

Grundlagen und Operation der transversal ablenkenden Struktur "LOLA".

Christopher Behrens
für das FLASH-Team

Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)

Betriebsseminar in Grömitz, 24. März 2010



Übersicht

1 Motivation

- Der Freie-Elektronen Laser in Hamburg (FLASH)
- Anforderungen an den Elektronenstrahl

2 Ursprung und Aufbau der transversal ablenkenden Struktur "LOLA"

- Eine kurze Geschichte der "LOLA"
- Aufbau und Prinzip der "LOLA"

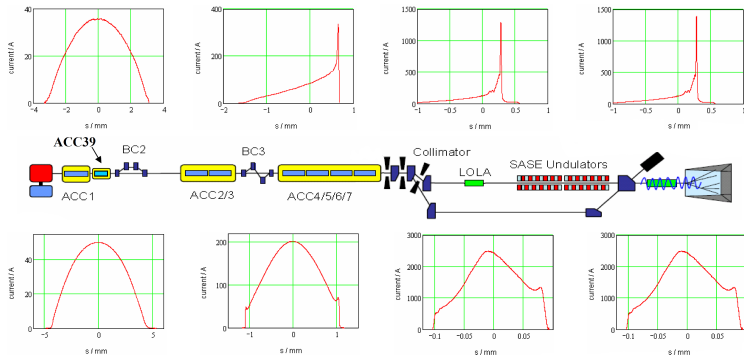
3 Funktionsprinzip, Auflösung und Beispielmessungen

- Funktionsprinzip für longitudinale Strahldiagnostik
- Kalibration und Bestimmung der longitudinalen Auflösung
- Beispielmessungen

4 Die LOLA-TDS nach dem FLASH Upgrade 2009-2010

- FLASH Erweiterung und Umbau des "LOLA-Aufbaus"

Hochverstärkender FEL (High-Gain oder Single-Pass FEL)



FEL's bei kurzen Wellenlängen (X-ray und EUV/VUV)

- Keine geeignete Spiegel (Vorsicht: XFELo) \Rightarrow Verstärkung in einem Durchlauf.
- Energieaustausch zwischen Elektronenstrahl und Strahlung im Undulator.
- Dichtemodulation mit der Wellenlänge der emittierten Undulatorstrahlung.
- Exponentieller Anstieg der Strahlungsleistung.

Exponentieller Anstieg und Gain-Länge

Gain-Länge (1d Theorie)

- $P \sim \exp\left(\frac{z}{L_g}\right) \Rightarrow$ Gain-Länge L_g klein halten!
- Gain-Länge (1d Theorie): $L_g \sim \left(\frac{\sigma_z^2}{I_p}\right)^{1/3}$
- Hoher Spitzenstrom und kleiner Strahlquerschnitt!

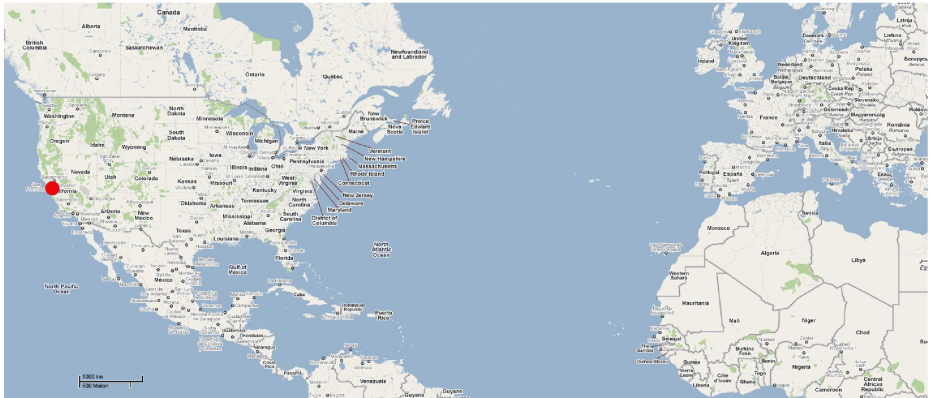
Gain-Länge (3d Theorie)

- Abhängigkeit von der Emittanz \Rightarrow klein halten!
- Abhängigkeit von der Energiebreite \Rightarrow klein halten!

Messbare Größen: "LOLA" plus dispersive Sektion.

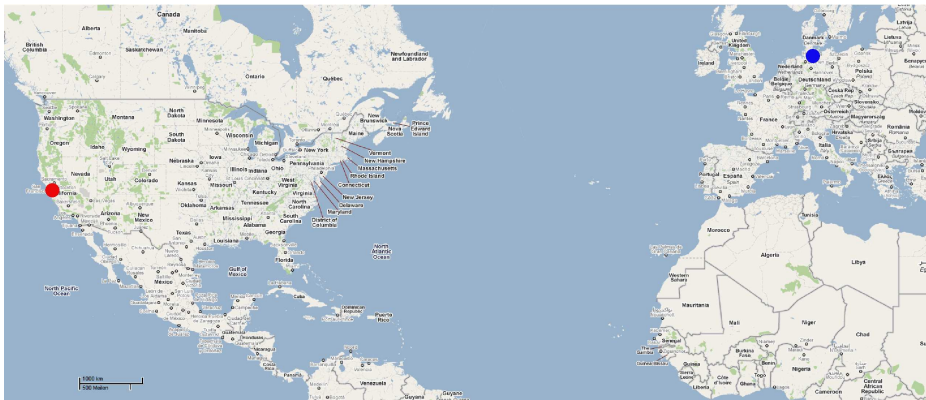
- Longitudinales Stromprofil des Elektronenpakets \Rightarrow Spitzenstrom.
- Emittanz entlang des Elektronenpakets \Rightarrow Scheibenemittanz.
- Energiebreite entlang des Elektronenpakets (longitudinaler Phasenraum).

Geschichte und ursprüngliches Ziel von "LOLA".



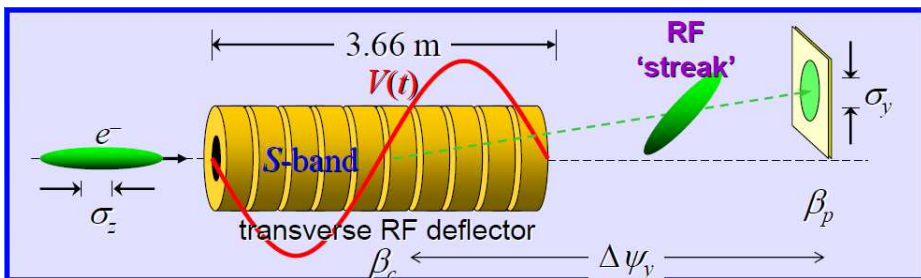
- Die Geschichte der ersten transversal ablenkenden Struktur (TDS) bei FLASH begann bei SLAC in den 1960er.
- Ein paar TDS vom Typ "LOLA" (genannt nach ihren Erfindern Loew, Larsen and Altenmueller) wurden für die Teilchenseparation mittels HF-Feldern entwickelt.

Geschichte und ursprüngliches Ziel von "LOLA".



- In Kollaboration mit SLAC wurde im Jahr 2003 eine LOLA-TDS bei FLASH installiert (früher noch TTF2).
- Im January 2010, im Rahmen des FLASH Upgrades 2009-2010, bekam "LOLA" dann eine neue Position in einem neuen dedizierten Aufbau für longitudinale Strahldiagnostik.

Transversal ablenkende HF-Struktur.

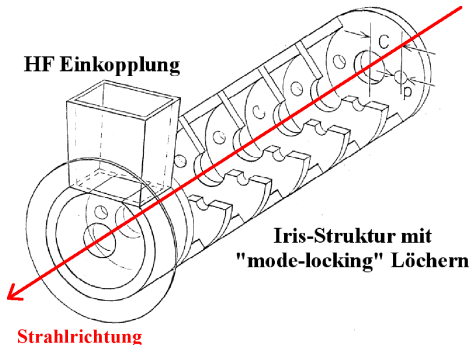
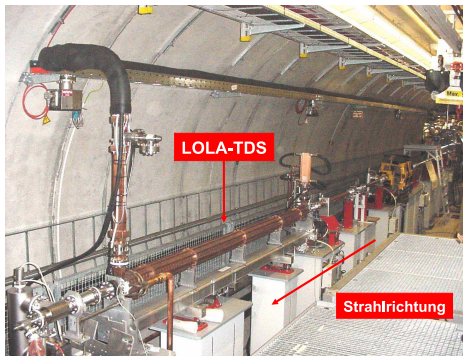


- Sinusförmige Ablenkspannung (transversal): $V_{\perp} = V_0 \cdot \sin(\phi)$.
- Einschuss-Phase ϕ bestimmt die transversale Ablenkung.
- Nulldurchgang (Näherung): Ablenkung ist linear abhängig von der long. Position.

Alternative Bezeichnungen

- TDS: Transverse Deflecting Structure.
- TCAV: Transverse Deflecting Cavity.
- RFD: RF-Deflector.

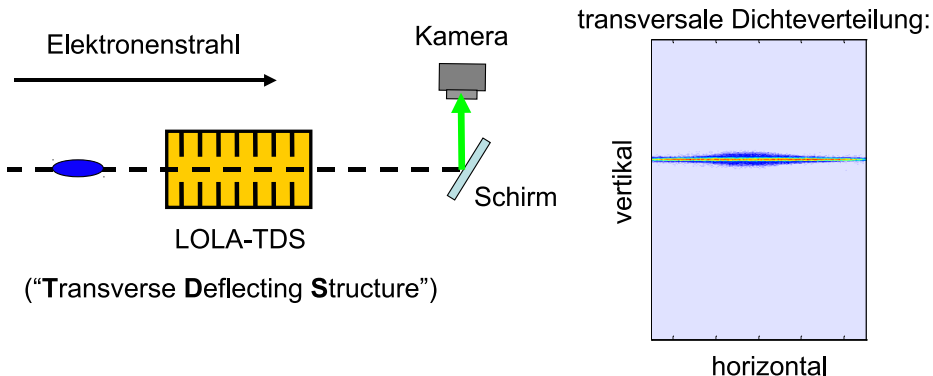
Die transversal ablenkende Struktur "LOLA" bei FLASH.



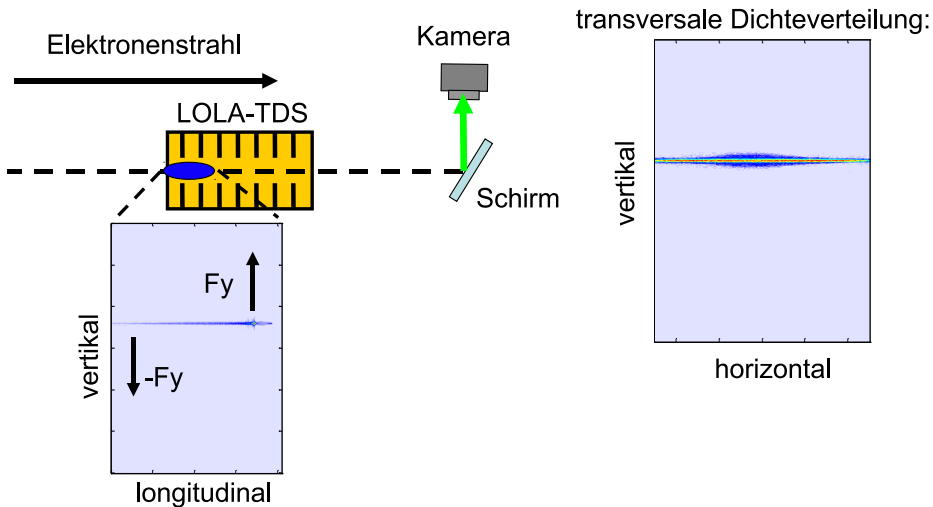
Die LOLA-TDS

- Normalleitende Wanderwellen HF-Struktur aus Kupfer.
- Iris-Struktur mit einer Gesamtlänge von 3.66 m und Zelllängen von 35 mm.
- Nominale HF-Frequenz von 2856 MHz (S band) und Phasenänderung pro Zelle von $\frac{2\pi}{3}$.
- Füllzeit von $0.64 \mu\text{s}$ (bei FLASH: 1 MHz Mikropuls-Wiederholrate).

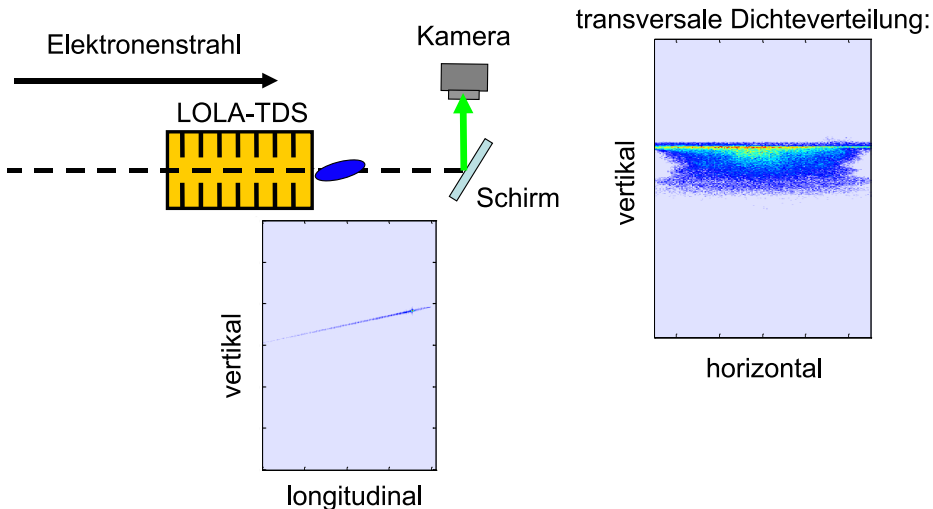
Analogien: Oszilloskop und "Streak"-Kamera.



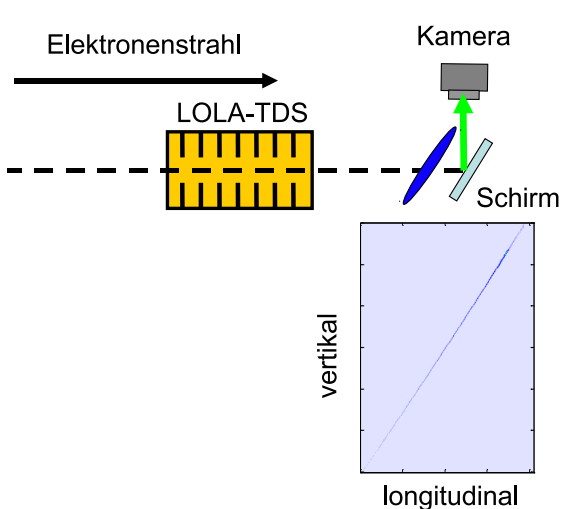
Analogien: Oszilloskop und "Streak"-Kamera.



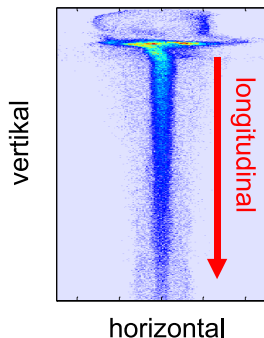
Analogien: Oszilloskop und "Streak"-Kamera.



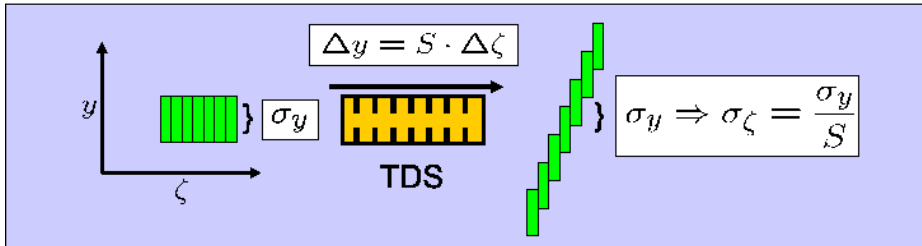
Analogien: Oszilloskop und "Streak"-Kamera.



transversale Dichteverteilung:



Longitudinale Strahldiagnostik.



- Eine LOLA übersetzt die longitudinale Koordinate in eine transversale Koordinate. (Vertikal: y)
- Die HF-Parameter und die Beschleuniger-Optik bestimmen die Stärke dieser Übersetzung.

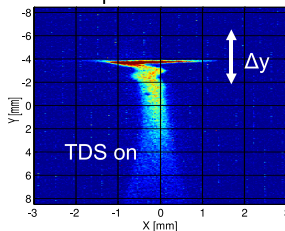
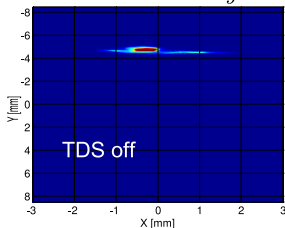
Kombination mit dispersiver Sektion (Dipol-Spektrometer) \Rightarrow Informationen über die Energie

- Dipol-Spektrometer übersetzt die Energie in eine transversale Koordinate. (Horizontal: x)
- Die Dispersion bestimmt die Stärke dieser Übersetzung.

Longitudinale Auflösung.

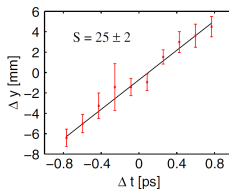
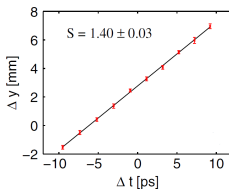
Measurement of Δy as a function
of the RF-phase $\Rightarrow S$

Estimation of σ_y



Typical values:

$$\begin{aligned}
 S &= 15 \\
 \sigma_y &= 150 \text{ } \mu\text{m} \\
 \Rightarrow \sigma_\zeta &= 10 \text{ } \mu\text{m} \\
 &\quad (30 \text{ fs})
 \end{aligned}$$



Kalibration

- Strahlgröße σ_y ohne LOLA-TDS.
- Ablage Δy als Funktion der LOLA-Phase \Rightarrow Kalibrationskonstante S .
- "Timing-Jitter": zusätzl. $\Delta y \sim \pm 0.2 \text{ mm} \cdot S$

Stromprofil und longitudinaler Phasenraum (nicht-lineare Kompression).

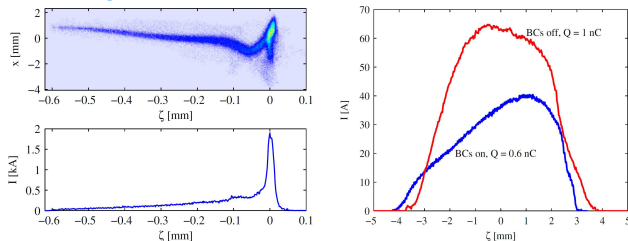


Figure: Stromprofil: mit Kompression (links), ohne Kompression (rechts).

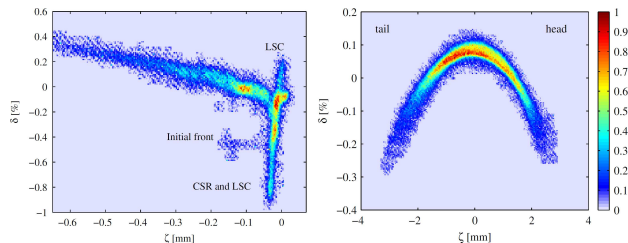


Figure: Long. Phasenraum: mit Kompression (links), ohne Kompression (rechts).

Emittanz und Phasenraum-Tomographie (FEL-Betrieb).

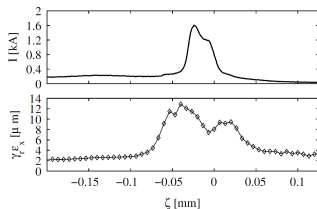


Figure: Emittanz entlang des Elektronenpakets (Scheibenemittanz).

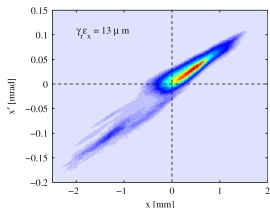


Figure: Projektierter horizontaler Phasenraum (Tomographie).

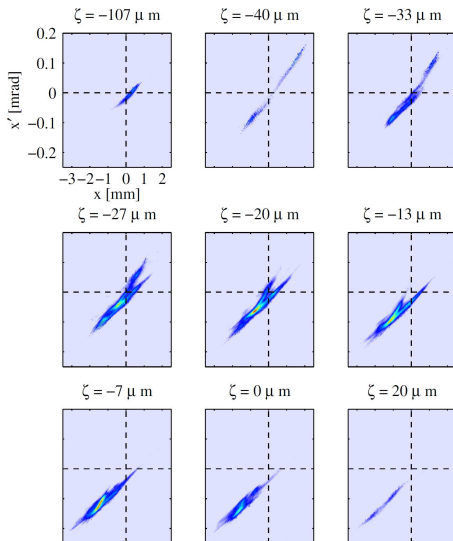
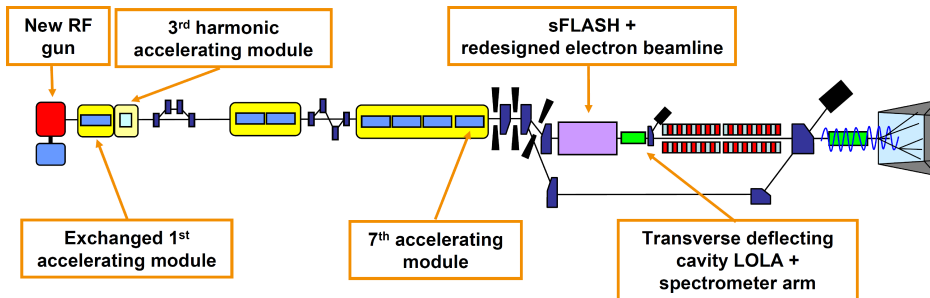


Figure: Horizontale Phasenräume entlang des Elektronenpakets (Tomographie).

Shutdown Aktivitäten: Sept. 2009 - Feb. 2010.



- Oberwellen-HF-System (ACC39) für die Linearisierung des longitudinalen Phasenraums.
- Dedizierter "LOLA-Aufbau" für longitudinale Strahldiagnostik direkt vor den Undulatoren.

Spezielle Anforderungen an den "LOLA-Aufbau"

- Parasitäre LOLA-Messungen während des FEL-Betriebs.
- Dipol-Spektrometer für die Untersuchung des longitudinalen Phasenraums.
- Beides mit verbesserter Auflösung.

Finiales Layout.

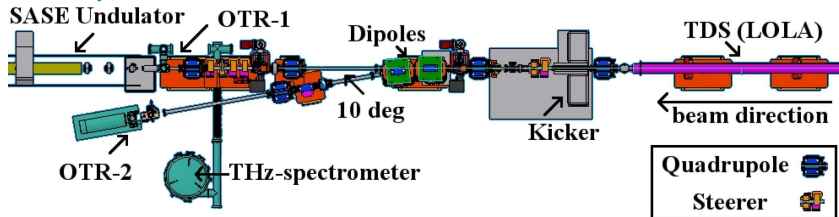


Figure: Aktuelles Design: Installiert im Februar 2010.

Beobachtungs-Stationen (OTR-1/2):

- Ausgerüstet mit Szintillator-Schirme. Vorsicht: Sättigung und Strahlfleck-Vergrößerung.
- OTR-1: Zusätzliche Spektroskopie im infraroten und sichtbaren Spektralbereich.
- Kicker: Extraktion von zwei individuellen Elektronenpaketen. (THz-Spektrometer und LOLA in Kombination.)

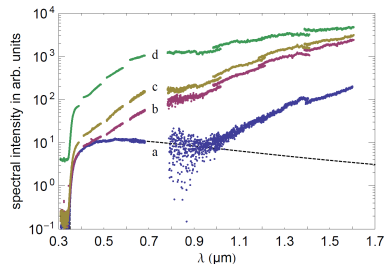
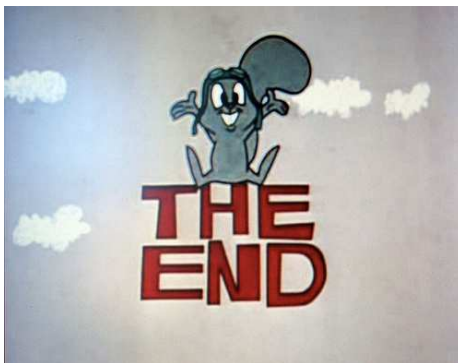


Figure: Spektrale Messungen von C(O)TR

Das Ende.



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!