

PITZ Ergebnisse

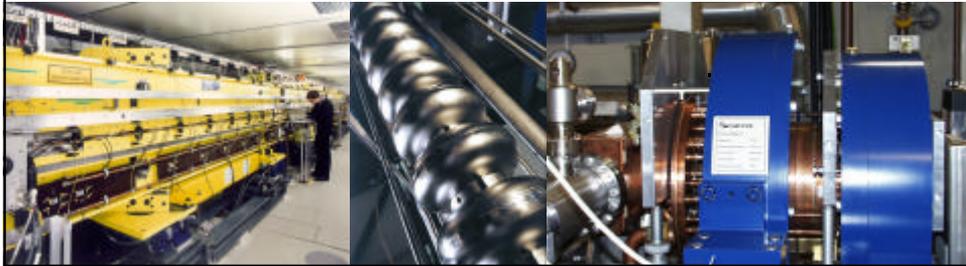
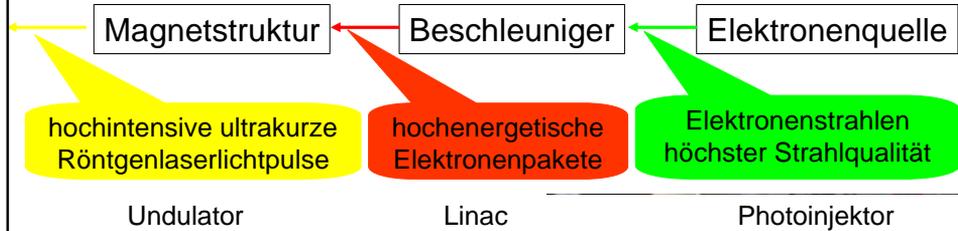
- Ein allgemeinverständlicher Überblick -

Anne Oppelt
Technisches Seminar
20.04.2004

Übersicht

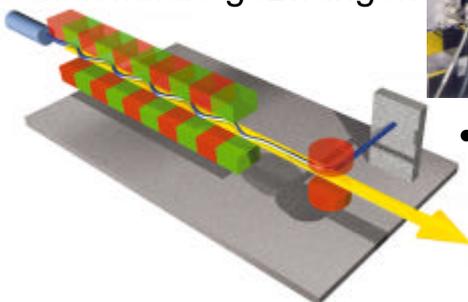
- Motivation: Röntgenlaser
- Prinzip des Photoinjektors
- Messergebnisse PITZ1
- Ausblick

Einführung Freie-Elektronen-Röntgenlaser - Aufbau -



Einführung Freie-Elektronen-Röntgenlaser - Funktionsweise -

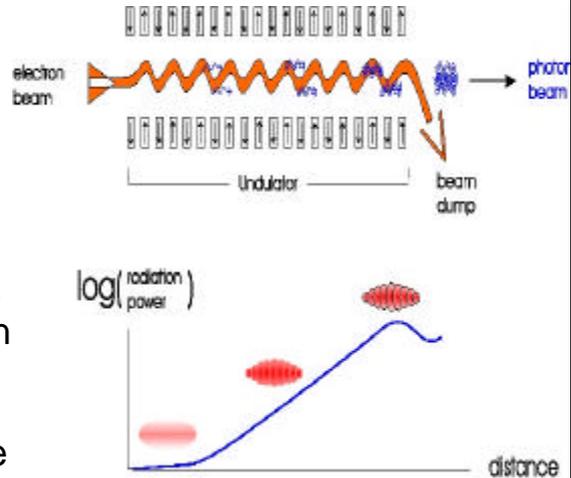
- ein hochenergetischer Elektronenstrahl wird im Magnetfeld des Undulators auf Slalomkurs gezwungen



- oszillierende Elektronen strahlen hochenergetische Photonen (Lichtteilchen) ab: Röntgenstrahlen

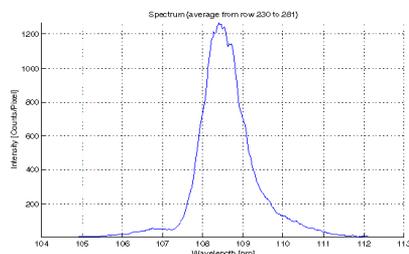
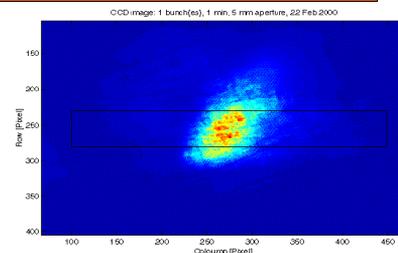
Einführung Freie-Elektronen-Röntgenlaser - Funktionsweise -

- Oszillationen führen zu Wechselwirkung von Elektronen und Photonen:
Scheibchenbildung (micro bunching)
- alle Elektronen eines Scheibchens strahlen kohärent Licht ab (Laserprinzip):
sehr kurze Lichtpulse



Einführung Freie-Elektronen-Röntgenlaser - Funktionsweise -

- Strahlung verstärkt sich (SASE): sehr hohe Intensität der Röntgenblitze
- TTF1 hat SASE-Prinzip nachgewiesen
- mannigfaltige Anwendungen, z.B. in Atom-, Molekül-, Plasma-, Festkörper-, Oberflächenphysik, Chemie, Geoforschung, Materialwissenschaften, Molekularbiologie, Medizin, ...

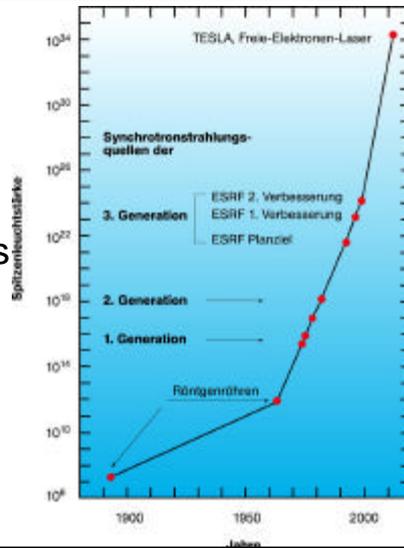


Einführung Freie-Elektronen-Laser - Strahlqualität -

Zielparameter:

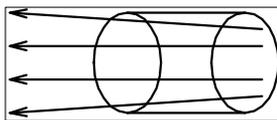
- enorme Spitzenleuchtstärke
- Zeitauflösung < 100 fs
- Wellenlänge Röntgenbereich
- Eigenschaften des Laserlichts

Zielparameter können nur erreicht werden, wenn die Elektronenstrahlqualität am Undulatoreingang höchsten Anforderungen genügt !



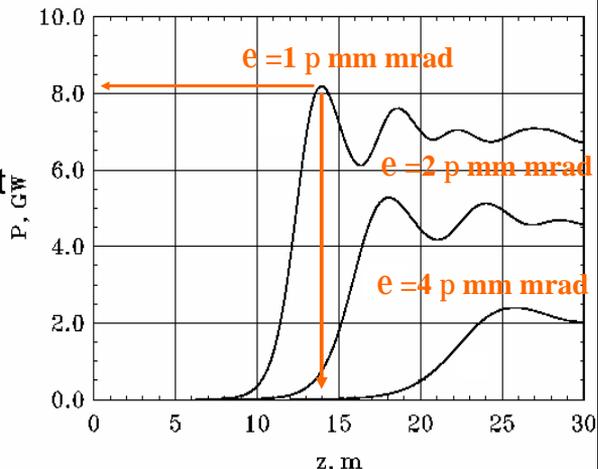
Einführung Freie-Elektronen-Laser - Strahlqualität -

Emittanz e = Maß für die Strahlqualität



bessere Strahlqualität
(kleinere Emittanz):

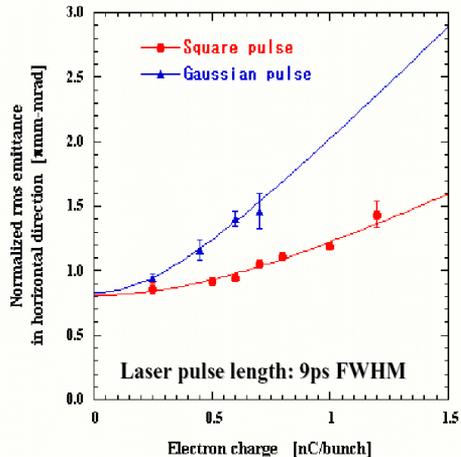
- höhere Strahlungsleistung
- kleinere Undulatorlänge



Einführung Freie-Elektronen-Laser - Strahlqualität -

- Strahlqualität kann im Beschleuniger nur schlechter werden
- Quelle muss Elektronenstrahlen mit sehr kleiner Emittanz erzeugen
- große Herausforderung an die Quelle (Photoinjektor)

Emittanz-Weltrekord: $e = 1,2 \text{ p mm mrad}$
Sumitomo Heavy Industries + FESTA, Japan

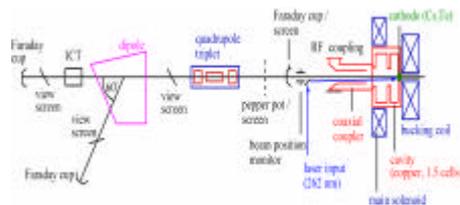


Motivation für PITZ

- Elektronenquellen für die Zukunft -

Aufgaben des Photoinjektor-Teststandes in Zeuthen:

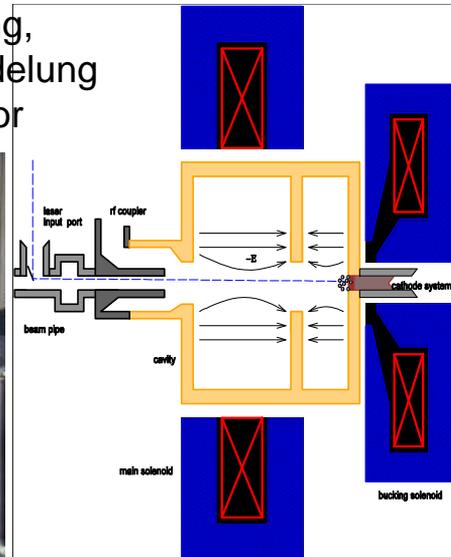
- Teststand für VUV-FEL und Röntgenlaser
- Erzeugung von Elektronenstrahlen bestmöglicher Strahlqualität
- detaillierter Vergleich von Messungen und Simulationen
- Verbesserung und Weiterentwicklung der Elektronenquelle
- Test von Neuentwicklungen (Laser, Kathoden, Strahl-diagnoseelemente)



Prinzip des Photoinjektors

- Eine Elektronenquelle für höchste Strahlqualität -

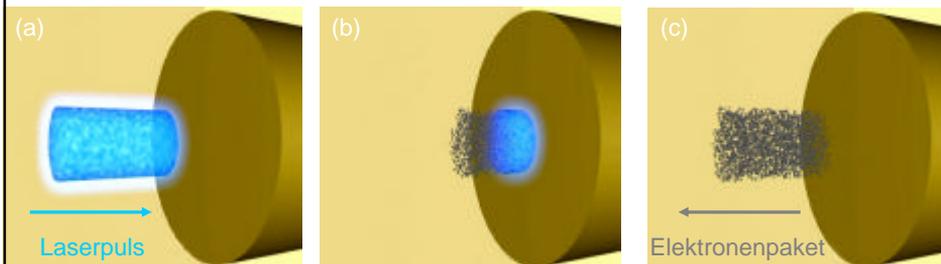
Kombinierte Erzeugung,
Beschleunigung und Bündelung
im Hohlraumresonator



Prinzip des Photoinjektors

- Erzeugung eines Elektronenpaketes -

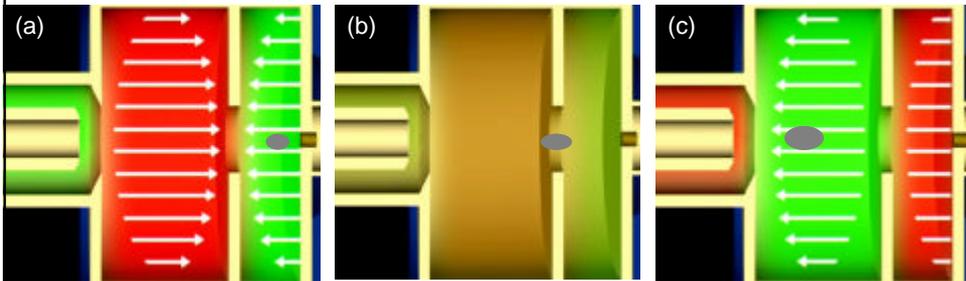
- kurze UV-Laserpulse treffen auf die Photokathode an der Stirnseite des Hohlraumresonators und lösen Photoelektronen aus dem Material (Photoeffekt)
- die vielen Elektronen stoßen einander ab



Prinzip des Photoinjektors

- Beschleunigung des Elektronenpaketes -

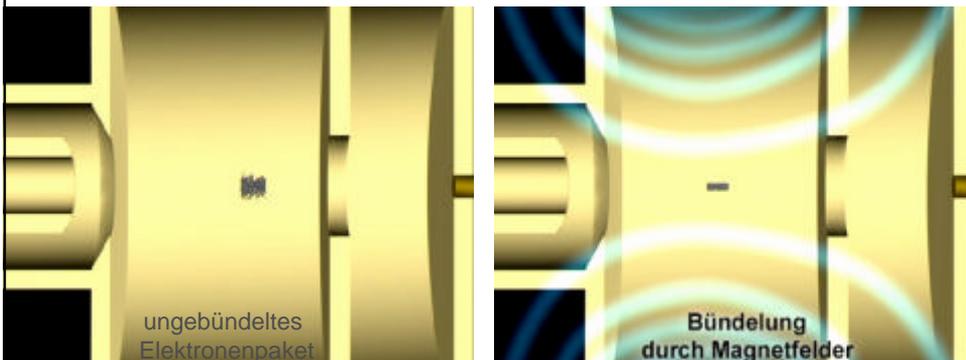
- das Aufweiten des Elektronenpaketes kann durch eine schnelle Beschleunigung vermieden werden
- starke hochfrequente elektromagnetische Wechselfelder beschleunigen die Elektronen im Hohlraumresonator auf nahezu Lichtgeschwindigkeit



Prinzip des Photoinjektors

- Fokussierung des Elektronenpaketes -

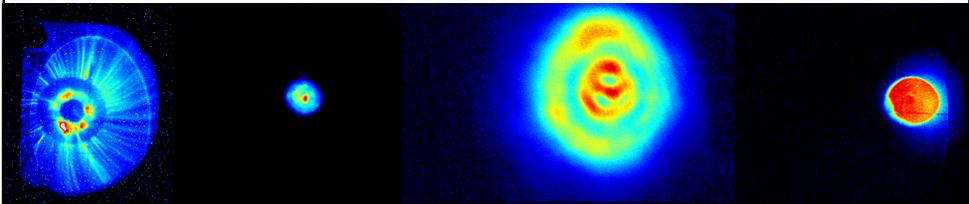
- gleichzeitig werden die Elektronen durch einen starken Fokussiermagneten gebündelt, der ein geeignetes Magnetfeld erzeugt
- nur so können die Elektronen den Hohlraumresonator als dichtes Paket verlassen



PITZ1 (bis Nov.2003)

- Forschungsprogramm -

- Konditionierung des Hohlraumresonators
- Vermessung der Eigenschaften des Lasers
- Vermessung des Elektronenstrahls
 - Ladung
 - Impuls und Impulsverschmierung
 - Länge des Elektronenpaketes
 - Elektronenstrahlgröße und Emittanz



PITZ Ergebnisse

- Konditionierung -

Problem: maximaler Beschleunigungsgradient kann nur erreicht werden, wenn Kavität maximale Leistung aufnimmt

Weg: "gewöhn" den Hohlraumresonator langsam an hohe Leistungsaufnahme

- beginne mit kurzen HF-Pulsen, kleiner Wiederholrate und geringer Leistung
- erhöhe langsam die in die Kavität gefüllte Leistung
- erhöhe schrittweise die HF-Pulslänge
- schalte den Fokussiermagneten ein und ändere das Magnetfeld
- erhöhe die Wiederholrate

PITZ Ergebnisse

- Konditionierung -

Während des Konditionierens:

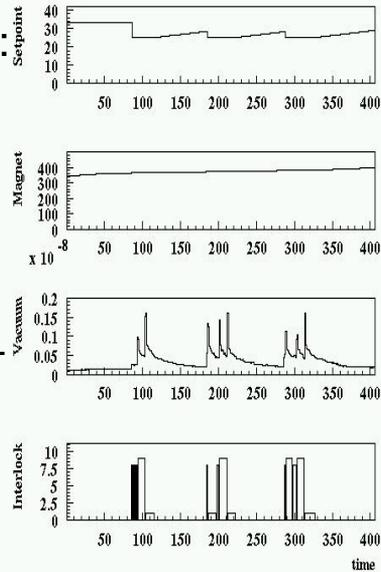
kontinuierliche Überwachung von

- Vakuumdruck,
- reflektierter HF-Leistung,
- Kühlwassertemperatur,
- div. Sensoren (IR, PM, e^- , ...),

mit Hilfe des Interlocksystems,

denn Feldemission von Oberflächenunebenheiten (Multipacting, Sparks)

können Kathode, Kavität, Koppler und HF-Fenster zerstören



PITZ Ergebnisse

- Konditionierung -

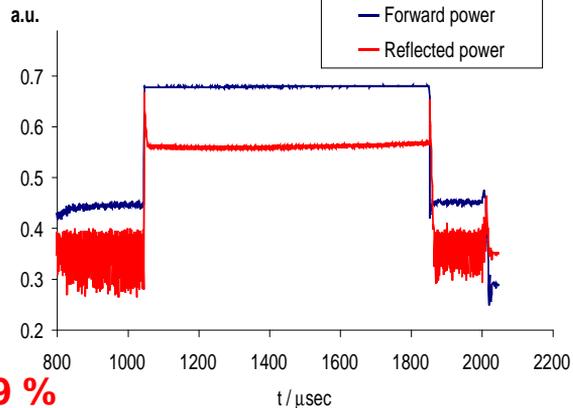
Erreichte HF-Parameter:

900 μs HF-Pulslänge

10 Hz Wiederholrate

3 MW HF-Leistung

(40 MV/m Gradient)



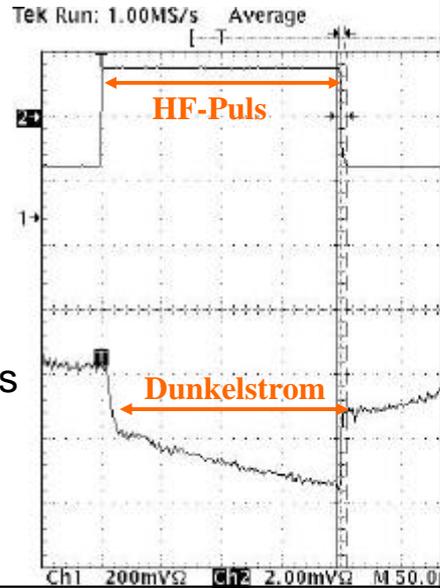
• **Tastverhältnis: 0.9 %**

• **durchschnittliche HF-Leistung: 27 kW**

PITZ Ergebnisse

- Dunkelstrommessungen -

- Dunkelstrom entsteht hauptsächlich durch Feldemission von der Kathode
- Dunkelstrom wird während der gesamten HF-Pulselänge emittiert
- Messung des Dunkelstroms ermöglicht Aussagen über Konditionierungserfolg

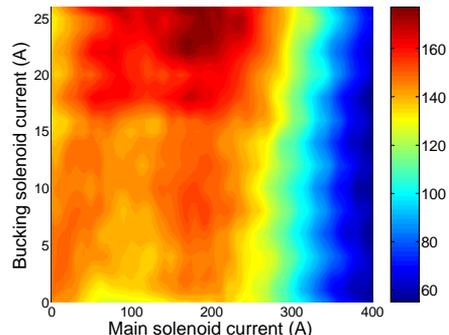
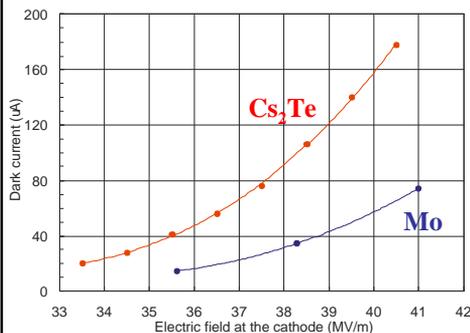
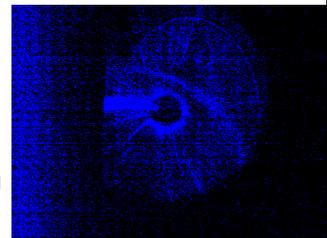


PITZ Ergebnisse

- Dunkelstrommessungen -

Strommessung in Abhängigkeit von

- Beschleunigungsfeld
- Art der Kathode
- Feldstärke des Fokussiermagneten

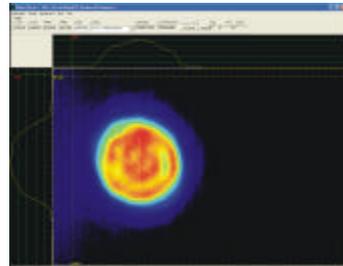


PITZ Ergebnisse

- Eigenschaften von Kathode und Laser -

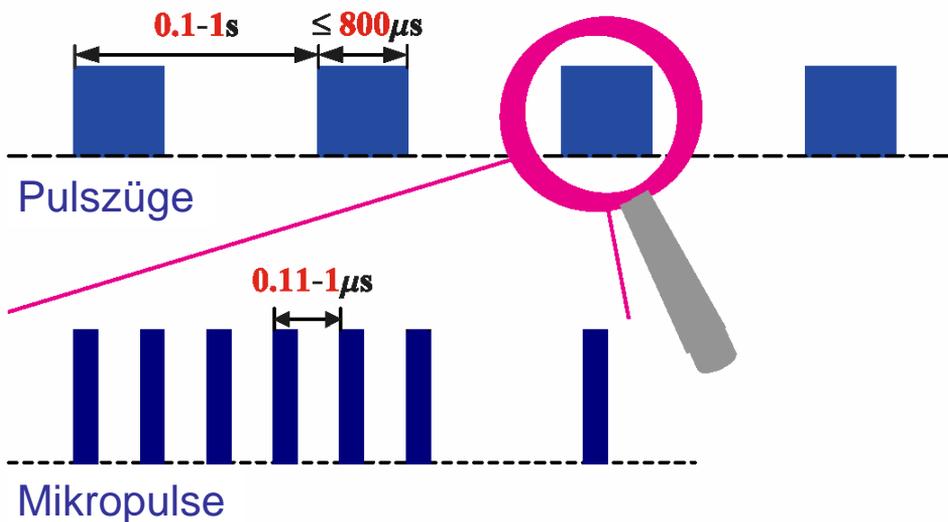
- Quanteneffizienzmessung der Cs₂Te-Photokathode:
~ 0,5 %
- Beobachtung von unerklärten Oberflächenstrukturen auf den Kathoden
- Form und Größe des Laserstrahls auf der Photokathode

Standardwert: $s_x = 0,45 \text{ mm}$
 $s_y = 0,52 \text{ mm}$



PITZ Ergebnisse

- Pulsstruktur des Lasers -



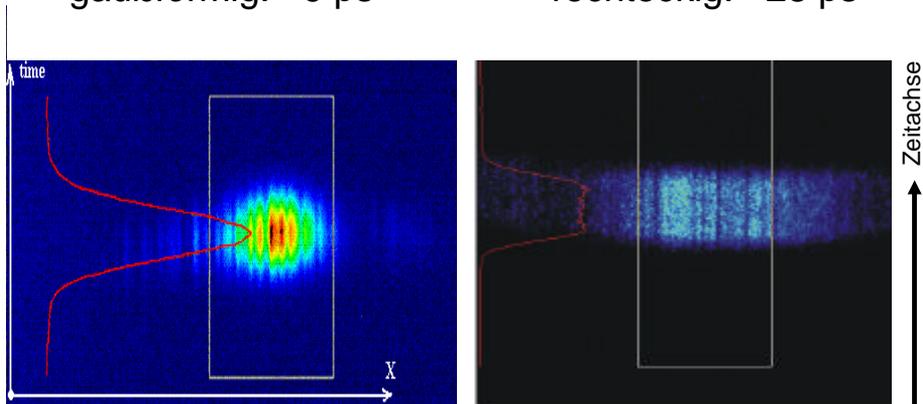
PITZ Ergebnisse

- Zeitliche Form der Mikropulse -

Länge und Form der Mikropulse können variiert werden:

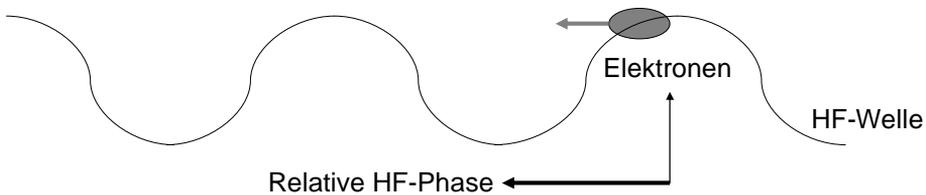
gaußförmig: ~ 9 ps

rechteckig: ~ 23 ps



PITZ Ergebnisse

- Einfluss der HF-Phase -



Der Energiegewinn bei der Beschleunigung ist abhängig von der Phase, bei der das Elektronenpaket erzeugt wird

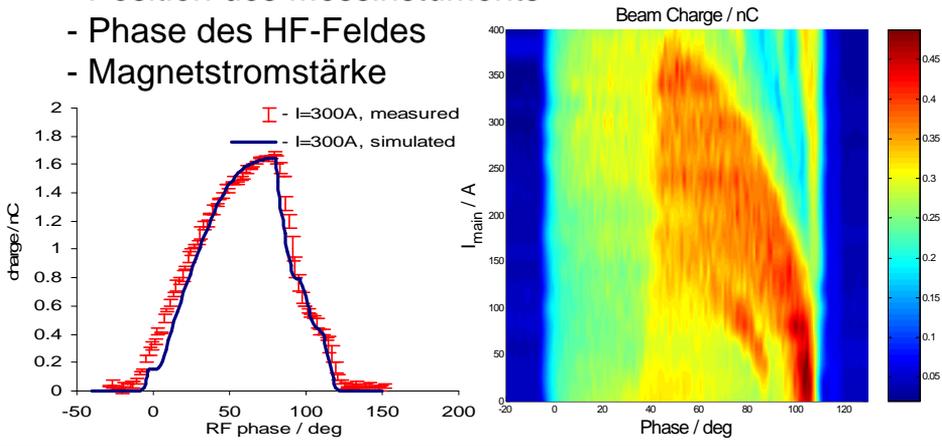


PITZ Ergebnisse

- Ladung des Elektronenpakets -

- Ladungsmessung mit FC oder ICT
- gemessene Ladung abhängig von
 - Position des Messinstruments
 - Phase des HF-Feldes
 - Magnetstromstärke

Referenzladung: 1 nC

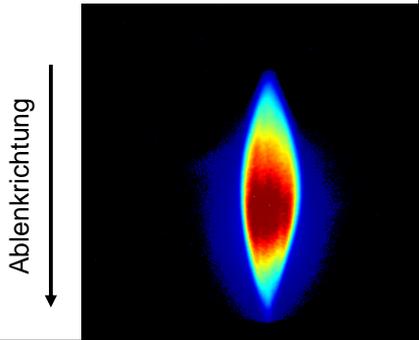
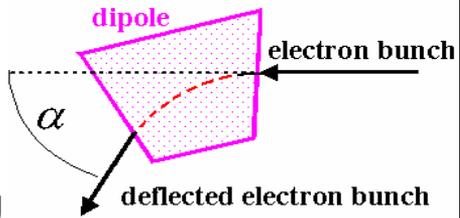


PITZ Ergebnisse

- Impuls der Elektronen -

Prinzip:

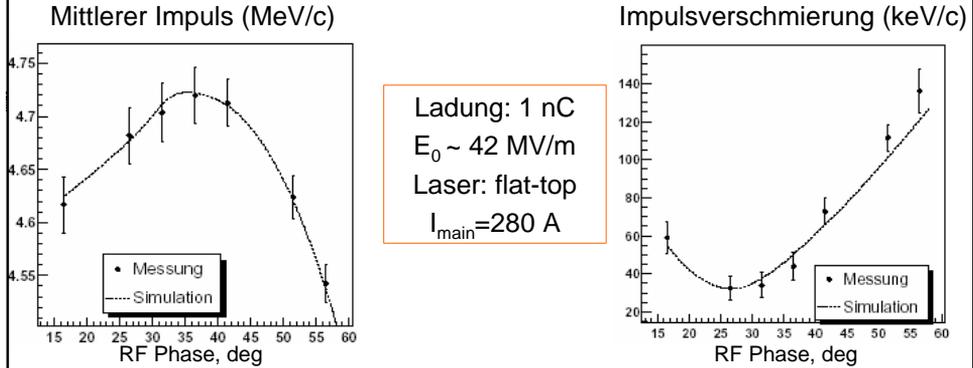
- Ablenkung der Elektronen im Magnetfeld ist abhängig von deren Impuls
- Messung der Ortsverteilung der abgelenkten Elektronen auf einem Leuchtschirm
- Ablenkung der Elektronen umso kleiner, je größer die Impuls ist
- aus Ortsverteilung kann die Impulsverteilung berechnet werden (Projektion)



PITZ Ergebnisse

- Impulsverteilung -

Messergebnisse als Funktion der Phase des HF-Feldes:



Ladung: 1 nC
 $E_0 \sim 42$ MV/m
 Laser: flat-top
 $I_{\text{main}} = 280$ A

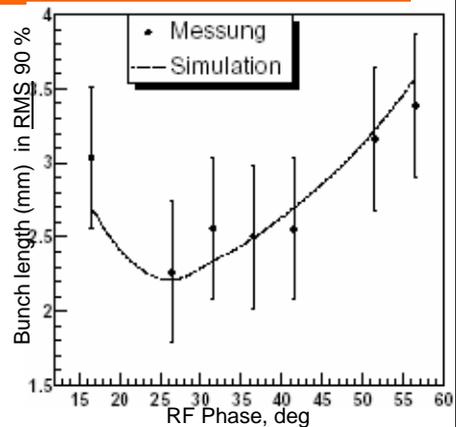
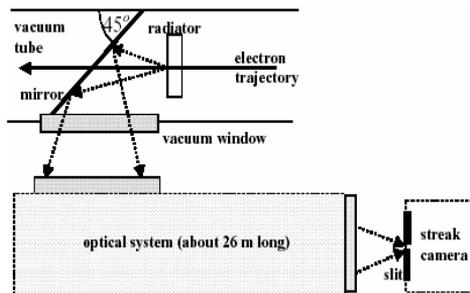
Maximaler mittlerer Impuls: 4.72 MeV/c

Minimale Impulsverschmierung: 33 keV/c

PITZ Ergebnisse

- Länge des Elektronenpaketes -

Prinzip: Elektronenpaket trifft auf Radiator und strahlt Photonen ab, die von einer speziellen Kamera (Streakkamera) analysiert werden



Minimale Länge (FWHM):

$(21.04 \pm 0.45_{\text{stat}} \pm 4.14_{\text{syst}})$ ps

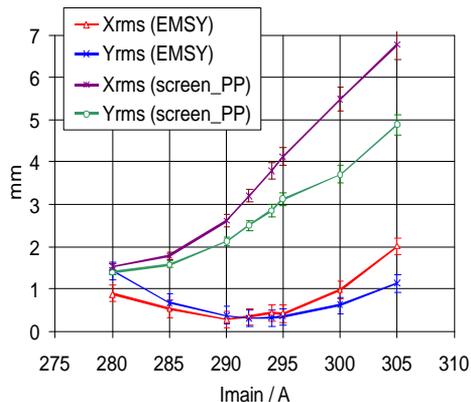
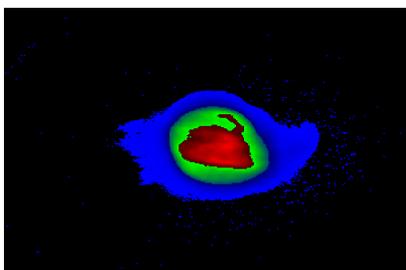
$(6.31 \pm 0.14_{\text{stat}} \pm 1.24_{\text{syst}})$ mm

PITZ Ergebnisse

- Querschnitt des Elektronenstrahls -

- Messung von Größe und Form des Strahlflecks auf einem Leuchtschirm
- abhängig von
 - Position des Schirms
 - Phase des HF-Feldes
 - Magnetstromstärke

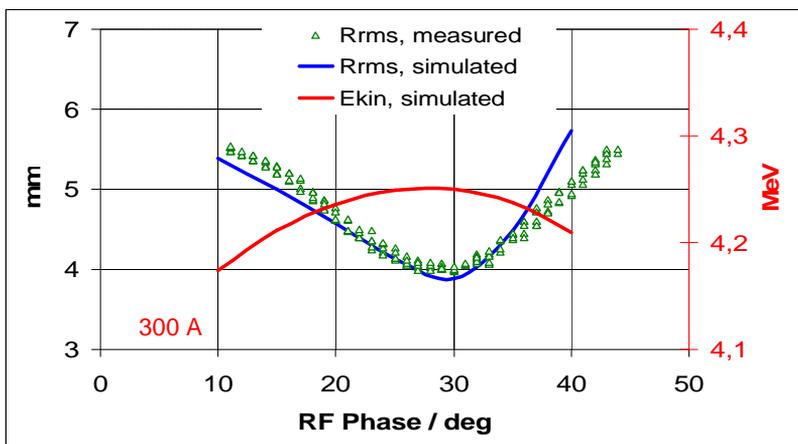
typische Strahlgröße:
0,2 ... 4 mm



PITZ Ergebnisse

- Bestimmung der Referenzphase -

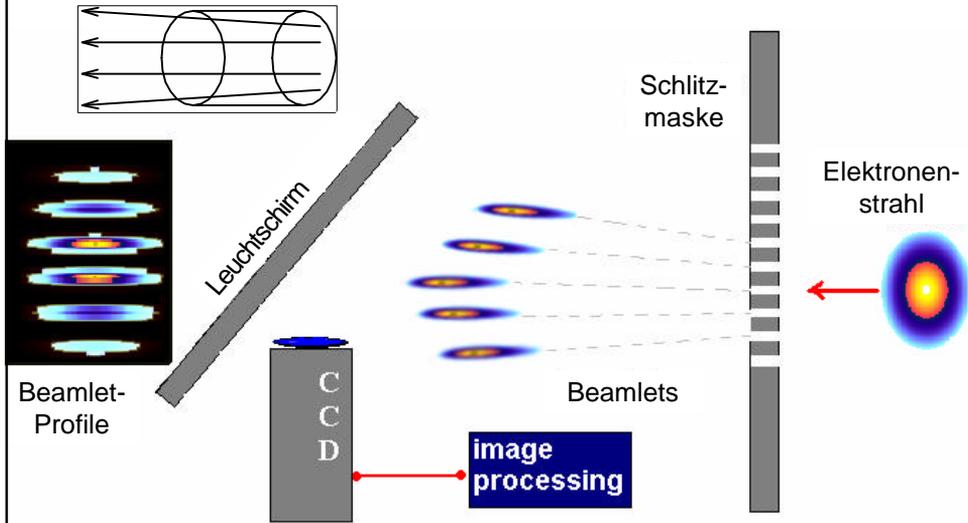
Messung der Elektronenstrahlgröße zur Bestimmung der Referenzphase (HF-Phase mit maximalem Energiegewinn)



PITZ Ergebnisse

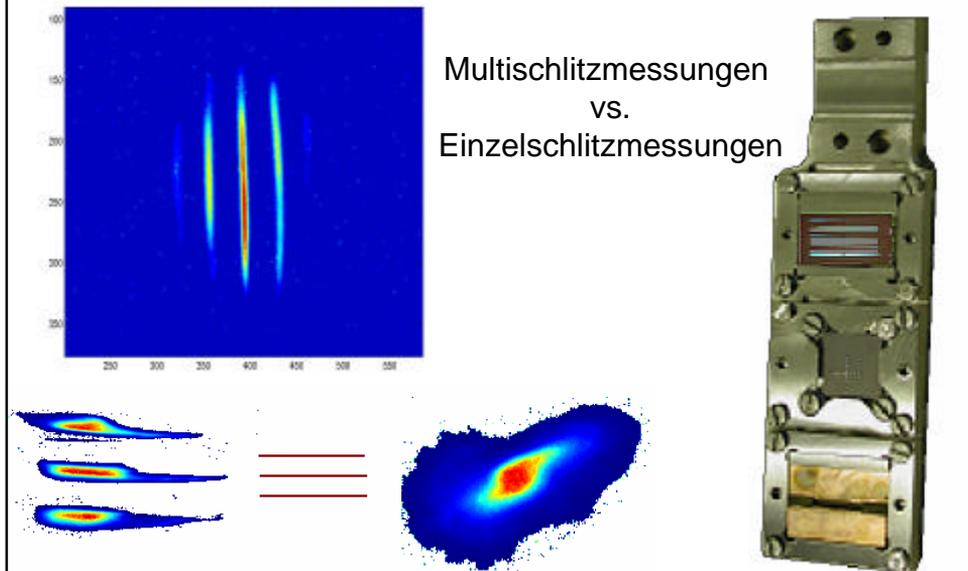
- Emittanzmessung -

Messprinzip: Vermessung des Abbildes von Schlitzen



PITZ Ergebnisse

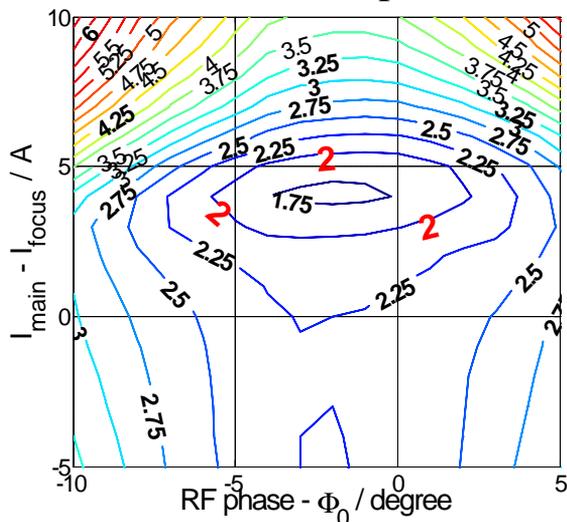
- Möglichkeiten der Emittanzmessung -



PITZ Ergebnisse

- Parameter für optimale Emittanz -

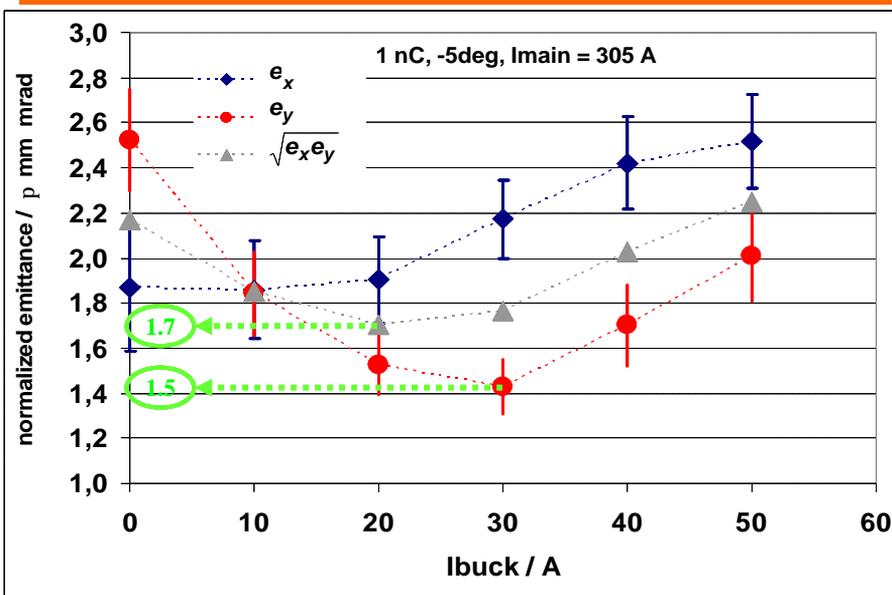
Simulierte Emittanz / p mm mrad



- Ladung:** 1 nC
max. Gradient: 42 MV/m
Longitudinales Laserprofil:
 - flat top
 - 20 ps FWHM
 - 5 ps Anstiegszeit
Transversales Laserprofil:
 - homogen
 - $\sigma_{x,y} = 0.6$ mm

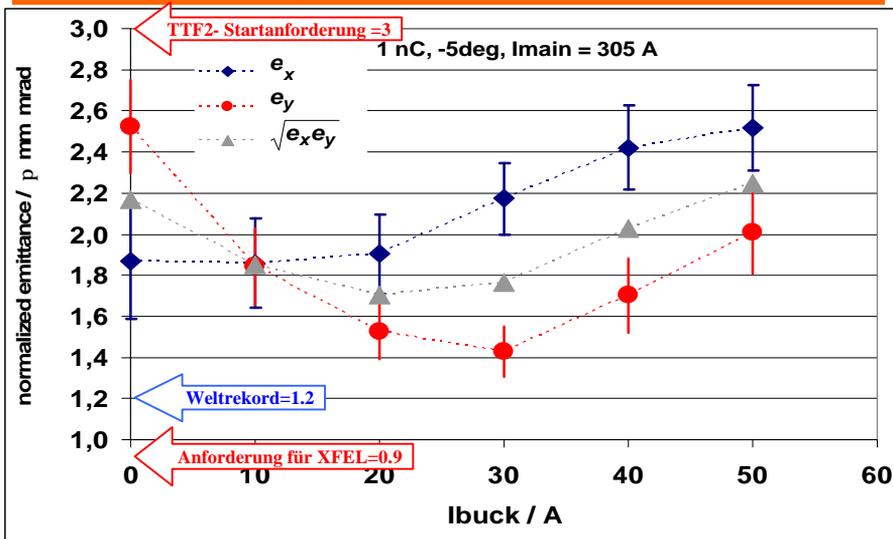
PITZ Ergebnisse

- Gemessene Emittanz -



PITZ Ergebnisse

- Einordnung der erreichten Strahlqualität -



TTF2- Startanforderung ist klar erfüllt !

Ausblick

- Pläne für PITZ 2 -

- Studie des Emittanzerhaltungsprinzips:
Einbau einer zusätzlichen Beschleunigungsstruktur
- Weitere Verbesserung der Strahlqualität:
Arbeiten an Laser, Photokathoden, Kavitäten, Simulationsprogrammen



Ausblick

- Emittanzerhaltung bei PITZ 2 -

