

# Femtosecond optical synchronization systems for XFELs

A. Winter<sup>1</sup>, F. Ö. Ilday<sup>2</sup>, J. Chen<sup>2</sup>, F. Kärtner<sup>2</sup>,  
H. Schlarb<sup>1</sup>, F. Ludwig<sup>1</sup>, P. Schmueser<sup>1</sup>

DESY<sup>1</sup>, MIT<sup>2</sup>

26.8.2005



DPG Dortmund 2006

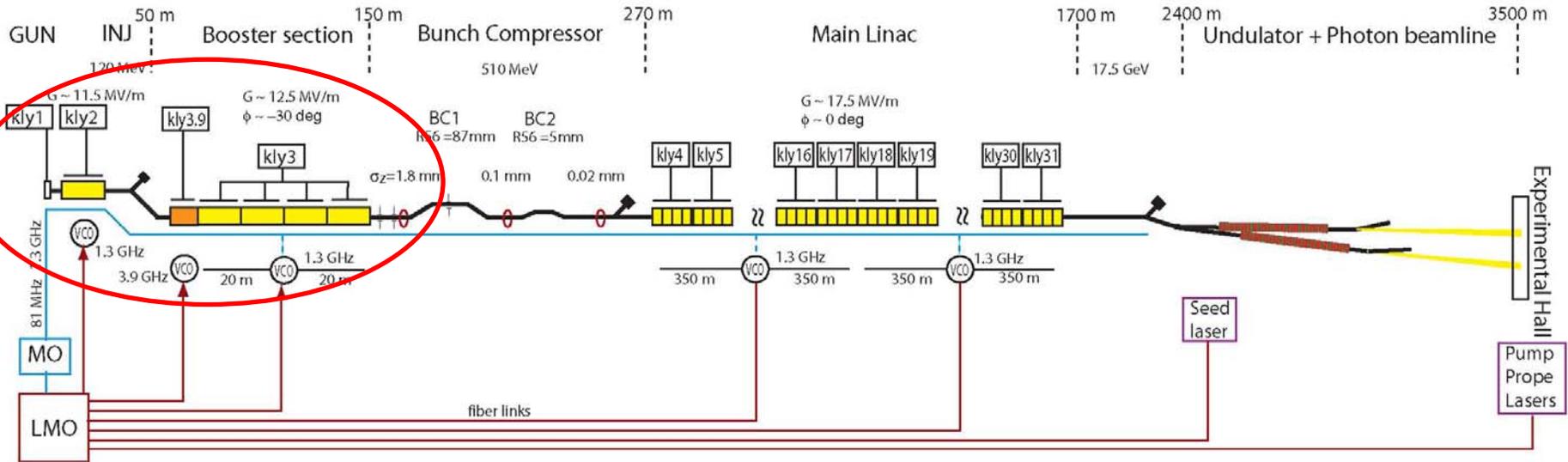
# Überblick

- Motivation
- Optische Synchronisationssysteme
  - Optischer Master Oszillator
  - Optical Signalverteilung und RF Rekonversion
  - Test in Beschleunigerumgebung
- Zusammenfassung und Ausblick

# Motivation

- Stabiles Timing wichtig für
  - Strahlqualität des Elektronenstrahles/des FEL Pulses
  - Pump-Probe Experimente
- Um Stabilität der Ankunftszeit des FEL Pulses ( $\sim 50$  fs) zu garantieren:
  - Amplituden und Phasenstabilität ( $10^{-4}$ , 0.01deg) in den kritischen Cavities
  - Verteilung einer ultrastabilen Referenz zu verschiedenen Bereichen
  - Synchronisation des probe Lasersystems zur Referenz mit  $\sim 10$  fs Stabilität
- Genaues Referenzfrequenz-Erzeugungs- und Verteilungssystem nötig
  - “femtosekunden” Synchronisation bedeutet, dass System einer Referenz mit wenig addiertem Zeitjitter für kleine Frequenzen folgt und intrinsisch kleinen Zeitjitter bei höheren Frequenzen hat (beides  $\sim 10$ fs)

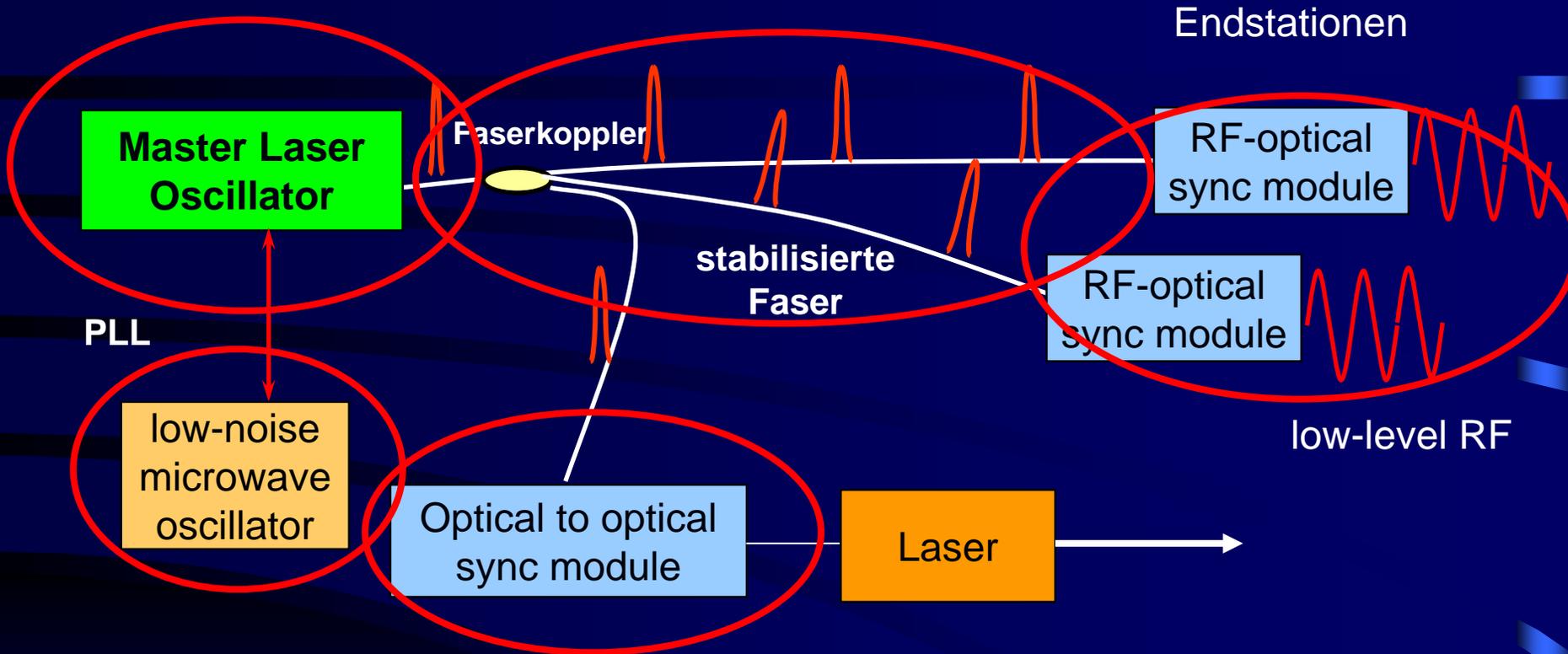
# Timing sensitive Bereiche



## •Injector/Booster Sektion

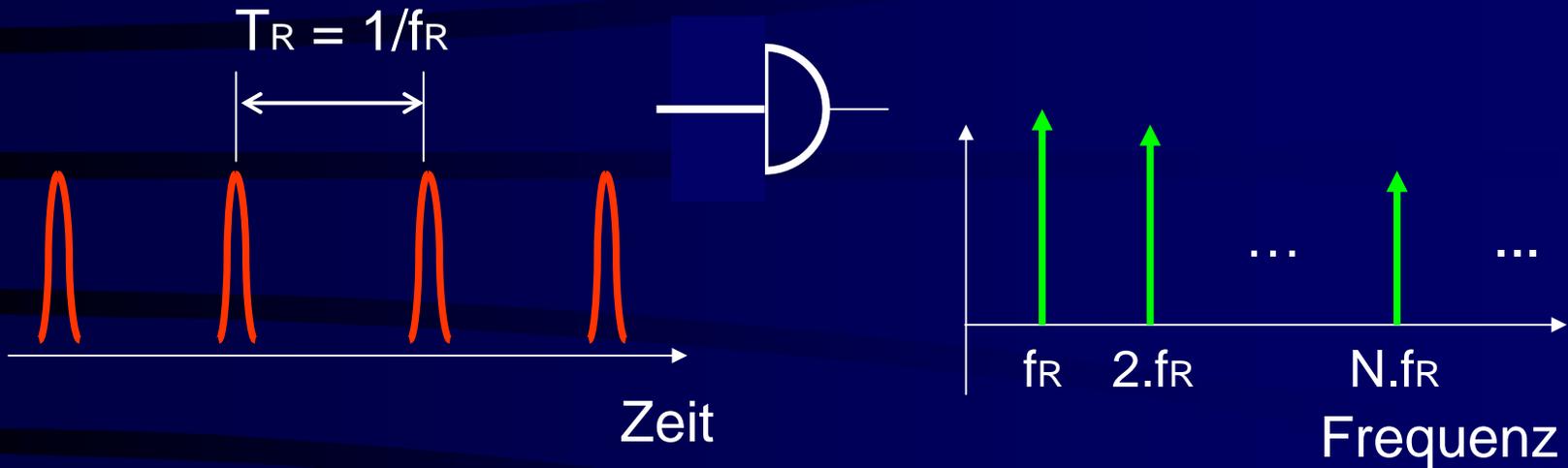
- Jitter der Elektronen-gun wird durch bunch compressor komprimiert ( $\sim 1/50$ )
- Injektorlaser kann optisch an den Master Laser angebunden werden
- Amplitude/Phasenstabilität extrem kritisch in Injektor Modulen (off-crest Beschleunigung)
- Jitter führt zu Variation der Zentroidenenergie des Bunches  $\rightarrow$  Transfer in Zeitjitter im Bunch Compressor

# Layout



- Master Laser produziert ultra-stabilen Pulstrain
- Master Laser ist an einen Mikrowellenoszillator angebunden (für Langzeitstabilität)
  - längenstabilisierte Fasern transportieren Signal zu Endstationen
- andere Laser können optisch angebunden werden, RF kann erzeugt werden

# Warum Pulse (modengekoppelter Laser)?



- RF ist in der Pulswiederholrate enkodiert.
- Jede Harmonische kann an Endstationen erzeugt werden.
- Pulse können Laserverstärker direkt seeden.
- Optische cross-Korrelatoren können zur Übertragungstabilisierung verwendet werden.

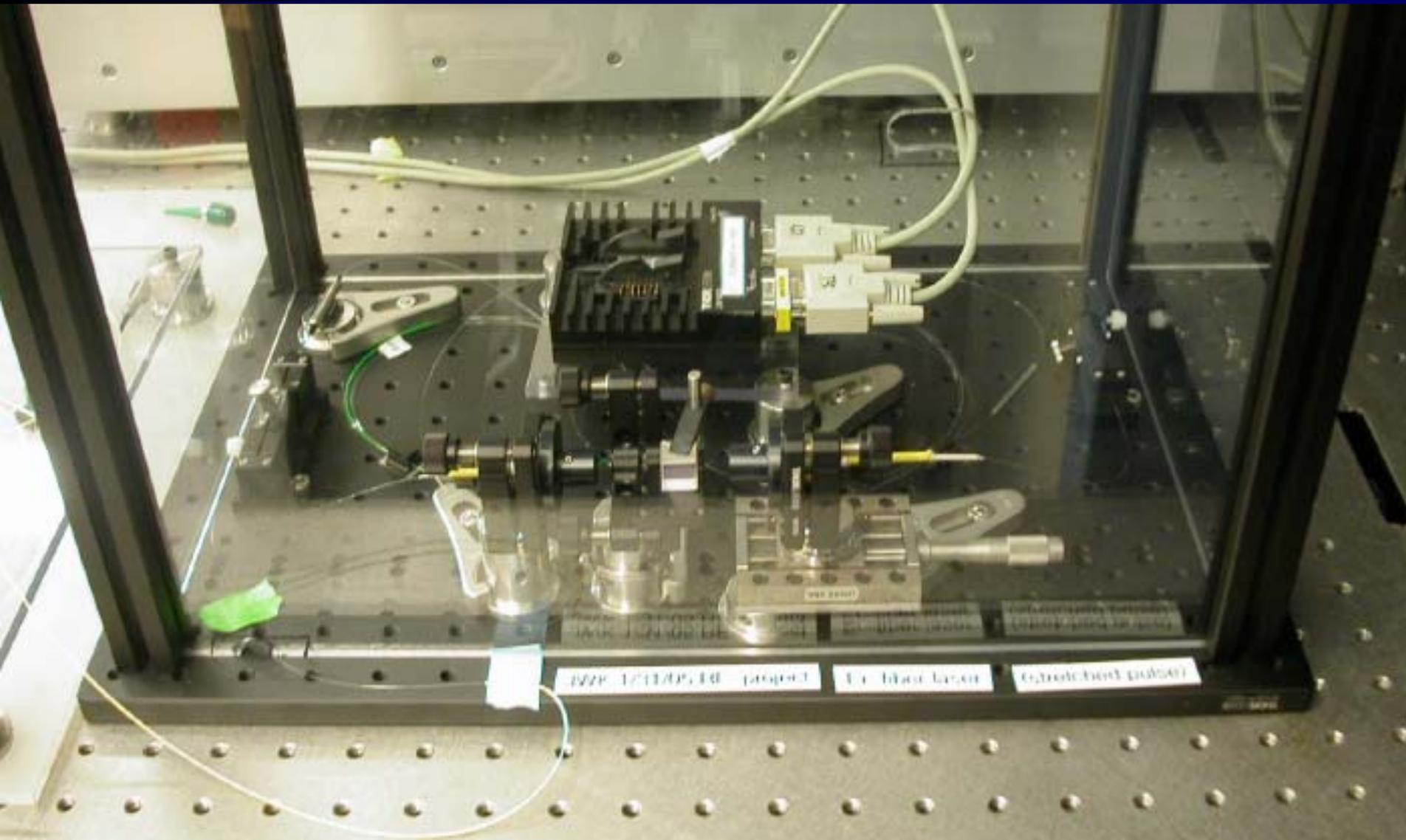
# Overview

- Motivation
- Optische Synchronisationssysteme
  - Optischer Master Oszillator
  - Optische Signalverteilung und RF Rekonversion
  - Test in Beschleunigerumgebung
- Zusammenfassung und Ausblick

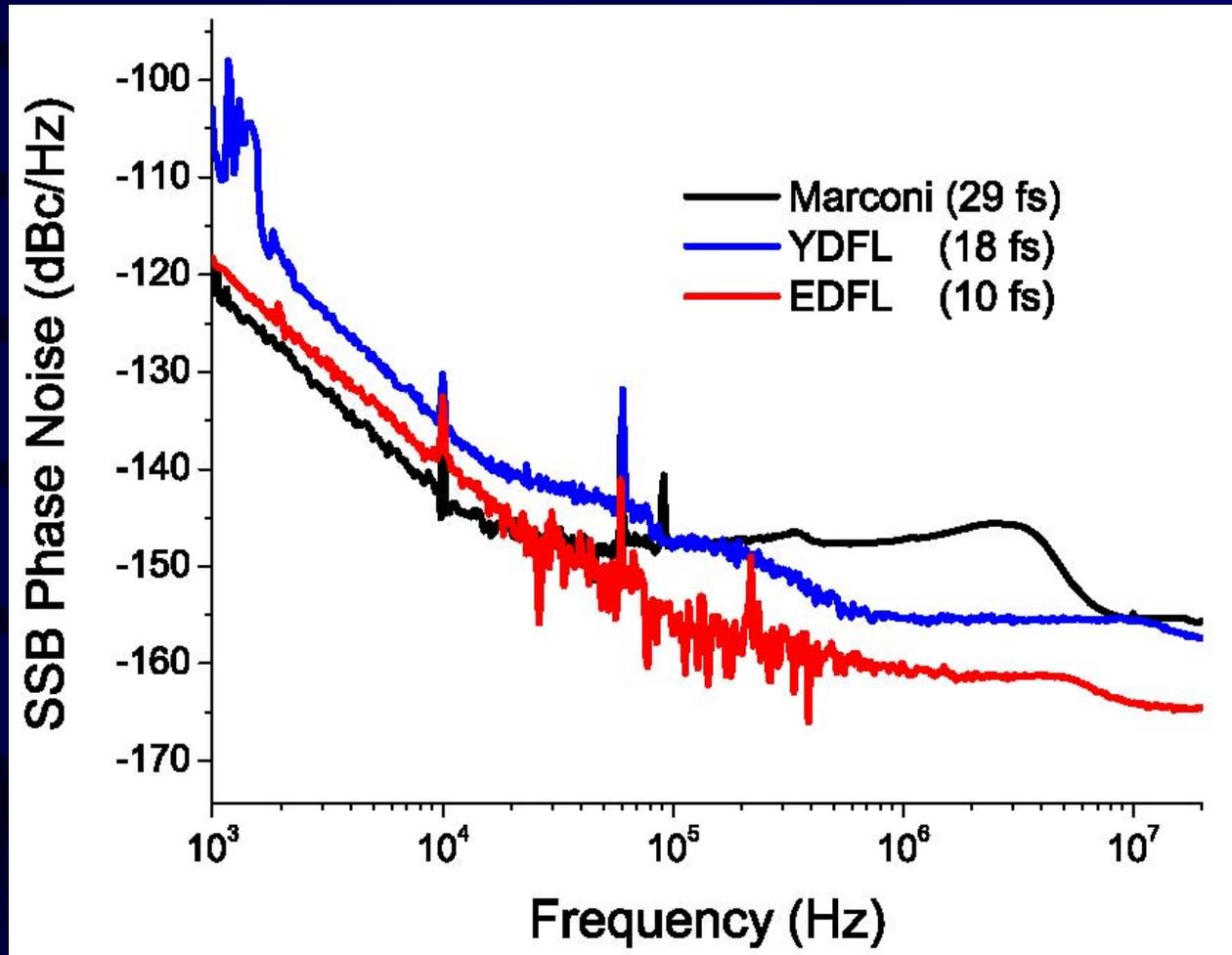
# Phasenrauscharme Laser Oszillatoren

- Passiv modengekoppelte Faserlaser haben extrem kleines Phasenrauschen bei hohen Frequenzen
- Er-dotierte Faserlaser:
  - sub-100 fs bis ps Pulslänge
  - 1550 nm (telecom) Wellenlänge (Verfügbarkeit von Komponenten)
  - Repetitionsrate 30-100 MHz
- Gute Langzeitstabilität ohne Unterbrechung:
  - Ununterbrochener Betrieb über Wochen mit minimalen Schutz (Plexiglasbox)
  - Verwendung mehrerer Laser für Redundanz

# Erbium-doped fiber laser



# Zeitjitter von Faserlasern



- Alle Messungen auf 1 GHz skaliert
- Rauschfloor durch Photodetektor limitiert
- Theoretischer Rauschfloor  $\sim 1$  fs

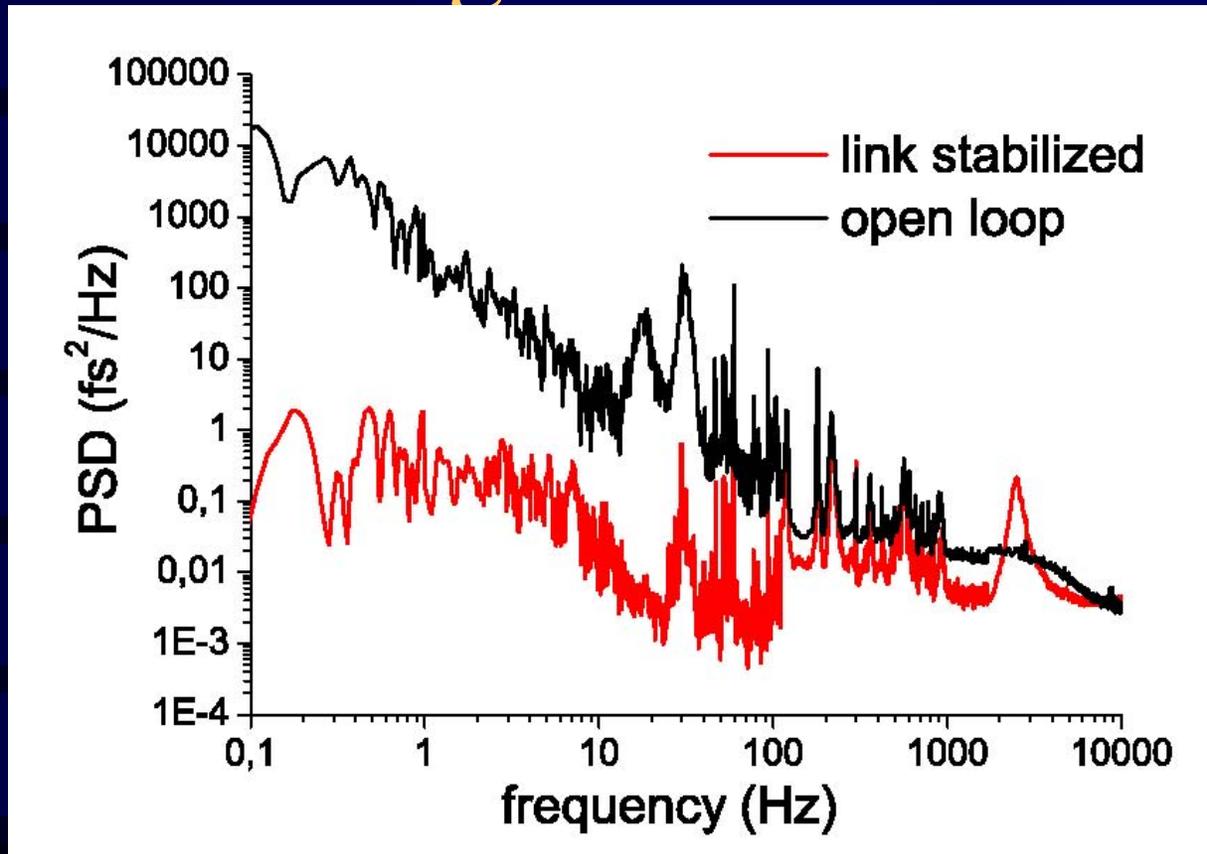
# Test in Beschleunigerumgebung

- Wie gut können Laborergebnisse reproduziert werden ?
- Test am MIT Bates Beschleunigerlabor:
  - Anbindung des EDFL an Bates RF Master Oszillator
  - Übertragung der Pulse durch 500 m Glasfaser
  - Test der Faserlängenstabilisierung



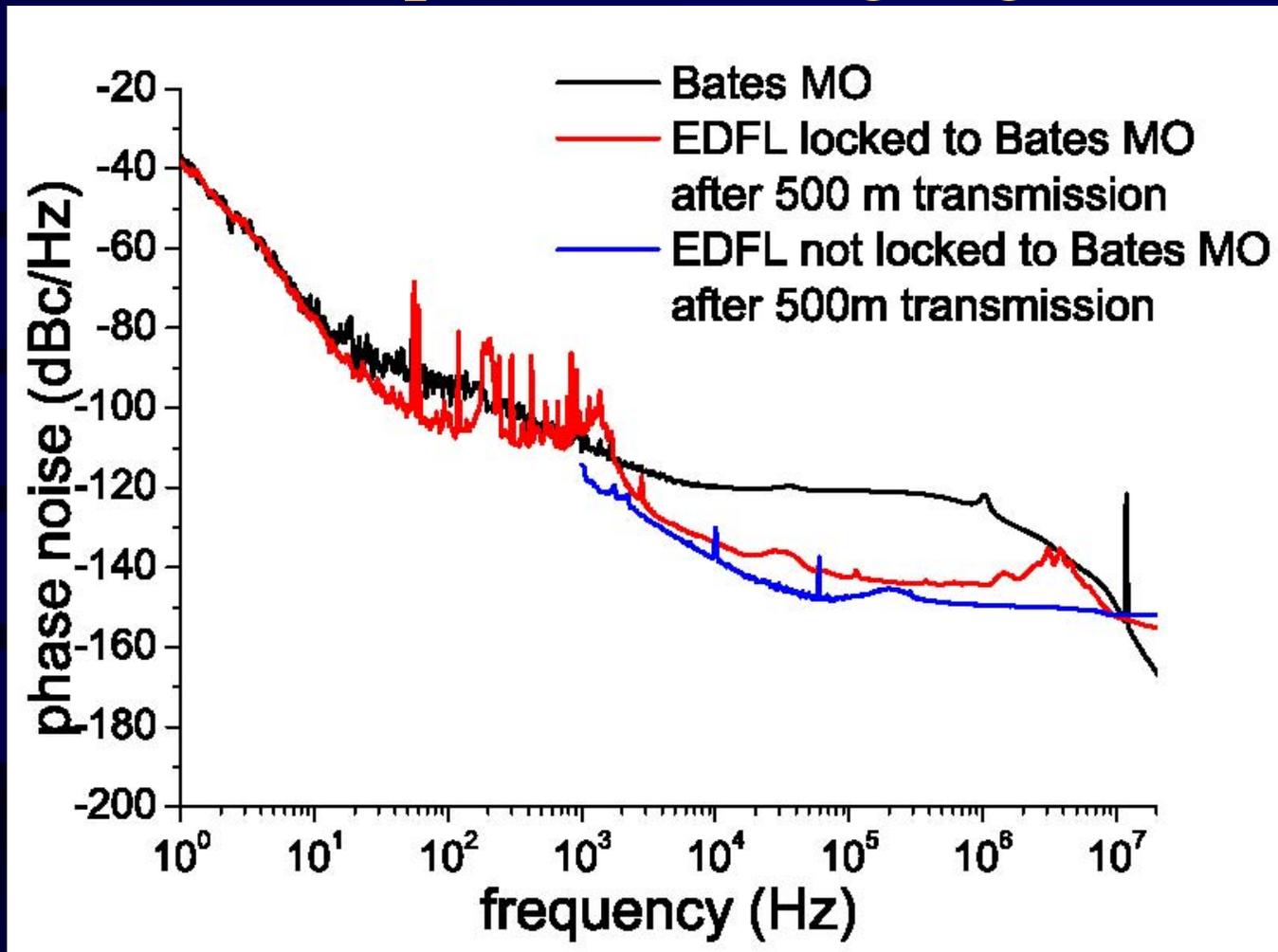


# Ergebnisse



- Faser link intrinsisch sehr stabil (offenes Feedback) (60 fs von 0.1 Hz...5 kHz)
- Rauschen wird signifikant reduziert (12 fs von 0.1 Hz .. 5kHz)
- Kein signifikantes Rauschen bei höheren Frequenzen
- Sub-20 fs stabiler Faserlink nur mit RF feedback
- Optische Cross-Korrelatoren versprechen sub-fs Stabilität.

# Frequenzübertragung



- Jitter durch PLL: ~30 fs (10 Hz..2 kHz)
- Additiver Gesamtjitter (link, PLL, erhöhtes Hochfrequenzrauschen) < 50 fs
- Insgesamt: Verbesserung von 272 fs auf 178 fs (10Hz .. 20 MHz)
- Spurs sind technisches Rauschen (Netzteile etc.)!

# Zusammenfassung und Ausblick

- Erfolgreiche Demonstration eines vollständigen Systems in einer Beschleunigerumgebung mit 500 m Faserlink
- sub-20 fs zusätzlicher Jitter durch Übertragung (0.1Hz .. 20MHz)
- 178 fs absoluter Zeitjitter limitiert durch MO (10Hz .. 20 MHz)
- Zeitjitter im wesentlichen technischer Natur → kann eliminiert werden.
- Verlässliche, ununterbrochene Funktion über ~ Woche.
- In ein paar Jahren: < 10 fs Synchronisation möglich
- Aufbau eines Testsystems im VUVFEL in 2006/2007

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit !