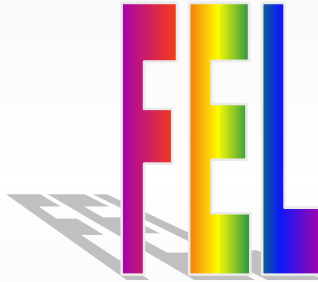


TESLA: Der Freie-Elektronen Laser

■ Jörg Rossbach, Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY

- 1) Was können heutige Strahlungsquellen ?
Was hätte man gerne?



- 2) Wie sieht ein Röntgen-FEL aus ?
- 3) Was haben wir bei DESY erreicht ?
- 4) Wie geht es weiter ?

Das Spektrum der elektromagnetischen Wellen

Für das Auge unsichtbar



Wellenlänge →

0.001 μm

0.01 μm

0.1 μm

1 μm

10 μm ... Meter ... km

Röntgenstrahlung

Ultraviolett

sichtb. Licht

Infrarot

Mikrowellen

Radiowellen



Bisher nur Quellen mit
inkohärenter Abstrahlung

Erzeugung **kohärenter** Strahlung:
klass. Laser Magnetrons Senderöhren

→ Hohe Leistung & Effizienz

FEL-- Funktionsprinzip

Strahlungsleistung einer oszillierenden punktförmigen Ladung $Q = N_e \cdot e$

$$P \propto Q^2$$

Punktladung strahlt kohärent

$$P \propto N_e^2 \quad !$$

„Punkt“ heisst vor allem: Länge des Elektronenpakets $< \lambda_{\text{radiation}}$

Röntgenröhre, Synchrotronstrahlung:

$$P \propto N_e$$

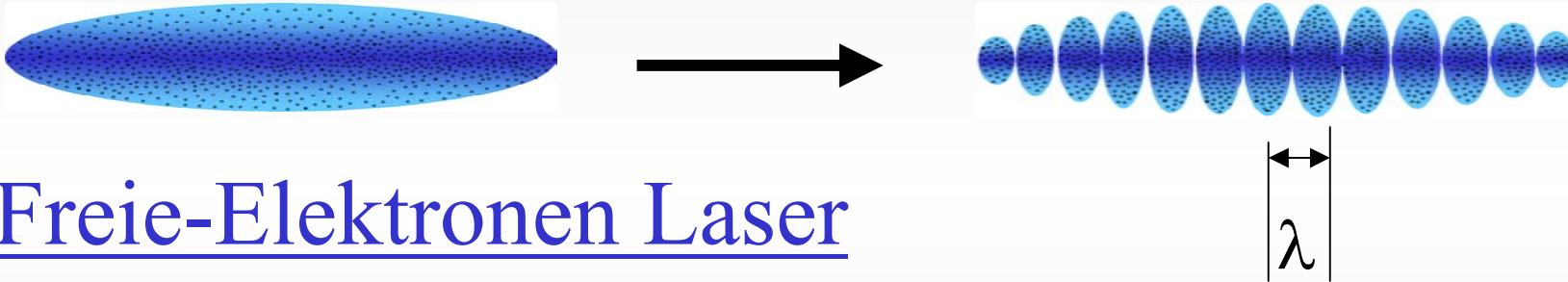
→ Potentielle Steigerung der Leistung um $N_e = 10^9 - 10^{10} !!$

Kohärente Bewegung ist alles was wir brauchen !!



FEL-- Funktionsprinzip

Trick: Man startet mit ziemlich grossen Elektronenpaketen und findet einen Mechanismus, mit dem sich das Paket selbst in kleine Scheibchen zerlegt, die kürzer als die Wellenlänge sind.



Freie-Elektronen Laser

(Motz 1950, Phillips ~1960, Madey 1970)

Spezielle Version:

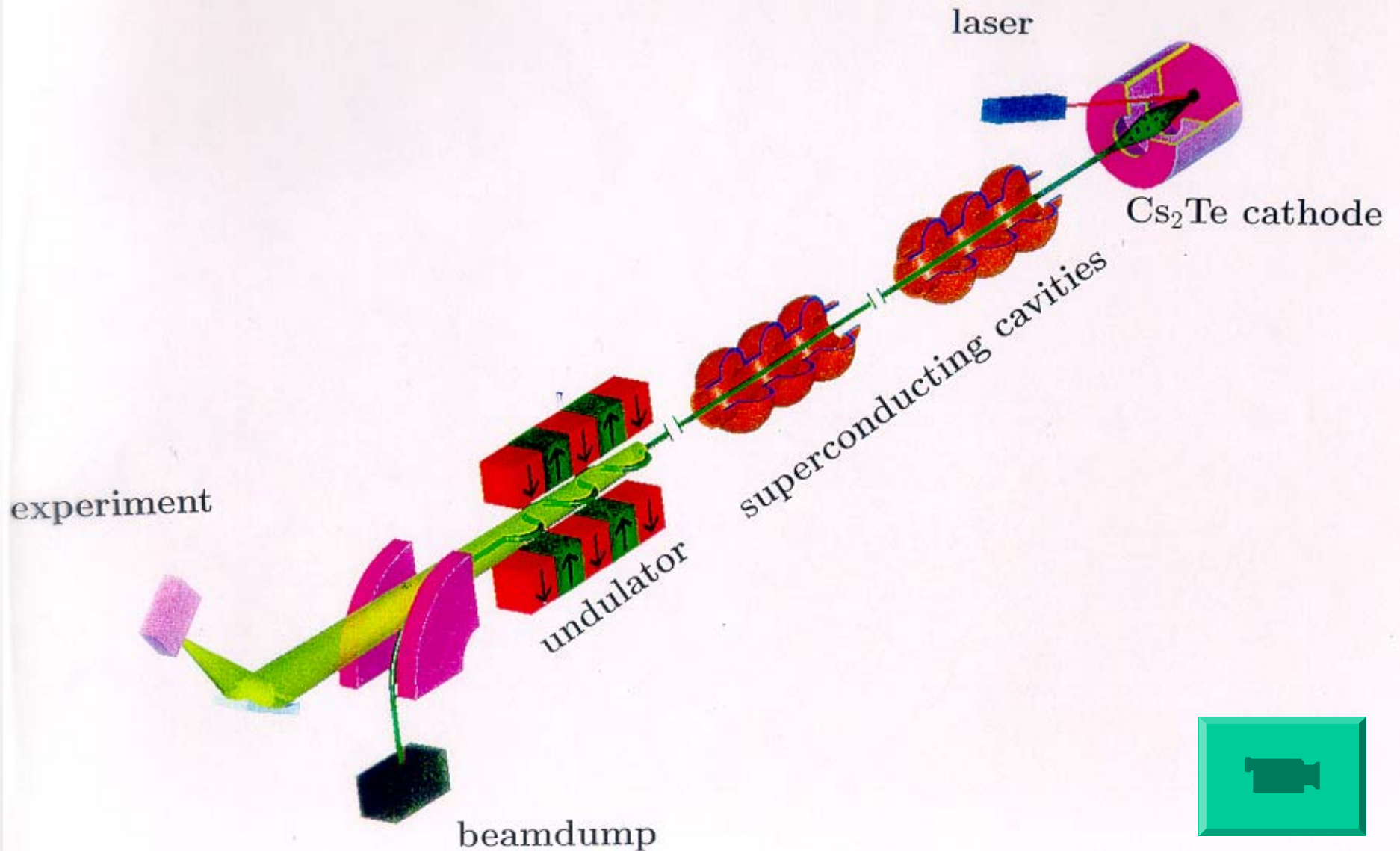
Starten von der spontanen Strahlung (kein Eingangssignal)

Sättigung innerhalb eines Durchganges (keine Spiegel)

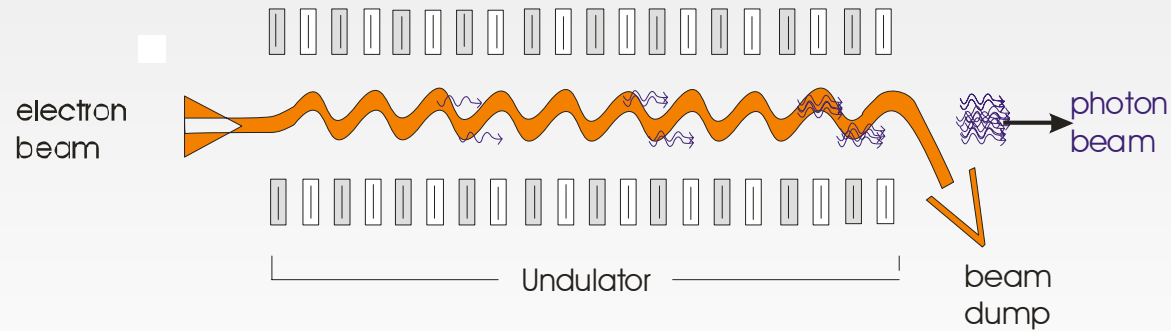
Selbst-verstärkte spontane Emission (SASE)

(Kondratenko, Saldin 1980)

FEL– Funktions-Schema

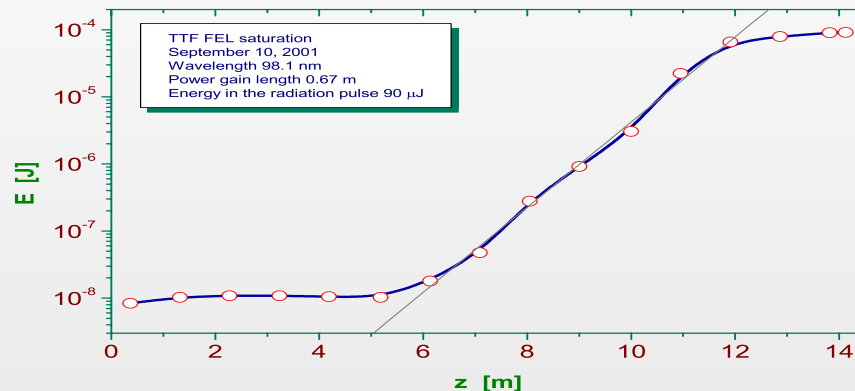
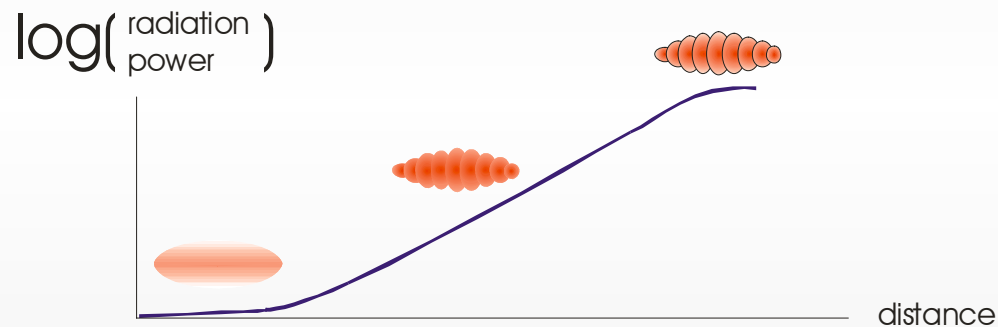


FEL-- Funktionsprinzip



Resonanzwellenlänge:

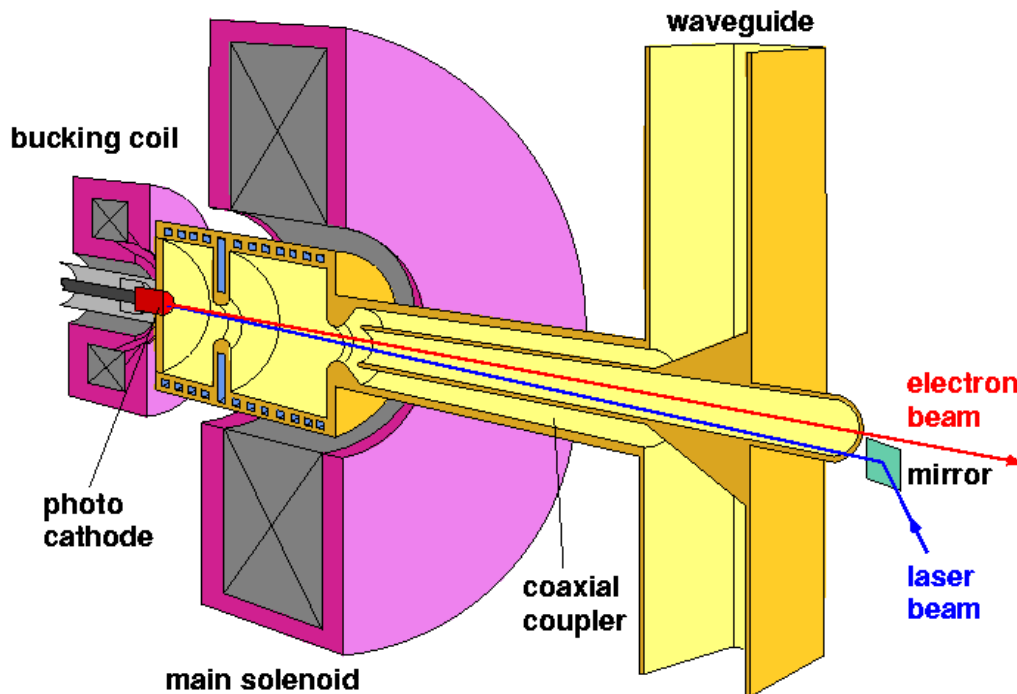
$$\lambda_{em} = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right)$$



Messung an der
TESLA Test Facility



Was haben wir erreicht: Elektronenquelle



Hauptkomponenten:

- Hochfrequenzresonator
- Photokathode
- UV laser
- Solenoidfeld

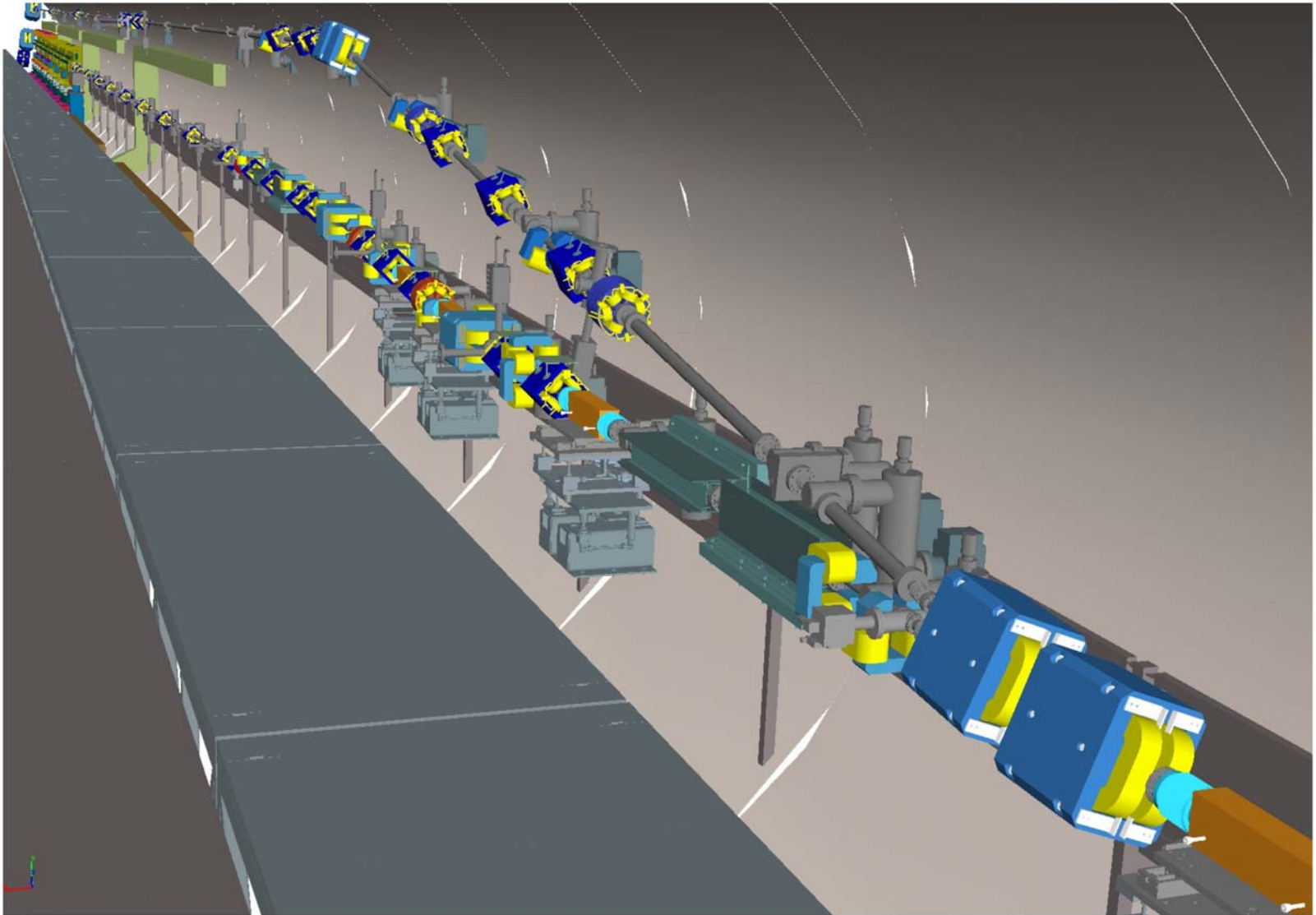
1) A0 Test Facility/Fermilab

2) Photo Injector Test Facility in DESY Zeuthen (Kollab. mit BESSY, MBI, TUD)

Erster Strahl Jan. 2002



Was haben wir erreicht: TESLA Test Facility in Hamburg

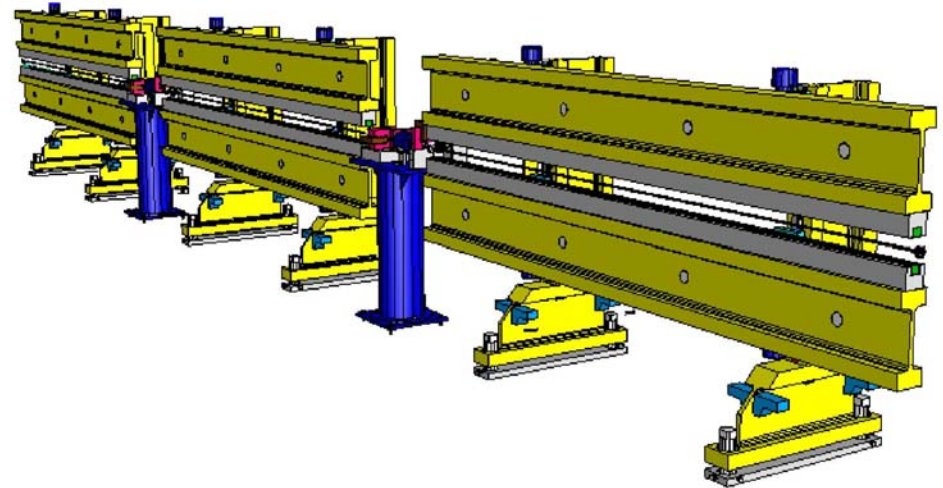


Was haben wir erreicht: Undulatoren

TTF FEL Undulator



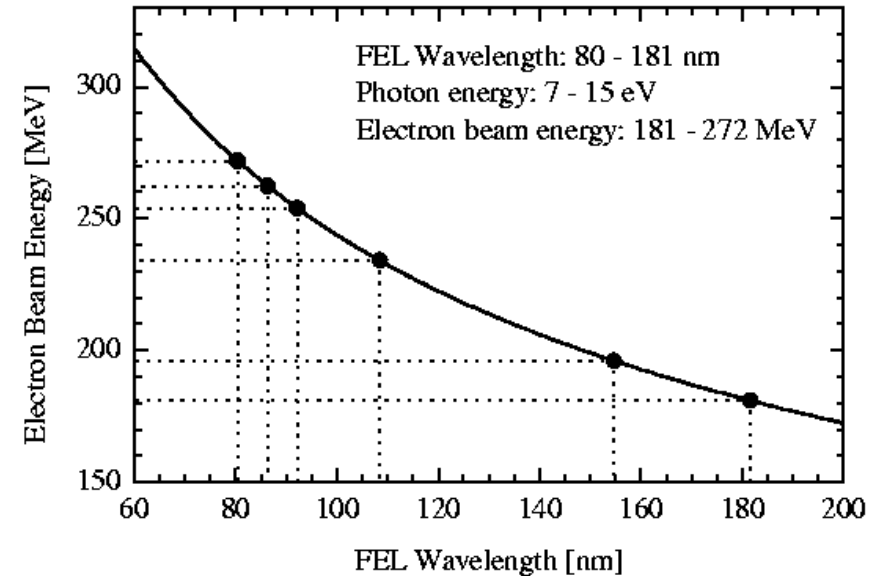
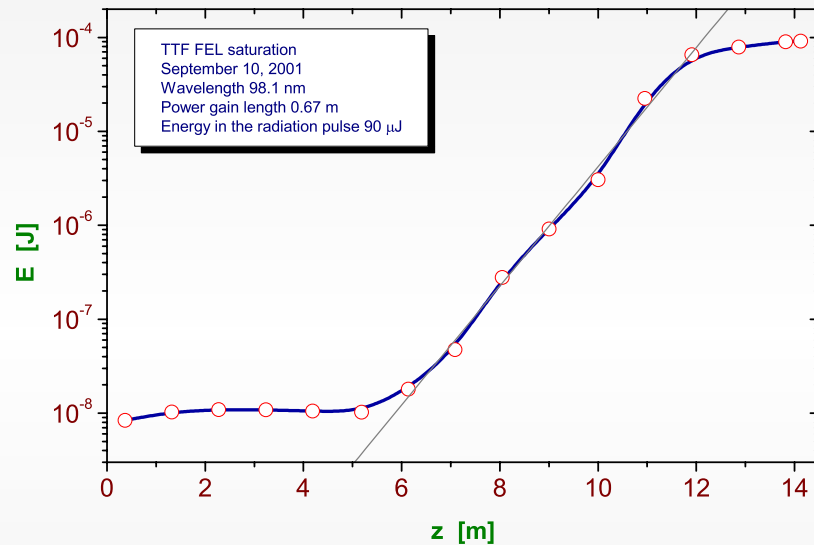
TESLA Undulatormodule



Was haben wir erreicht: der SASE FEL an der TTF in Hamburg

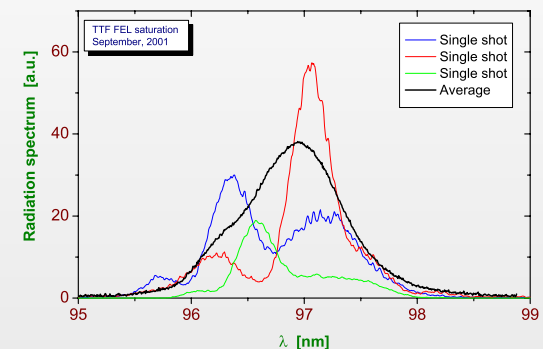
Laser Sättigung @ 80-120 nm

Durchstimmbarkeit der Wellenlänge:



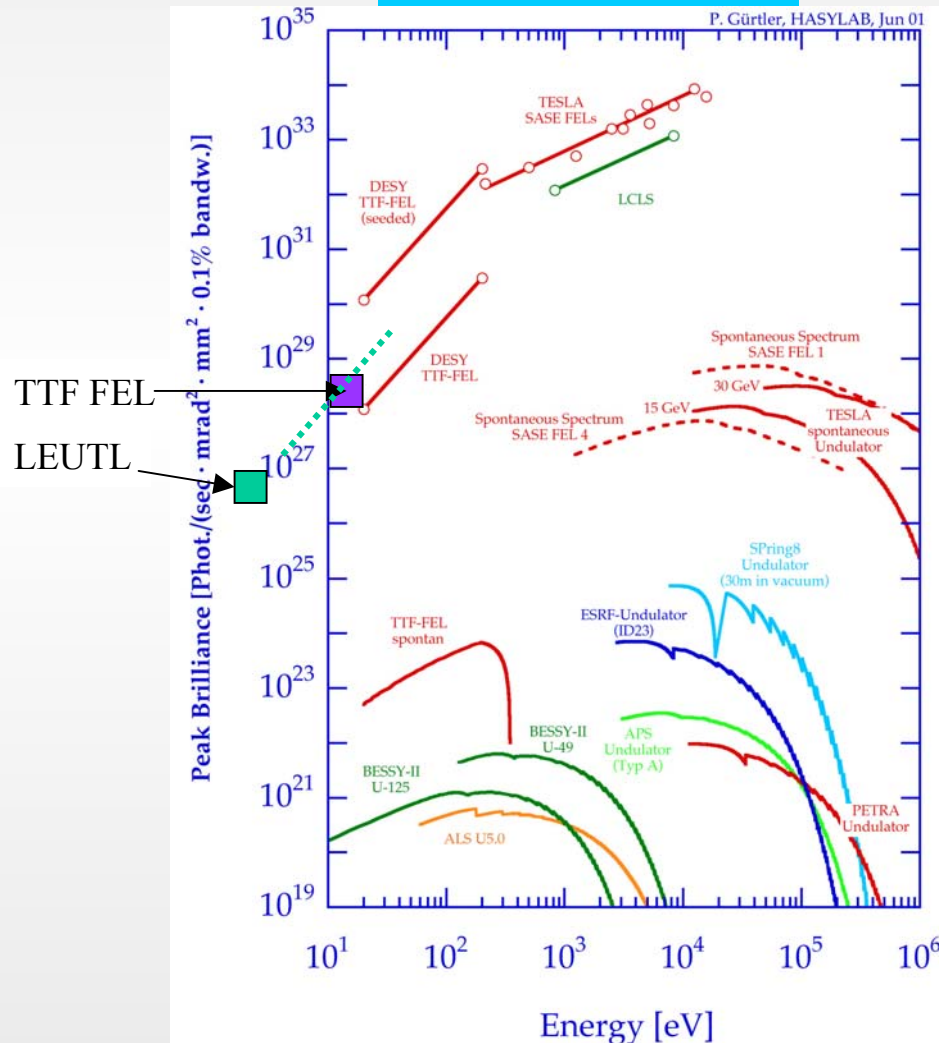
Radiation pulse duration (FWHM) 50-100 fs
Radiation peak power 1 GW
Spectrum width 1 %

Single pulse spectrum:

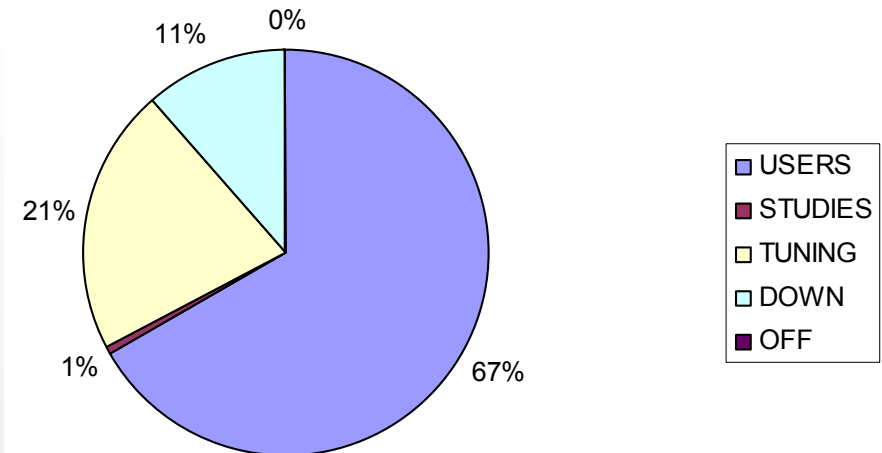


Was haben wir erreicht: Betriebserfahrung am TTF FEL

Spitzenbrillanz



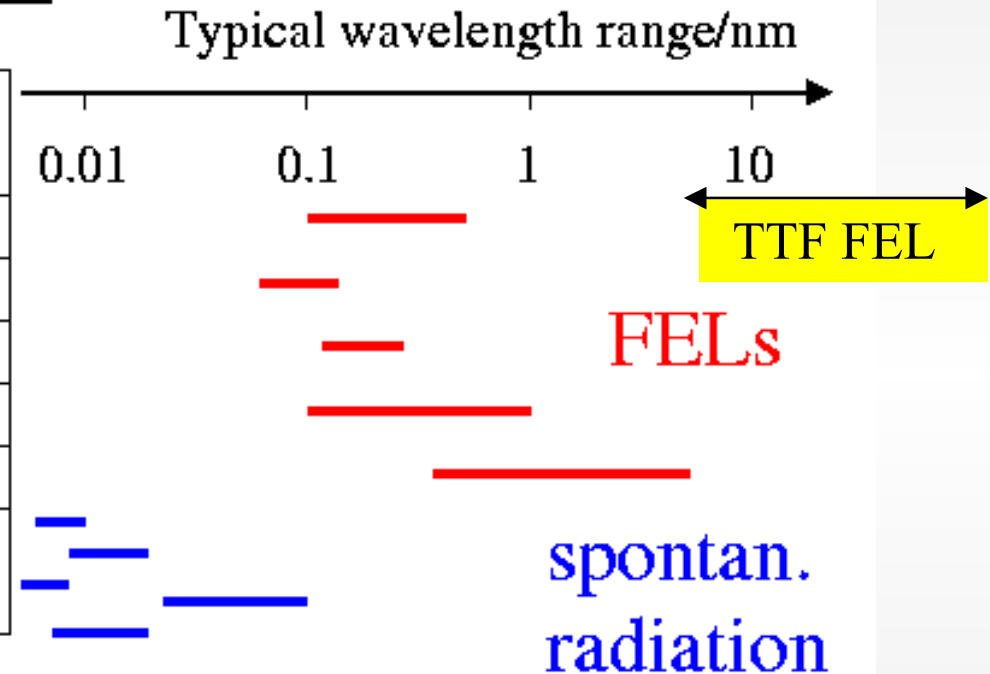
TTF typische Betriebsstatistik für 1 Woche 24h-Betrieb



Wie geht es weiter: Undulatoren für den TESLA Röntgenlaser

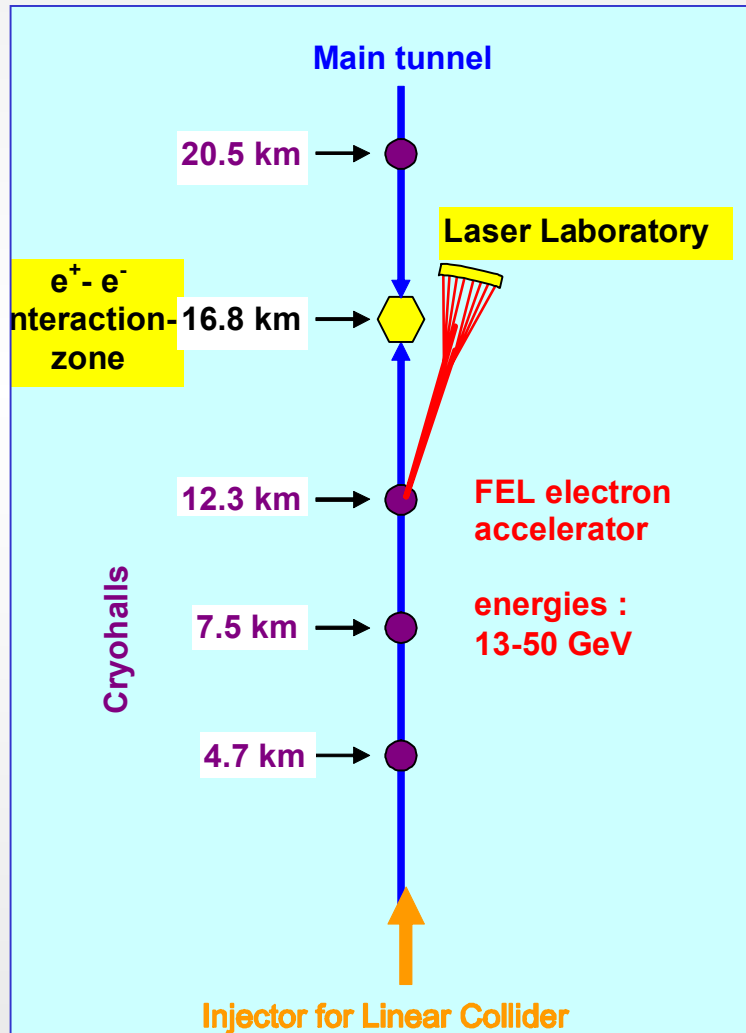
TESLA X-FEL Undulators

Device	Total length/m	Undulator period/mm	E/GeV
SASE-1	324	60	20 - 30
SASE-2	311	45	25
SASE-3	275	45	15 - 23
SASE-4	324	60	15 - 25
SASE-5	177	107	15 - 23
U1 – U5	61	30	15 - 50



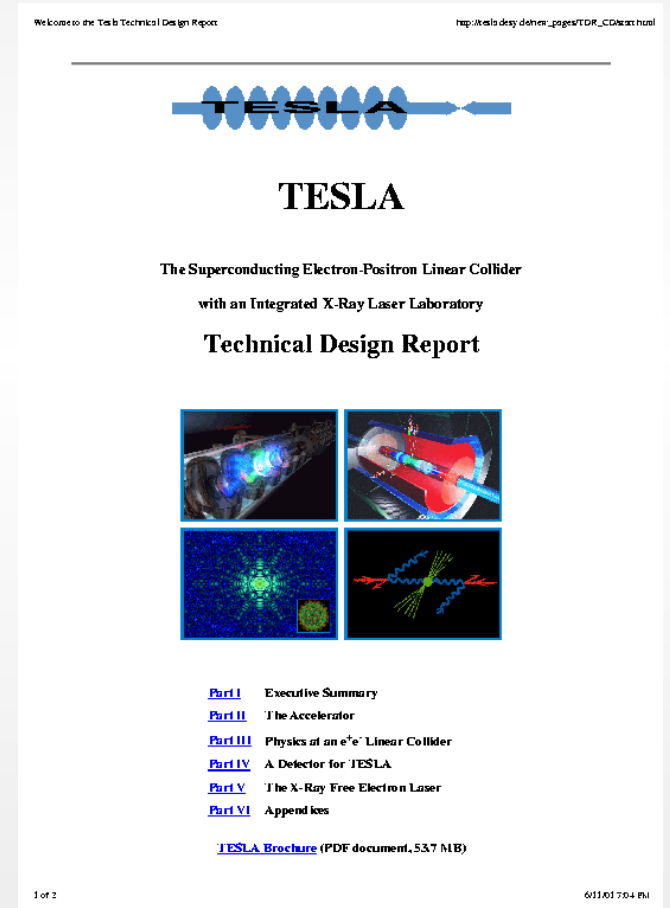
All undulators are planar, permanent magnet devices
 Except for SASE 5: circular, permanent magnet

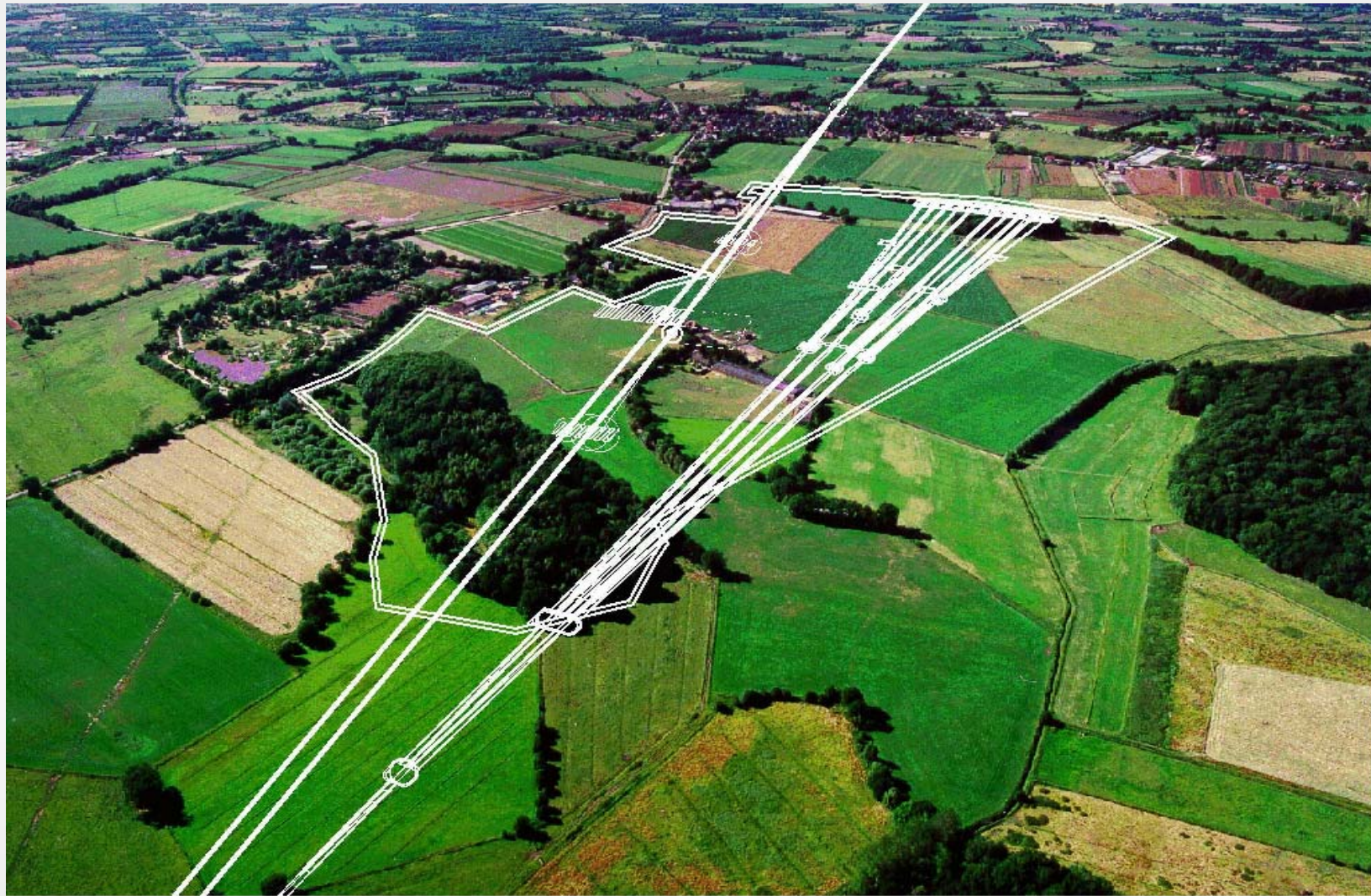
TESLA: Der Freie-Elektronen Laser



Vorgestellt
März 2001

Gegenwärtig
begutachtet
durch den
Wissenschaftsrat





Ein möglicher Standort für den TESLA XFEL nahe Hamburg

Zusammenfassung

Nachdem im letzten Jahrhundert der Wellenlängenbereich für perfekt kontrollierte Erzeugung elektromagnetischer Wellen von anfangs Kilometer (Radio) bis zuletzt Mikrometer (Laserlicht) gelang, stehen wir kurz davor, dies ins harte Ultraviolette und in den Röntgenbereich auszudehnen.

Freie-Elektronen Laser

werden dabei eine herausragende Rolle spielen:

kohärente, ultrakurze Röntgenpulse

Neben unzähligen wissenschaftlichen Anwendungen verspricht die erforderliche Spitzentechnologie reichlich “Spin-Off”.