cavities:

**Rückwirkung dieser Felder auf den Strahl erzeugen
long. / transv. Strahlschwingungen ($U = R \cdot I$)**

Gegenmaßnahmen:

- Verringerung der Koppelimpedanz
- Dämpfung der HOM's der Cavities
- Breitbandige Bunch by Bunch Feedback-Systeme

Speicherringe:

Konstante Betriebsbedingungen:

Top-Up Modus:

Endliche Strahllebensdauer (durch Restgas, Touschek, ...)

Exponentielles Abfallen des Strahlstromes

Sehr gutes UHV hilft nicht in allen Fällen ...

- Injektion bei Betriebsenergie
- Auffüllen kleiner Ladungsmengen in kurzen Zeitabständen

Störung des umlaufenden Strahls durch Injektion

Verbesserte Strahlinjektion:

- Keine Anregung des umlaufenden Strahls
- Hohe Injektionseffizienz, Kompensation von Nichtlinearitäten

Speicherringe:

Konstante Betriebsbedingungen:

Kurz- und Langzeitstabilität von Strahllage und –winkel:

- Einfluss der Undulatoren / Wiggler auf die Optik
- Verschiedenste Rausch-/ Störquellen

Langsames und schnelles Orbit-Korrektur-System

Typische Anforderung:

$$\Delta x < 0.1 \cdot \sigma = 0.1 \cdot (\varepsilon \cdot \beta)^{1/2} \approx 1 - 10 \mu\text{m}$$

Speicherringe:

Kohärente THz-Strahlung:

Erzeugung kurzer Bunchlängen:

Änderung der Optik im Hinblick auf kleines α_c :

low-alpha-Optik

„Burst“-Verhalten ab Maximalstrom (von Bunchlänge abhg.)

Energie-Modulation durch WW mit Kurzpuls-Laserlicht:

Femto-Slicing

- Kohärente THz-Strahlung durch Intensitätslücke
- Modulator / Ablenkung / Radiator: fs-Röntgenpulse

Aktuelle (BD) Schwerpunkte bei ANKA

■ Low-Alpha Betrieb

→ Optik, Simulation, Messungen mit Strahl

■ Instabilitäten

→ Feedback, Impedanzen

■ Betrieb mit Insertion Devices

→ Optik, Feedback

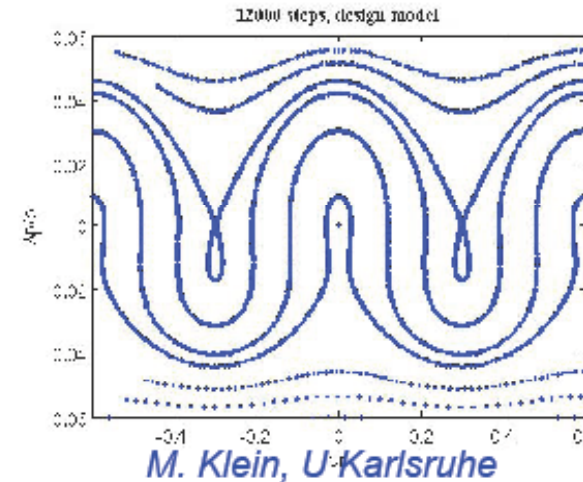
■ Vollenergieinjektor

→ Optik

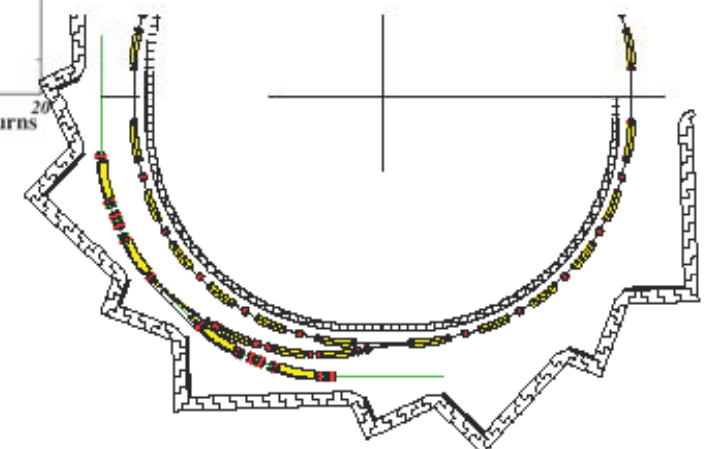
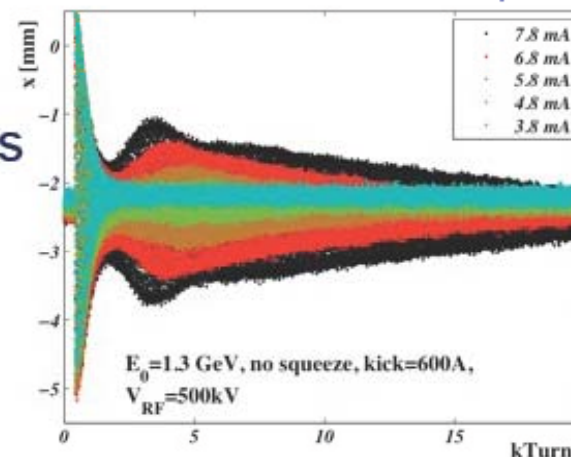
■ TBONE

→ Quelle, Linac, Kompressor

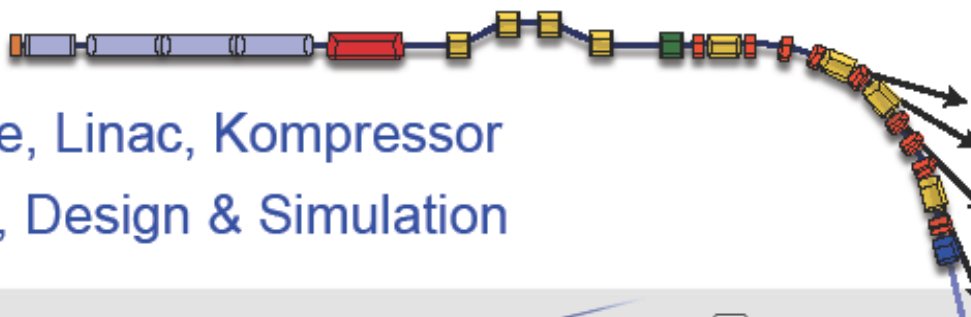
→ Optik, Design & Simulation



R. Rossmanith, FZ Karlsruhe



E. Huttel, FZ Karlsruhe



Helmholtz Zentrum Berlin: Institut for Accelerator Physics and the Department of Undulators

Focus: Top-Up-Betrieb

Alternative Injektionstechniken mit dem Ziel: optimale Top-Up-Injektion

Entwicklung gepulster Elemente z.B. Nichtlinearen Kicker, Septum

(Injektion ohne Bewegung des gespeicherten Strahles)

- **Strahldynamische Rechnungen**
- Technologie

Kompensation der linearen und nichtlinearen Einflüsse der IDs mit dem Ziel: verlustarme Injektion

Entwicklungen z.B. in Nichtlinearer Dynamik, Undulatorentechnologie und Diagnose

- **Strahldynamische Rechnungen**
- Undulatoren Technologie
- Entwicklung aktive Kompensation (multipol Wire)
- Entwicklung entsprechender Diagnose

Focus: Low-alpha Betrieb

Longitudinale Strahldynamik untersuchen mit dem Ziel den Zusammenhang zwischen dem Instabilitätsmechanismus und dem THz-Signal herzustellen.

- **Theorie und Simulation: Wakefields, Impedanz, CSR**
- THz Diagnose

Focus: Beam Manipulation in der Beschleunigerkette:

Untersuchung verschiedener „beam manipulation schemes“ z.B. um Injektionseffizienz zu erhöhen.

- **Strahldynamische Rechnungen**

Focus: Verbesserung der Leistungscharakteristika, Qualitätssteigerung

Entwicklung einer schnellen Orbitkorrektur

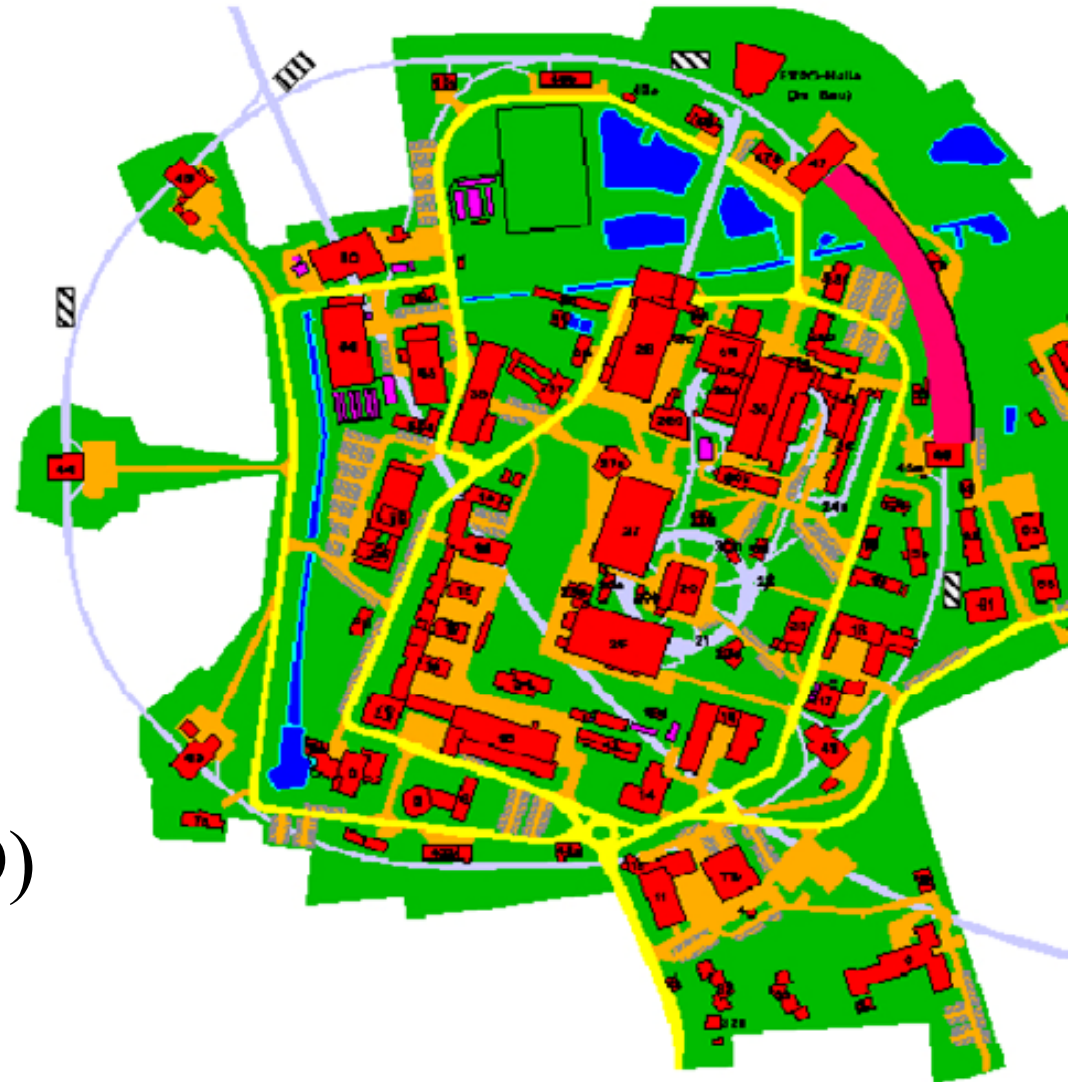
- Technologie
- Diagnose

PETRA III

Nur ein Oktant mit
veränderter Optik!

Kleine Emittanz:

- Dämpfungs-Wiggler mit Einfluss auf dyn. Apertur
- $D < 5-50$ mm (Wiggler, Undulatoren, DBA, FODO)



LINAC-basierte Quellen

Kleinere Strahlemittanz:

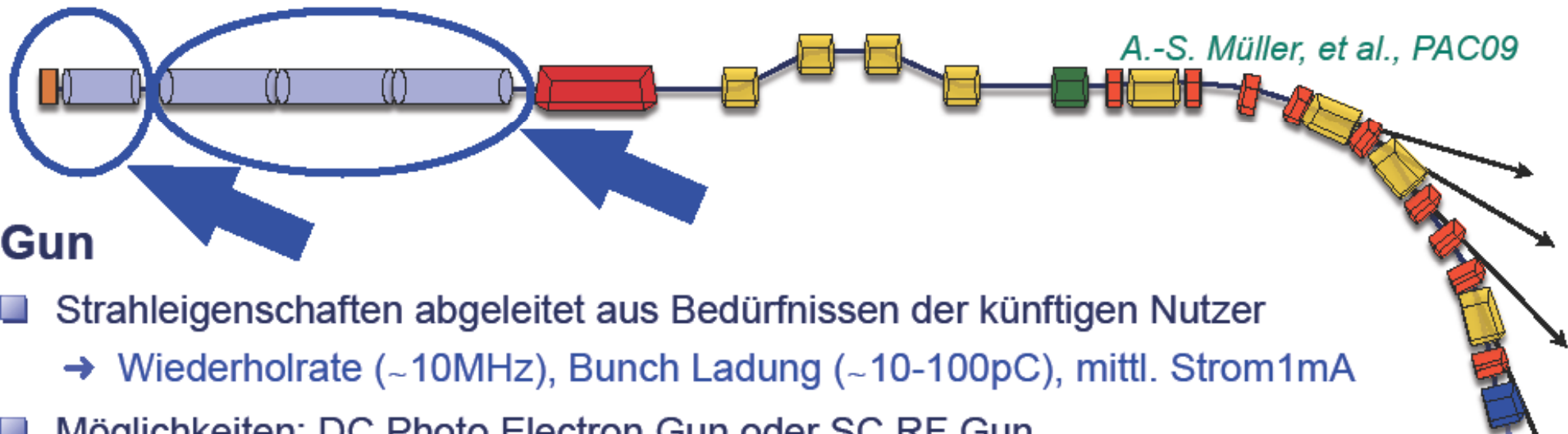
- Photoinjektor mit $\varepsilon_{\text{norm}} \leq 1 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$
- adiabatische Dämpfung im Linac

Kurze Strahlpulse:

- Erzeugung von ps-Pulsen mit Photoinjektor
- (mehrere) Bunch-Kompressoren $\rightarrow$ „10“ fs

FEL-Röntgenstrahlung:

- SASE – Prinzip
- Seeding (HHG) und Anregung Harmonischer (HGHG, ...)

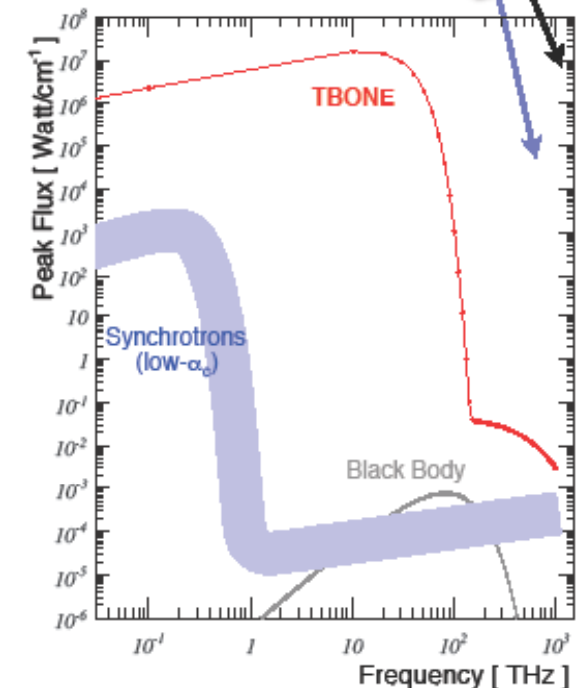


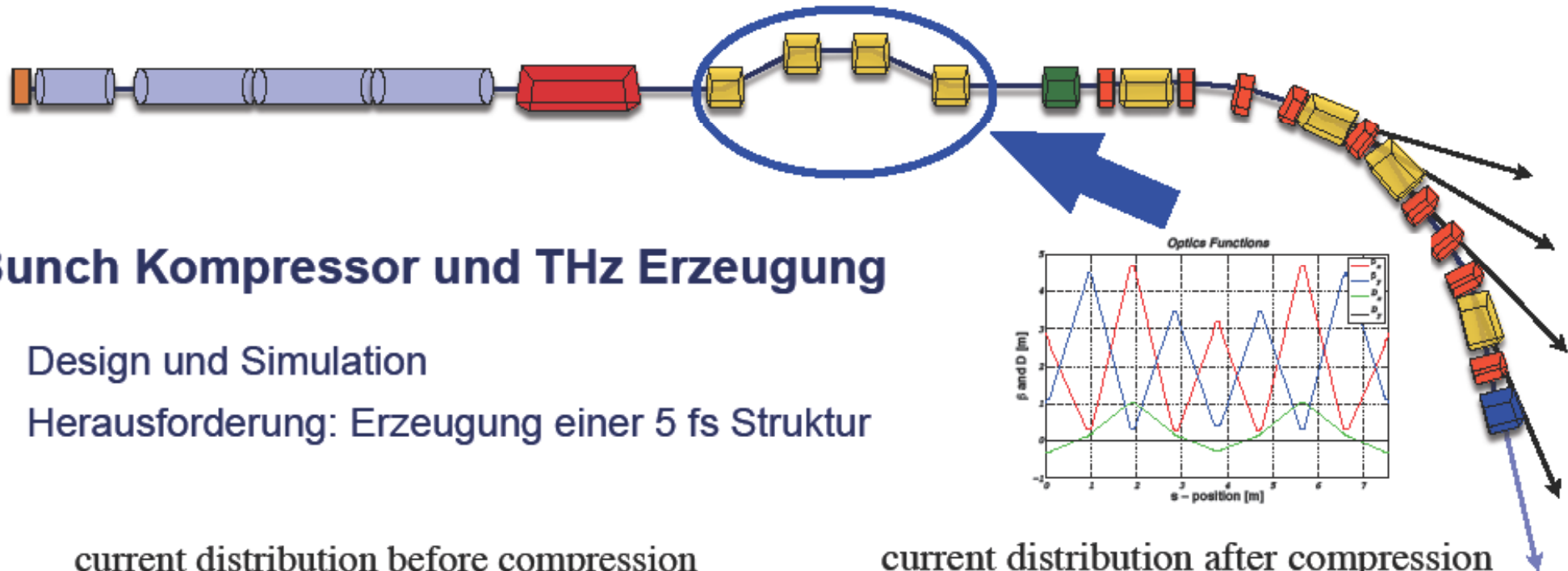
Gun

- Strahleigenschaften abgeleitet aus Bedürfnissen der künftigen Nutzer
 - Wiederholrate ($\sim 10\text{MHz}$), Bunch Ladung ($\sim 10\text{-}100\text{pC}$), mittl. Strom 1mA
- Möglichkeiten: DC Photo Electron Gun oder SC RF Gun
- Solche Systeme existieren (z.B. Cornell, Rossendorf)

Linac

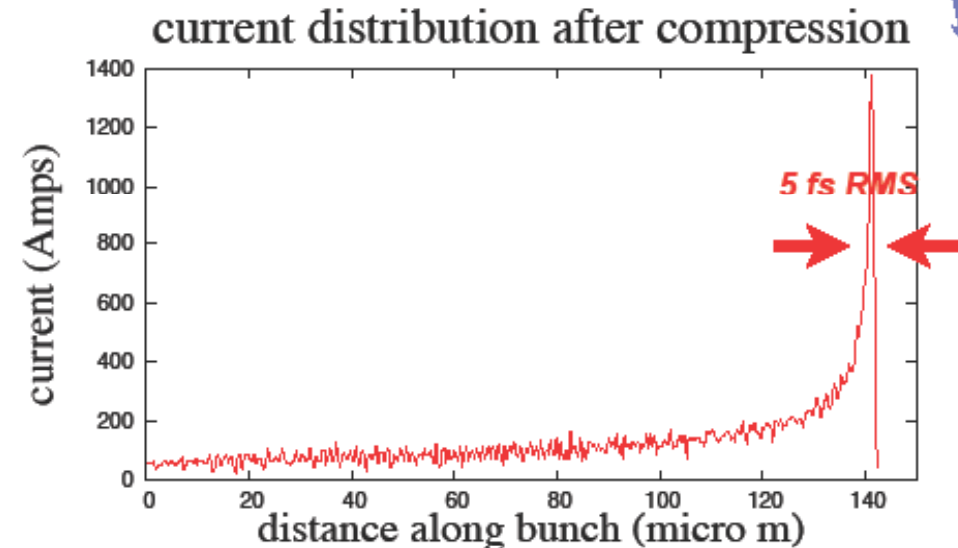
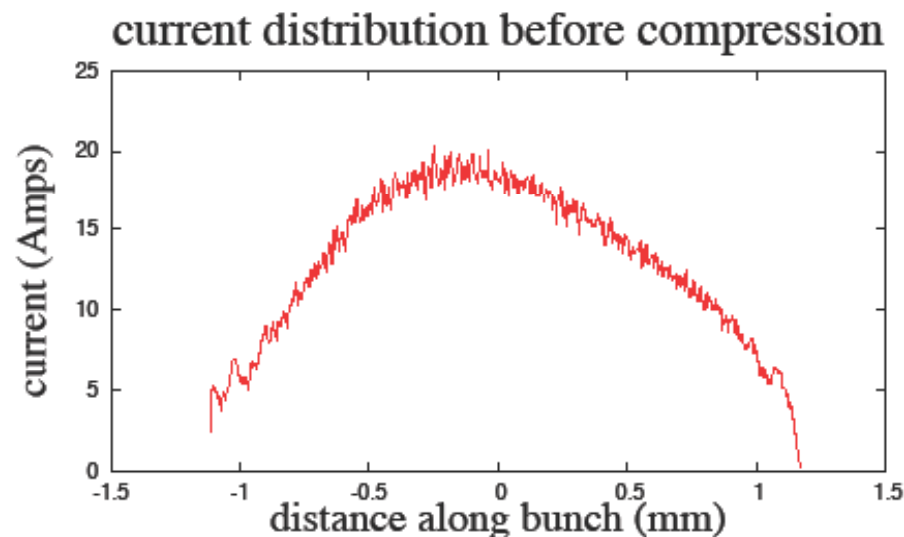
- Strahlenergie 60 - 100 MeV
- Ladung und hohe Wiederholrate
 - supraleitender Linac
- Option:
 - TESLA 9 cell cavities
 - mit $\sim 30\text{ MeV/module}$, 3 Module nötig für TBONE





Bunch Kompressor und THz Erzeugung

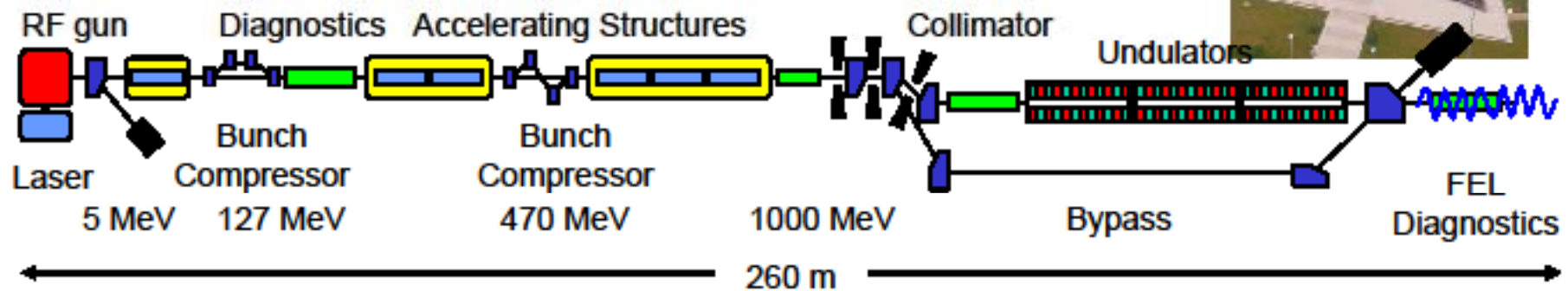
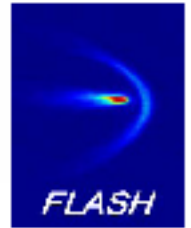
- Design und Simulation
- Herausforderung: Erzeugung einer 5 fs Struktur





HELMHOLTZ
GEMEINSCHAFT

FLASH Overview



FLASH (und XFEL)

Photoinjektor (1 nC):

- Emittanzerhaltung, Raumladung

Bunchkompressoren:

- Kohärente Synchrotronstrahlung

Hohe Pulsströme (kA):

- Wake-Fields, Instabilitäten, BBU

SFLASH:

- WW mit Laserlicht: seeding, HHG, HGHG



- Fast ('on-line') modeling of beam properties and behavior including collective effects (space-charge, CSR, ...)
- Procedure automation including measured quantities, on-line modeling and robust automation algorithms

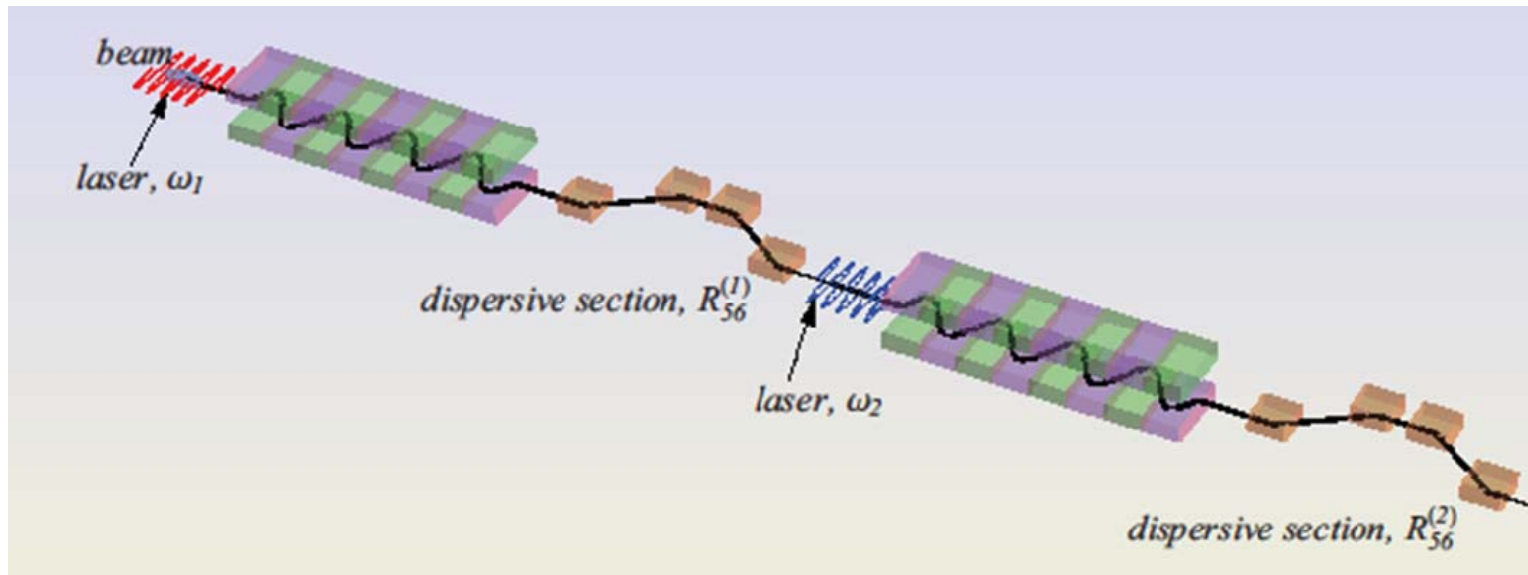


- Nominal FLASH/XFEL working points (1 nC, 100 fs bunch length) and surroundings rather well explored
- Push towards lower (< 0.1 nC, 10 fs bunch length) bunches with the following issues
 - RF tolerances (stronger compression)
 - RF gun working points (optimal initial bunch length/size)
 - Compression process and self effects of ‘pancake’ bunches
- Explore even lower (pC) charge regime
 - operating points
 - single mode lasing process in Å regime
- Other techniques to obtain short photon pulses

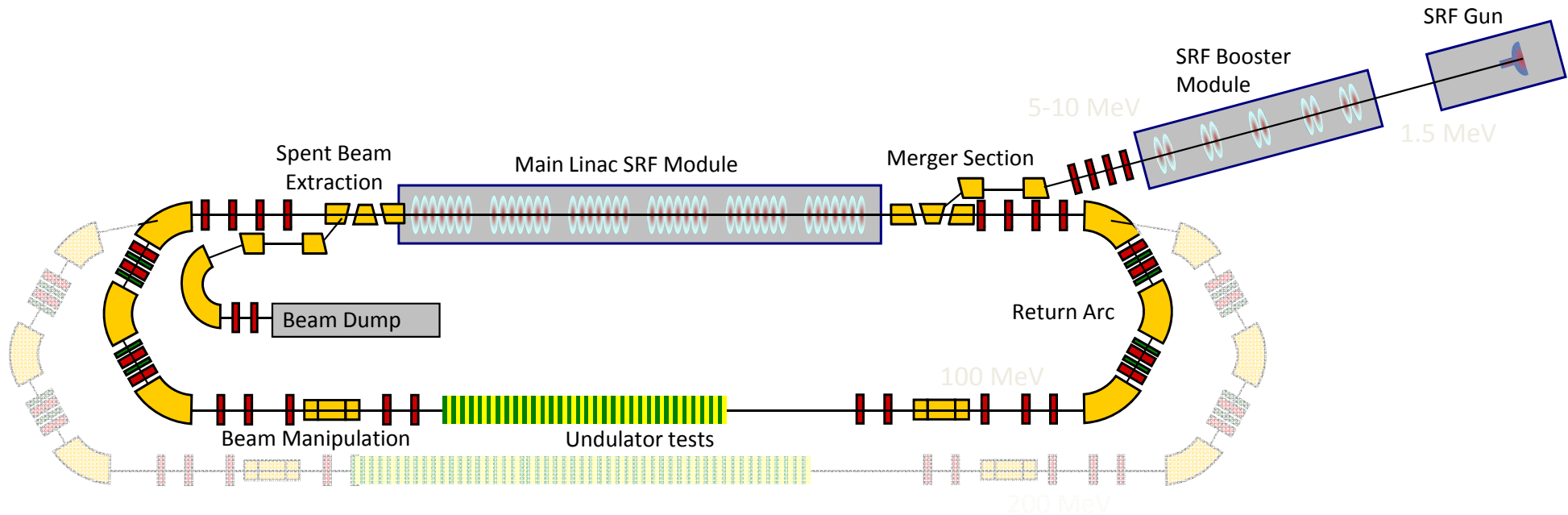


- Calculation of em-fields of cavities, couplers, etc. in the high frequency (10-100 GHz) regime

- Longitudinal beam shaping with laser/e-beam overlap
 - seeding
 - echo enhanced harmonic generation
 - novel ideas



BERLinPro



100 MeV Prototyp ERL @ HZB:

- $I_{\max} = 100 \text{ mA}$, $q_{\text{bunch}} = 77 \text{ pC}$
- $\mathcal{E}_{\text{norm}} < 1 \text{ mm mrad}$

Helmholtz Zentrum Berlin: Institut for Accelerator Physics

focus : beam dynamics in ERLs

1. space-charge dominated beam transport: generation/conservation of beam brightness
2. beam manipulation: bunch compression, emittance exchange
3. recirculator lattice: flexibility for phase matching, BBU optimization and long, beam manipulation
4. beam diagnostics

focus: nonlinear beam dynamics in BERLinPro and ERL:

1. CSR and wakefields in arcs and compressors
2. ion trap
3. generation of coherent radiation for diagnostics and users

Helmholtz Zentrum Berlin: Institut for SRF Science and Technology

Institut leader: Dr. Jens Knobloch

focus: cavity beam interaction : experimental tests in the ERL test facility BERLinPro

HELMHOLTZ-UNIVERSITY YOUNG INVESTIGATOR GROUP

Group leader: Dr. Alexander Matveenko

Group focus: Design of an energy recovery linac as a source of synchrotron radiation:

1. magnetic system design of a multi-turn ERL,
2. experimental tests at the proposed ERL test facility BERLinPro,
3. start to end magnetic optics simulation including beam break-up modeling.

Laser-Plasma-Beschleuniger

Laser $\rightarrow$ Plasma ($\rightarrow$ Undulator)

Mittlerweile beachtliche Erfolge:

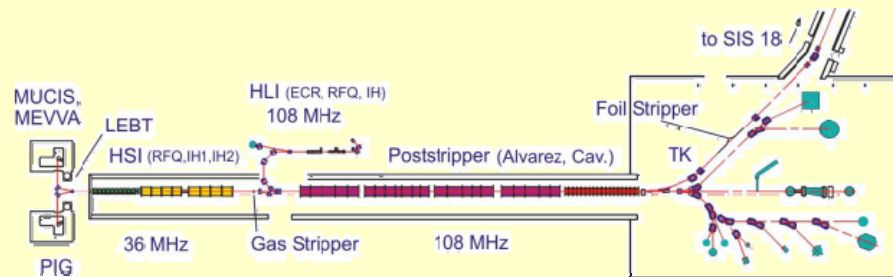
- Elektronenenergie bis zum GeV-Bereich
- Energieschärfe einige %
- Sehr kurze Pulse
- Sehr hohe Pulsströme

Bisher keine BMBF-Förderung?

Verbundforschung?

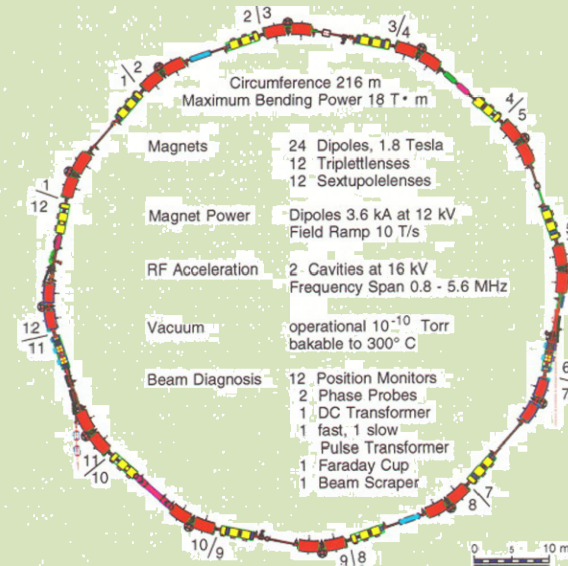
Ionenstrahlen

UNILAC:



- Hochstrombetrieb
- Brillante Strahlen
- Höhere Akzeptanzen
- Matching SIS 18

SIS18:



- Hochstromeffekte
- Desorptionsprozesse
- Raumladung und Resonanzen
- Schnelleres Rampen

Bestehende Upgrade-Programme bis 2011

Die „potentiellen“ Antragssteller

Universitäten mit und ohne
eigener Beschleunigeranlage
(i.a. dann DFG-gefördert)

TU Darmstadt

S-DALINAC:

rezirkulierender sc Linac

$E \leq 130 \text{ MeV}$

$I \leq 60 \text{ } \mu\text{A}$

Kompetenzfelder:

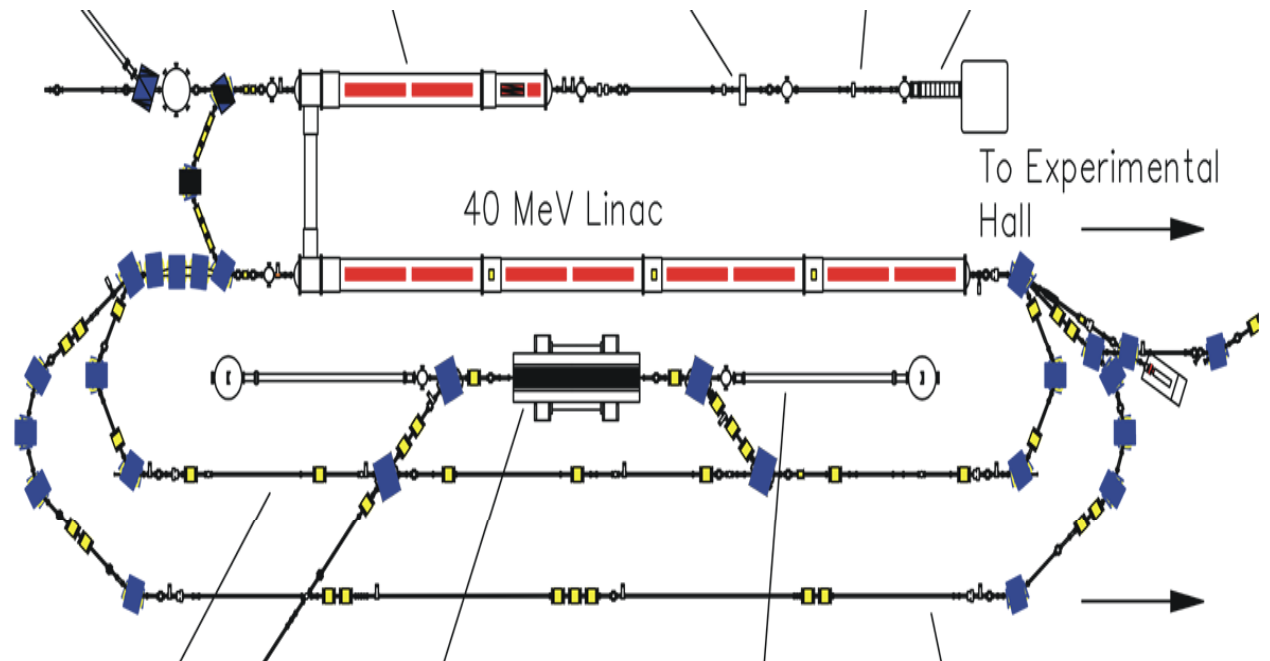
Supraleitung

Kryomodul- und Cavity-Design

Komponentenentwurf

Teilchendynamik in sc rezirkulierenden Linac's ($\Delta E \leftrightarrow r_{56}$, BBA)

Polarisierte Elektronen



TU Dortmund

DELTA:

$E = 0.55 - 1.5 \text{ GeV}$

$I = 120 \text{ mA (1.5 GeV)}$

Umfang = 115.2 m

Kompetenzfelder:

Betrieb mit Undulatoren

Speicherring-FEL

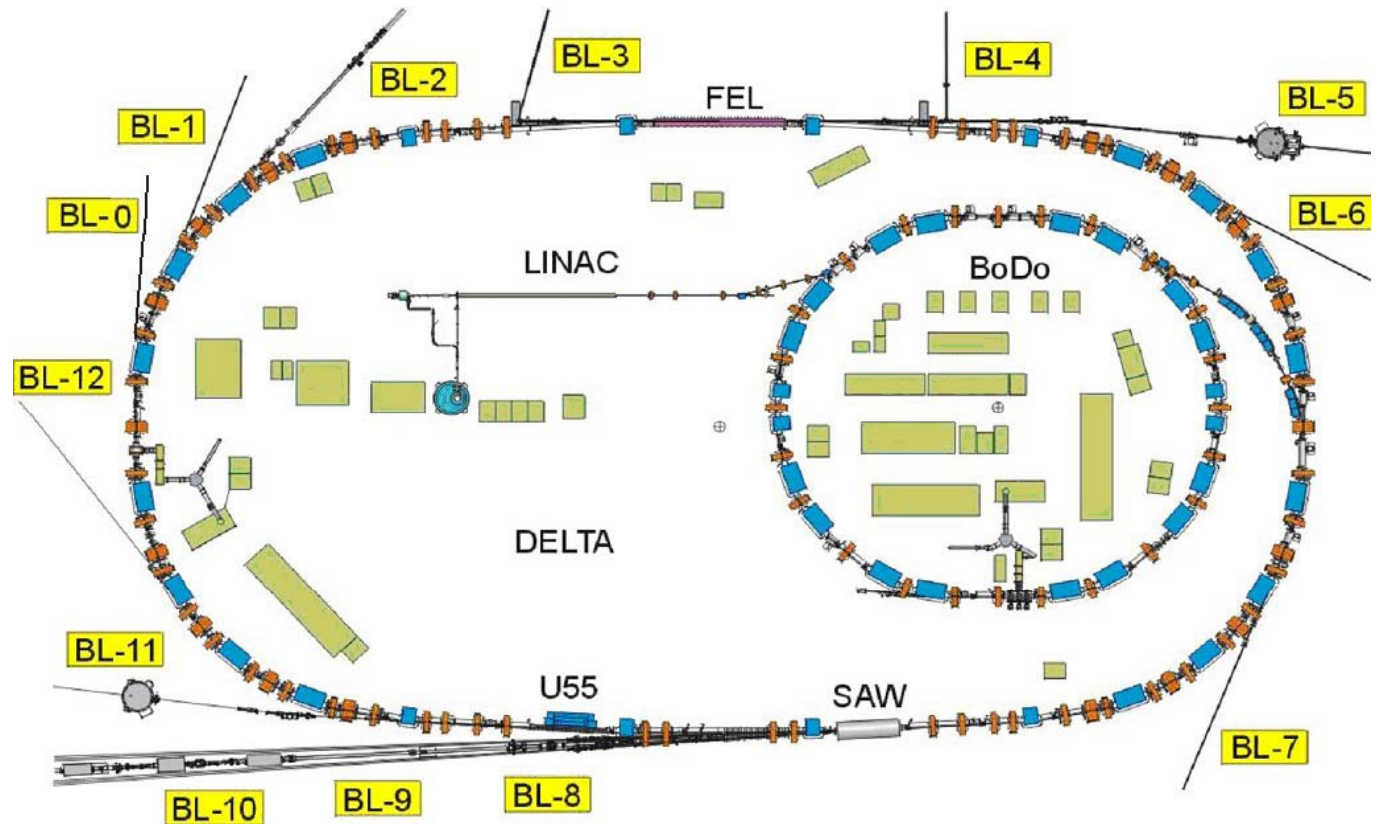
Erzeugung kurzer Strahlpulse:

- Seeding: HG, HHG
- Femto-Slicing, kohärente THz-Strahlung

„TW“-Lasersystem

Schnelle Orbitkorrektur

Bunch by Bunch Feedback-Systeme



Universität Mainz

MAMI:

4 Rennbahn-Mikrotrone

$E = 0.18 - 0.85 \text{ GeV}, 1.5 \text{ GeV}$

$I \leq 100 \mu\text{A}, \varepsilon_{h/v} < 9 / 1 \text{ nm}\cdot\text{rad}$

Kompetenzfelder:

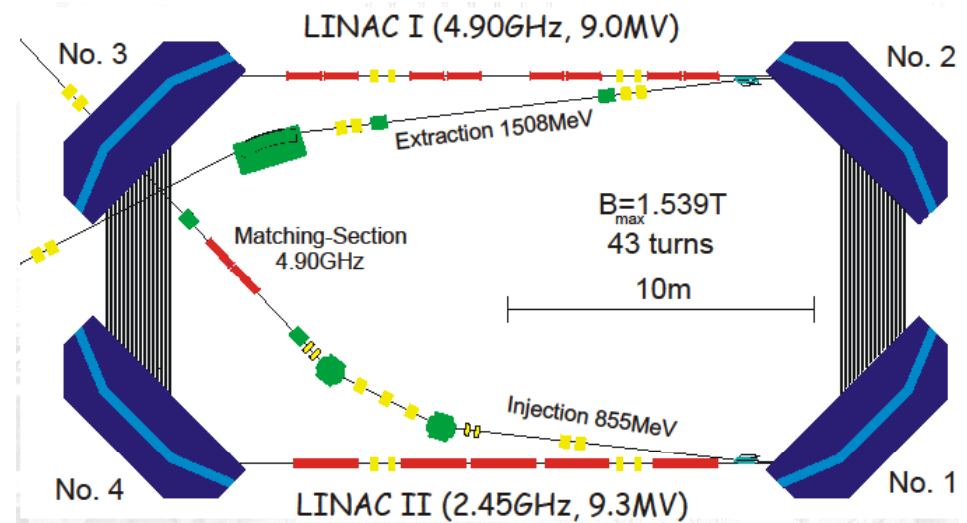
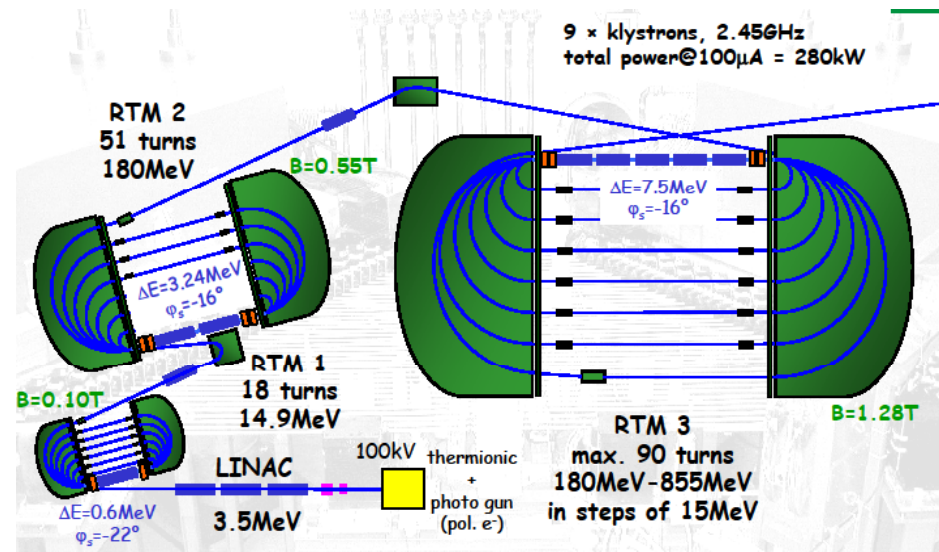
nc rezirkulierende Linac's (Mikrotron)

Magnete: Design, Messung, Korrektur

Strahldiagnose mit HF-Resonatoren

Photoinjektoren, Polarimetrie

sc rezirkulierender Linac: MESA



Universität Bonn

ELSA:

$E = 0.8 - 3.5 \text{ GeV}$

$I < 30 \text{ mA}$ (250 mA)

Umfang = 164.4 m

Kompetenzfelder:

Resonanzextaktion

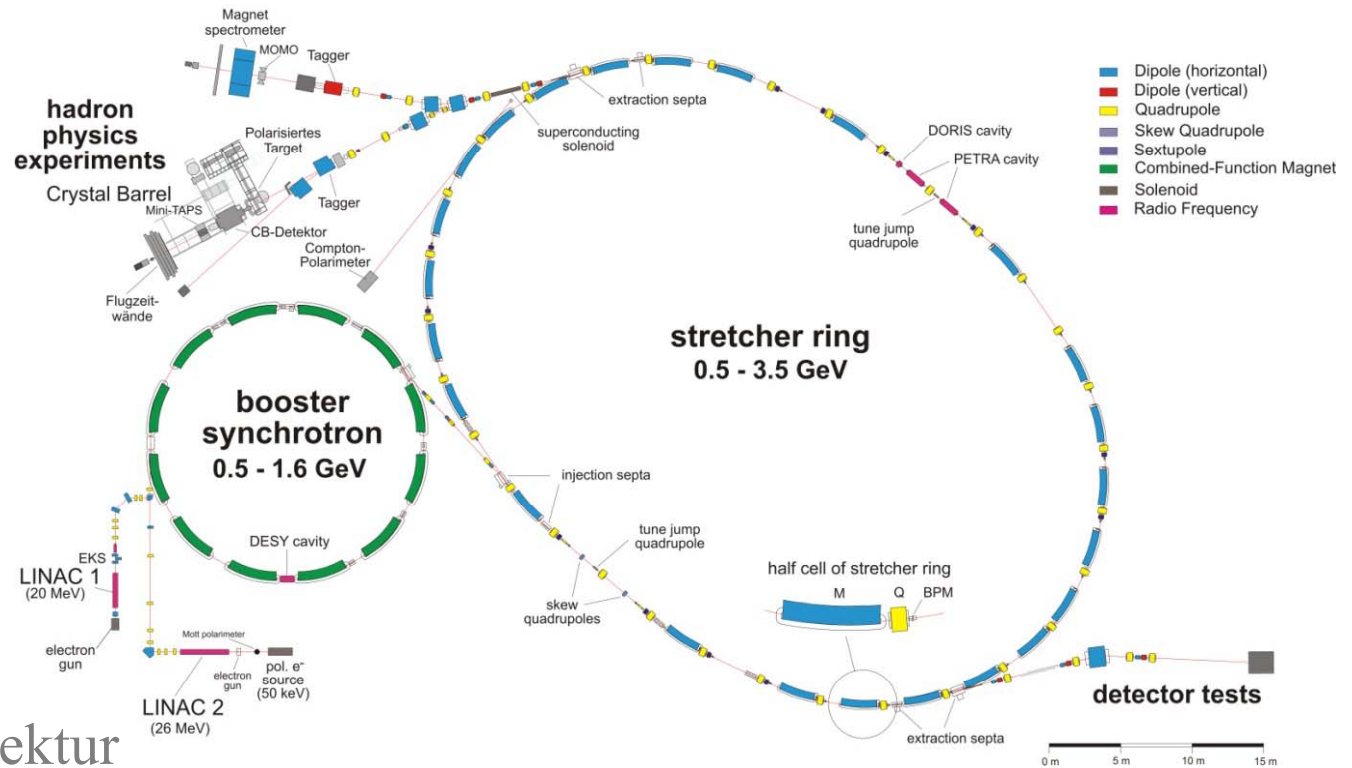
Schnelles Rampen, Orbitkorrektur

Beschleunigung polarisierter Elektronen

Photoinjektoren, Polarimetrie

Strahldiagnose mit HF-Resonatoren, **Laser-Wire (Streifendetektoren)**

Hohe Ströme: Bunch by Bunch Feedback, Impedanzen, HOM's



Universitäten und Arbeitsfelder:

Eine sicher sehr unvollständige „Übersicht“!

- HU Berlin: FEL seeding, HGHG, HHG, PI-diag.
- TU Berlin: Beschleunigerbau
- U Bonn: ...
- TU Darmstadt, TEMF: Magn., Cav., RF-reg., BPM, Imp.&WF, PIC, ...
- TU Dortmund: ...
- U Frankfurt: nc und sc IH- /CH-DTL, RFQ,
- U Göttingen: ?
- U Hamburg: FLASH, XFEL, PITZ
- U Harburg: LLRF
- U Karlsruhe: CSR, BKS, nl. Str.-Dyn., sc-Undul., LHeC
- U Mainz: ...
- LMU München: spc-Effekte Laser-Plasma Acc. (Transport, Chirp)
- U Rostock: HOM (FLASH, SPL), MOEVE (XFEL: mb, spc, ...)
- U Wuppertal: Feldemission: Supraleiter, Photokathoden