



sFLASH

Das „Seeding“-Projekt am Freie-Elektronen-Laser in Hamburg*

DPG Frühjahrstagung 2009 München
9/3/09

Jörn Bödewadt
Universität Hamburg





Inhalt



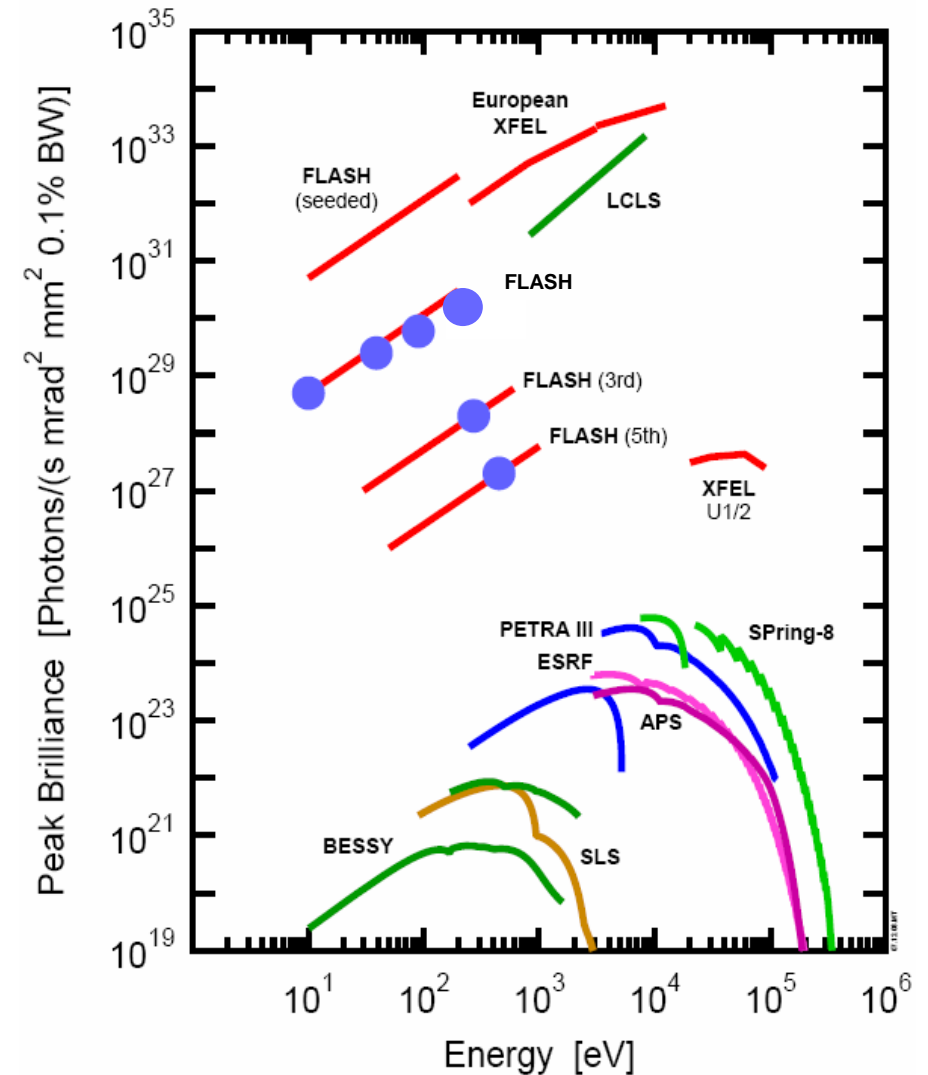
- Einleitung
- FLASH nach 2009
- SASE vs. Seeding
- Seeding mit höheren Harmonischen (HHG)
- Aufbau von sFLASH





Einleitung

- Untersuchung molekularer und atomarer Strukturen erfordern kurze Wellenlängen (OE ~nm und sub nm)
- Verdünnte Proben erfordern hohe Intensitäten (Brilliance)
- kohärente Strahlung für z.B. Phasenkontrastmikroskopie
- ... u.v.m.
- Kohärente Röntgenquellen:
 - HHG Methoden
 - Plasma basierte Methoden
 - Freie Elektronen Laser





SASE Prinzip (High Gain FEL)

Resonanzbedingung:

$$\lambda_l = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right)$$

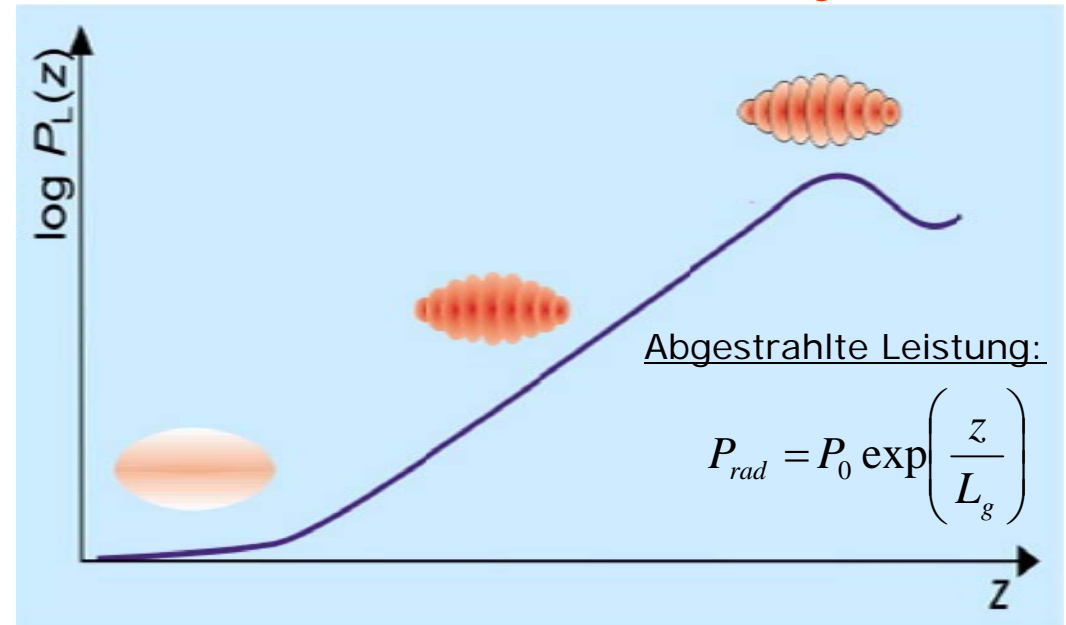
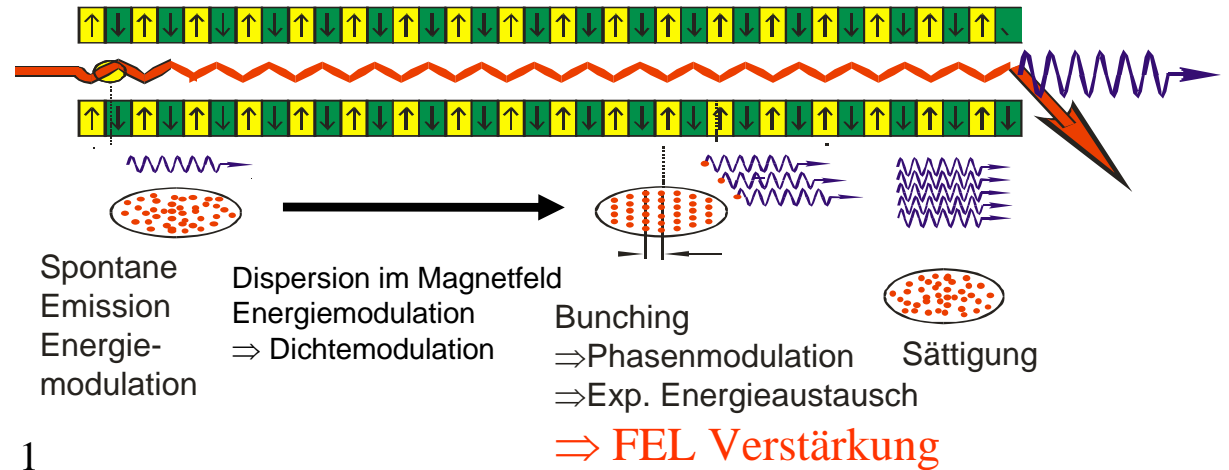
Gain Länge:

$$L_G = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{I_A \gamma^3 \sigma_r^2 \lambda_u}{4\pi \hat{I} K^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Sättigungsleistung:

$$P_{sat} \propto \frac{1}{L_G} \cdot \hat{I} \cdot \gamma$$

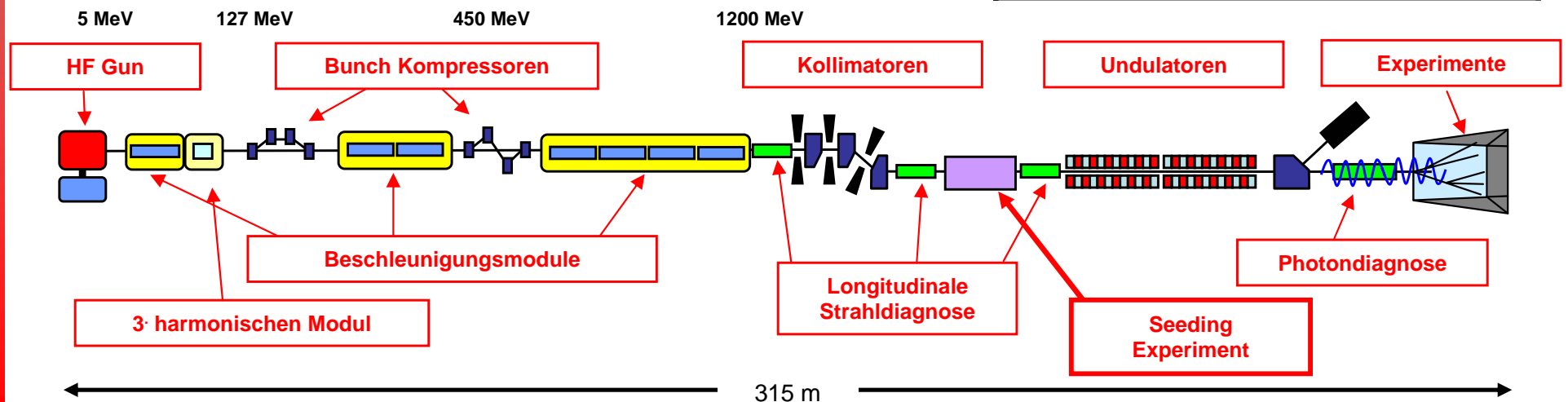
Spitzenstrom des e-Pakets



FLASH nach 2009

- Umbau Herbst 2009:
 - 3. harmonischen Modul
 - zusätzliches Beschleunigermodul
 - Umbau von 40m Strahlweg für das Seeding-Projekt
 - u.a.

Strahlenergie [MeV]	370 – 1000 (1200)
Bunch Ladung [nC]	0.5 – 1.0
Spitzenstrom [kA]	2 (2.5)
Norm. Emittanz [mm mrad]	2
Repetitionsrate Makropulse [Hz]	5
Repetitionsrate Mikropulse [kHz]	40 - 1000



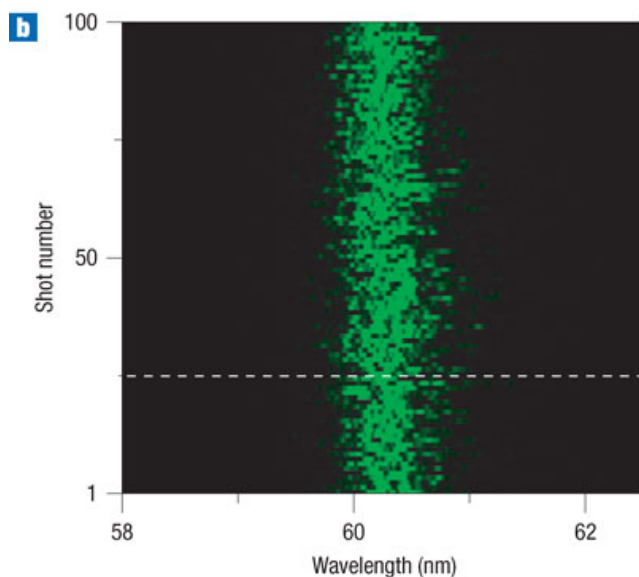
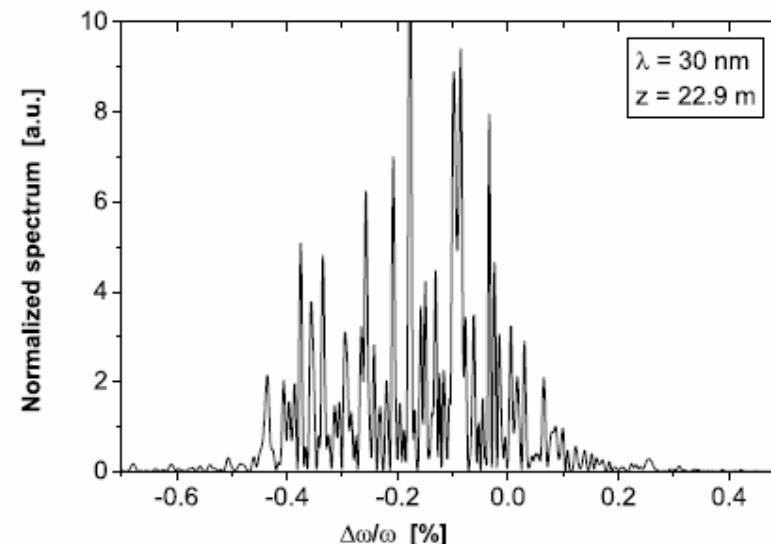
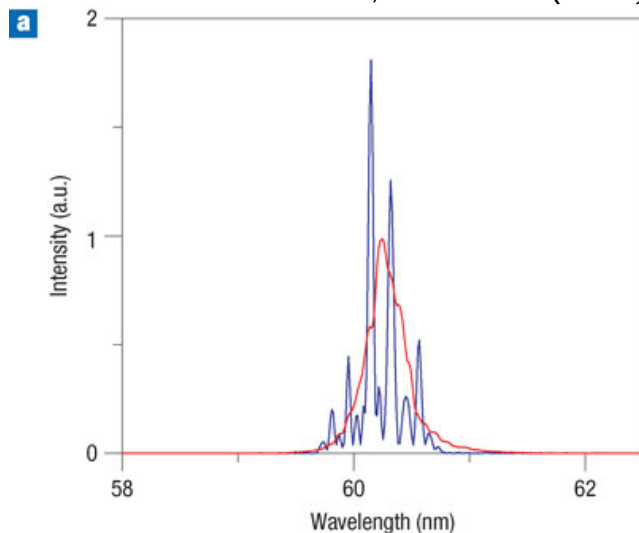
06.03.2009

J. Bödewadt - DPG
Frühjahrstagung 2009 München



Typische SASE Spektren

Nature Photonics 2, 555 - 559 (2008)

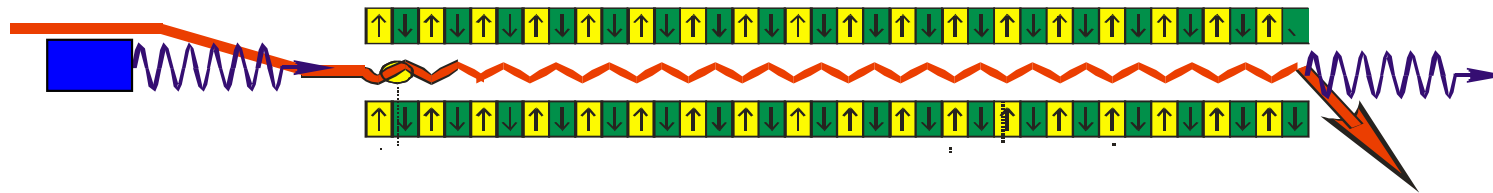


Photon Beam@FLASH

Wavelength (nm)	6.5 – 46
Average pulse energy (μJ)	20 – 70
Pulse duration, fwhm (fs)	10 – 50
Peak power (GW)	1 – 7
Average power (mW)	1 – 55
Divergence (μrad)	90
Spectral width, fwhm (%)	0.7 – 1.0
Brilliance B	$\sim 10^{29}$

SASE vs. Seeding

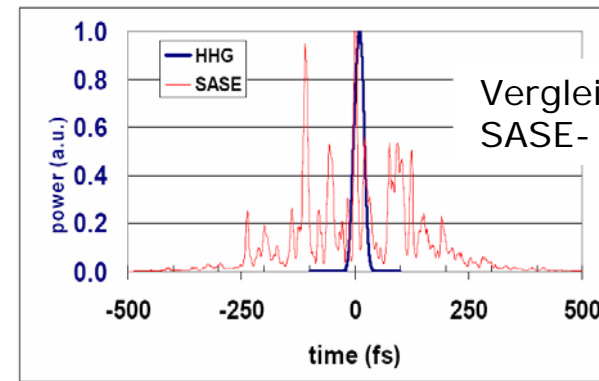
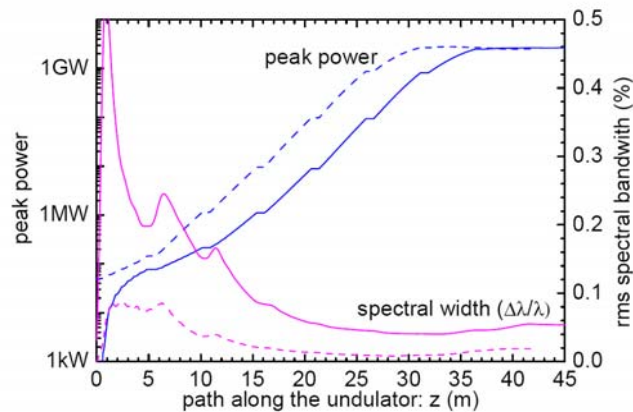
- Welche Probleme treten auf
 - Spektrum fluktuiert statistisch (rms ~ 20%)
 - Intensitätsschwankungen
 - Ankunftszeitschwankungen (~ 200 fs)
 - Begrenzt die zeitliche Auflösung für Pump-Probe Experimente
 - Sättigung nach typischerweise 20 Gain Längen
 - Betrieb kompliziert und keine kontrollierte Optimierung (bisher)
- Durch Verwendung eines externen Lasers wird der FEL Prozess gezielt induziert:





SASE vs. Seeding

- Was soll besser werden?
 - Spektrum wird stabilisiert
 - > Intensität stabil bei einer Wellenlänge
 - Ankunftszeitschwankungen
 - der Elektronenpakete im Undulator immer noch ~ 200 fs
 - ABER
 - Pump- und Probe-Laser entstammen der selben Quelle
 - > Zeitliche Schwankungen ~ 10 fs
 - Sättigungslänge wird deutlich verkürzt



Vergleich der Zeitstruktur für SASE- und Seed-FEL

Simulationen für PSI XFEL

06.03.2009

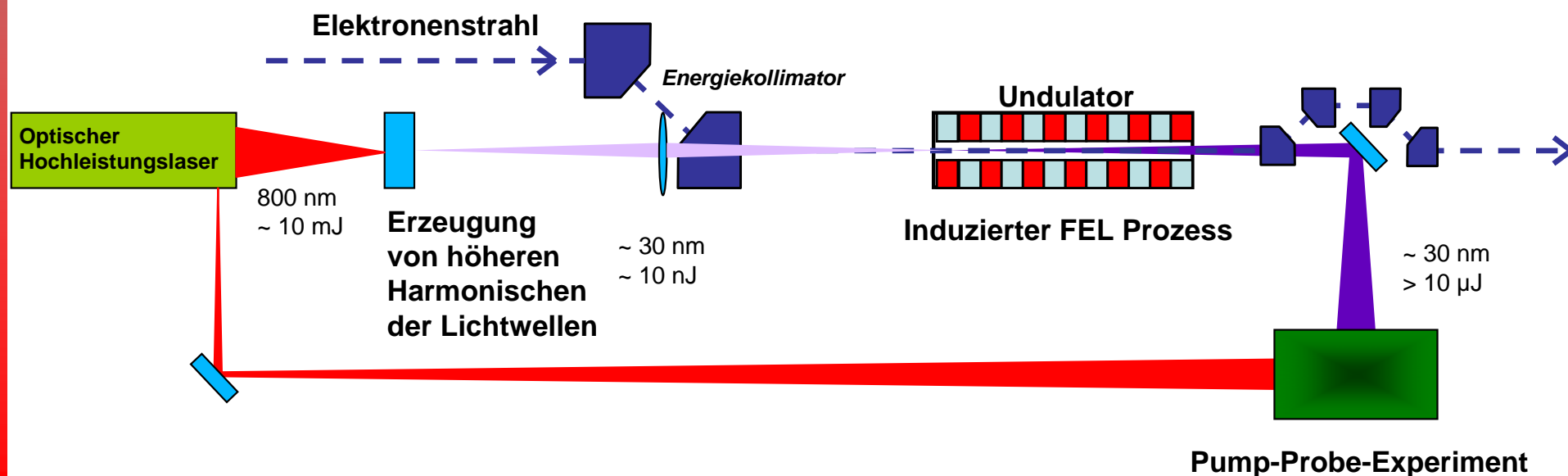
J. Bödewadt - DPG
Frühjahrstagung 2009 München



Seeded FEL in Hamburg: sFLASH

- Demonstration des Seedings mit höheren Harmonischen bei Wellenlängen unterhalb von 30nm
- Zeitliche Stabilität für Pump-Probe Experimente von wenigen 10 fs
- Verbesserung der spektralen Eigenschaften der FEL Pulse gegenüber FLASH (SASE)
- Gleichzeitiger Betrieb von FLASH und sFLASH angestrebt

Schematischer Versuchsaufbau





sFLASH Installation



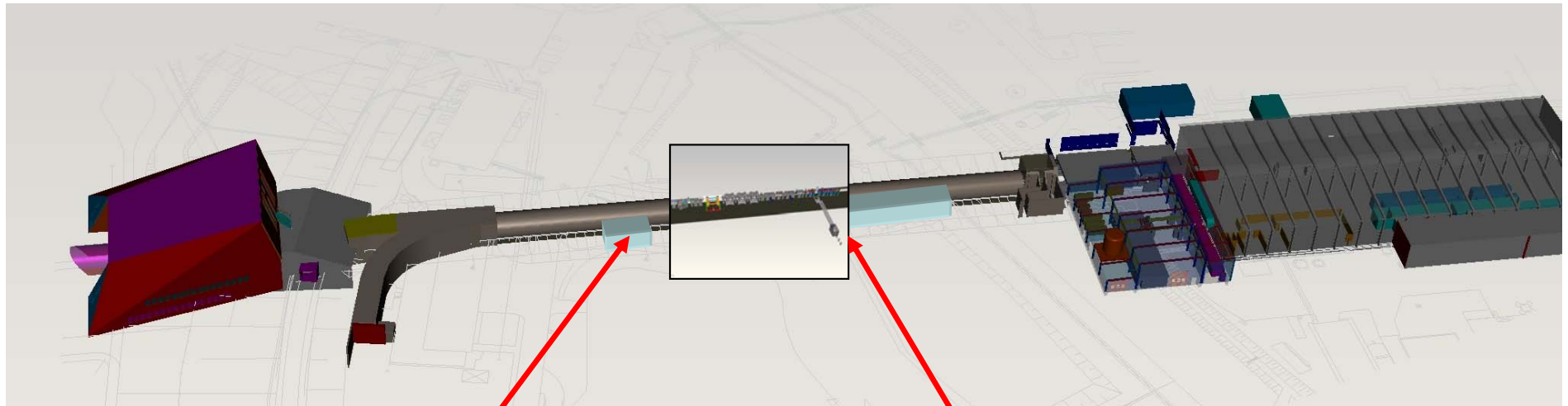
Experimente mit
sFLASH Pulsen

HHG Lasersystem
und HHG Quelle





sFLASH Installation

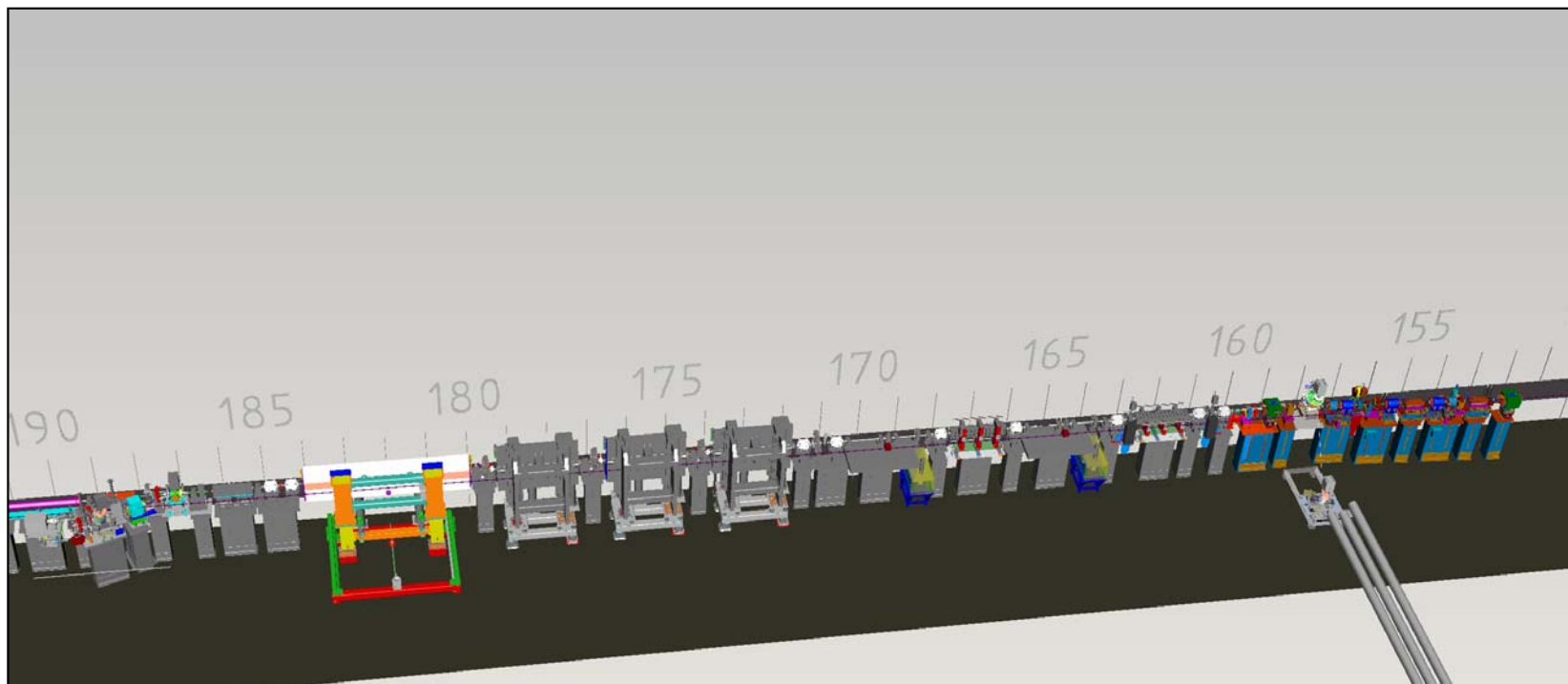


Experimente mit
sFLASH Pulsen

HHG Lasersystem
und HHG Quelle



sFLASH Installation



Strahlparameter	NIR Laser	HHG Pulse (Quelle)	HHG Pulse (Undulator)	Elektronpakete (Undulator)
Rep. Rate [Hz]	10	10	10	5 (1MHz)
Pulsdauer [fs] (FWHM)	30	20	20	500
Pulsenergie/Puls [J] (FWHM)	35 mJ	100 nJ	>1 nJ	I_{\max} 2 kA
Strahlgröße [μm] (FWHM)	300	140	200	180

06.03.2009

J. Bödewadt - DPG
Frühjahrstagung 2009 München



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

und
Vielen Dank allen Beteiligten

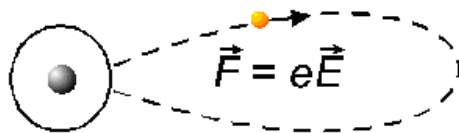
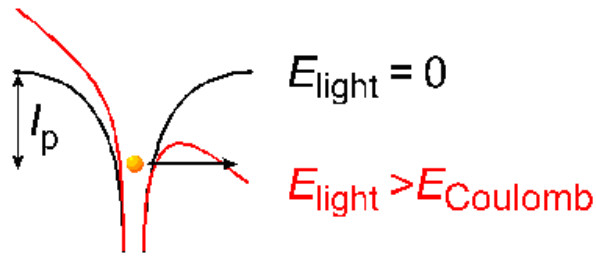
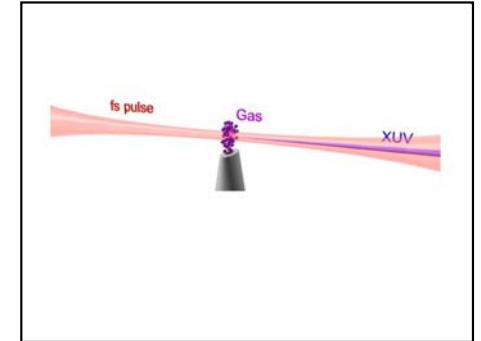


Armin Azima, Jörn Bödewadt, Francesca Curbis, Hossein Delsim-Hashemi, Markus Drescher, Stefan Düsterer, Josef Gonschior, Katja Honkavaara, Rasmus Ischebeck, Shaukat Khan, Tim Laarmann, Theophilos Maltezopoulos, Atoosa Meseck, Nils Mildner, Velizar Miltchev, Manuel Mittenzwey, Heinrich Münch, Otto Peters, Benjamin Polzin, Jörg Rossbach, Ernst-Otto Saemann, Holger Schlarb, Sebastian Schultz, Michael Schulz, Angad Swiderski, Roxana Tarkeshian, Markus Tischer, Antonio de Zubiaurre Wagner, Marek Wieland, Torsten Wohlenberg



Höheren Harmonischen Erzeugung in Gasen

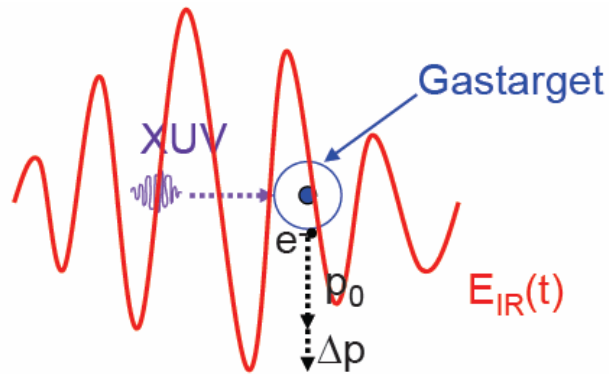
- Prinzip: Feuere einen starken Laserpuls in ein Edelgas und erzeuge viele höhere Harmonische! 😊
- Halbklassisches 3 Stufen Modell (Corkum et al.)



- langsam variierendes (\sim fs) und starkes elektrische Laserfeld ($\sim 10^{16}$ V/m)
- Tunnelwahrscheinlichkeit für Elektronen (Statistik)
- Elektronen werden im Laserpotential beschleunigt
- Bewegungsrichtung kehrt sich um und Elektronen können mit Atom kollidieren
- Bei Rekombination wird ein XUV Photon emittiert
- Prozess findet jede Halbwelle des einfallenden Lichtes statt -> nur ungerade Harmonische



- Experimente bei sFLASH:
 - XUV-Pulsanalyse
 - Messung der zeitlichen Pulsstruktur mit Hilfe einer lichtgetriebenen Streak-Kamera (Umwandeln von $I_{\text{XUV}}(t) \rightarrow I_e(p)$)



- zeitaufgelöste Atom- /Molekülphysik
 - Untersuchung von schnellen Anregungsprozessen von starken NIR-Strahlung mit C60 Fullerenen
 - Dynamik von An- und Abregungsprozessen in Atomen
 - z.B. Auger-Kaskaden