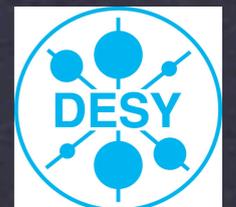


Spezielle Diagnostik und optische Synchronisation mit Femtosekunden Auflösung bei FLASH

Seminar Forschungszentrum Rossendorf (FZD) 6.Juli 2010

Bernhard Schmidt, DESY-FLA



○ Optische Synchronisation

- Hintergrund - Historie - Methodik
- Komponenten und Ziele
- Erreichtes, Status und Pläne

○ Longitudinale Diagnostik

- Elektrooptische Monitore
 - vom Experiment zum Werkzeug
- Kohärente Strahlung
 - Spektroskopie von THz Strahlung

Warum optische Synchronisation statt HF - Kabel ?

- ◆ Probleme bei grossen Anlagen, bis ~km Signalwege
- ◆ Synchronisation auf $< 10 \text{ fs} = 3 \mu\text{m}/c$ -> Stabilität $10^{-5} - 10^{-6}$
- ◆ Temperatur-, Luftdruckschwankungen im ps Bereich (Kabel UND Faser)

aktive Stabilisierung der Signallaufzeit

HF (z.B. 1.3 GHz) : $10 \text{ fs} = 0.005 \text{ Grad}$

optische Frequenzen

weitere Vorteile des optischen Systems :

- ◆ optische „Mutteruhren“ (MasterLaserOscillator) -> höhere Zeitstabilität über kurze Zeiten (geringeres Phasenrauschen für $f > 10 \text{ kHz}$) als HF
- ◆ direkte Anbindung von Lasersystemen (Photoinjektor, Diagnose, Experimente..) **essentiell für seeded-FEL (sFLASH)**
- ◆ neue optische Diagnosetechniken mit hoher Auflösung (BeamArrivalMonitor etc.)

Lösungsansätze :

MOPAS028

Proceedings of PAC07, Albuquerque, New Mexico, USA

DEMONSTRATION OF FEMTOSECOND-PHASE STABILIZATION IN 2 KM OPTICAL FIBER *

J. W. Staples, R. Wilcox and J. M. Byrd, LBNL, Berkeley, CA 94720, USA

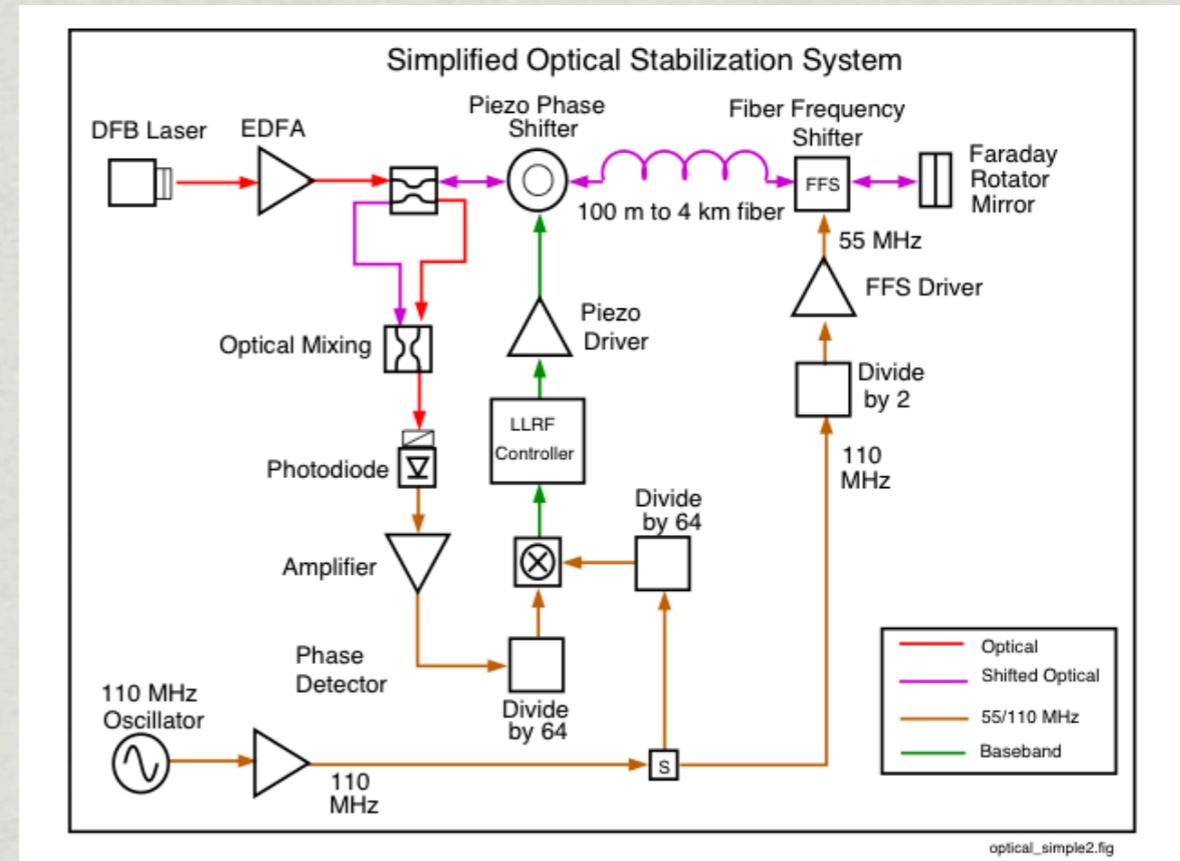
1.) CW System, interferometrisch stabilisiert die „optische Länge“ (Phasenlaufzeit) (LBNL / Berkeley)

Vorteile :

- keine Delay-Mechanik
- kommerzielle Komponenten
- liefert direkt HF Signal

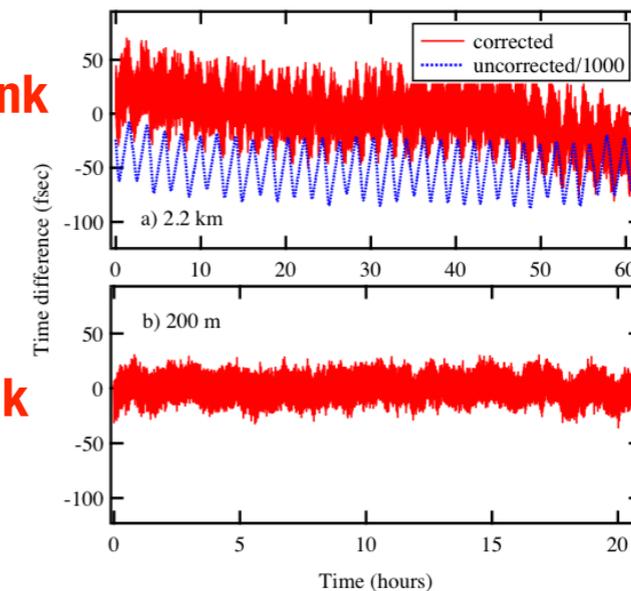
Nachteile :

- Phasen-Gruppen-Geschwindigkeit muss durch separate Messung korrigiert werden
- zwei Fasern pro Link
- keine direkte Laseranbindung



20 fs RMS. 2,2 km link

9 fs RMS. 200 m link



Status : Prototyp, Test bei LCLS

Lösungsansätze :

1.) CW System, interferometrisch stabilisiert die „optische Länge“ (Phasenlaufzeit) (LBNL / Berkeley)

Vorteile :

- keine Delay-Mechanik
- kommerzielle Komponenten
- liefert direkt HF Signal

Nachteile :

- Phasen-Gruppen-Geschwindigkeit muss durch separate Messung korrigiert werden
- zwei Fasern pro Link
- keine direkte Laseranbindung

Status : Prototyp, Test bei LCLS

MOPAS028

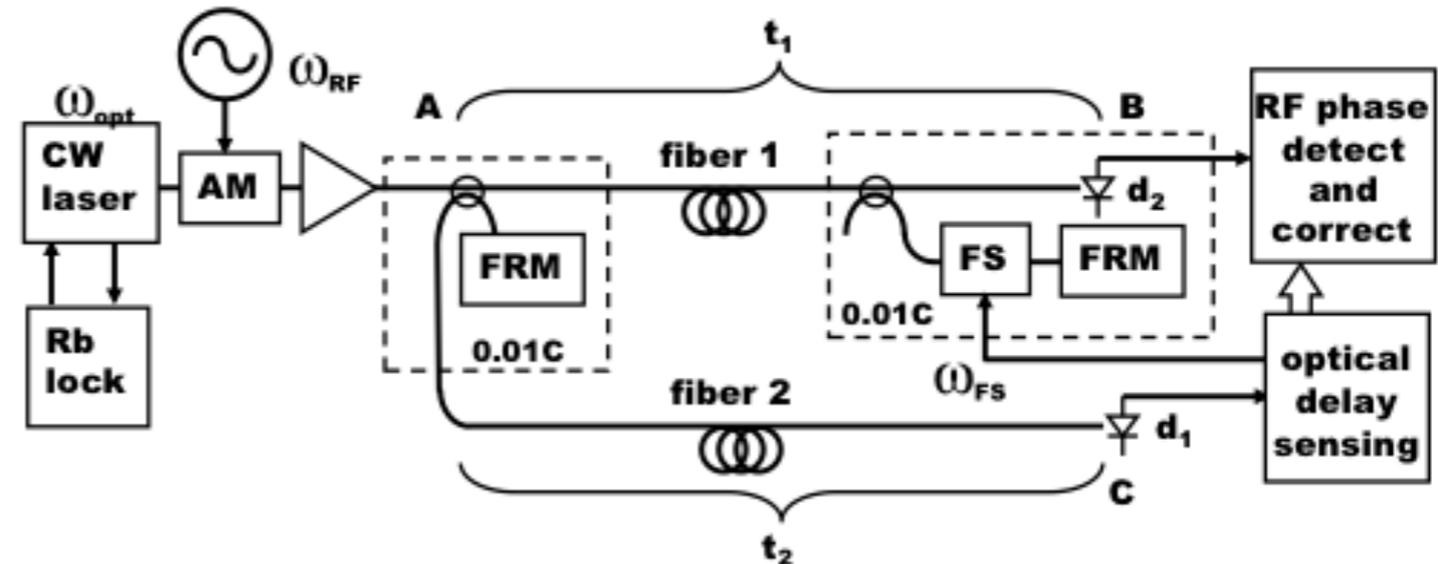
Proceedings of PAC07, Albuquerque, New Mexico, USA

DEMONSTRATION OF FEMTOSECOND-PHASE STABILIZATION IN 2 KM OPTICAL FIBER *

J. W. Staples, R. Wilcox and J. M. Byrd, LBNL, Berkeley, CA 94720, USA



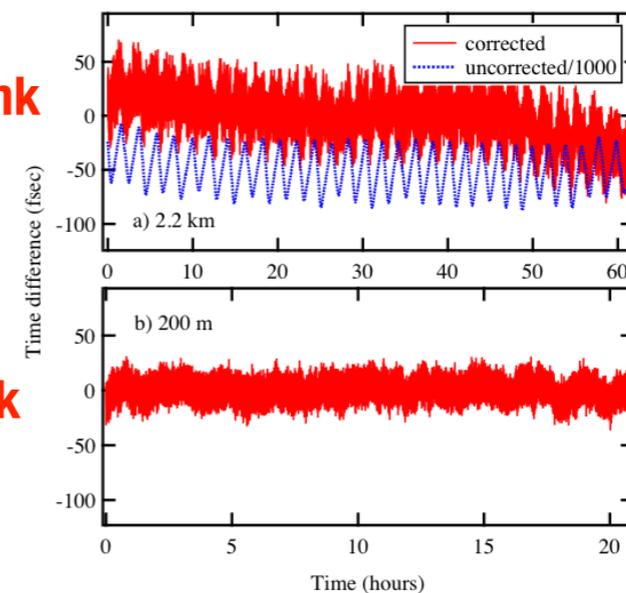
aktuelle Version (Proc. IPAC 2010)



optical_simple2.fig

20 fs RMS. 2,2 km link

9 fs RMS. 200 m link



2.) Opt. Pulsverteilungssystem aktive Stabilisierung der Pulslaufzeit (MIT / DESY)

Vorteile :

- stabilisiert direkt Signalphase
- direkte Laseranbindung

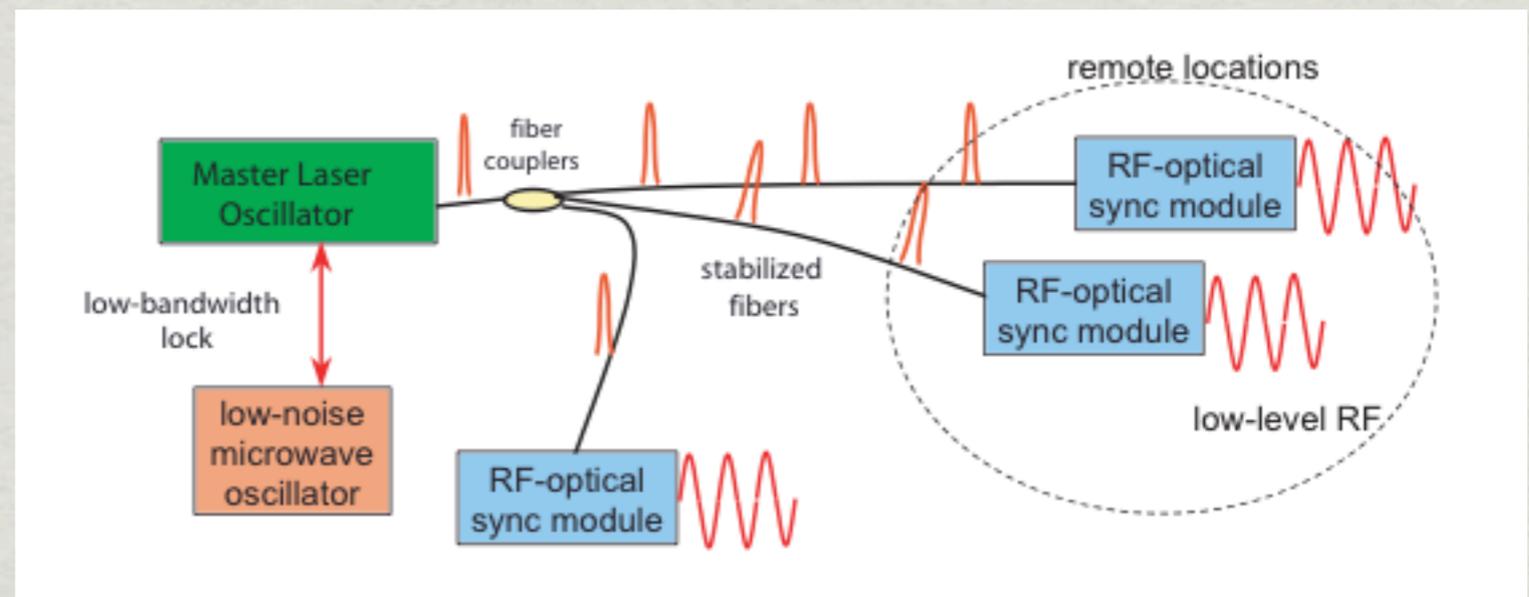
Nachteile :

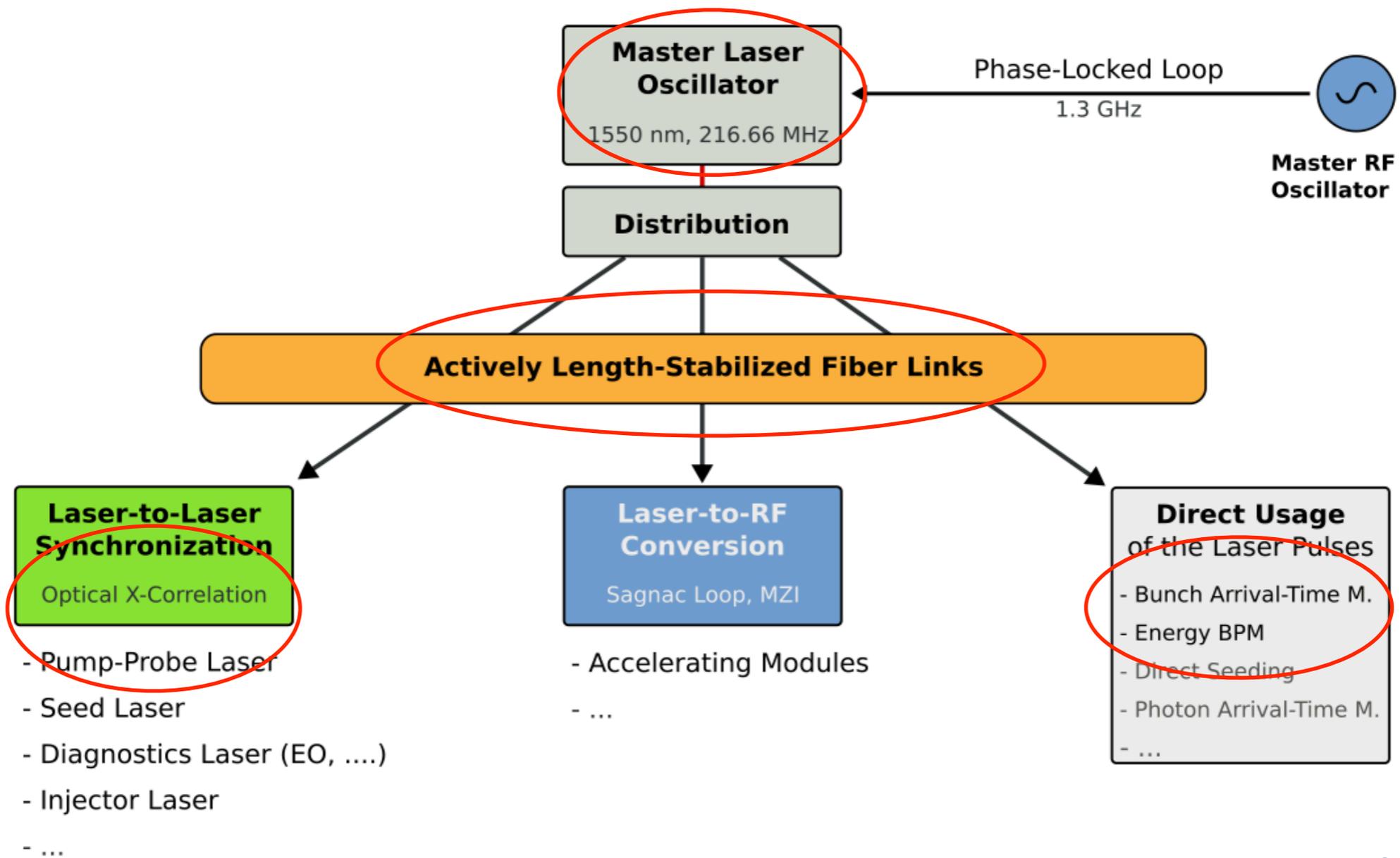
- komplexe Linkstabilisierung
- viele „custom“ Komponenten
- HF muss aus opt. Puls generiert werden

Proceedings of the 27th International Free Electron Laser Conference

HIGH-PRECISION OPTICAL SYNCHRONIZATION SYSTEMS FOR X-RAY FREE ELECTRON LASERS

Axel Winter, Peter Schmüser, Universität Hamburg, Hamburg, Germany,
Holger Schlarb, DESY, Hamburg, Germany,
F. Ömer Ilday, Jung-Won Kim, Jeff Chen, Franz X. Kärtner,
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA,
D. Cheever, T. Zwart, D. Wang
MIT Bates R&E Center, Middleton, MA 01949, USA.

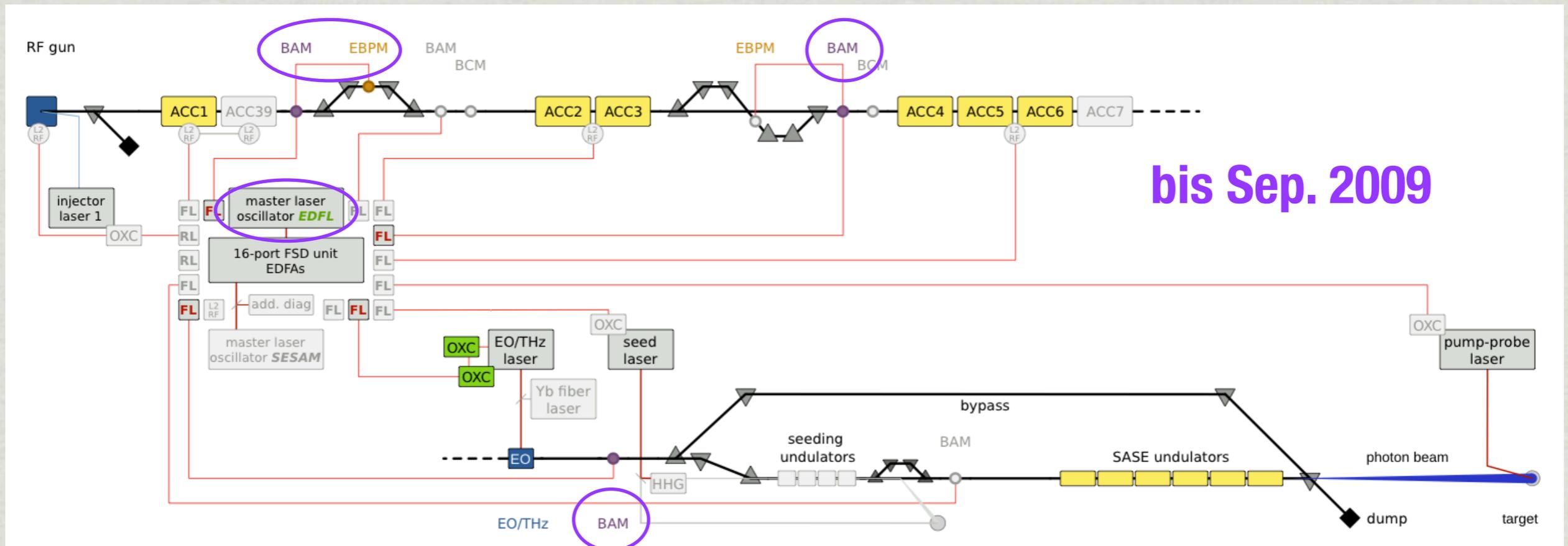




courtesy S. Schulz

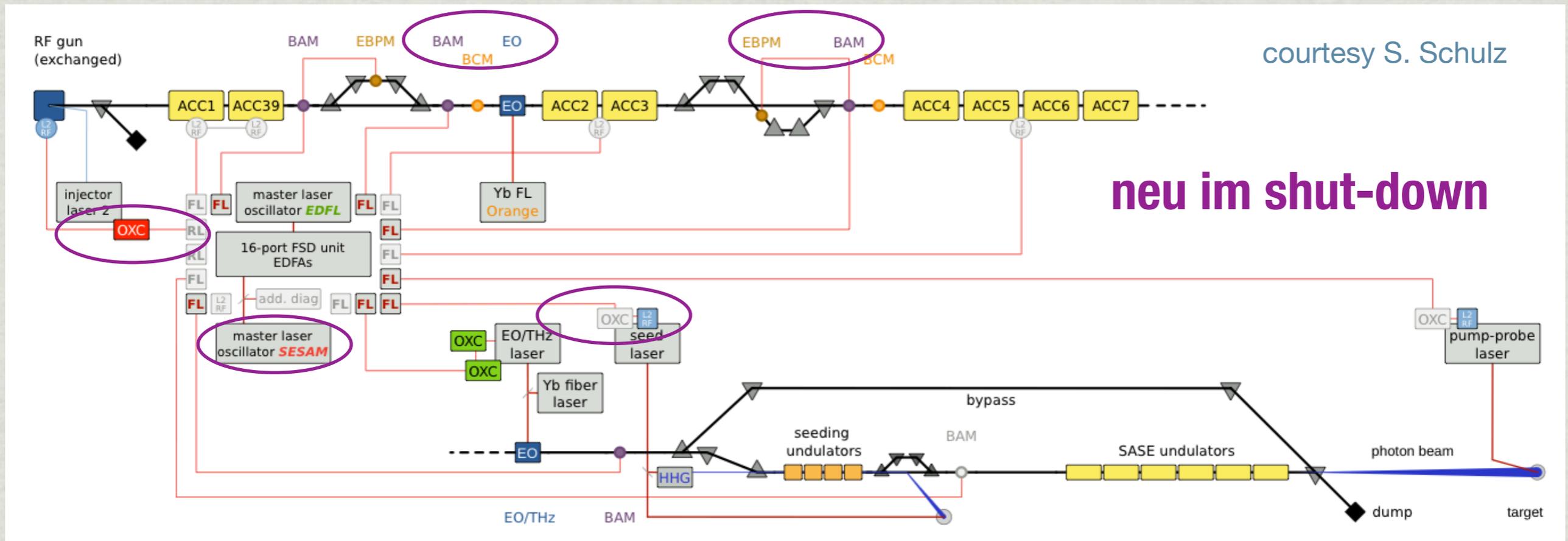
Status: Prototypen, „Produktionssystem“ bei FLASH im Aufbau

das LbSync-System bei FLASH



weiterer Ausbau des Systems
 wesentliche „Konsolidierung“ des Systems (Automatisierung, Temperaturkontrolle, strukturierter Aufbau..) Experiment - > Teil der Maschine

das LbSync-System bei FLASH



weiterer Ausbau des Systems
 wesentliche „Konsolidierung“ des Systems (Automatisierung, Temperaturkontrolle, strukturierter Aufbau..) Experiment - > Teil der Maschine

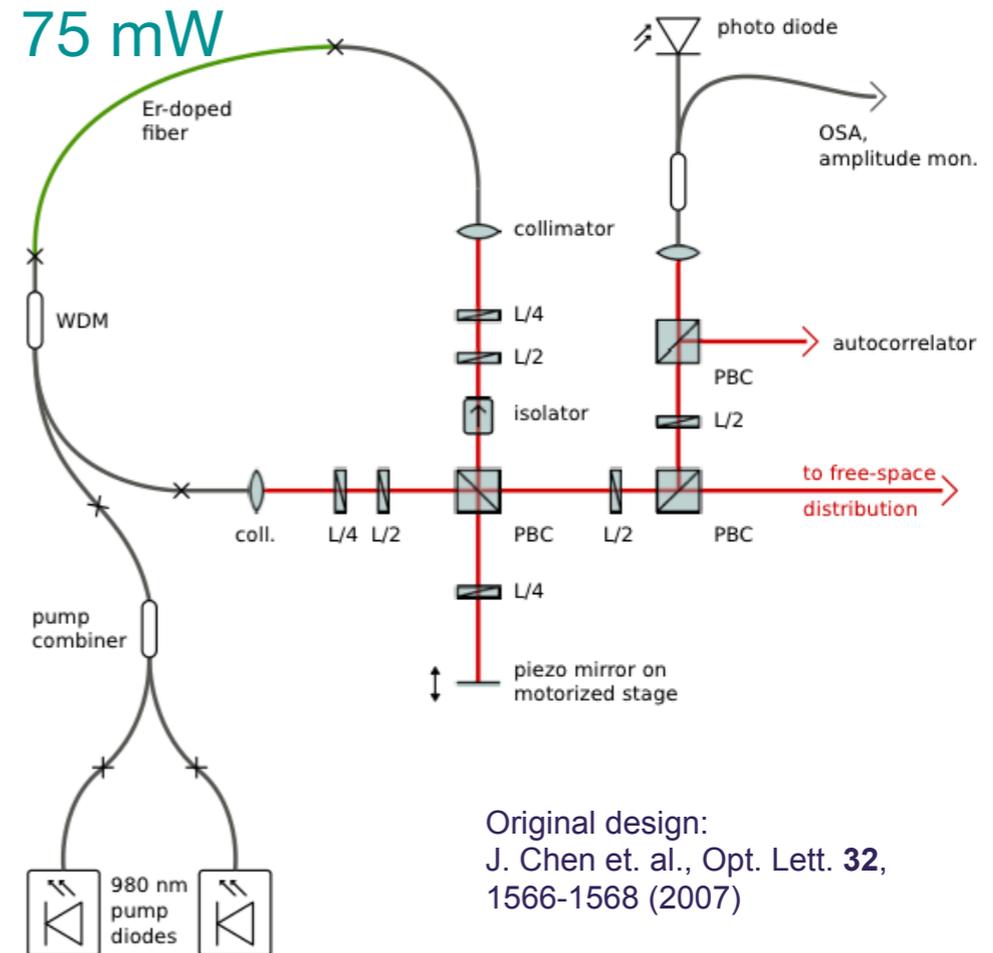
MasterLaserOszillator (MLO)

Specifications/Requirements

- topology: EDFL in σ -configuration
 - repetition rate: 216.66 MHz
 - average power: $\approx 100 \text{ mW}$
 - pulse duration $< 100 \text{ fs}$ (rms)
 - integrated timing jitter $< 15 \text{ fs}$ in the interval [1 kHz, 10 MHz]
 - **mechanically robust, easy to maintain**
- ⇒ established additional diagnostics to ensure single-pulse operation

single pulse $\leq 75 \text{ mW}$

courtesy S. Schulz



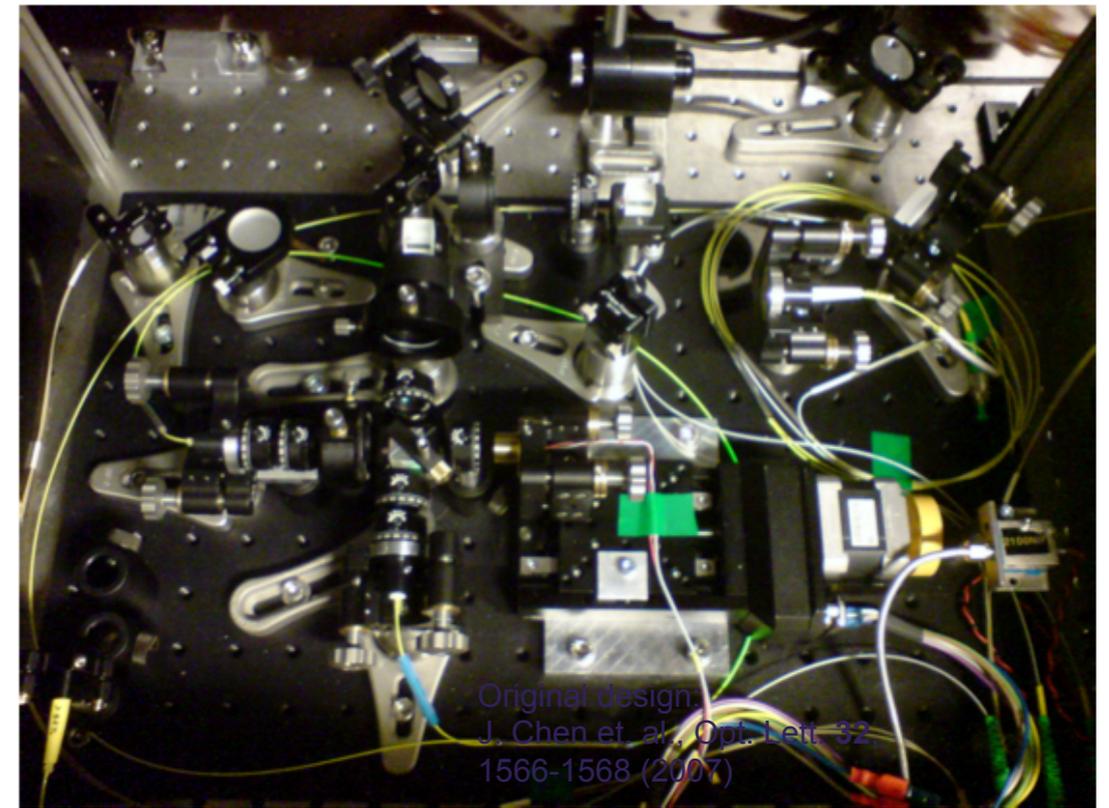
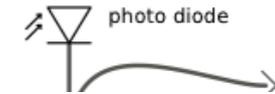
Betriebserfahrungen :
stabiler Betrieb über > Monate mit (relativ) wenig Eingriffen

MasterLaserOszillator (MLO)

Specifications/Requirements

- topology: EDFL in σ -configuration
 - repetition rate: 216.66 MHz
 - average power: $\approx 100 \text{ mW}$
 - pulse duration $< 100 \text{ fs}$ (rms)
 - integrated timing jitter $< 15 \text{ fs}$
in the interval [1 kHz, 10 MHz]
 - **mechanically robust**, **easy to maintain**
- ⇒ established additional diagnostics to ensure single-pulse operation

single pulse $\leq 75 \text{ mW}$

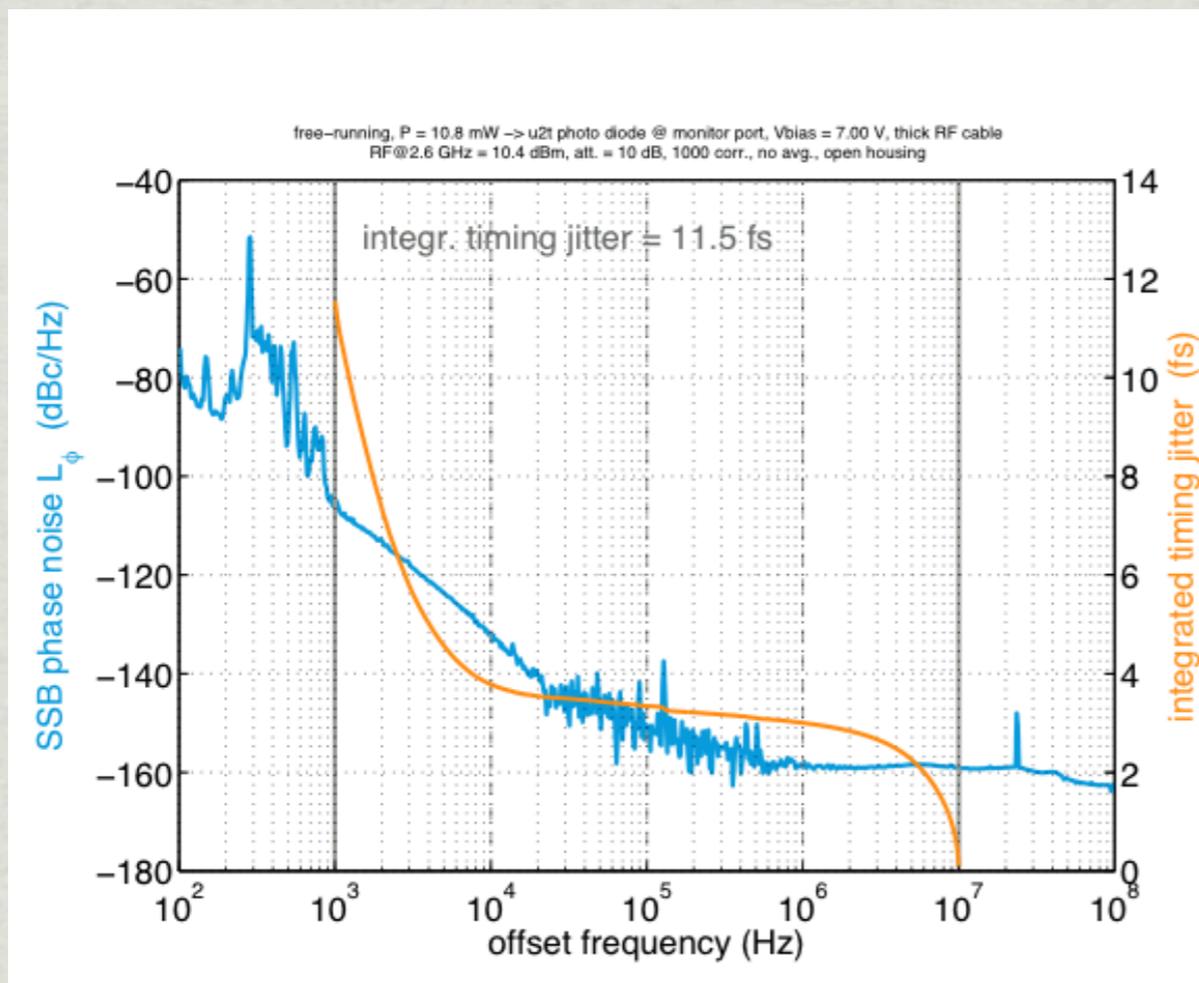


courtesy S. Schulz

„breadboard“ Version 1i
(„Horst“)

Betriebserfahrungen :
stabiler Betrieb über $>$ Monate mit (relativ) wenig Eingriffen

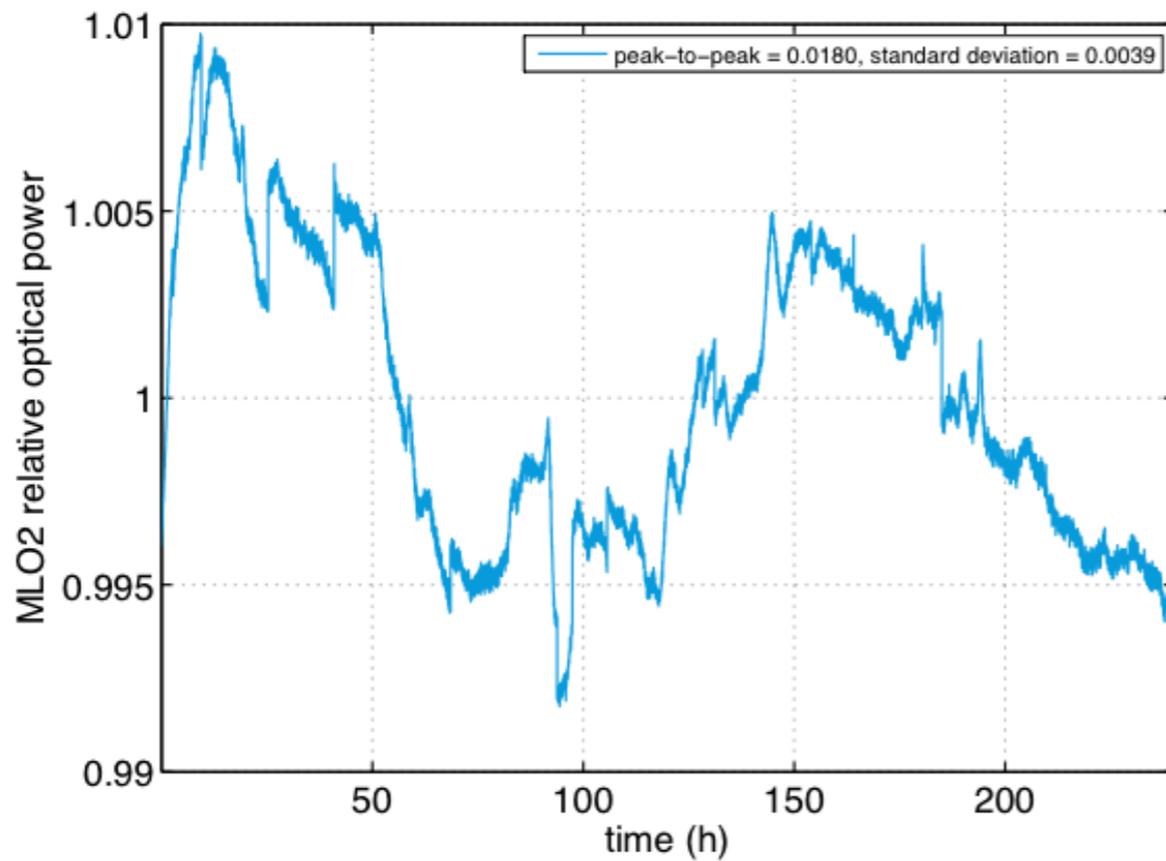
ML0 Verhalten :



- integrated timing jitter 11.5 fs in the interval [1 kHz, 10 MHz]

courtesy : S. Schulz

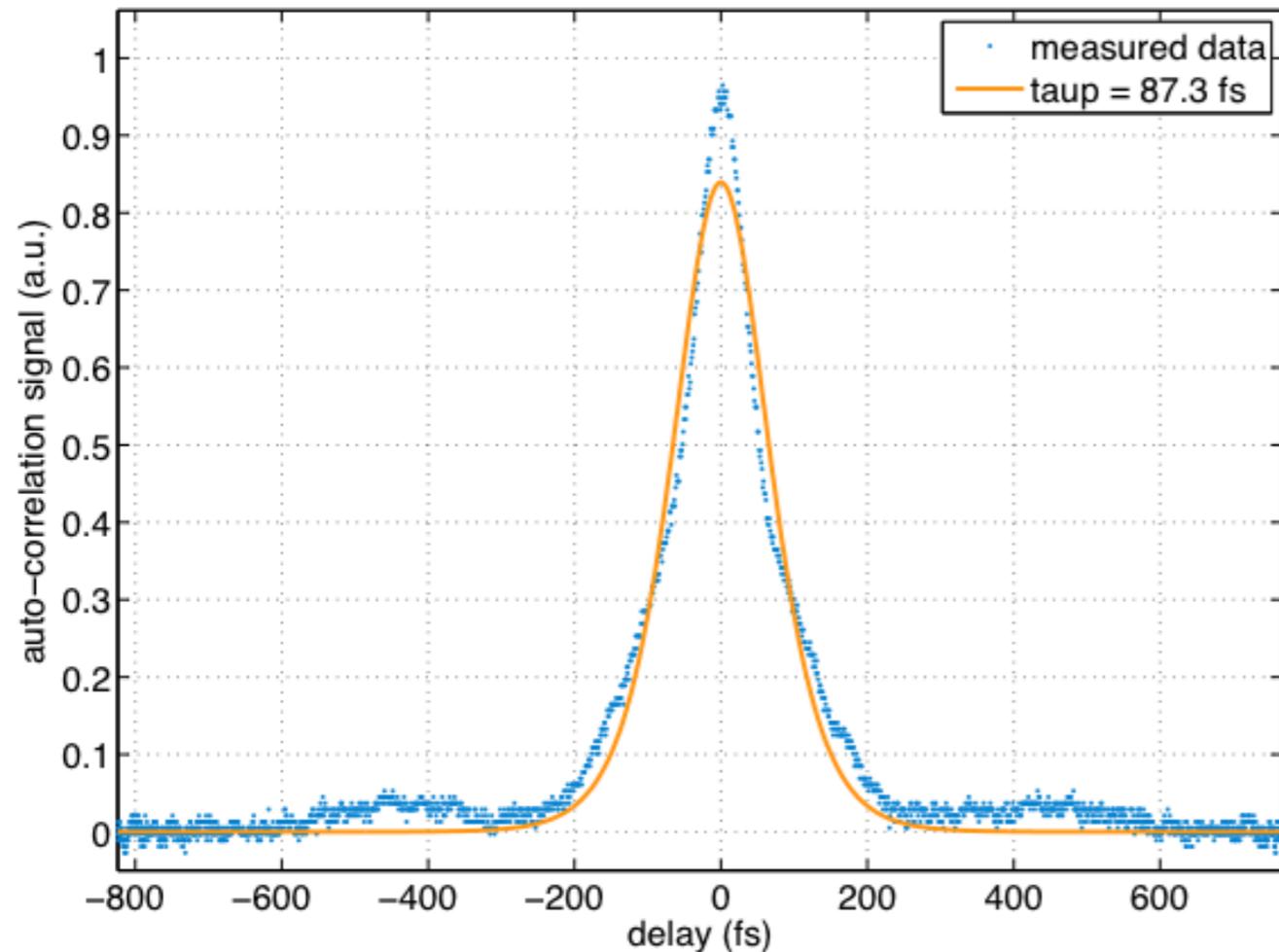
MLO Verhalten :



- integrated timing jitter 11.5 fs in the interval [1 kHz, 10 MHz]
- amplitude drift over 240 h:
< 2% (peak-to-peak),
~ 0.4% (rms)
→ no active stabilization

courtesy : S. Schulz

ML0 Verhalten :

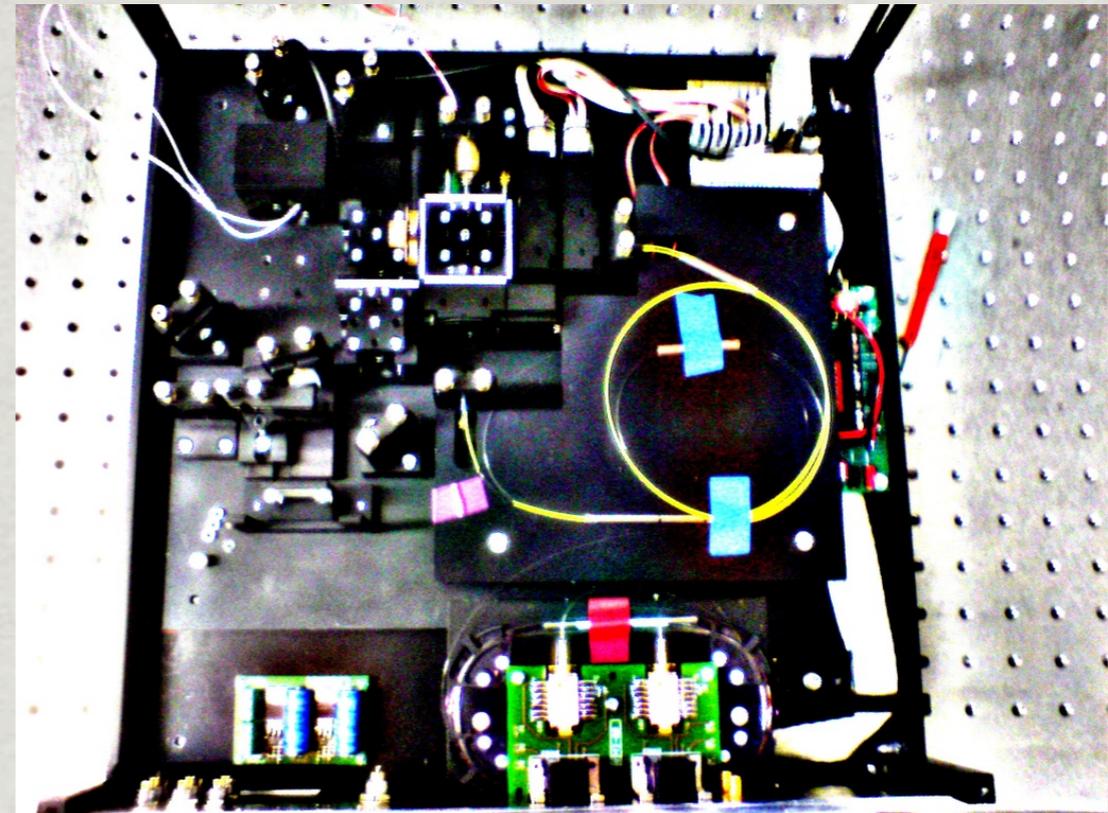
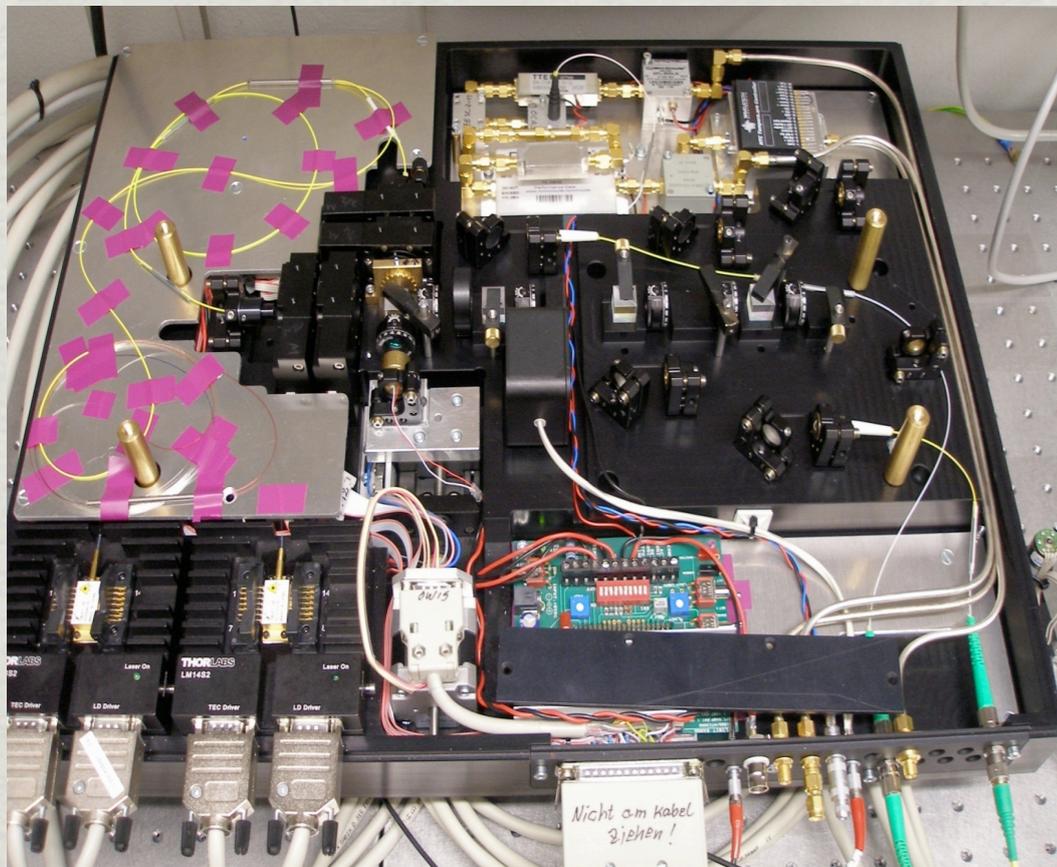


- integrated timing jitter 11.5 fs in the interval [1 kHz, 10 MHz]
- amplitude drift over 240 h:
< 2% (peak-to-peak),
~ 0.4% (rms)
→ no active stabilization
- pulse duration $\tau_p = 87$ fs, from $\text{sech}^2(t/\tau_p)$ -fit
→ important for fiber link dispersion compensation

courtesy : S. Schulz

Version 2 & 3 („Kompaktbauweise“)

Laborversion : ok



Systemversion (für FLASH)
nicht betreibbar, diverse Konstruktionsfehler

Alternative : Kommerzieller Laser

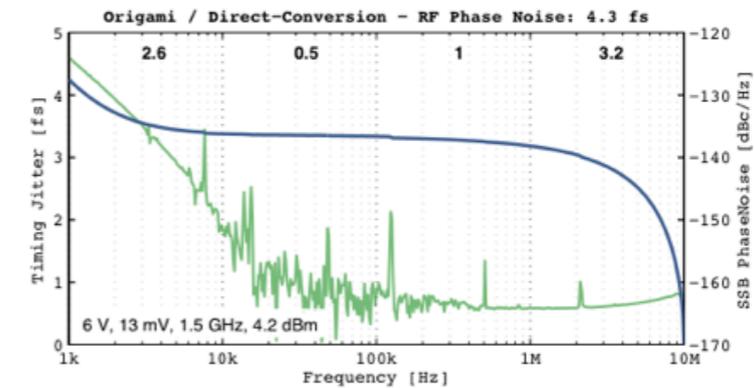
Alternative Concept: Investigation of a Commercial Laser System

Promising: OneFive ORIGAMI-15

- topology: unknown (SESAM, soliton)
- repetition rate: 216.66 MHz
- average power: $> 100 \text{ mW}$
- pulse duration: $\tau_p < 150 \text{ fs}$
- integrated timing jitter $< 5 \text{ fs}$
in the interval [1 kHz, 10 MHz]
- mechanically robust, easy to maintain
(sealed housing, one button)

erste Erfahrungen (2010):
extrem stabiler Betrieb und einfache Handhabung
(„turn key“)
einige Spezifikationen nicht erfüllt (Pulslänge,
Pulsrate, Strahlprofil..) -> Nachbesserung (?)
Faserlinks verhalten sich „anders“ als mit Horst...
Synchronisation mit HF $< 30 \text{ fs RMS}$

Nachteil : „black box... „



integrated timing jitter: 4.3 fs



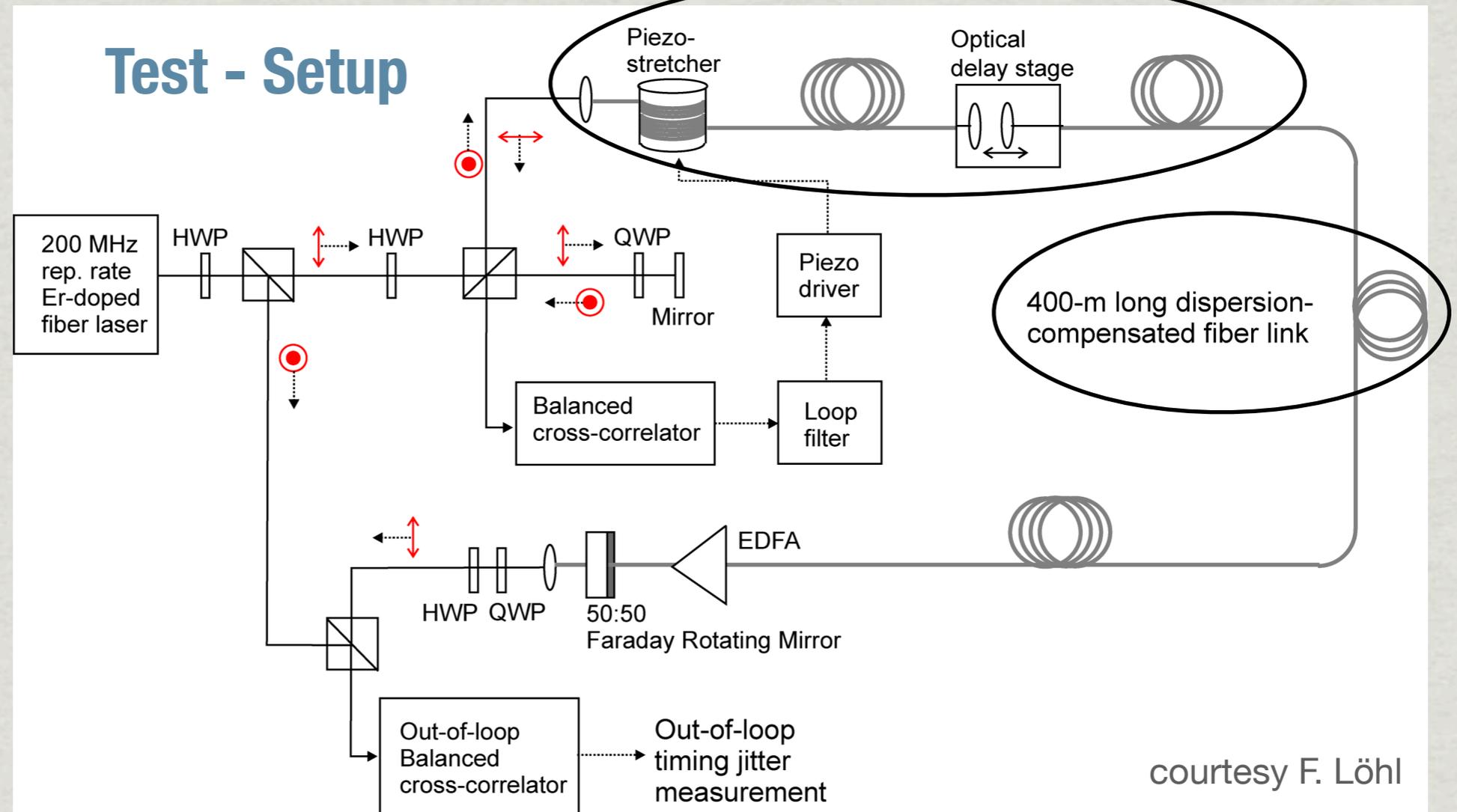
Stabilisierter Faserlink

Regelung

schnell

langsam

Test - Setup



OPTICS LETTERS / Vol. 32, No. 9 / May 1, 2007

Long-term femtosecond timing link stabilization using a single-crystal balanced cross correlator

J. Kim, J. Chen, Z. Zhang,* E. N. C. Wong, and F. X. Kärtner

Department of Electrical Engineering and Computer Science and Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA

F. Loehl and H. Schlarb

Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg D-22607, Germany

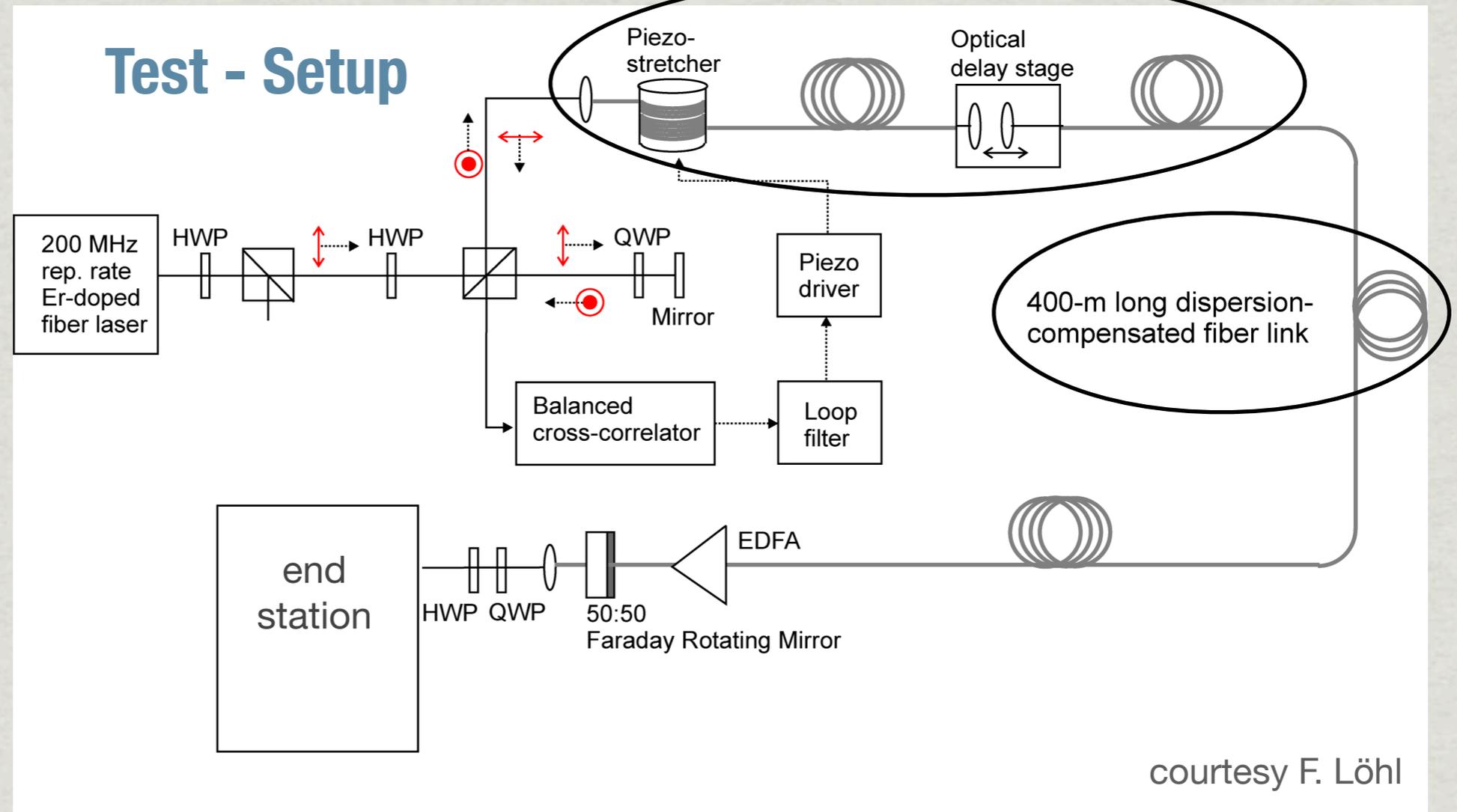
Stabilisierter Faserlink

Regelung

schnell

langsam

Test - Setup



courtesy F. Löhl

OPTICS LETTERS / Vol. 32, No. 9 / May 1, 2007

Long-term femtosecond timing link stabilization using a single-crystal balanced cross correlator

J. Kim, J. Chen, Z. Zhang,* E. N. C. Wong, and F. X. Kärtner

Department of Electrical Engineering and Computer Science and Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA

F. Loebl and H. Schlarb

Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg D-22607, Germany

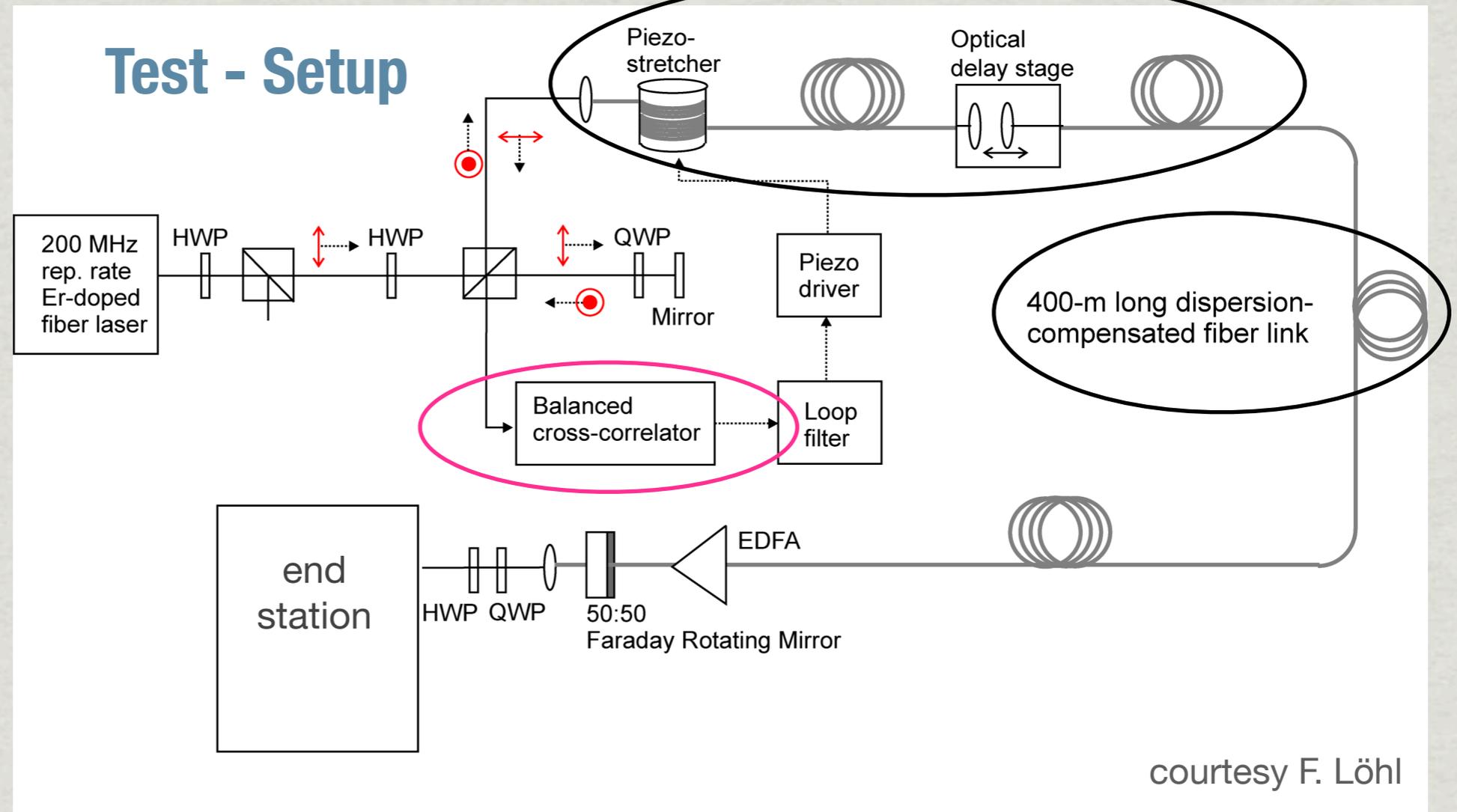
Stabilisierter Faserlink

Regelung

schnell

langsam

Test - Setup



OPTICS LETTERS / Vol. 32, No. 9 / May 1, 2007

Long-term femtosecond timing link stabilization using a single-crystal balanced cross correlator

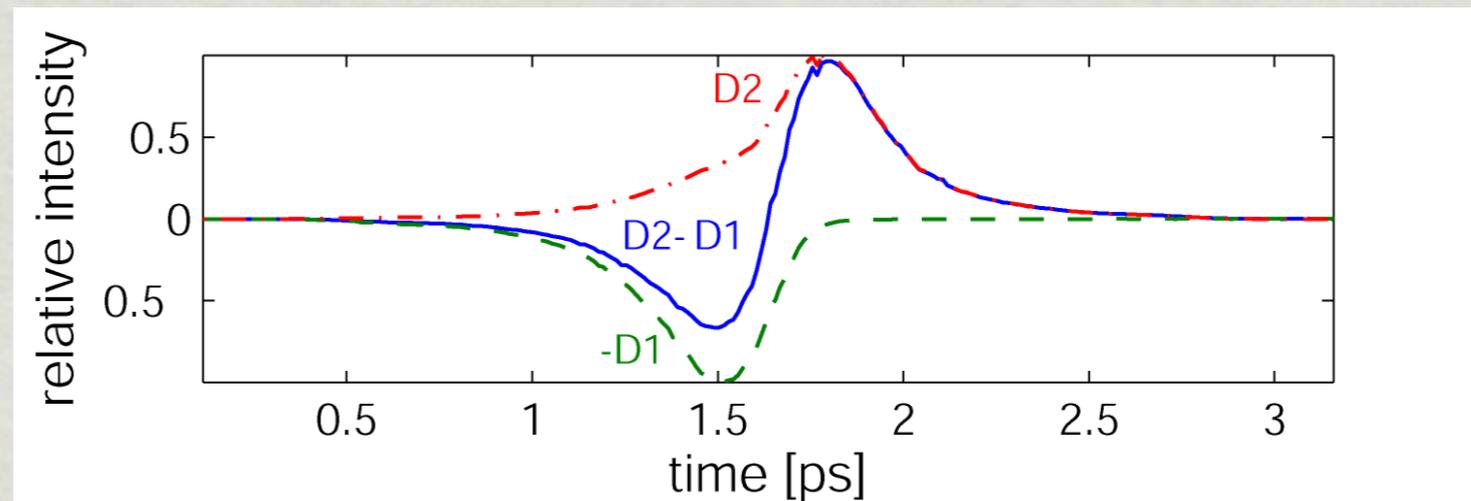
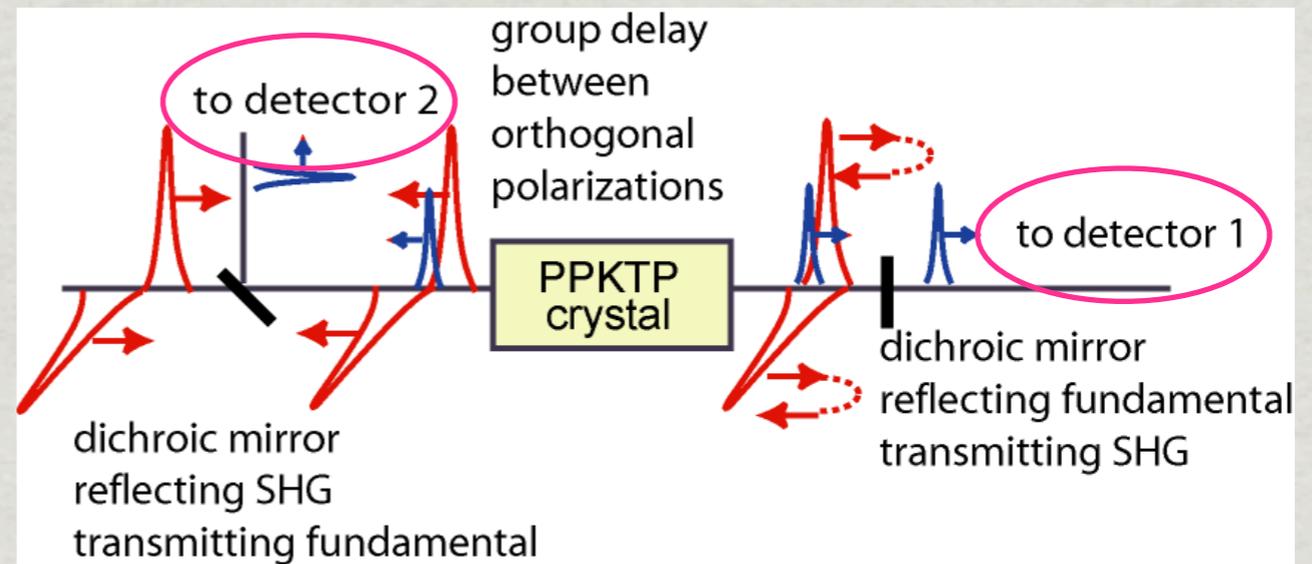
J. Kim, J. Chen, Z. Zhang,* E. N. C. Wong, and F. X. Kärtner

Department of Electrical Engineering and Computer Science and Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA

F. Loehl and H. Schlarb

Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg D-22607, Germany

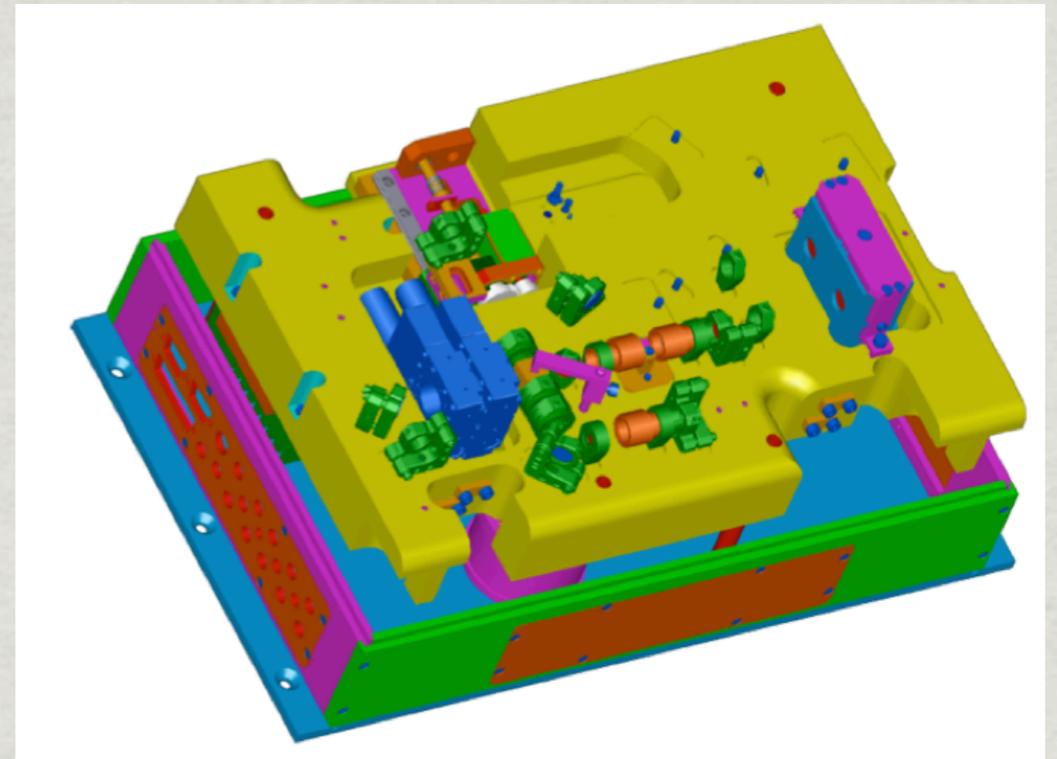
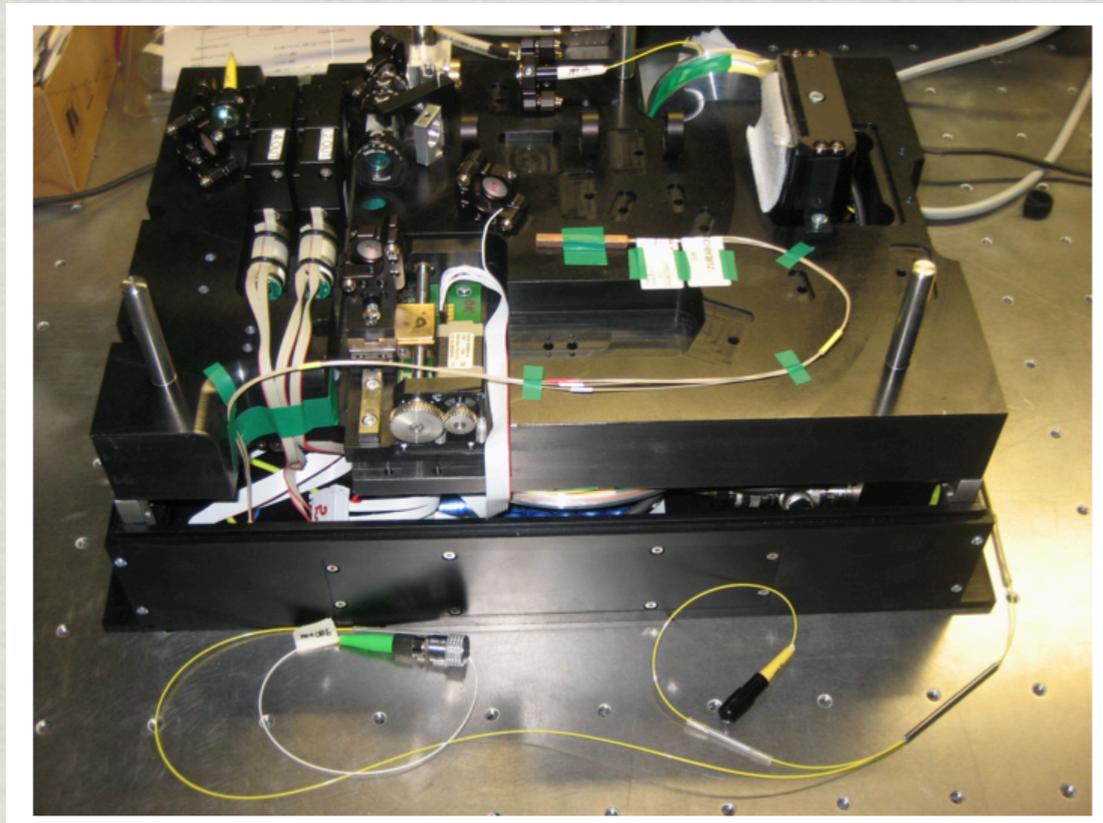
Prinzip der Längenstabilisierung (MIT - DESY)



hin - und rücklaufender Puls werden ZWEIMAL korreliert
Differenzsignal -> Regelgröße für Längenstabilisierung
hohe Empfindlichkeit beim Nulldurchgang
amplitudenunabhängig
vorzeichensensitiv

Status des Linksystems :

Stabilisierungsmechanik und Optik in kompakter Bauform

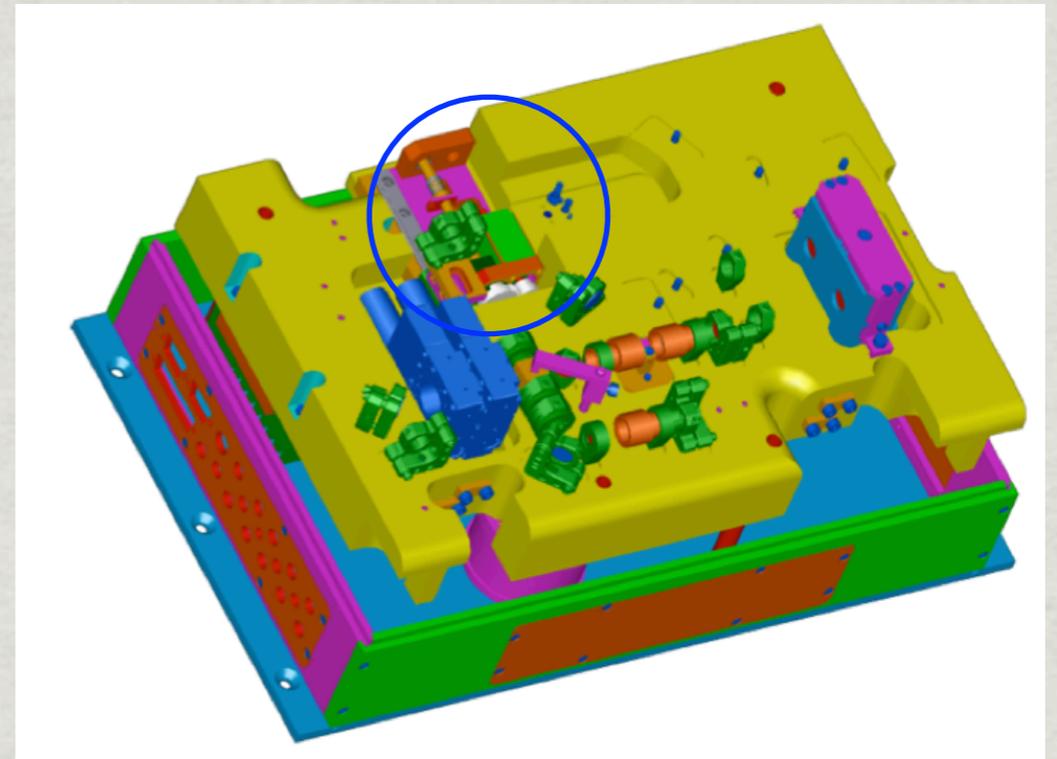
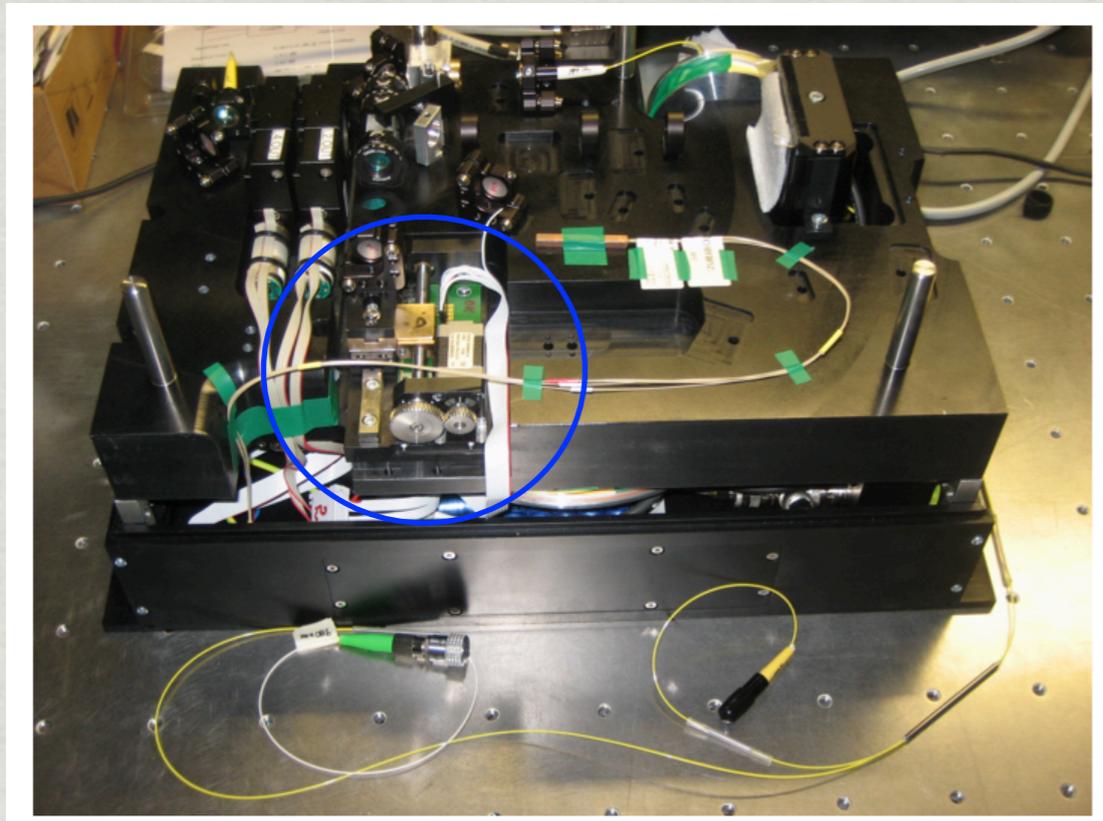


Design und Aufbau ~ok, Revision-2 gerade unterwegs
Funktionalität ~ok, ein „Prinzipfehler“ eingebaut

Delikatesse : der **Linerarschlitten** (Neigen und Gieren $< 200 \mu\text{rad}$)

Status des Linksystems :

Stabilisierungsmechanik und Optik in kompakter Bauform

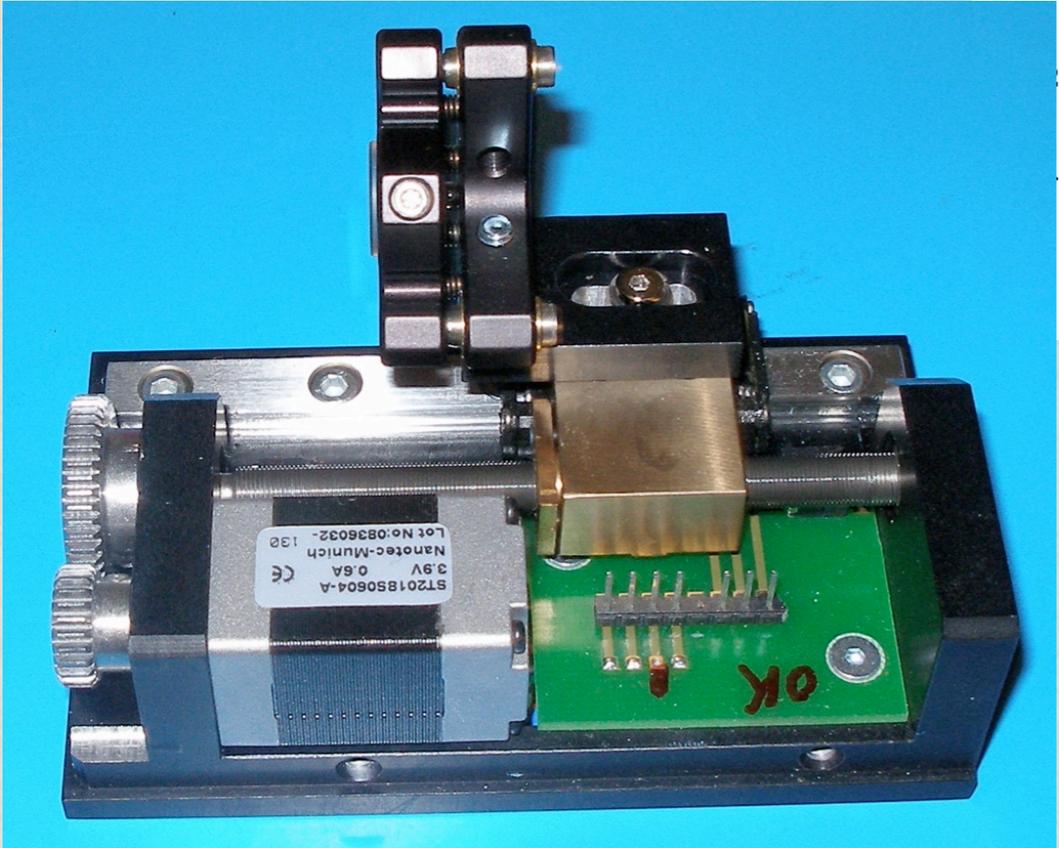
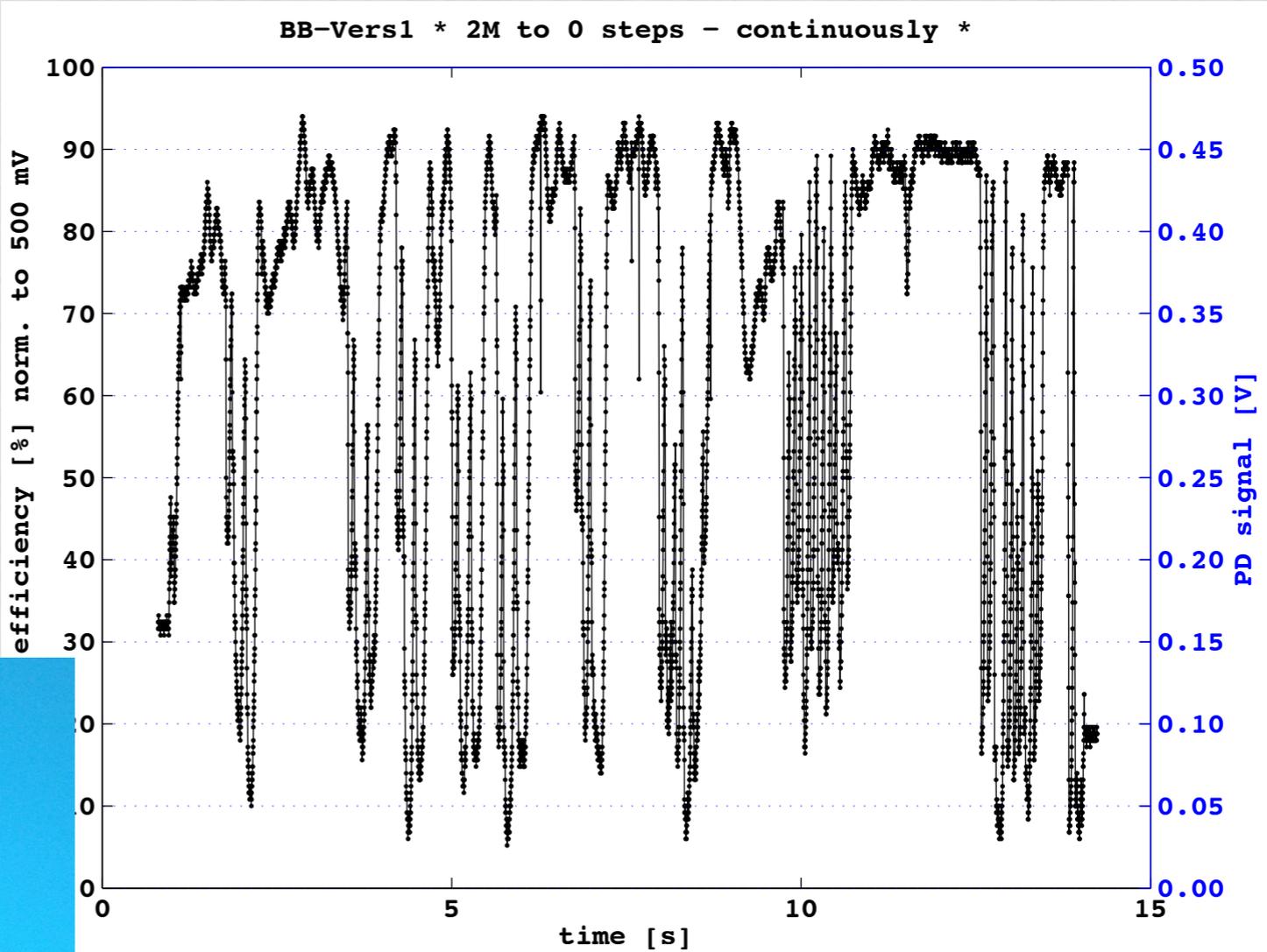


Design und Aufbau ~ok, Revision-2 gerade unterwegs
Funktionalität ~ok, ein „Prinzipfehler“ eingebaut

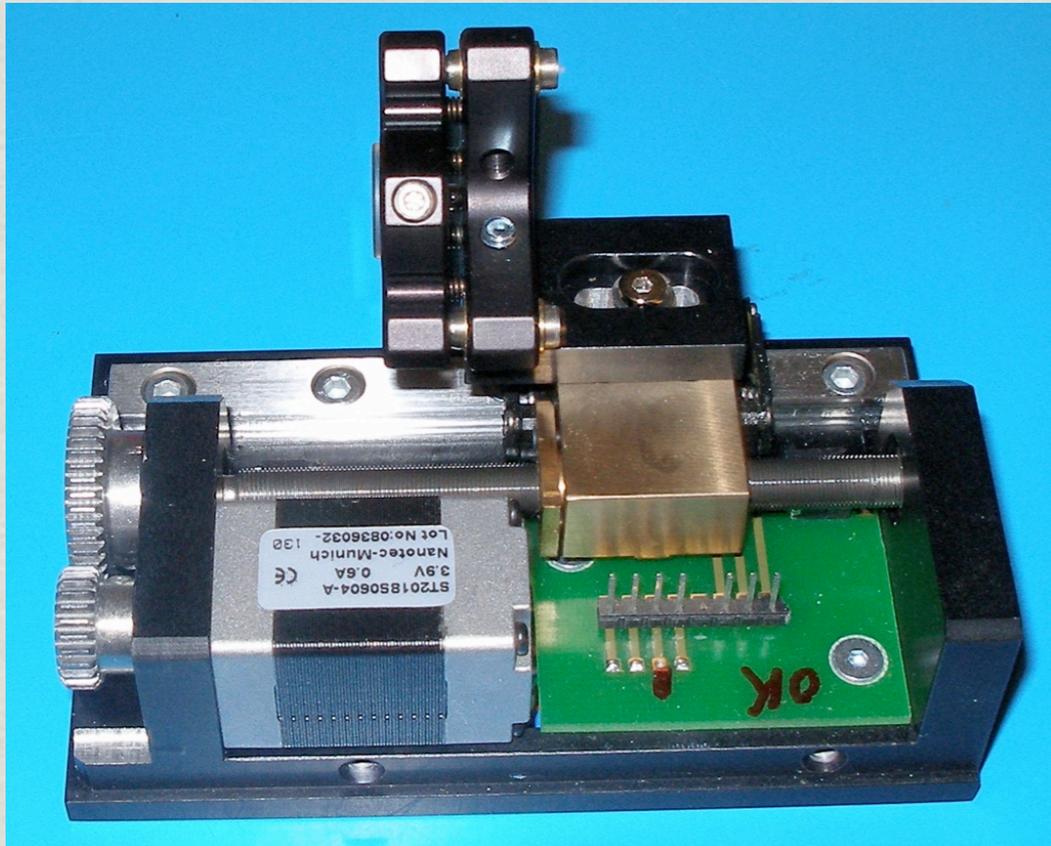
Delikatesse : der **Linerarschlitten** (Neigen und Gieren $< 200 \mu\text{rad}$)

Variation der Einkoppelleistung

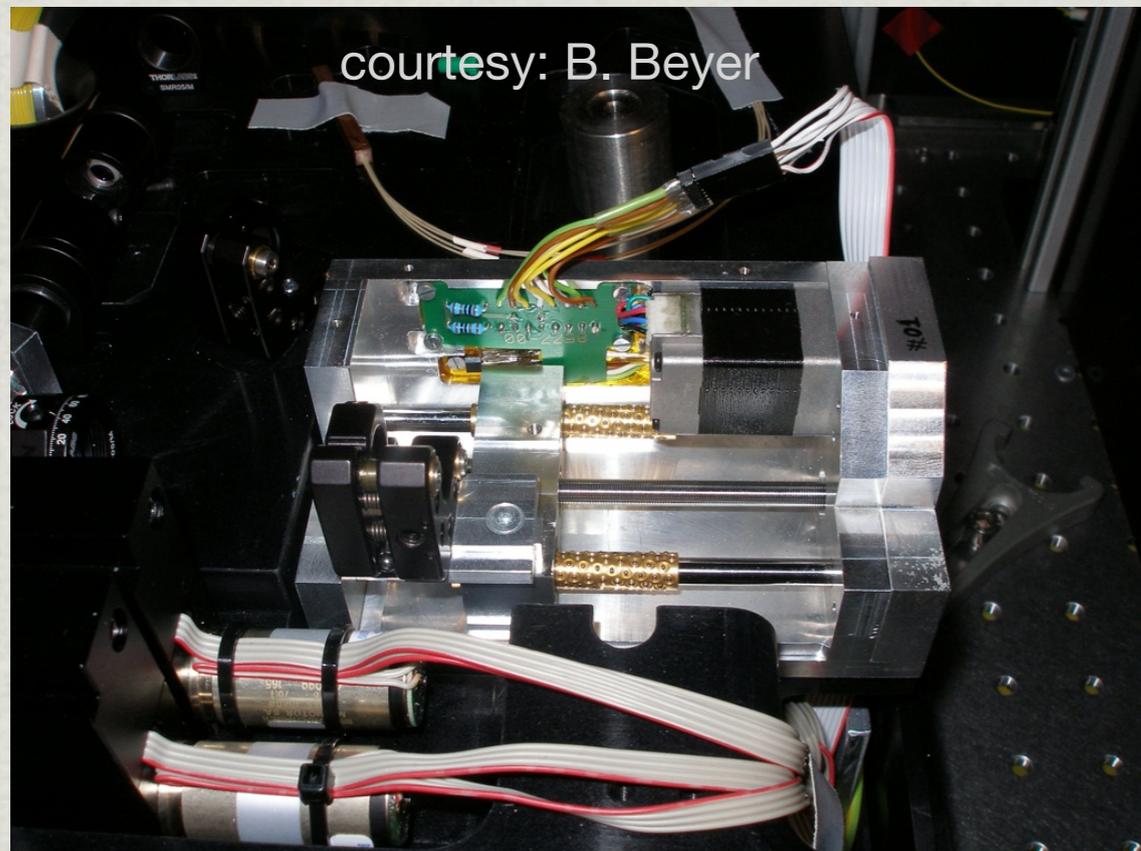
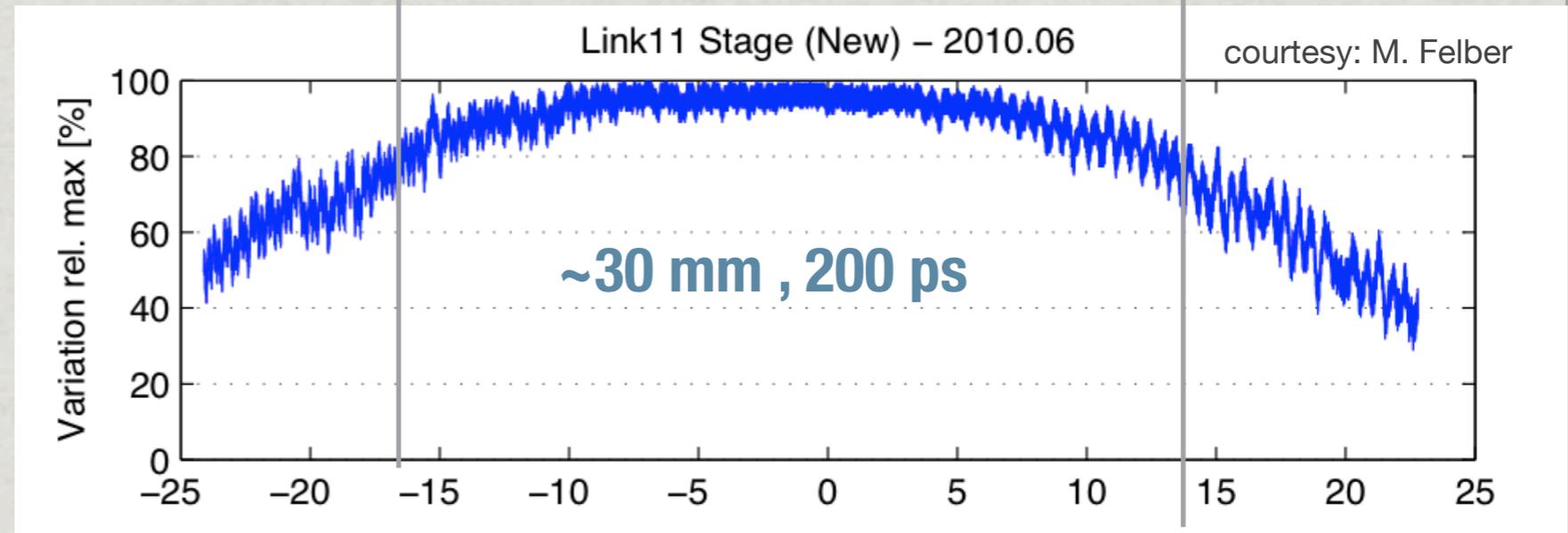
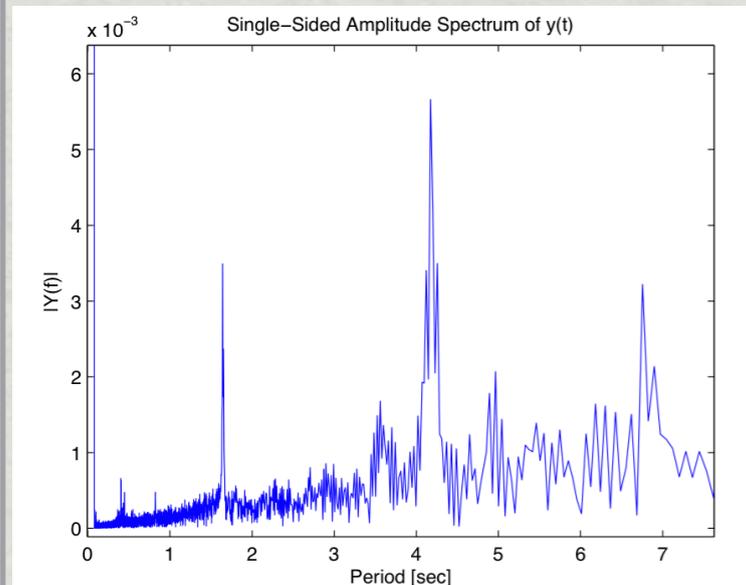
Version 1



Variation der Einkoppelleistung



Variation der Einkoppelleistung

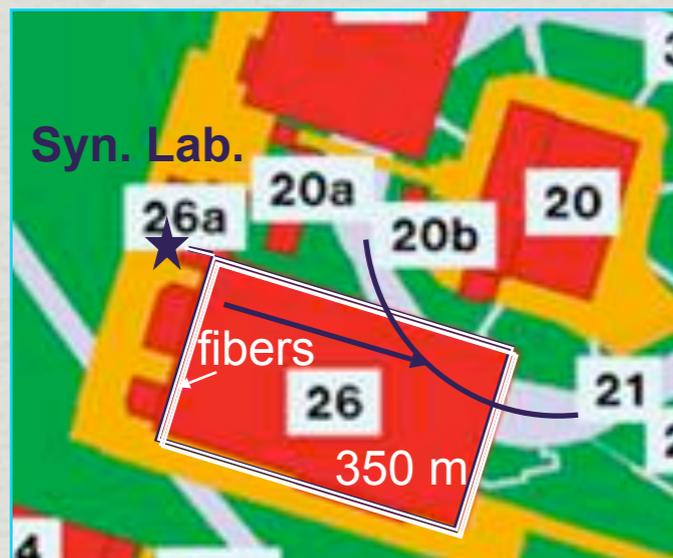


nach ~1 Jahr Entwicklungsarbeit

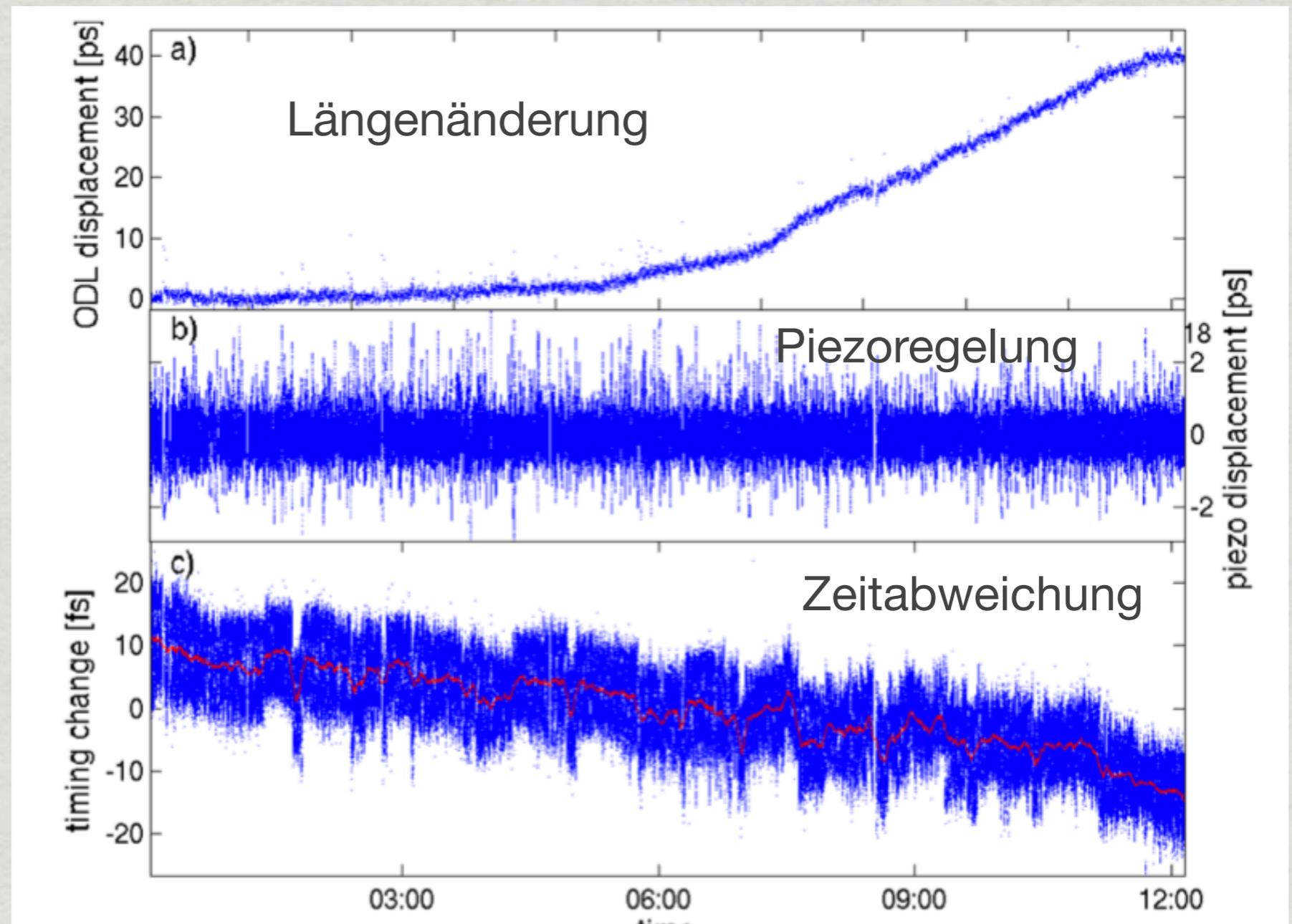
kommerzielle Schlitten (PI) nicht besser
Retroreflektoren statt Spiegel ?

Langzeitmessung der Zeitschwankung

400 m Test-Link
(Halle 2)
gegen kurze
Referenz
(„out of loop“)



4.4 fs RMS +
25 fs drift
(Artefakt ?)

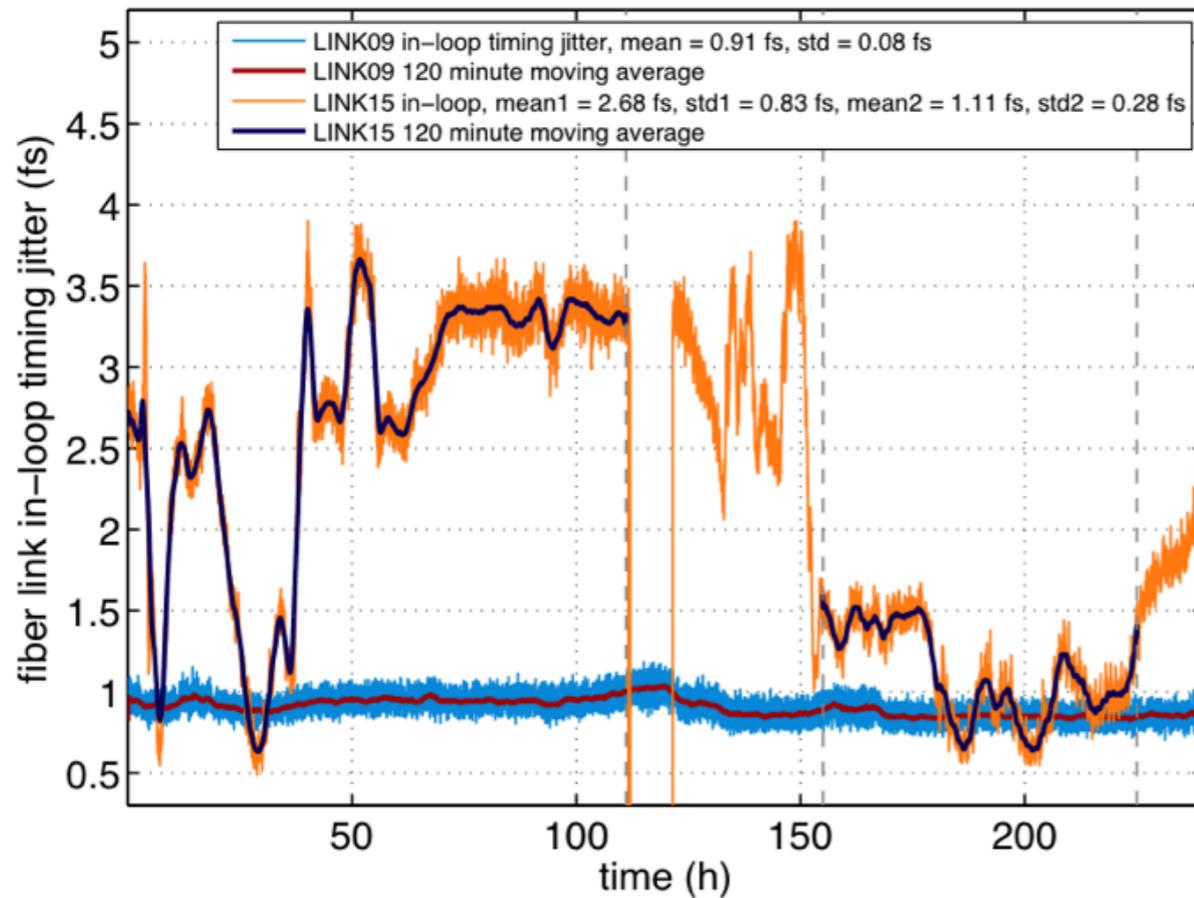


courtesy : F. Löhle

Nachregelung : 40 ps langsam, ± 2 ps schnell

Langzeitmessung bei FLASH (10 Tage) („in loop“)

Performance Example: Long-Term Drift



LINK09 → BAM UBC2

- ≈ 165 m
- FRM link-end
- returning pulses $\tau_p = 115$ fs

LINK15 → OXC EO

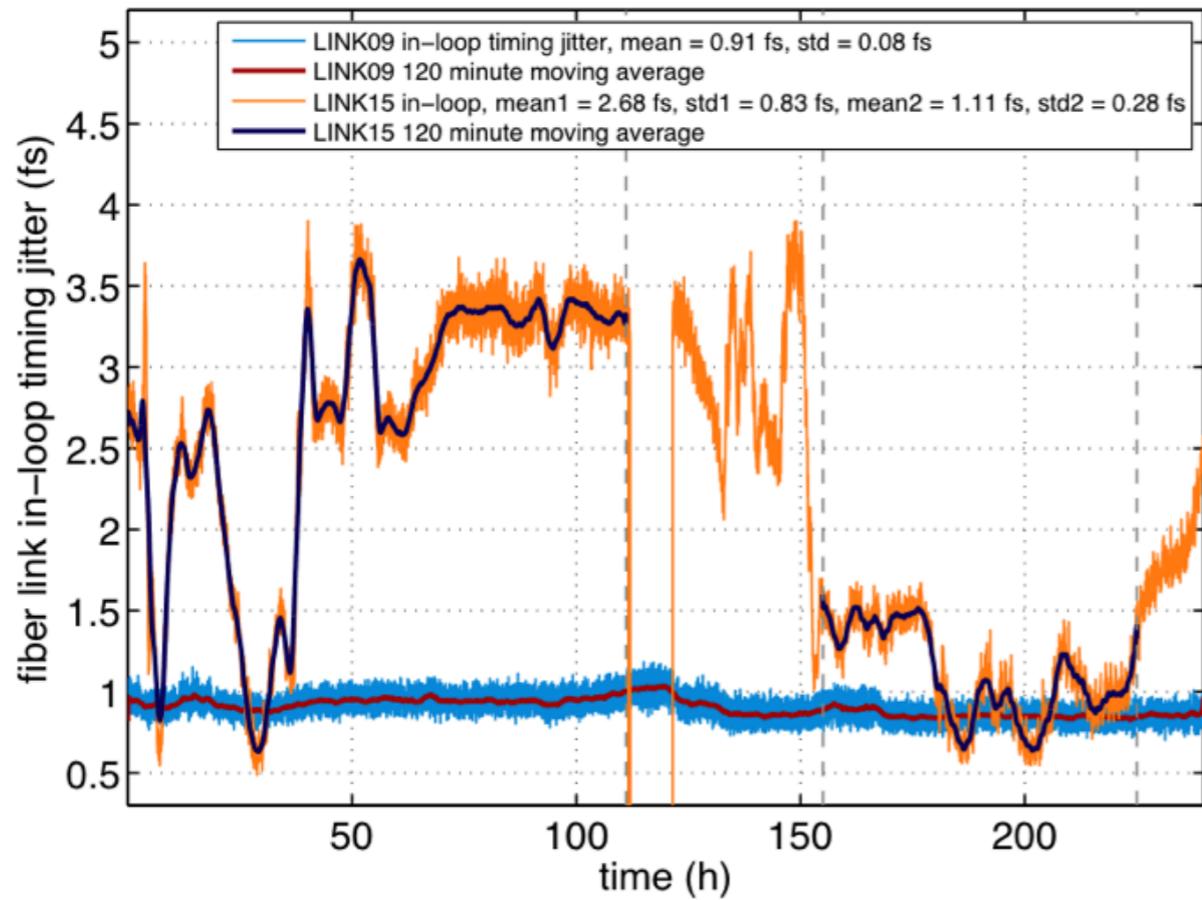
- ≈ 440 m
- loop-mirror link-end
- returning pulses $\tau_p = 200$ fs

courtesy S. Schulz

- engineered fiber link boxes ensure reliable operation
- timing distribution to the femtosecond level over long periods
- out-of-loop measurement setup currently under consideration

Langzeitmessung bei FLASH (10 Tage) („in loop“)

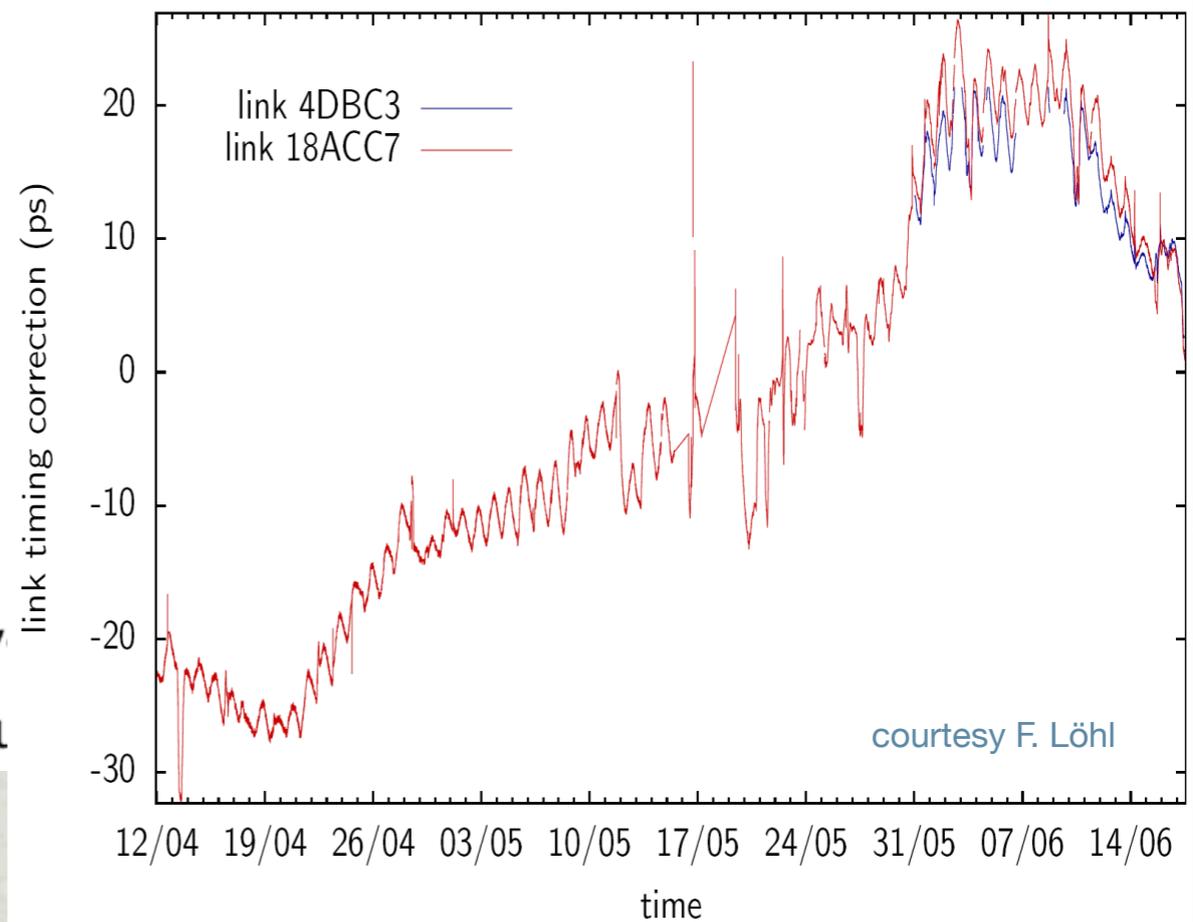
Performance Example: Long-Term Drift



- engineered fiber link boxes ensure reliable
- timing distribution to the femtosecond level
- out-of-loop measurement setup currently u

LINK09 → BAM UBC2

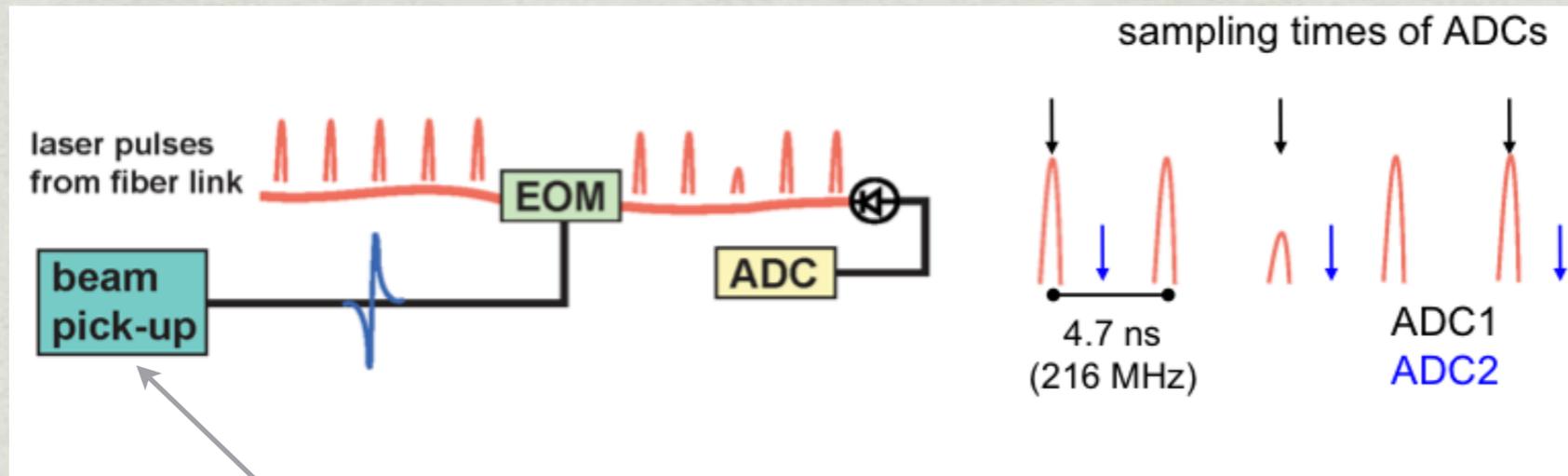
- ≈ 165 m
- FRM link-end
- returning pulses $\tau_p = 115$ fs



erste „Anwendung“ des optischen Systems

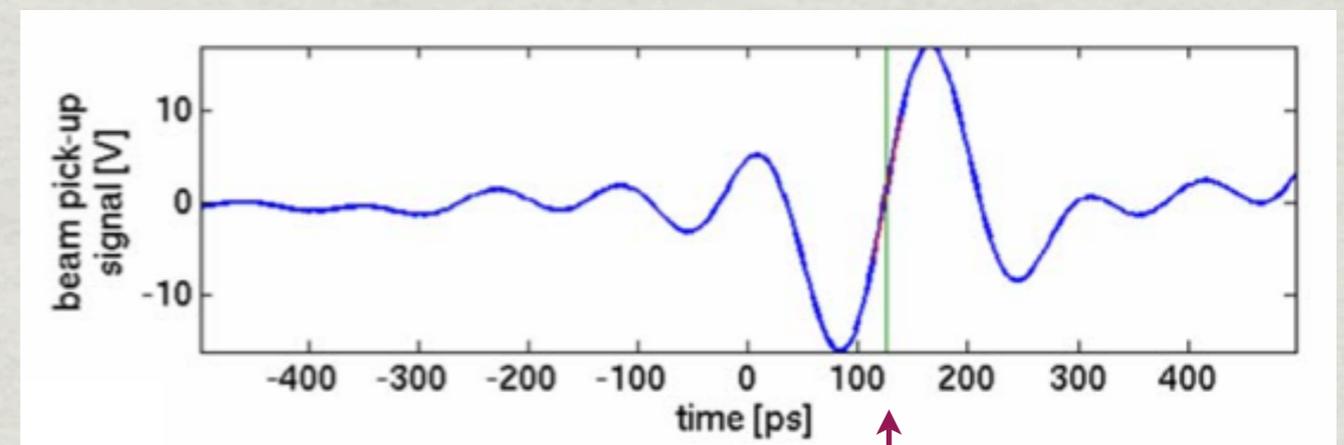
BeamArrivalMonitors (BAM)

H. Schlarb, F. Löh

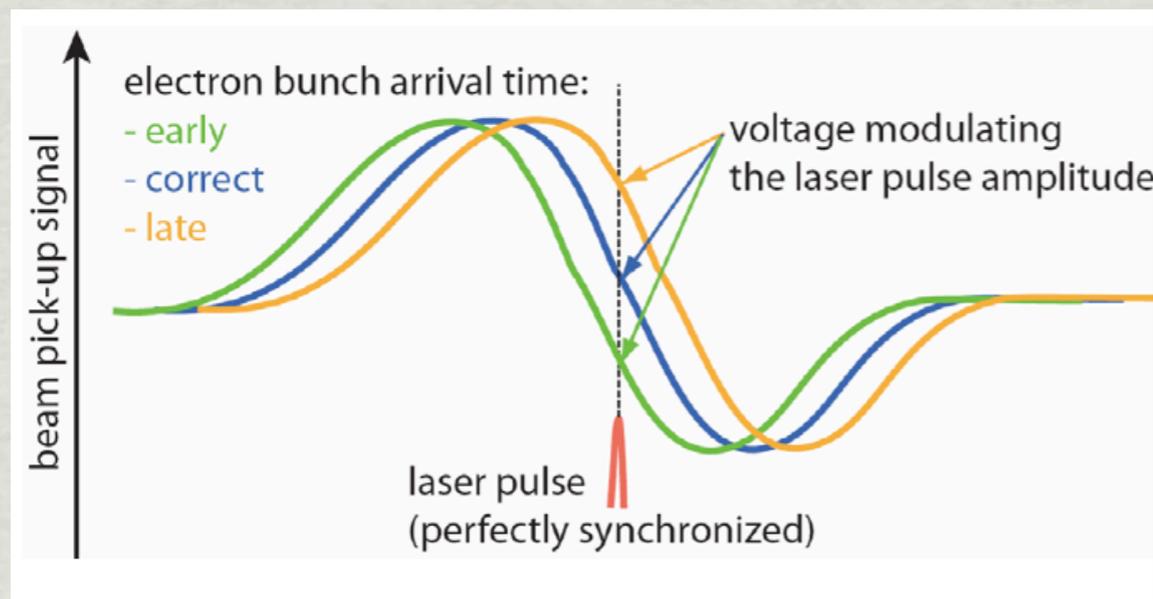


4 - Knopf pick up
 L+R -> Signal-1
 O+U -> Signal-2

pick-up Signal

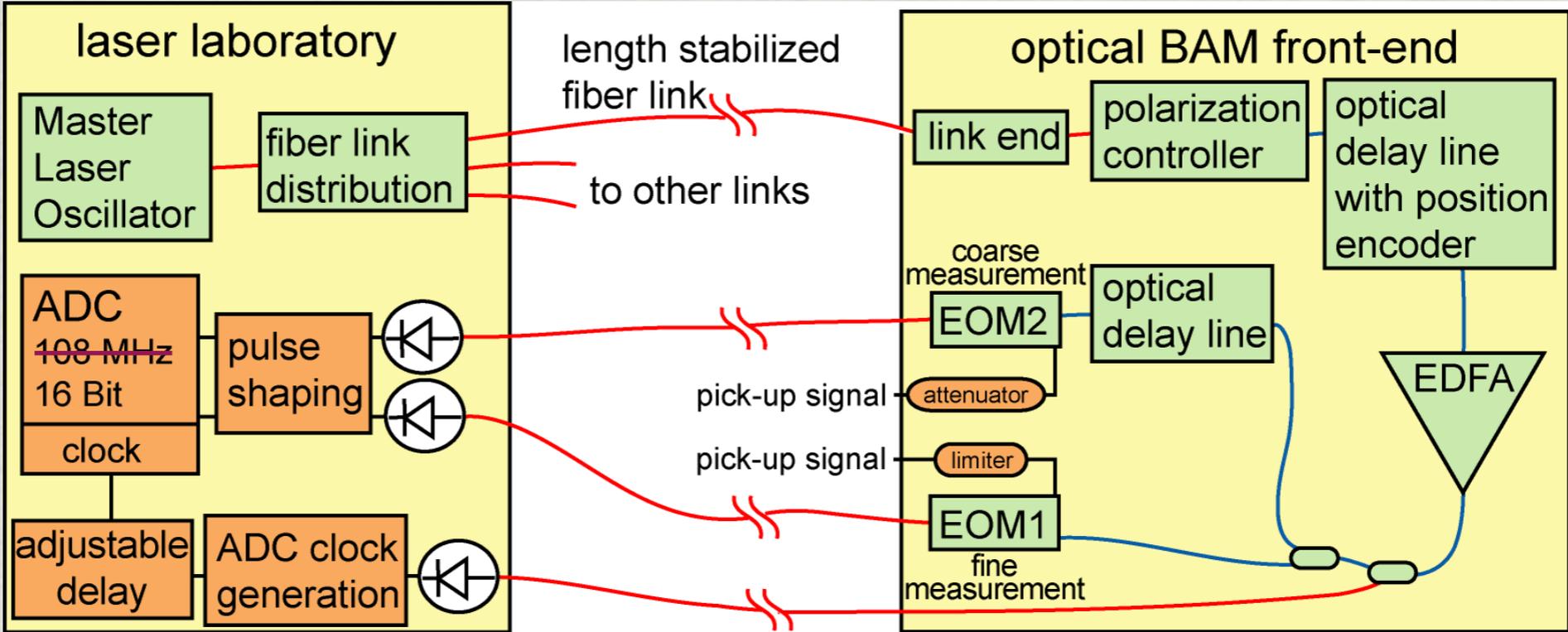


Laserpuls



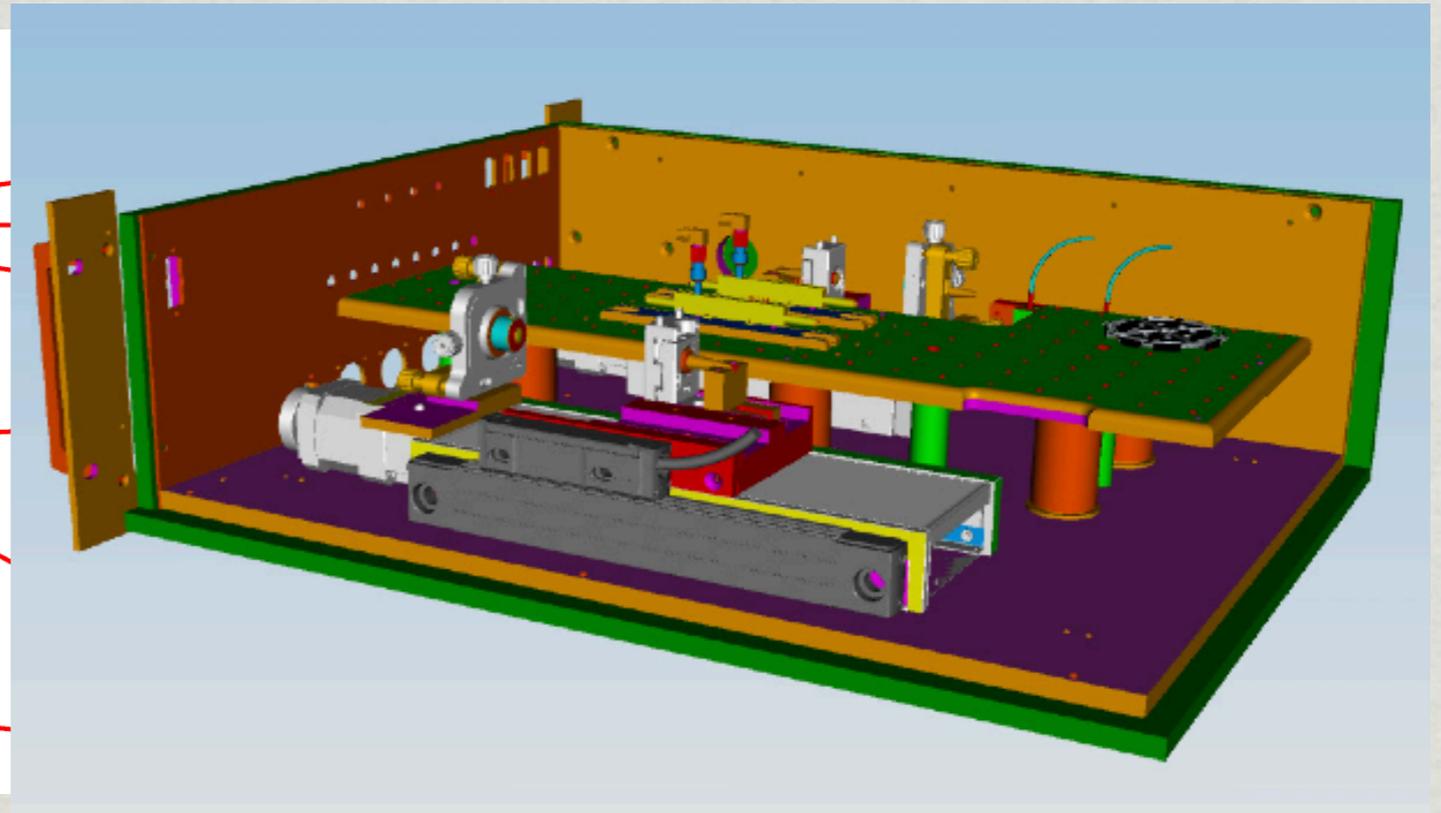
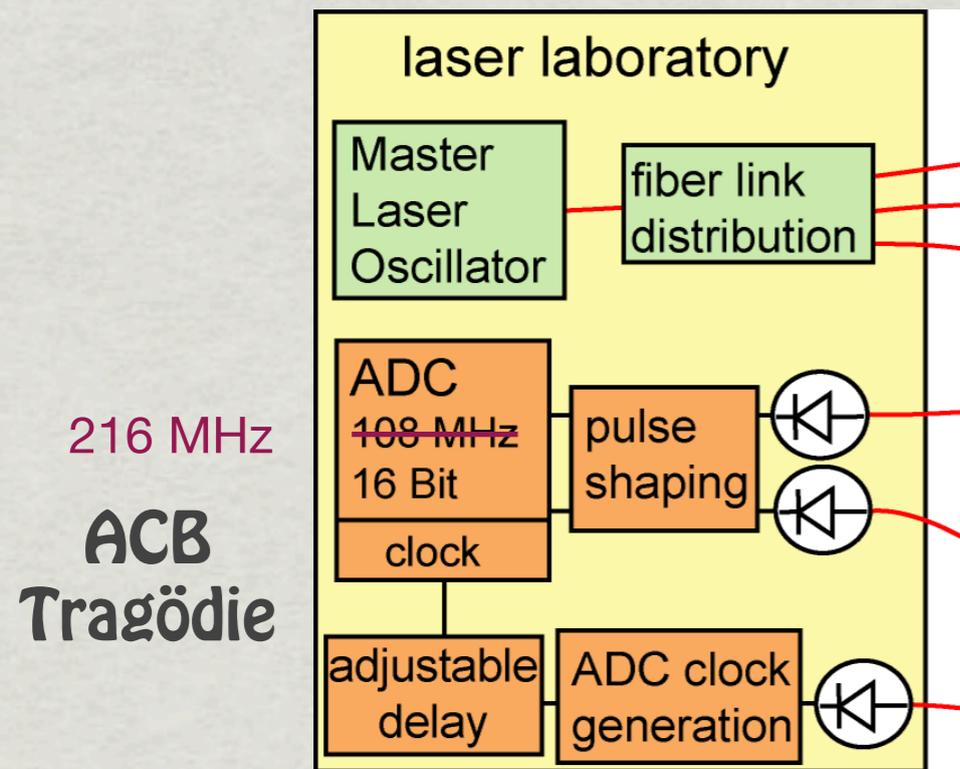
BAM Front-End und Auslese

216 MHz
ACB
Tragödie



zwei Kanäle („coarse & fine“)
dyn. Bereich & Auflösung

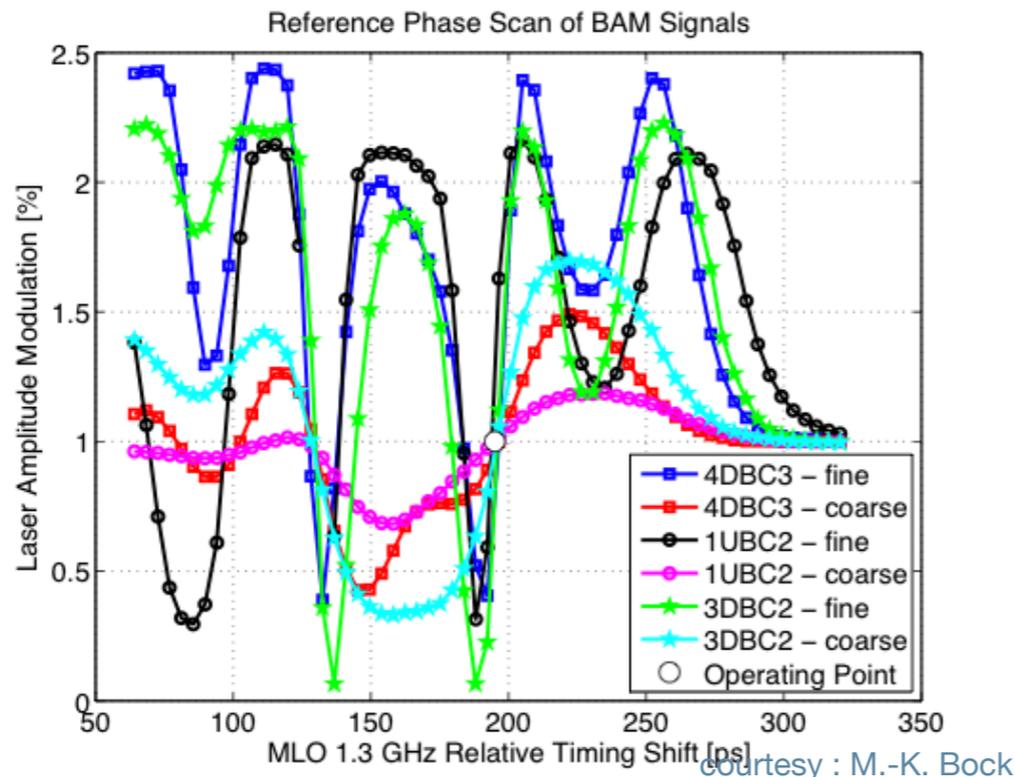
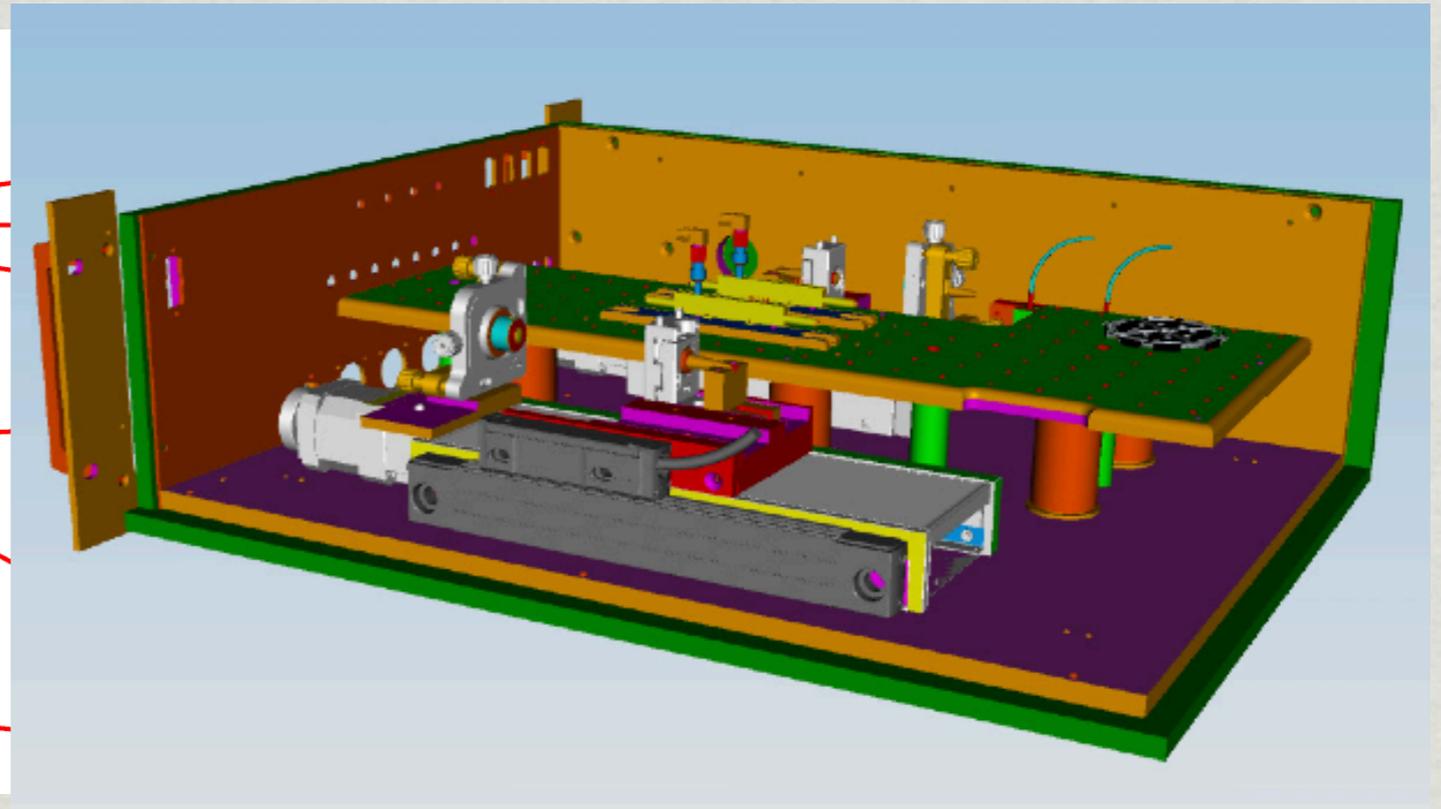
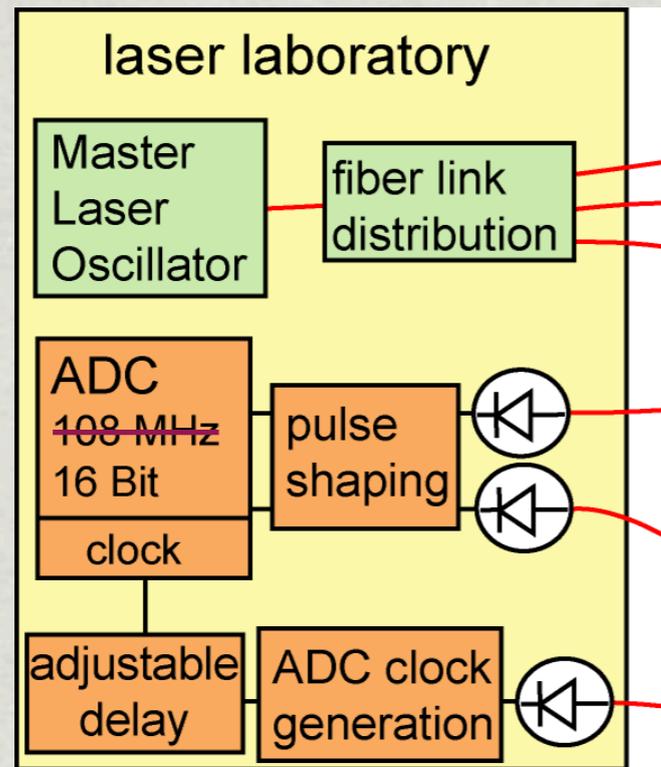
BAM Front-End und Auslese



zwei Kanäle („coarse & fine“)
dyn. Bereich & Auflösung

BAM Front-End und Auslese

216 MHz
ACB
Tragödie



zwei Kanäle („coarse & fine“)
dyn. Bereich & Auflösung

individuelle Anpassung auf gemeinsamen
Nulldurchgang (iterativ und mühsam)

BAM Messungen

PRL **104**, 144801 (2010)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
9 APRIL 2010

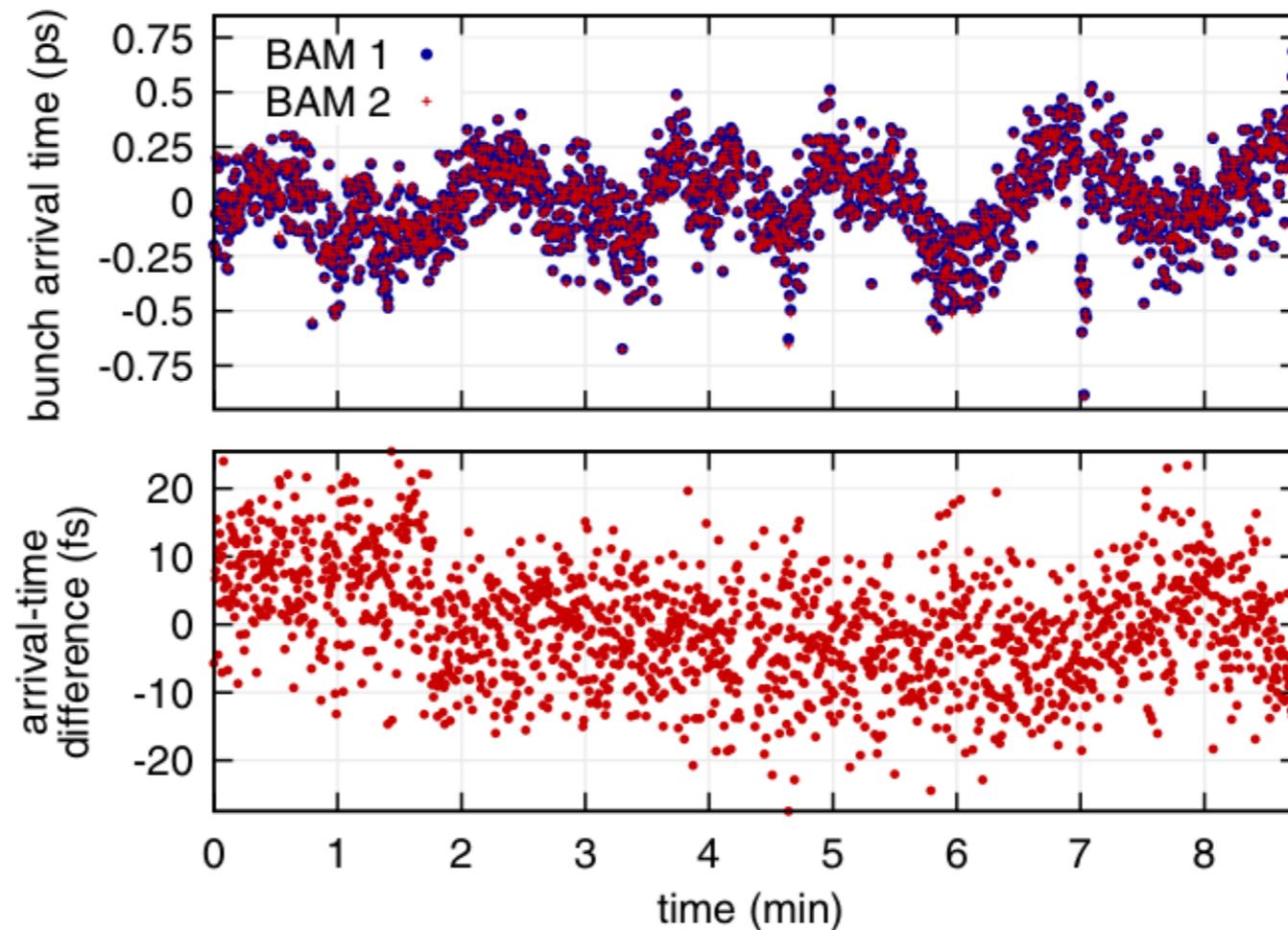
Electron Bunch Timing with Femtosecond Precision in a Superconducting Free-Electron Laser

F. Löhler,^{1,*} V. Arsov,^{1,†} M. Felber,¹ K. Hacker,¹ W. Jalmuzna,² B. Lorbeer,¹ F. Ludwig,¹ K.-H. Matthiesen,¹ H. Schlarb,¹
B. Schmidt,¹ P. Schmüser,³ S. Schulz,³ J. Szewinski,⁴ A. Winter,^{1,‡} and J. Zemella³

Abstand BAMs : 60 m
Link Länge : 200 / 300 m

RMS(t) : 200 fs

RMS(Δt) : 8.5 fs

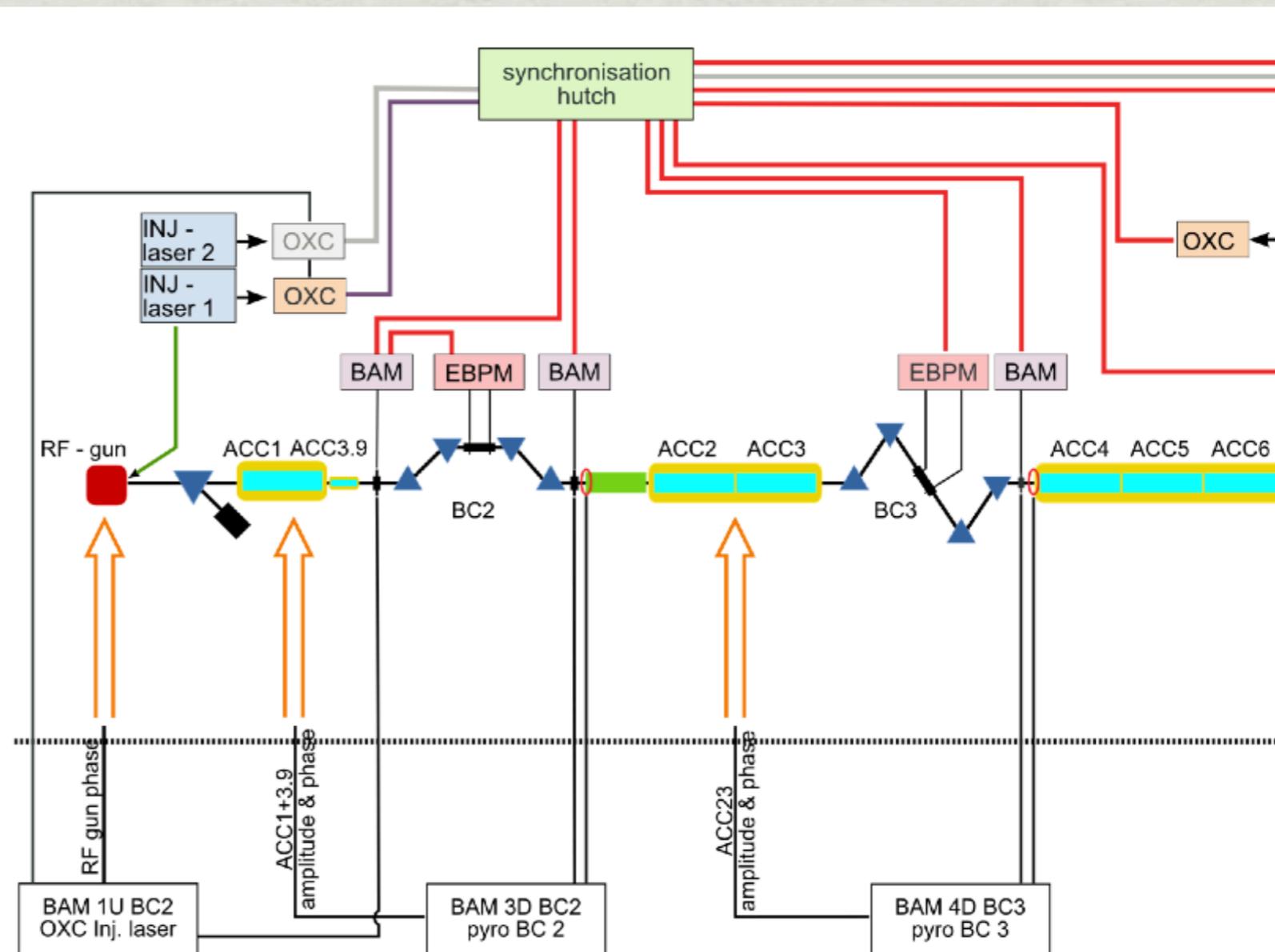


courtesy : F. Löhler

- Maschinenstudien, Optimierung bzgl. Zeitstabilität
- Energiemessung (Laufzeit durch magn. Schikane)
- Referenzzeit für PP-Experimente (bunch-Zeit \sim VUV-Zeit)
 - setzt Anbindung des PP-Lasers an opt. Sync. voraus
- Schnelles feedback zur Stabilisierung der Maschine

Inj. Laser
RF - gun
ACC1 (U & φ)
ACC2/3 (U & φ)

(oder komplexes
 Multiparametersystem)



Erstes Experiment 2009

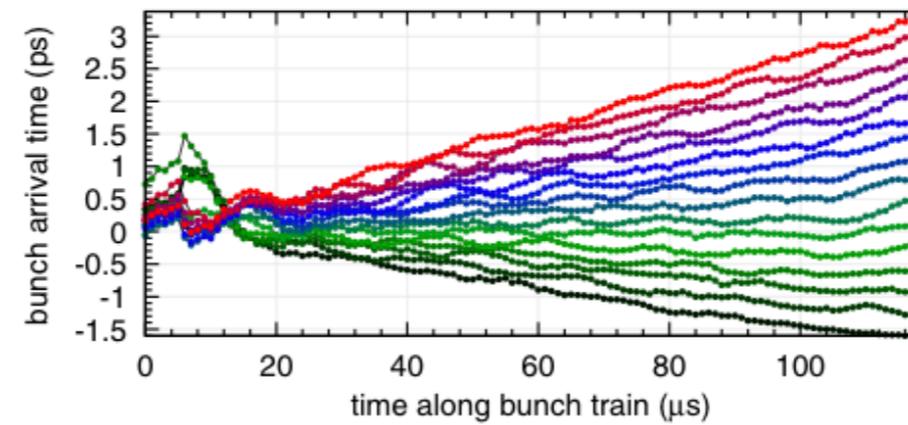
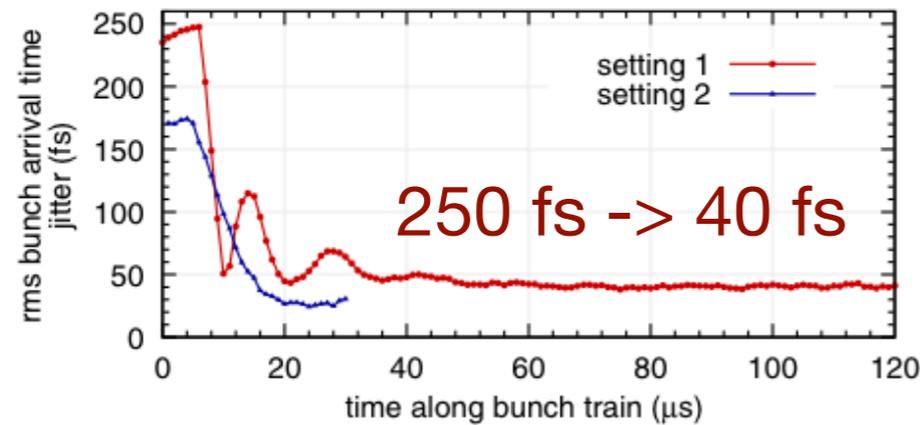
Entspricht Amplitudenstabilität ACC1
von $4.2 \cdot 10^{-5}$

PRL 104, 144801 (2010)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

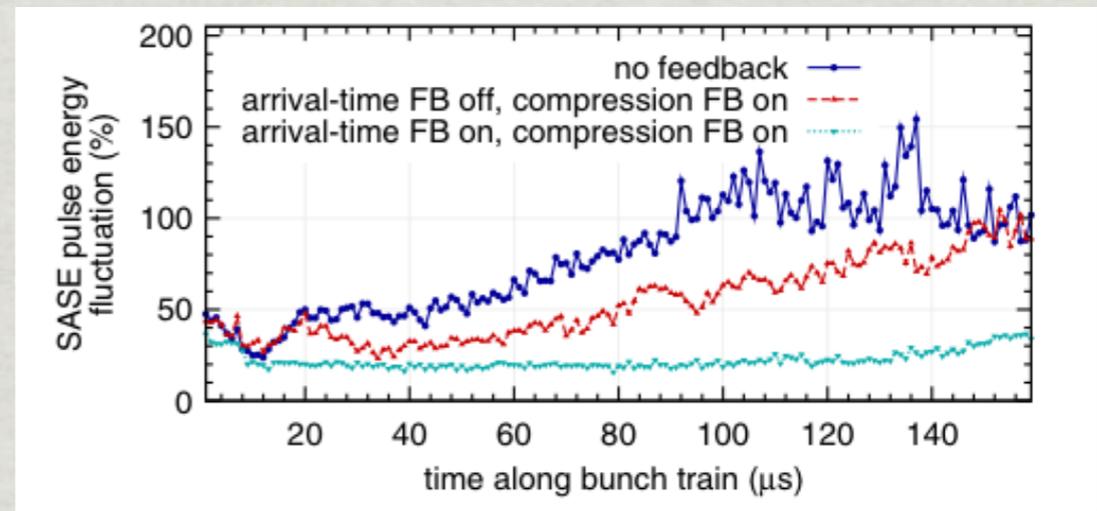
courtesy : F. Löh

week ending
9 APRIL 2010



Zeitschwankung
innerhalb eines Pulszugs

Aufprägung von Zeitgradienten
(PP - Experimente mit einem Pulszug)



Status feedback System : im Aufbau (mit DESY-MSK)

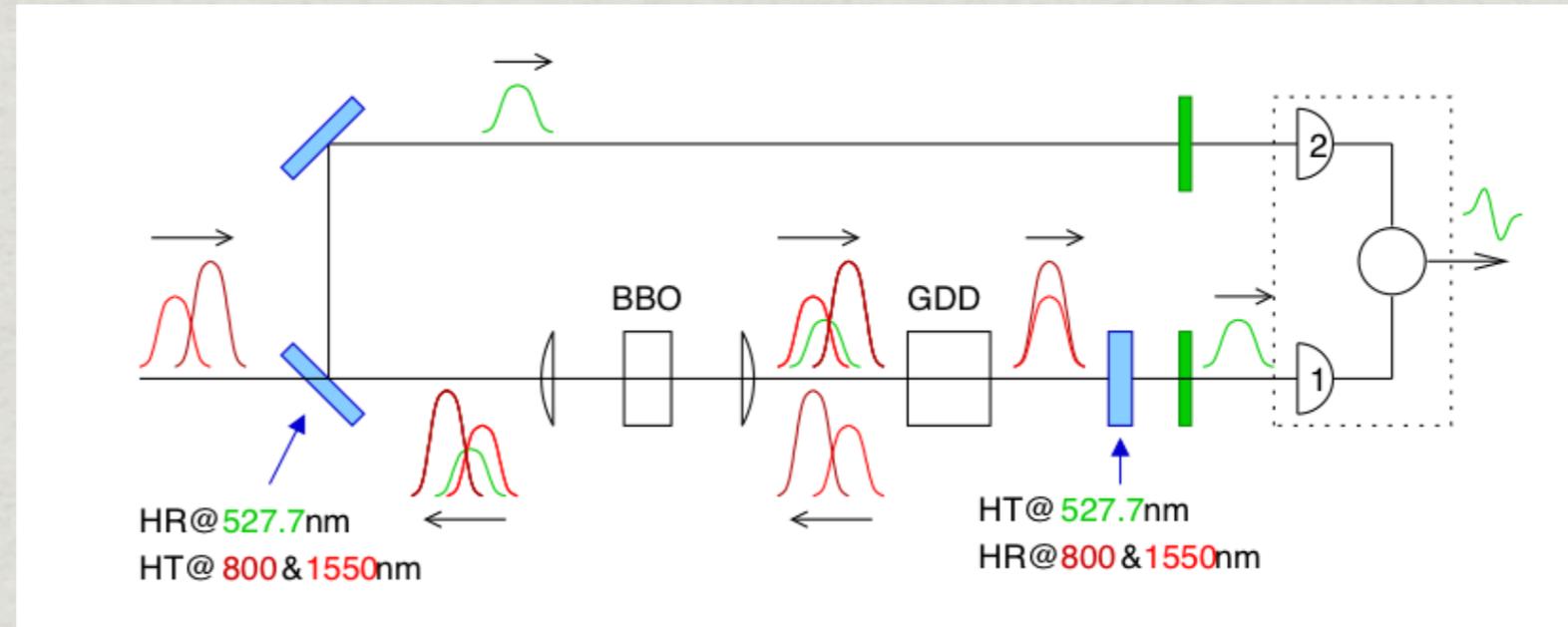
BAMs, CR Monitore ~ ok

DSP - System, Server, Anbindung LLRF (hard & soft) : in Arbeit

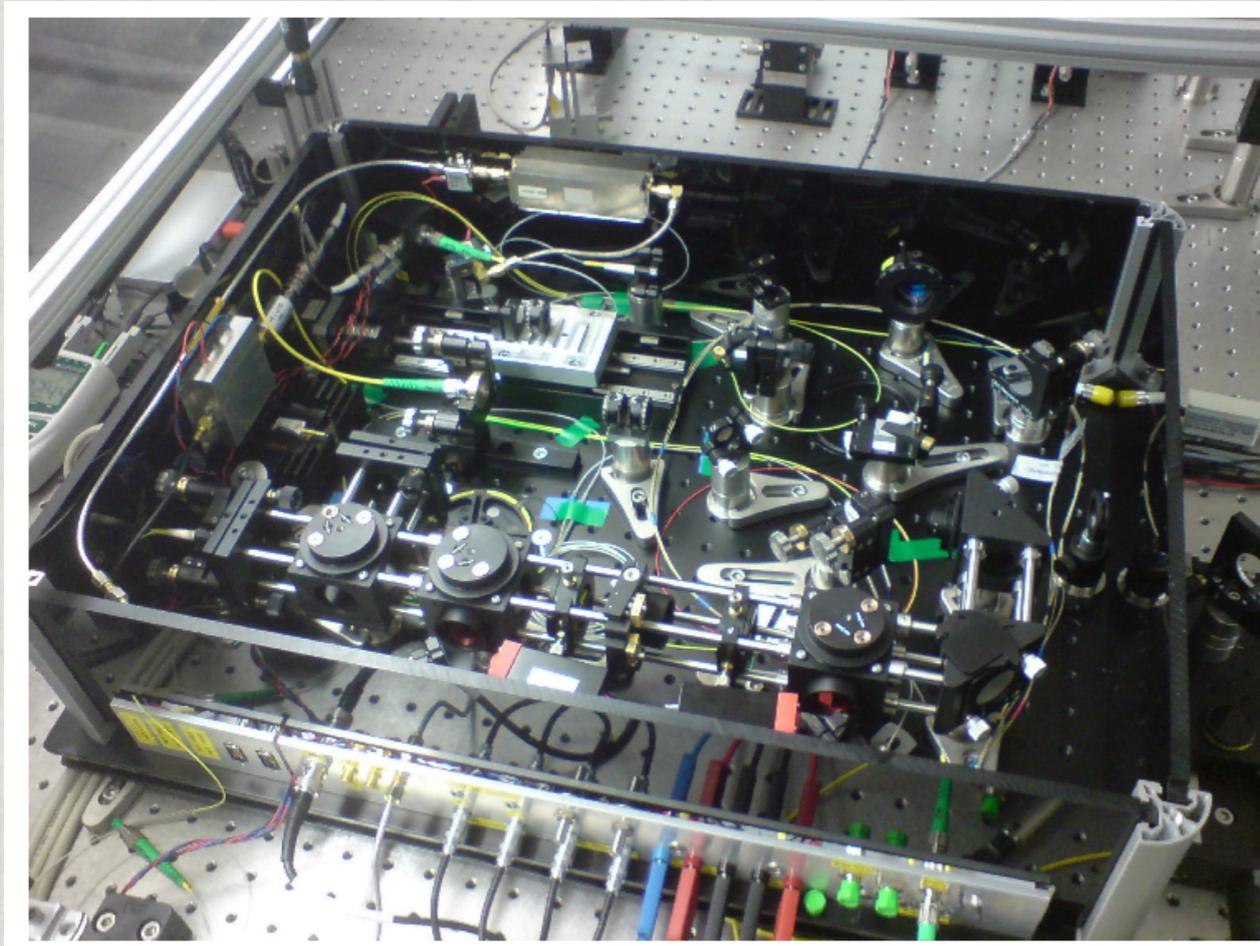
(MSK, J.Szewinski (Warsaw Univ. Technol.), W. Jalmuzna, (TU Lodz))

Optische Kreuzkorrelatoren, direkte Laseranbindung (OXC)

TiSa EO - Laser

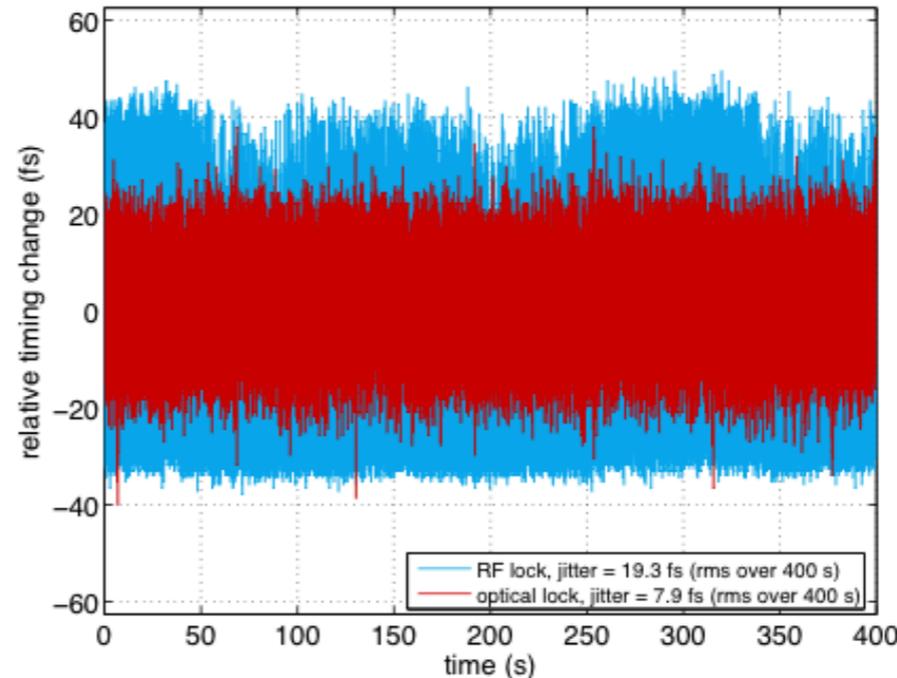
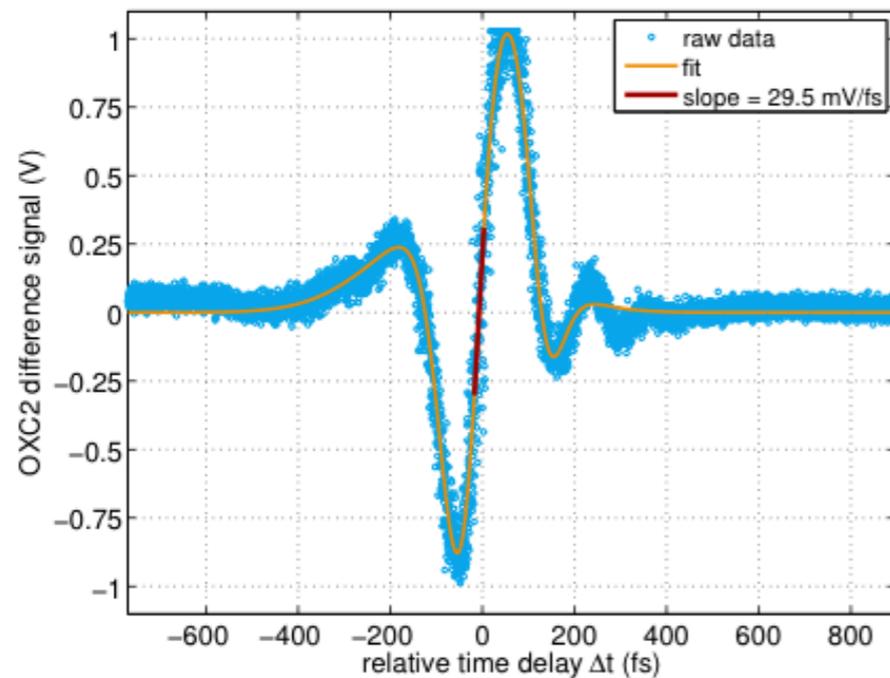


courtesy : S. Schulz



Photoinjektor OXC

OXC für TiSa Laser (EO-Experimente)



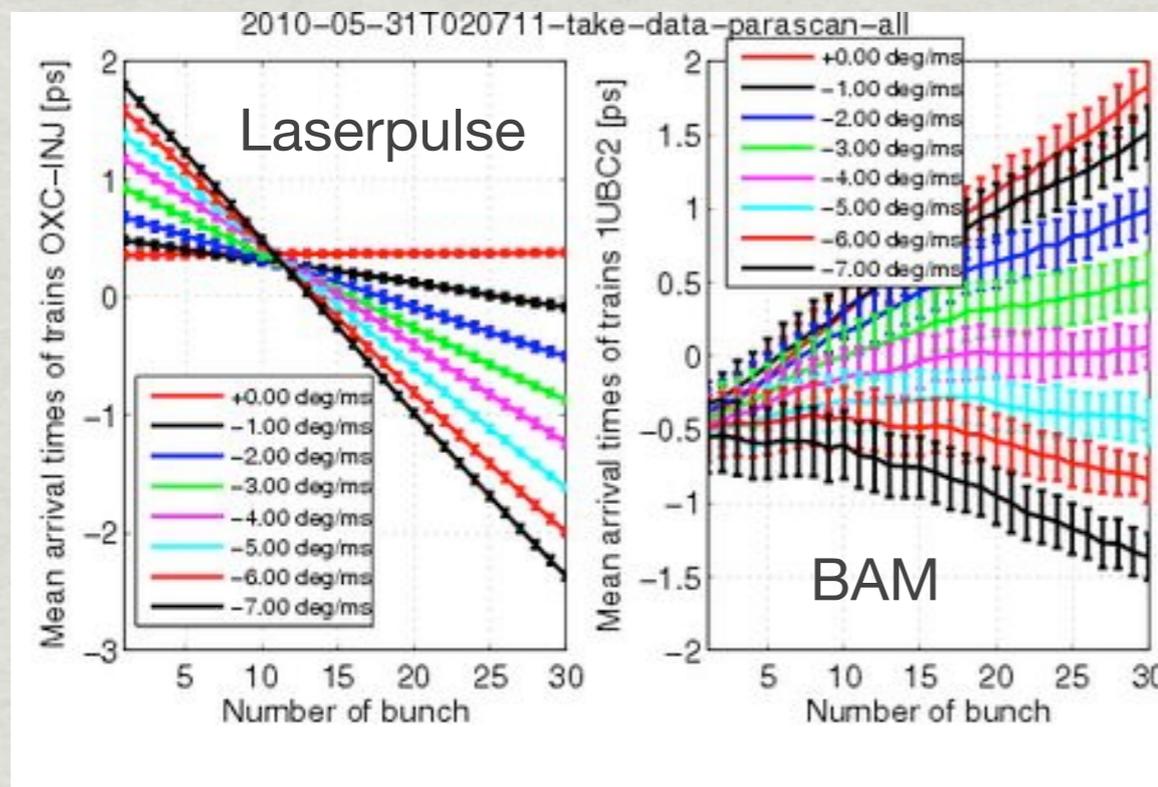
HF:
RMS 19.3 fs

OXC:
RMS 7.9 fs

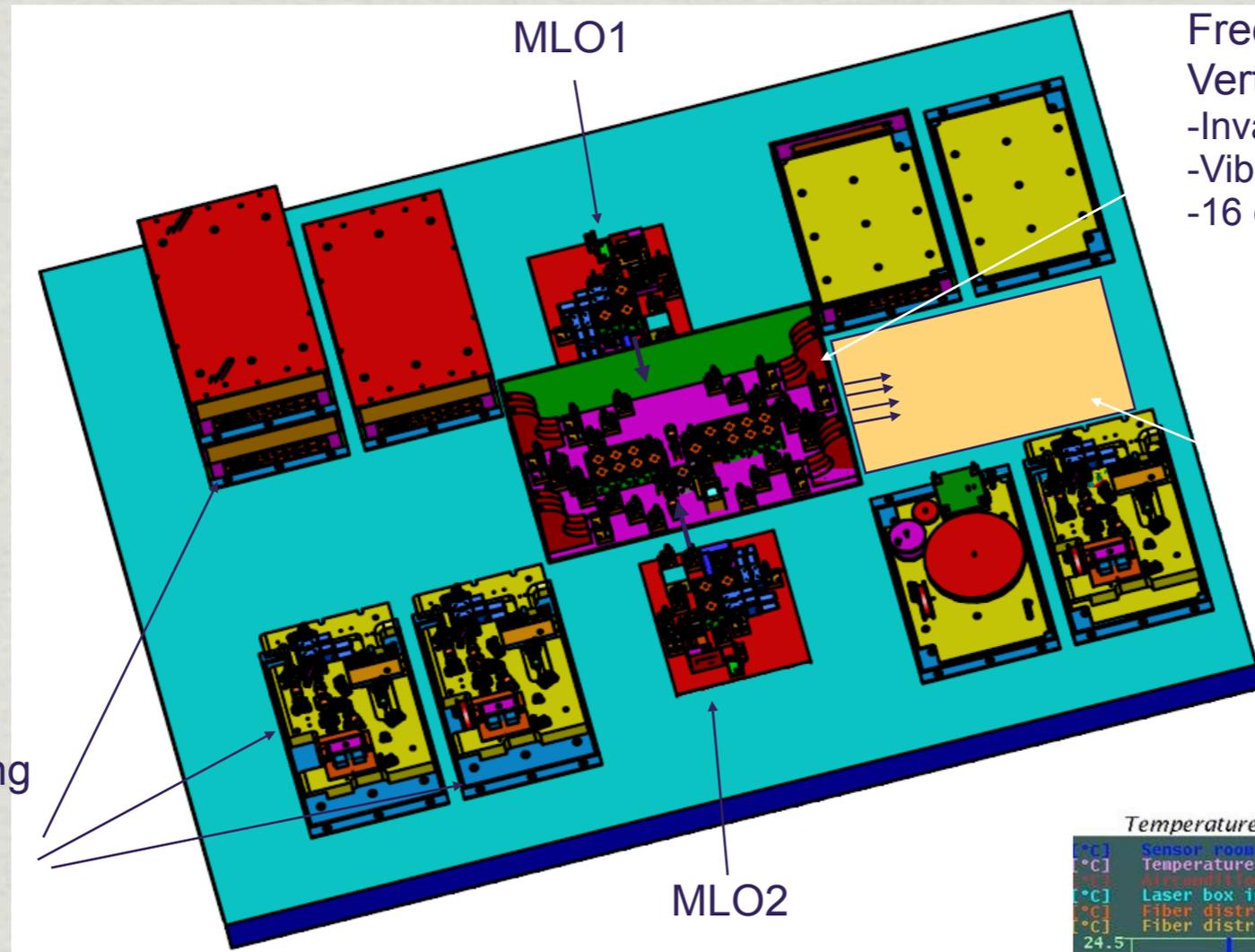
„lock“ funktioniert noch nicht stabil

OXC für Injektor Laser

lineares Zeitprofil im Laser Pulszug
erscheint wieder im Bunchtiming (BAM)



Synchronisationshütte, Aufbau des optischen Systems



Free space opt. Verteilung
-Invar Basisplatte
-Vibrationsgedämpft
-16 opt. Ausgänge

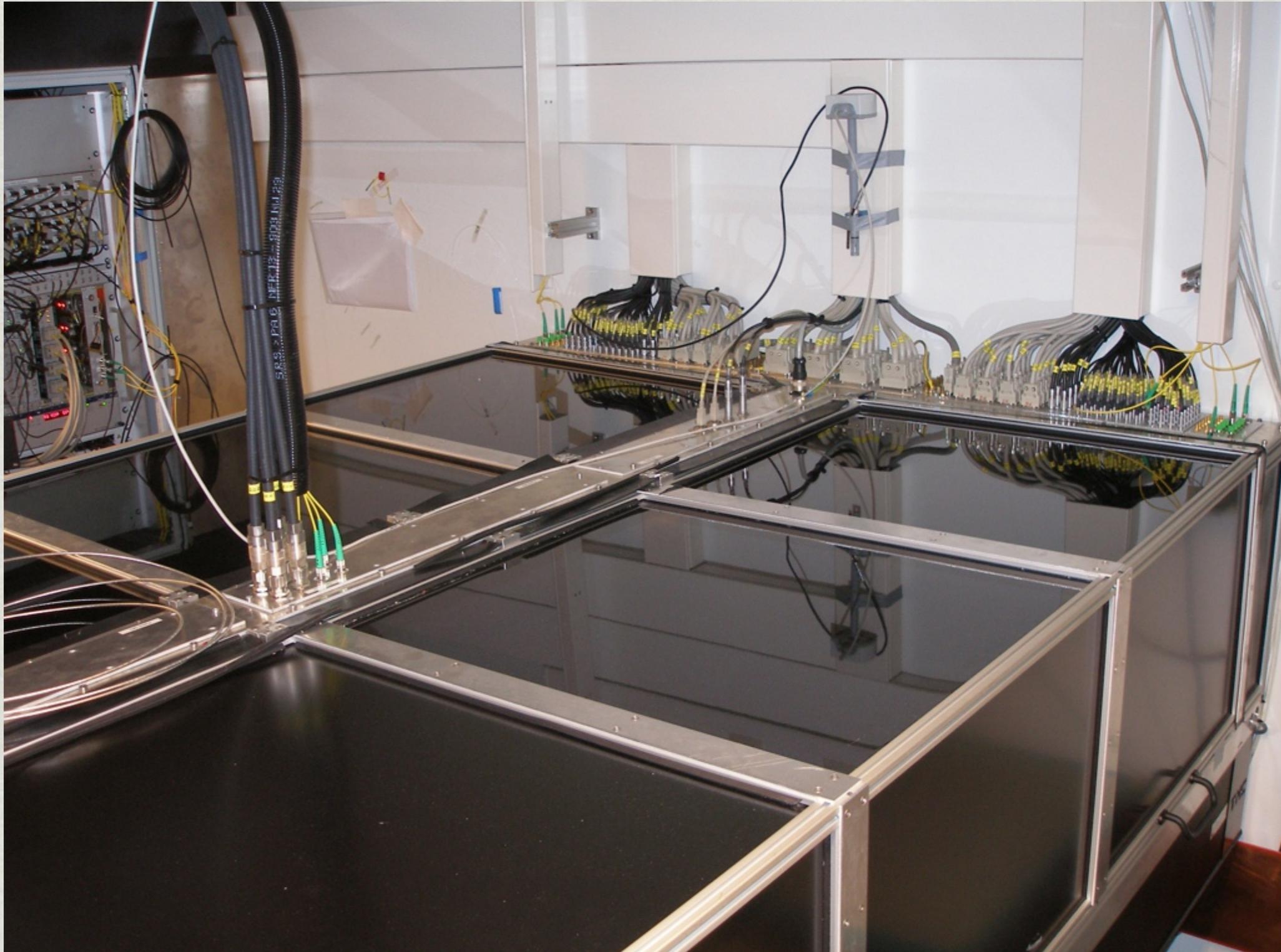
Verteilung mit EDFA für die Links

Faserlink Stabilisierung (max 14)

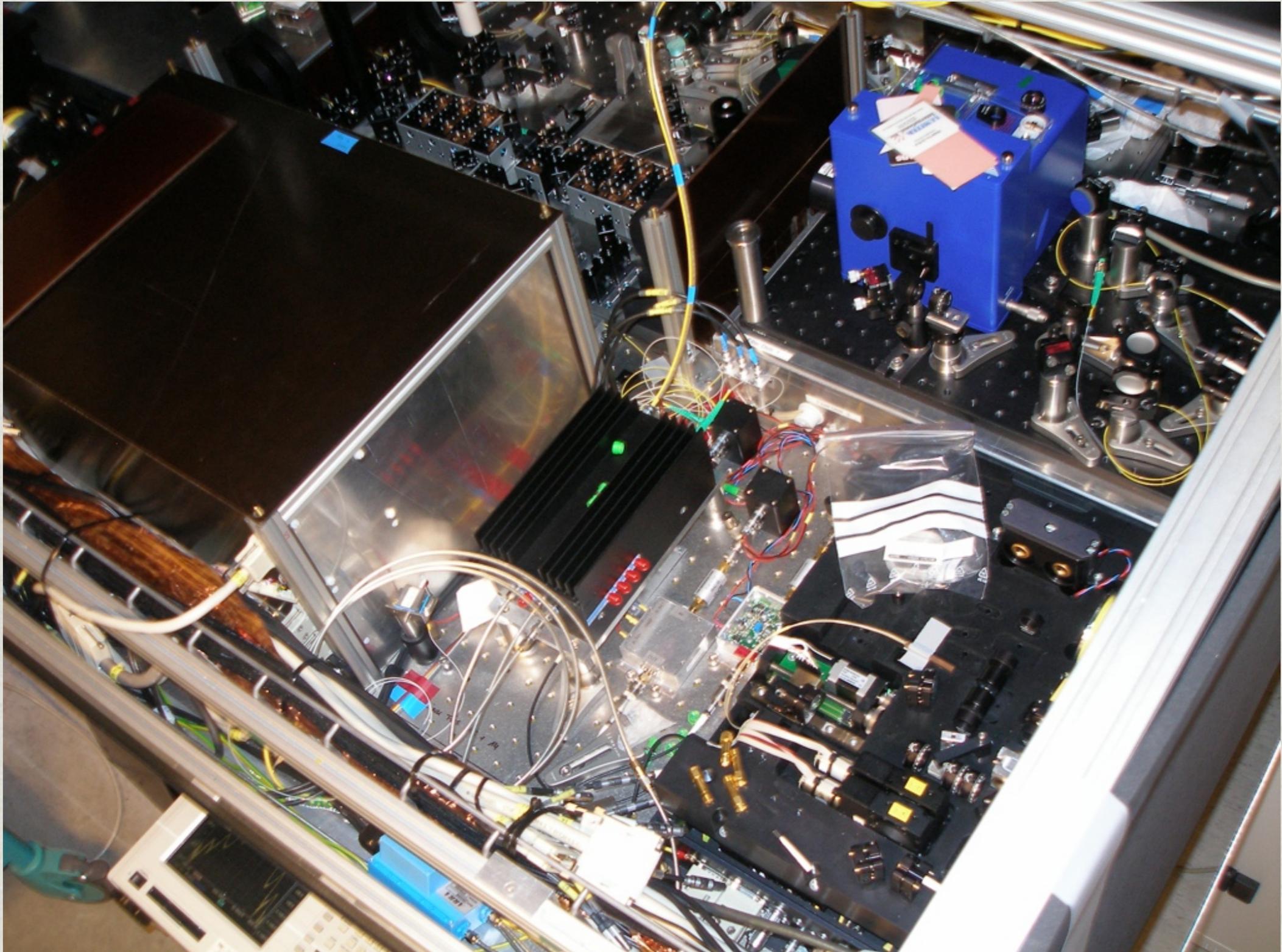
Temp. Stabilität auf dem Tisch $\sim 1/100$ K (ungestört)



Synchronisationshütte



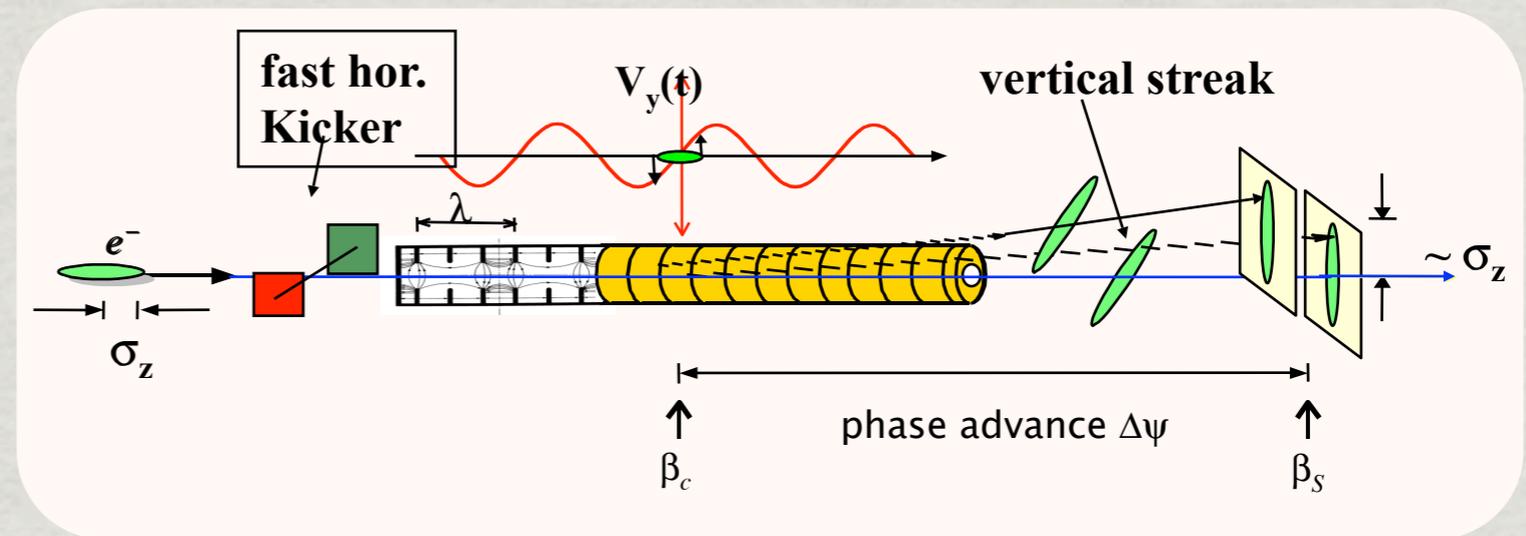
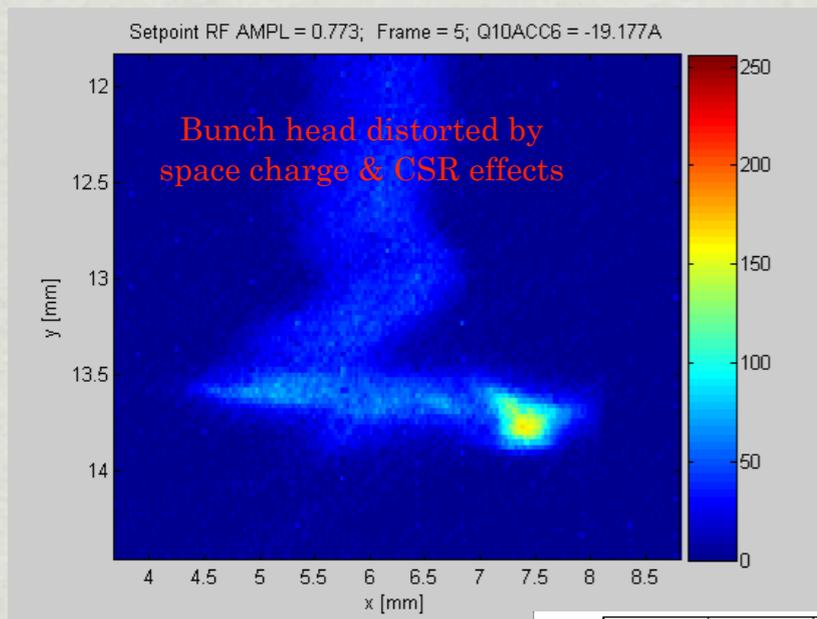
Synchronisationshütte



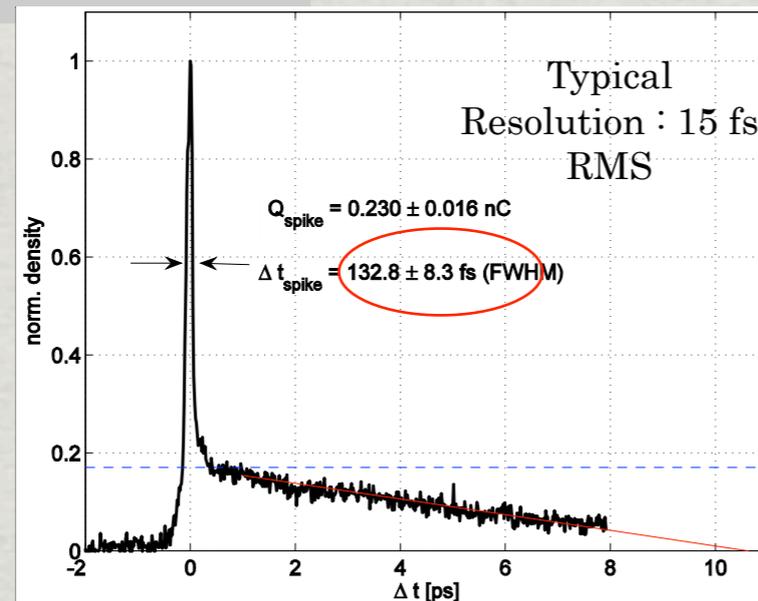
Longitudinale Diagnostik

Bunchprofil und Bunchstruktur mit sub-ps Auflösung

- „Streaking“ mit transversal ablenkendem Resonator



courtesy : M. Röhrs



- + höchste Auflösung
- + slice emittance
- + slice energy spread
- nur Einzelbunch
- langsame Auslese

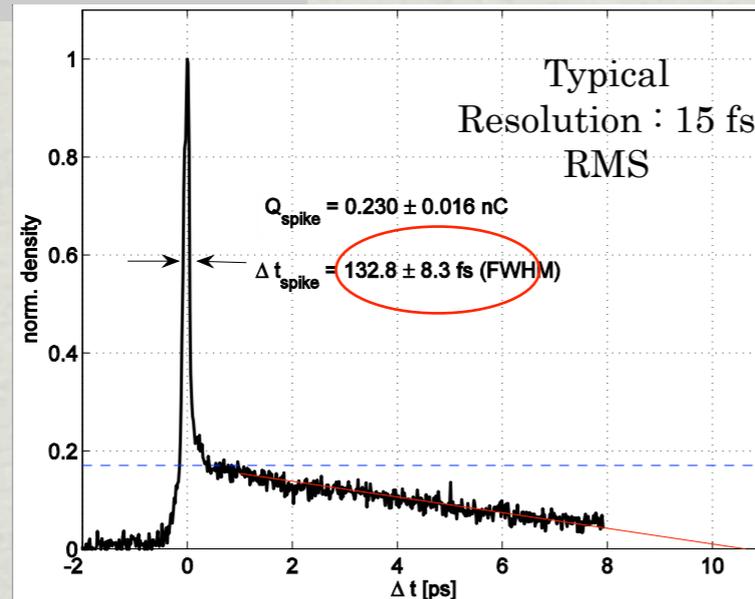
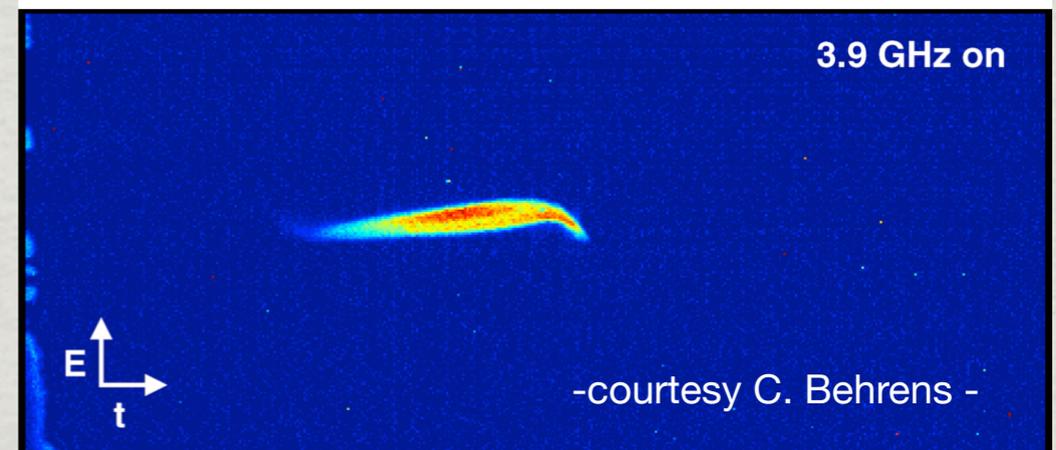
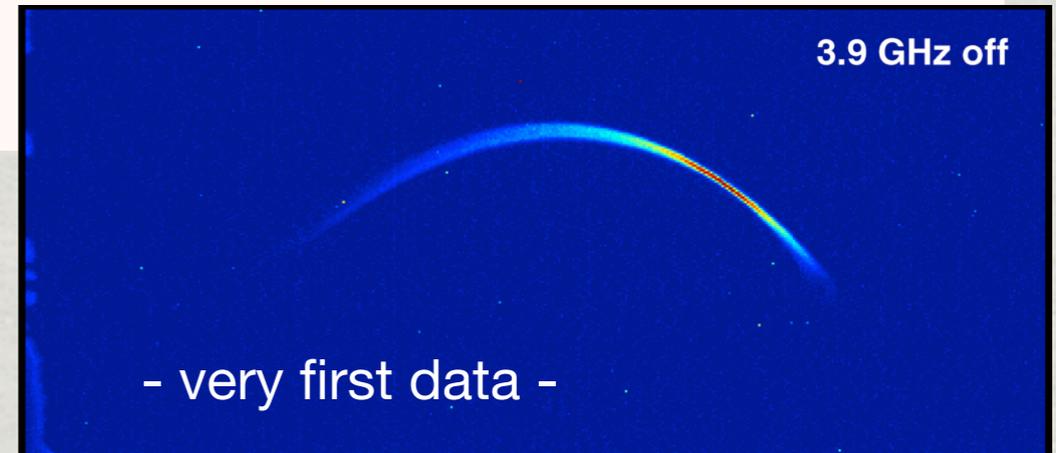
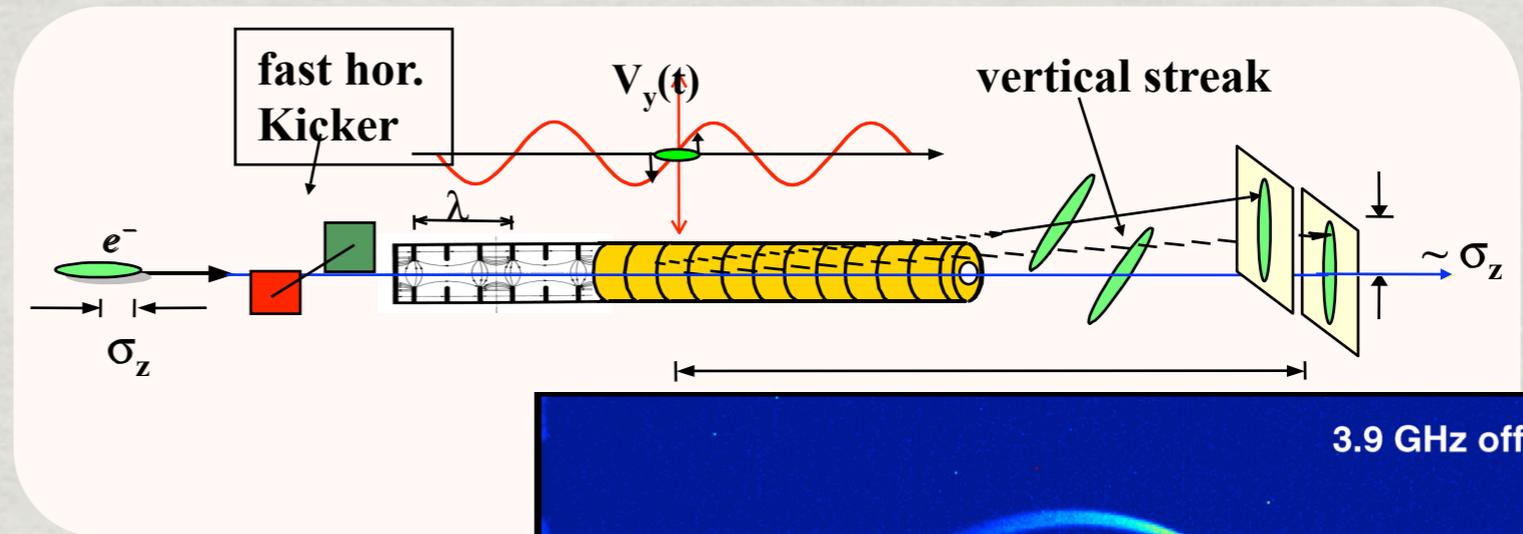
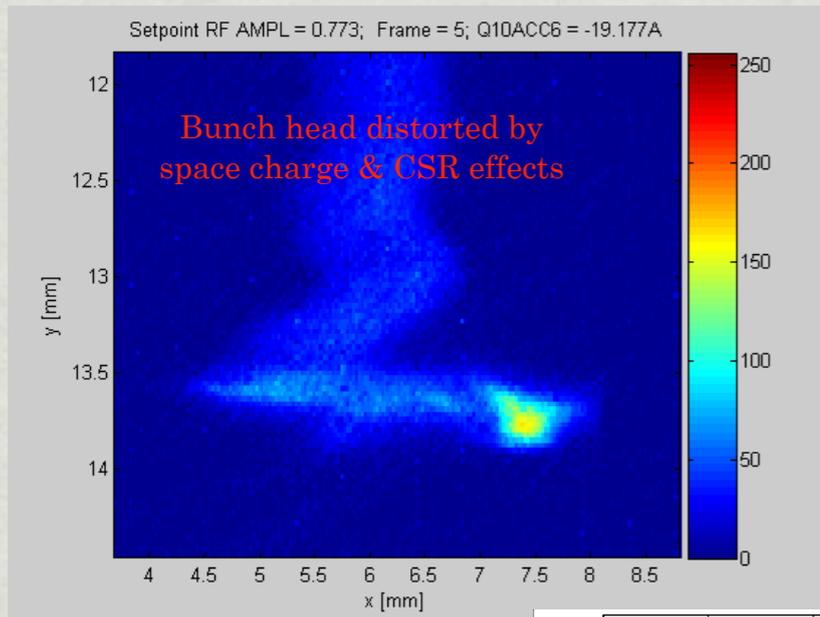
essentielles Tool

Arbeitspunkt lin. Kompression etc.
neuer, optimierter Aufbau

Longitudinale Diagnostik

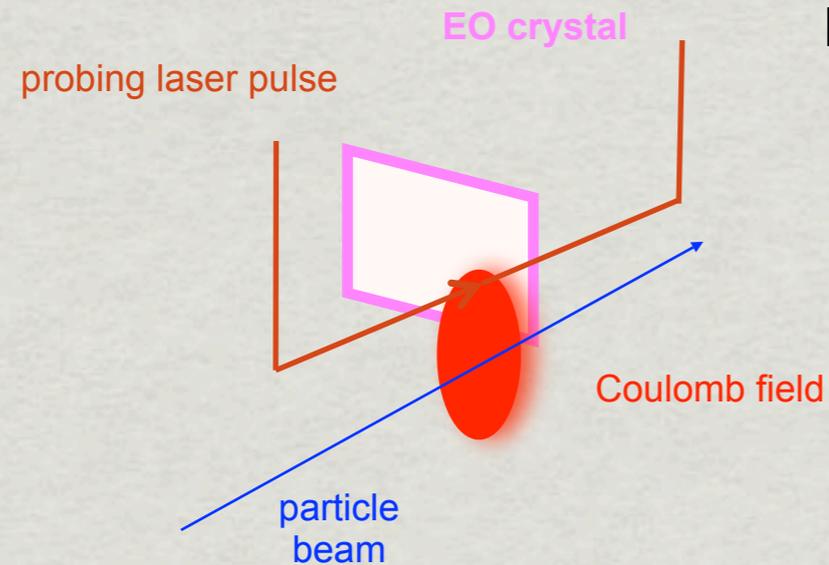
Bunchprofil und Bunchstruktur mit sub-ps Auflösung

- „Streaking“ mit transversal ablenkendem Resonator



courtesy : M. Röhrs

Elektro-optische Bunchlängen- und Bunchzeitmessung



Intra-beamline Messung des Coulomb Felds

- Feldinduzierte Doppelbrechung
- Polarisierung des Laserpulses moduliert $\sim E(t)$

signal $\sim E_r(t)$

for $\gamma \gg 1$

$$E_r(t) = \frac{\lambda(t)}{2\pi b \epsilon_0} = \frac{I(t)}{2\pi b \epsilon_0 c}$$

$\lambda(t)$ linecharge

$I(t)$ current

Zielsetzung :

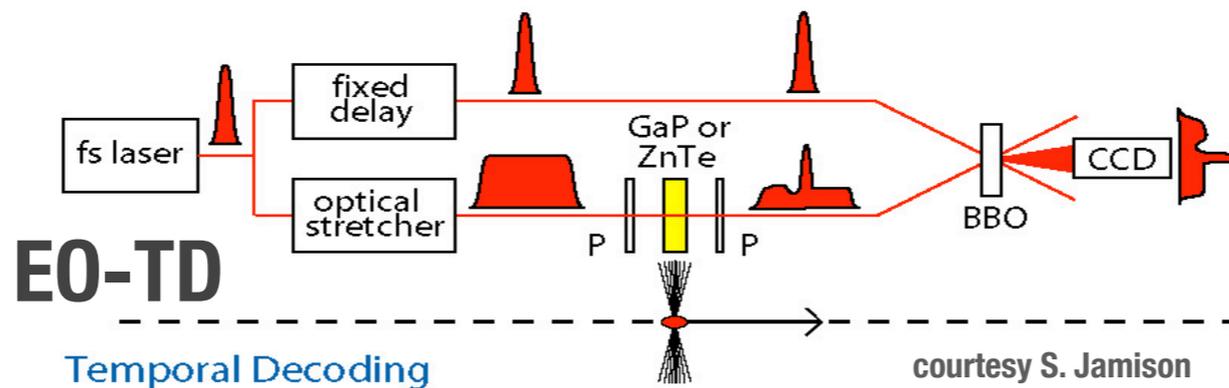
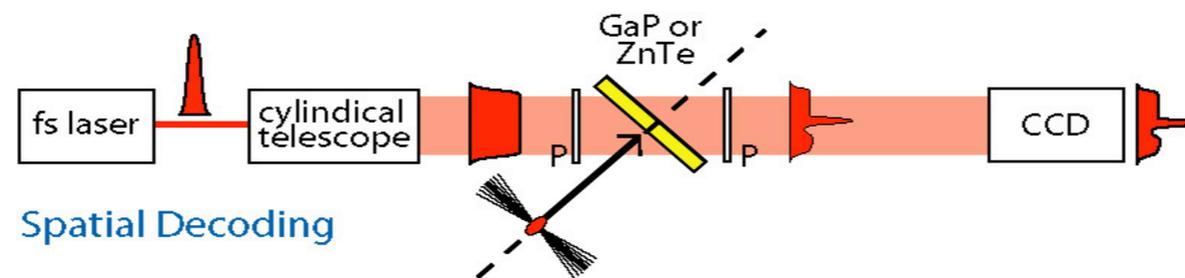
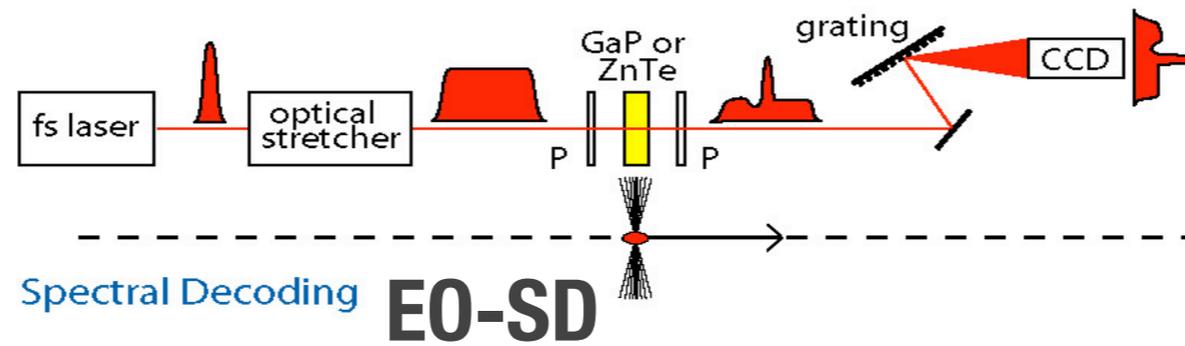
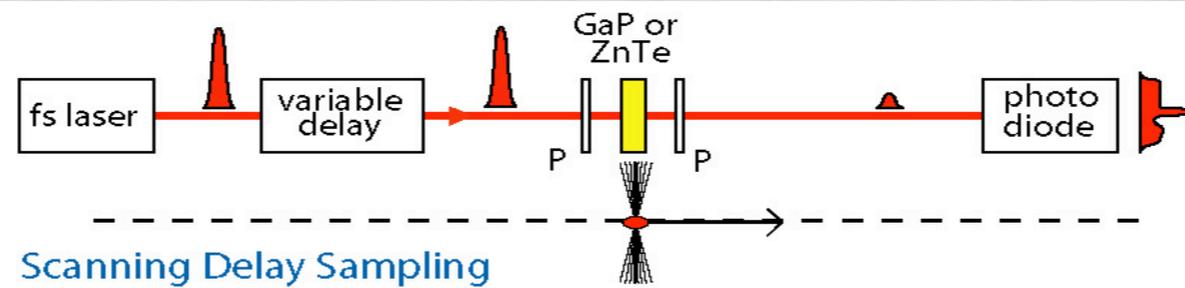
- schneller online Monitor
- multi-bunch fähig
- input für intra-train feed-back

Arbeit an :

- Methodik
- Technologie
- Systemintegration

EO : Methodik, „Decodierung“ der Information

Abtasten



einfach, limitierte Auflösung

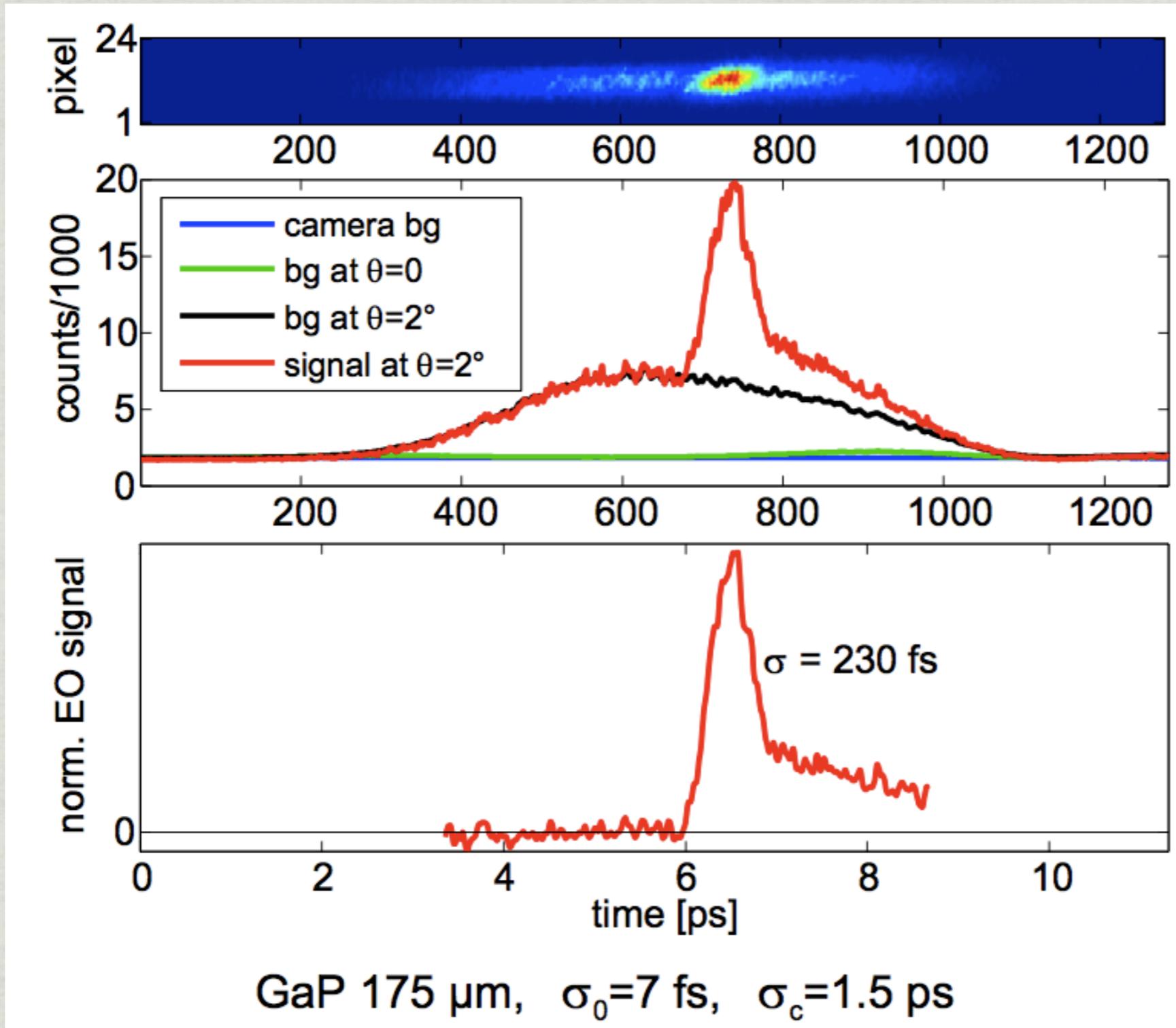
DESY - FS

aufwändig, beste Auflösung

Einzelsschuss

courtesy S. Jamison

EO spectral decoding : Beispiel



Kamerabild, Spektrum

Intensitätsprofile

Untergrundbereinigt
auf Zeit umgerechnet

all data courtesy B. Steffen

Seminar FZD 6.7.2010, Bernhard Schmidt, DESY-FLA

EO Techniken im Vergleich

PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS 12, 032802 (2009)

Electro-optic time profile monitors for femtosecond electron bunches at the soft x-ray free-electron laser FLASH

B. Steffen,^{1,2} V. Arsov,¹ G. Berden,^{3,*} W. A. Gillespie,⁴ S. P. Jamison,⁵ A. M. MacLeod,⁶ A. F. G. van der Meer,³ P. J. Phillips,⁴ H. Schlarb,¹ B. Schmidt,¹ and P. Schmüser¹

¹Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg, Germany

²Paul Scherrer Institut, Villigen, Switzerland

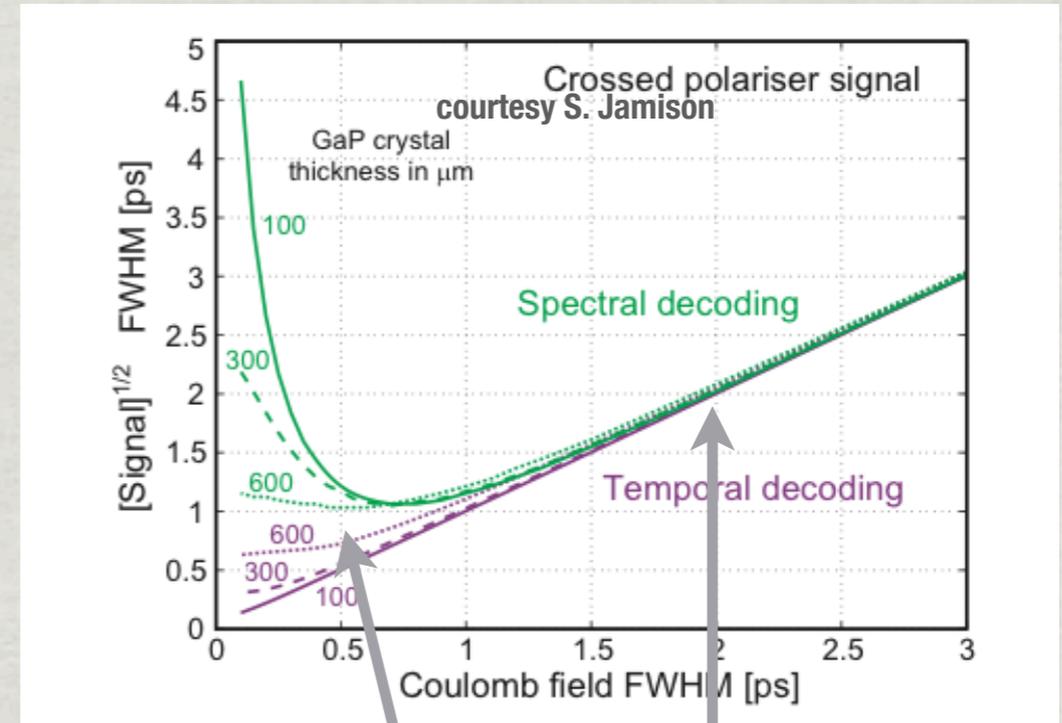
³FOM Institute for Plasma Physics "Rijnhuizen", Nieuwegein, The Netherlands

⁴University of Dundee, Dundee, United Kingdom

⁵Accelerator Science and Technology Centre, STFC Daresbury Laboratory, Warrington, United Kingdom

⁶School of Computing and Advanced Technologies, University of Abertay Dundee, Dundee, United Kingdom

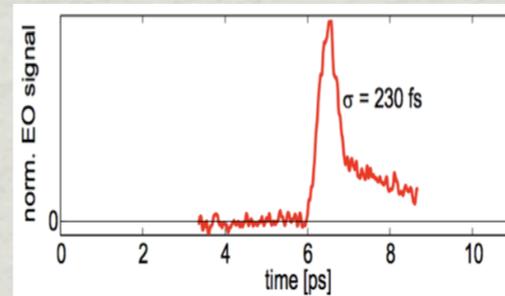
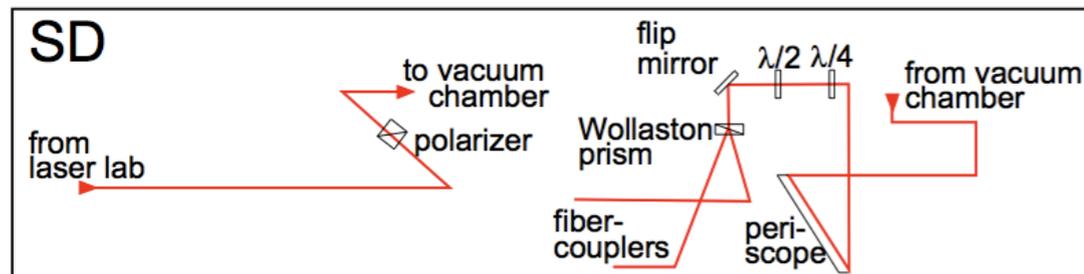
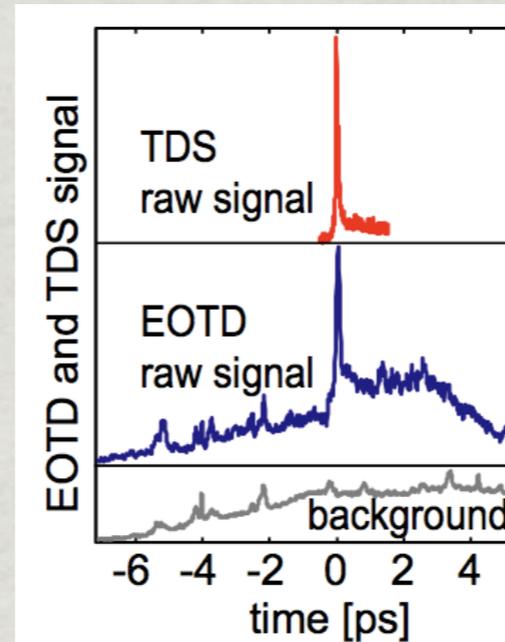
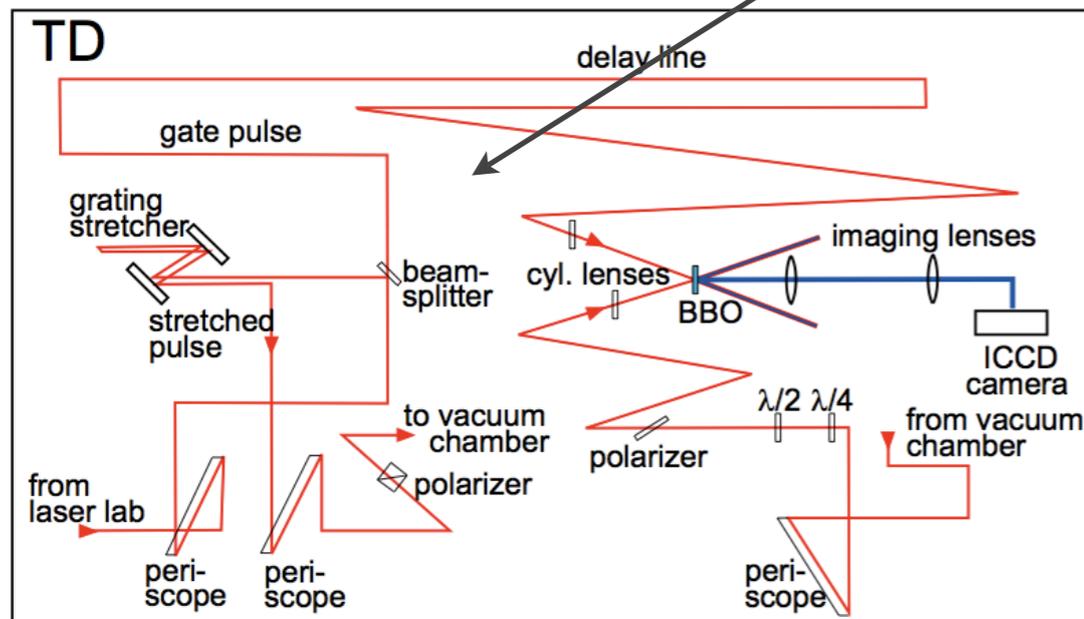
(Received 14 January 2009; published 17 March 2009)



zu komplex für online-monitor

nach BC2

nach BC3



nicht für sub-ps pulse

all data courtesy B. Steffen

Seminar FZD 6.7.2010, Bernhard Schmidt, DESY-FLA

Der Weg zum schnellen Monitor (EO-SD)

- robustes, dauerbetriebsfähiges Lasersystem (im Tunnel !)
- kompakte EO-Kammer
- direkte Anbindung an opt. Synchronisation
- Steuerung integriert in Maschinenkontrollsystem
- automatisierte Signalfindung, exception handling etc.
- schnelle Signalauslese und online Verarbeitung

Zusammenarbeit mit PSI, IRUVX-PP -EuroFEL

Der Weg zum schnellen Monitor (EO-SD)

- robustes, dauerbetriebsfähiges Lasersystem (im Tunnel !)
- kompakte EO-Kammer
- direkte Anbindung an opt. Synchronisation
- Steuerung integriert in Maschinenkontrollsystem
- automatisierte Signalfindung, exception handling etc.
- schnelle Signalauslese und online Verarbeitung

Zusammenarbeit mit PSI, IRUVX-PP -EuroFEL

... lang und dornenreich..

Lasersystem

Anforderungen für den Messbetrieb

- **Gepulster Betrieb** ← optisches gating, bunch Wiederholrate (1 MHz)
- **Fasergekoppelt** ●
- **Pulsenergie von mindestens 1.5 nJ im EO-Monitor**
- **Spektrale Bandbreite von ca. 60 nm**
- **Pulsdauer komprimierbar bis unter 100 fs**
- **Pulslänge am main port kleiner 5 ps**
- **Große Laufruhe: integrierter Timing Jitter von höchstens 100 fs (1kHz...10MHz)**
- **Zuverlässige Funktion über Wochen und Monate** ●
- **Wartungsfrei** ●

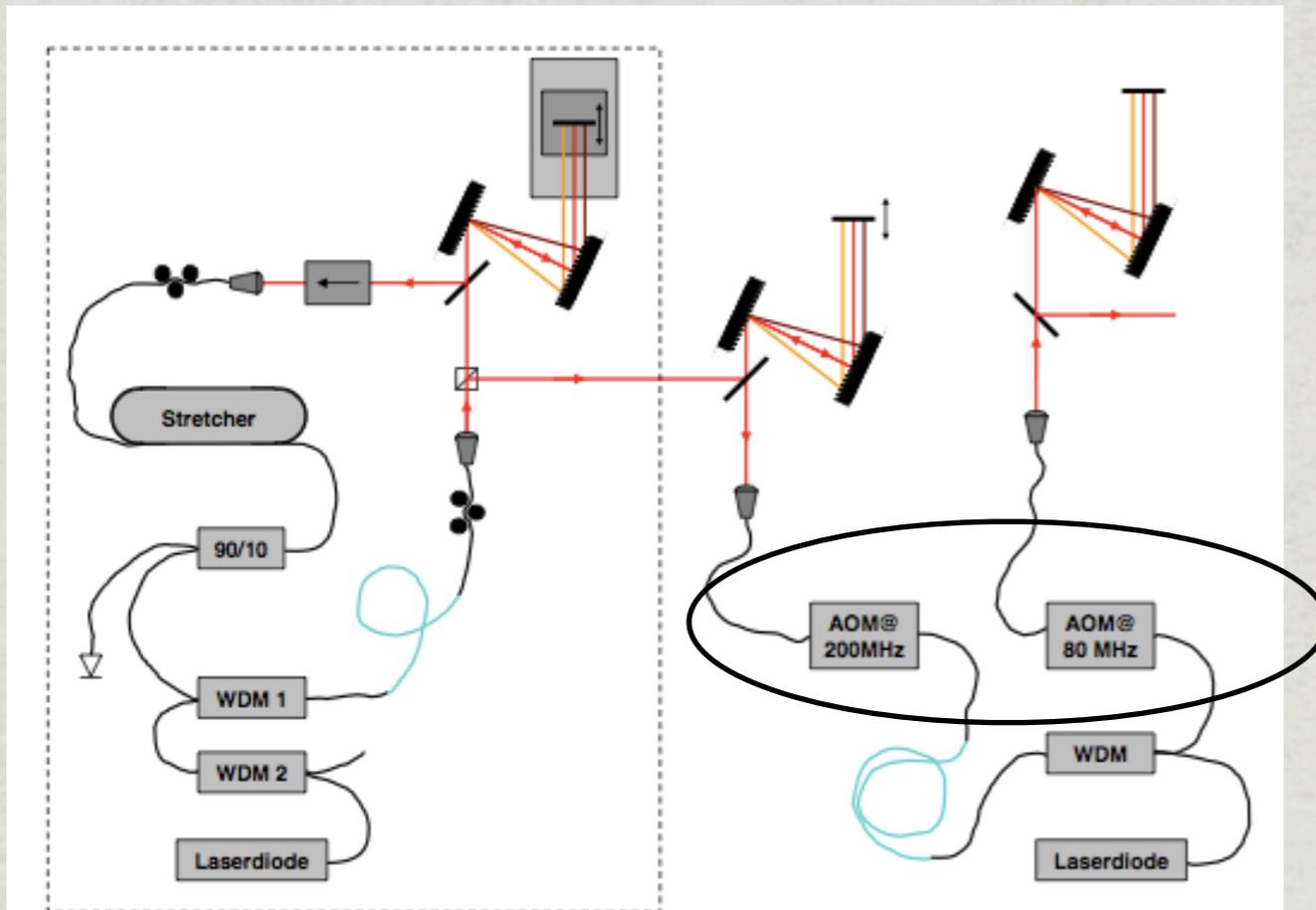
Kommerzieller TiSa Oszillator (820 nm)
(Coherent MICRA)

- **Problempunkte**

Yb - Faserlaser + YDFA (1030 nm)

- DESY - Entwicklung
- PSI - Entwicklung
- Kommerzielles System (Menlo ORANGE)

DESY Entwicklung (initial zusammen mit Ö.İlday, Bilkent Univ. Ankara)



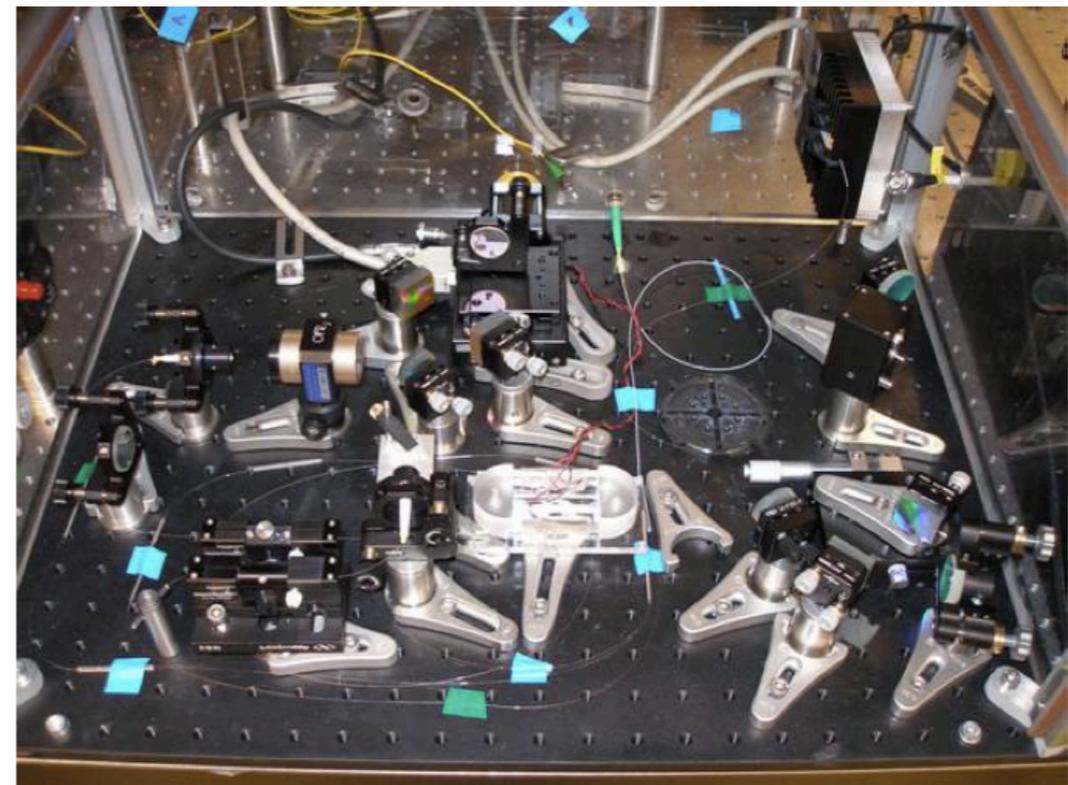
opt. gating auf 1 MHz

Experimentalversion

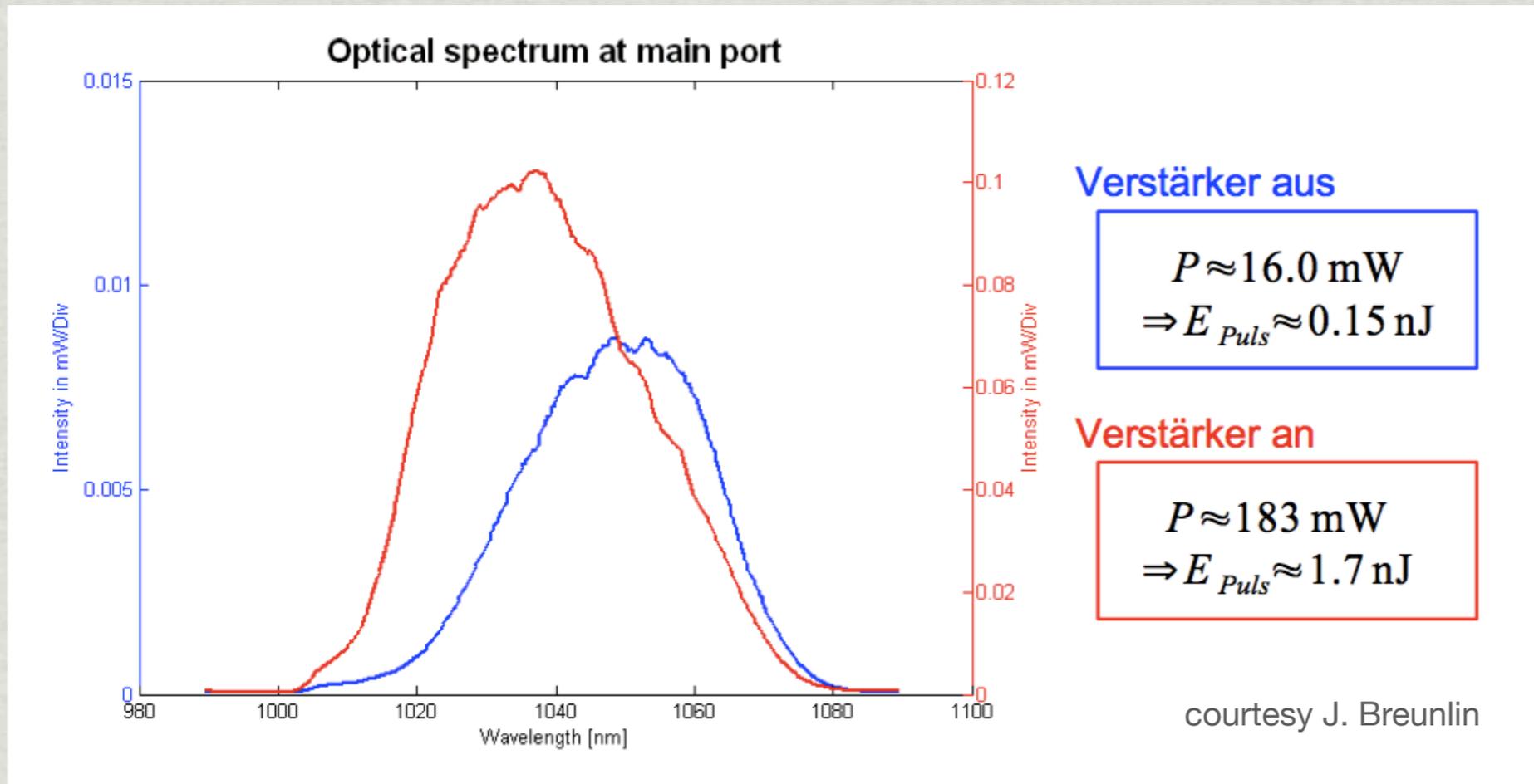
courtesy L. Wißmann

to do:

- packaging (-> BESSY, ~~HZB~~)
- Automatisierung



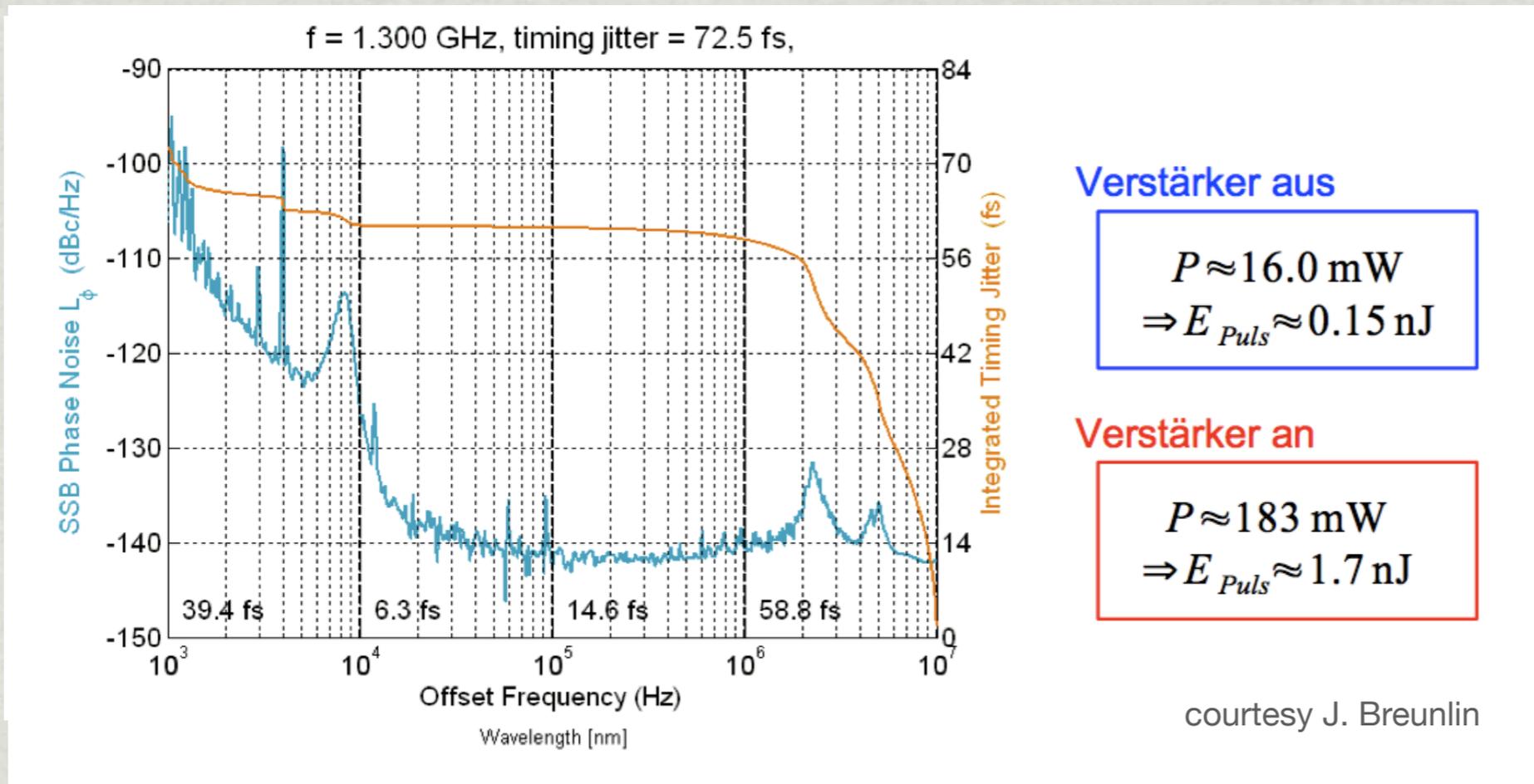
Menlo ORANGE, 216 MHz



nach „Nachbesserung“ im Werk : Spezifikationen ok
extrem robust, turn-key, volle Fernsteuerbarkeit

zusätzlich benötigt :
gating auf 1 MHz
HF Synchronisation

Menlo ORANGE, 216 MHz

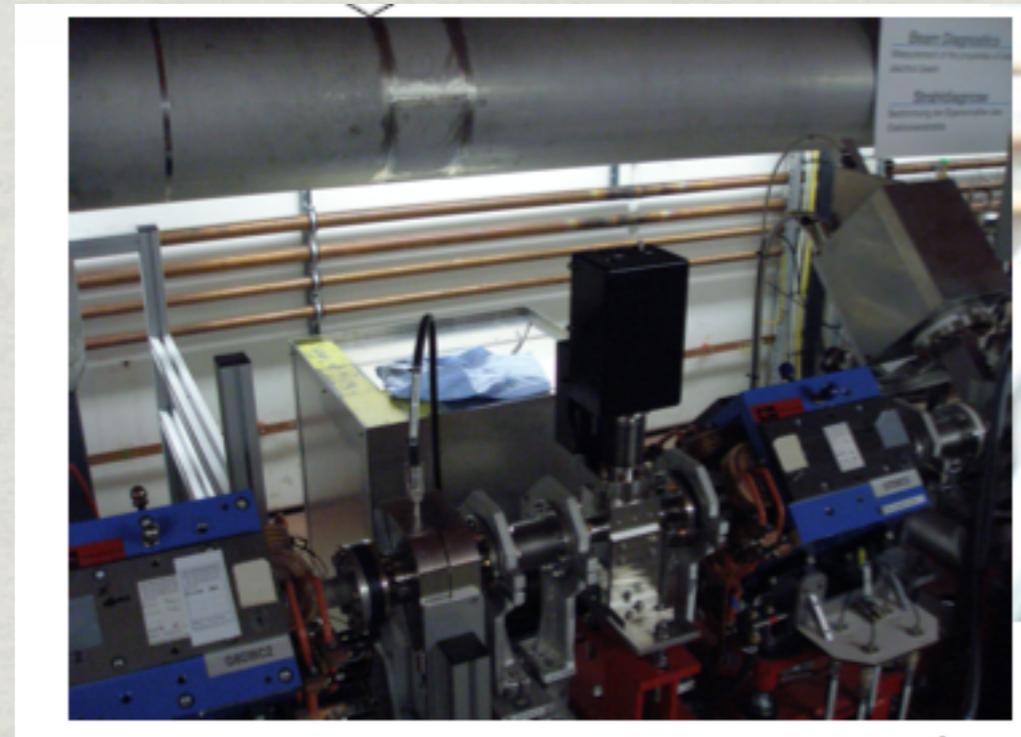
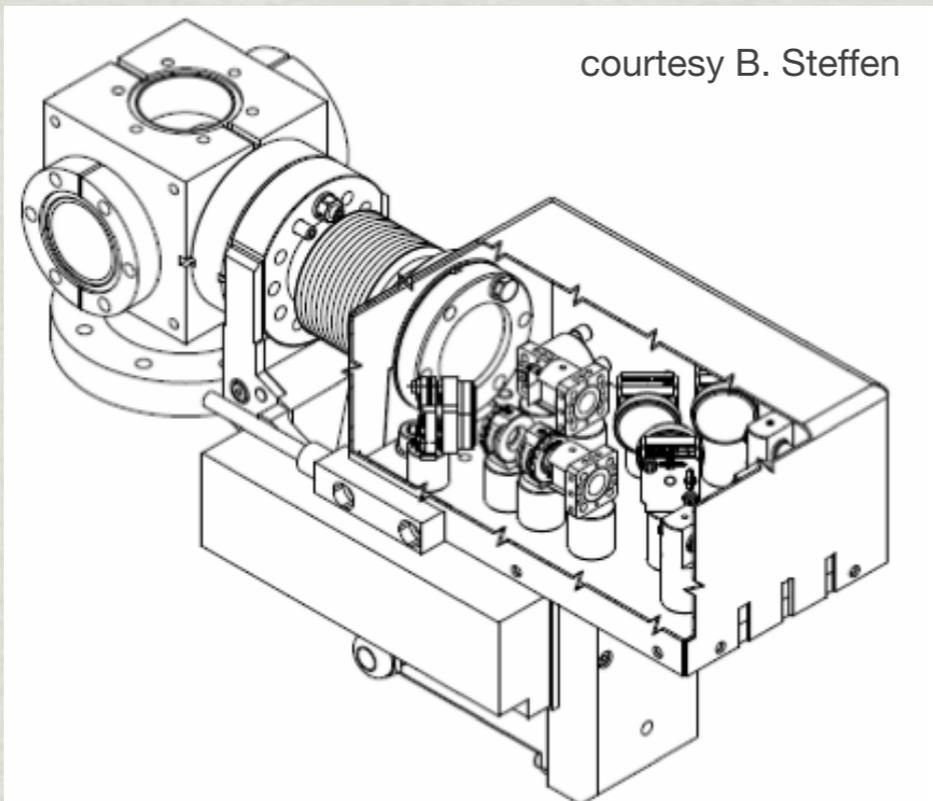
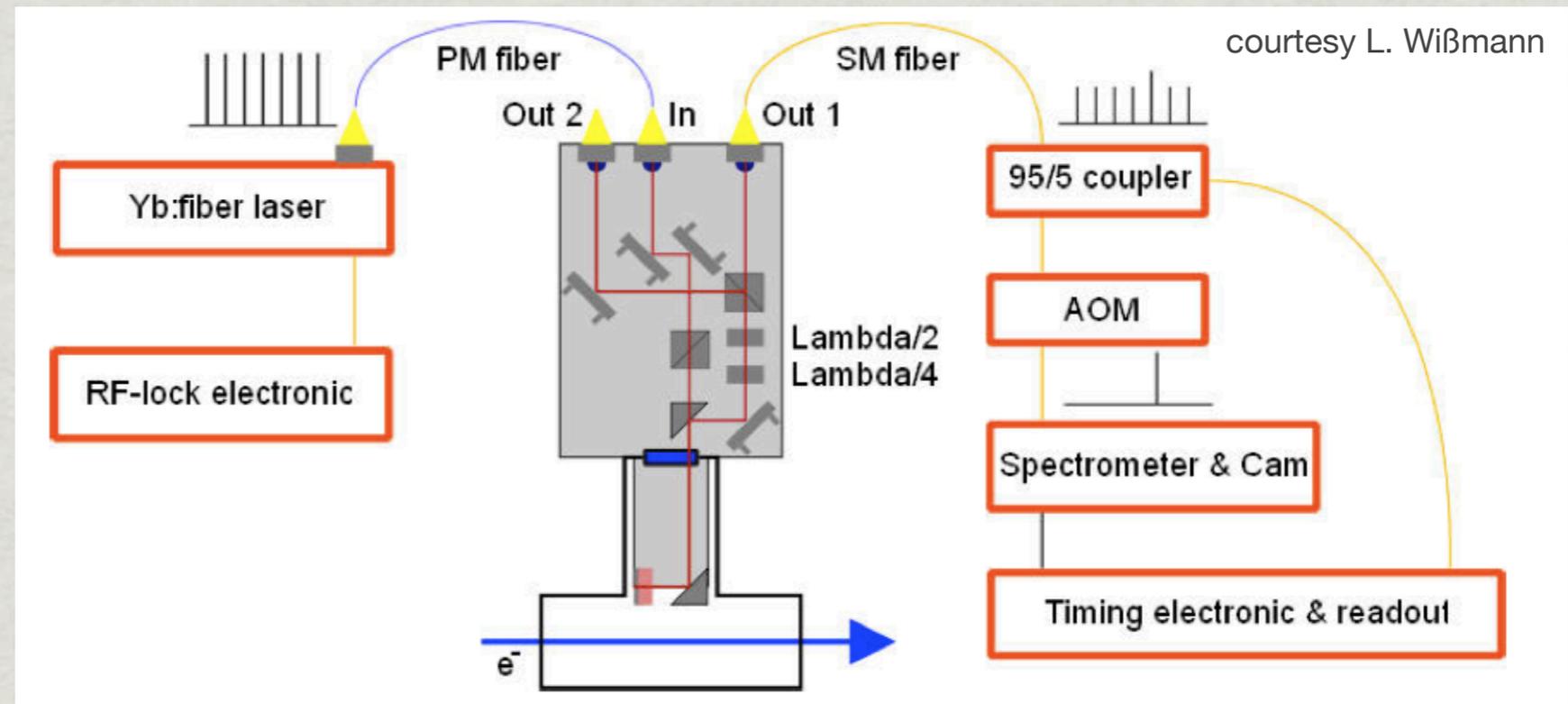


nach „Nachbesserung“ im Werk : Spezifikationen ok
extrem robust, turn-key, volle Fernsteuerbarkeit

zusätzlich benötigt :
gating auf 1 MHz
HF Synchronisation

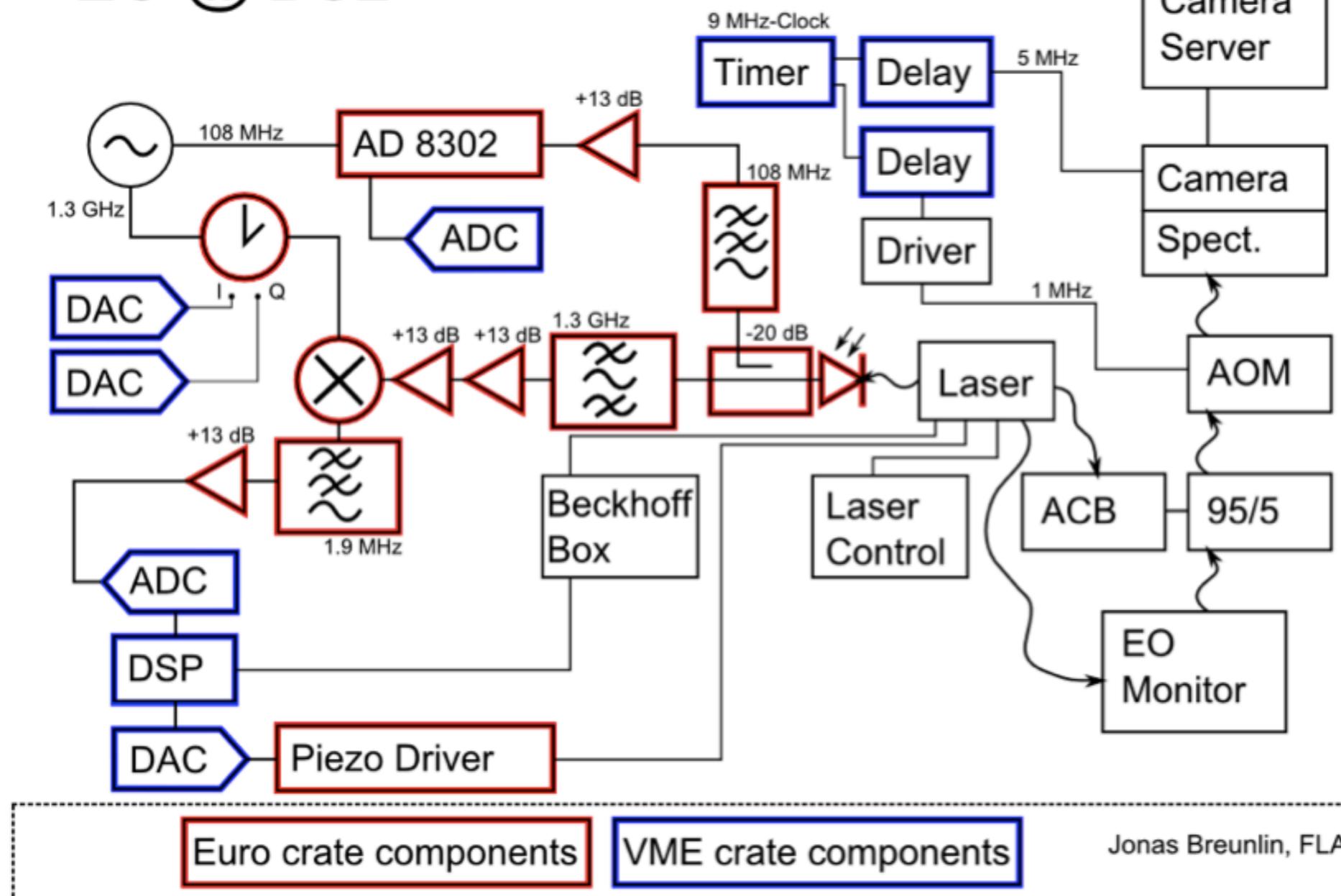
Kompakte Kristallkammer

PSI Konstruktion



Steuerung und HF Synchronisation

EO @ BC2



Auslesesystem

Derzeit :

Spektrometer und InGaAs Zeilenkamera
(kommerziell, ANDOR)



- ~1.4 μ s gating time (spezifiziert)
- langsame Auslese
- > kein „multi-bunch“, kein schnelles feedback



in Planung :

InGaAs Zeilendetektor mit 1 MHz Parallelauslese (IRUVX-EuroFEL)

- custom made InGaAs Array (256 Kanäle)
- integrierter ASIC für Signalverarbeitung und Digitalisierung (ASIC Labor Uni-HD ?)
- Signalverarbeitung in DSP (Zusammenarbeit mit DESY-MSK)

Auslesesystem

Derzeit :

Spektrometer und InGaAs Zeilenkamera
(kommerziell, ANDOR)



~1.4 μ s gating time (spezifiziert)
langsame Auslese

-> kein „multi-bunch“, kein schnelles feedback

Inbetriebnahme August, warten auf FLASH



in Planung :

InGaAs Zeilendetektor mit 1 MHz Parallelauslese (IRUVX-EuroFEL)

- custom made InGaAs Array (256 Kanäle)
- integrierter ASIC für Signalverarbeitung und Digitalisierung (ASIC Labor Uni-HD ?)
- Signalverarbeitung in DSP (Zusammenarbeit mit DESY-MSK)

Auslesesystem

Derzeit :

Spektrometer und InGaAs Zeilenkamera
(kommerziell, ANDOR)



~1.4 μ s gating time (spezifiziert)
langsame Auslese

-> kein „multi-bunch“, kein schnelles feedback

Inbetriebnahme August, warten auf FLASH



in Planung :

InGaAs Zeilendetektor mit 1 MHz Parallelauslese (IRUVX-EuroFEL)

- custom made InGaAs Array (256 Kanäle)
- integrierter ASIC für Signalverarbeitung und Digitalisierung (ASIC Labor Uni-HD ?)
- Signalverarbeitung in DSP (Zusammenarbeit mit DESY-MSK)

Doktorand gesucht !

weitere EO Entwicklung (Grundlagen)

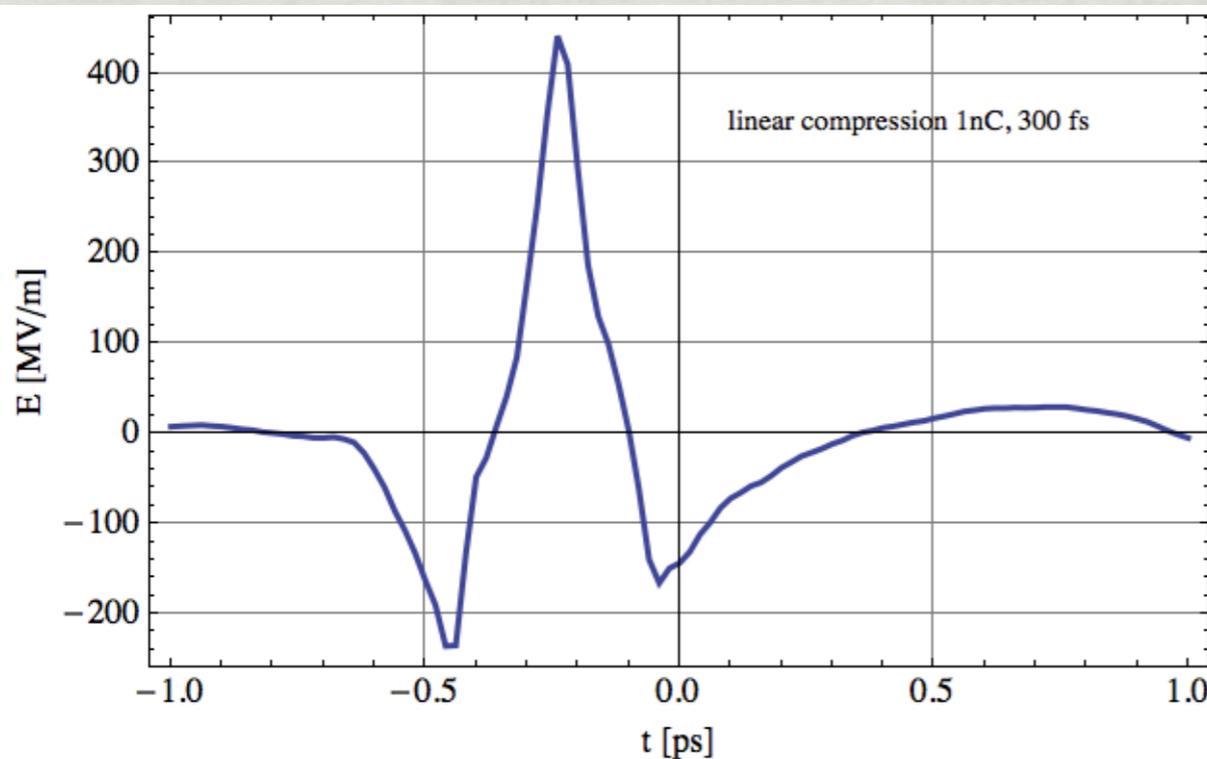
- andere EO Materialien (keine Resonanzen, organisch, „percolation films“..)
- SHG statt EO ??

weitere EO Entwicklung (Grundlagen)

- andere EO Materialien (keine Resonanzen, organisch, „percolation films“..)
- SHG statt EO ??

ideale Spielwiese : FLASH - THz beamline

- externes Labor, keine Zugangsbeschränkung
- intensive, breitbandige (kurze) THz Pulse
- diverse Lasersysteme (incl. high power TiSa) at hand...



PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS **12**, 030705 (2009)

Ultrabroadband terahertz source and beamline based on coherent transition radiation

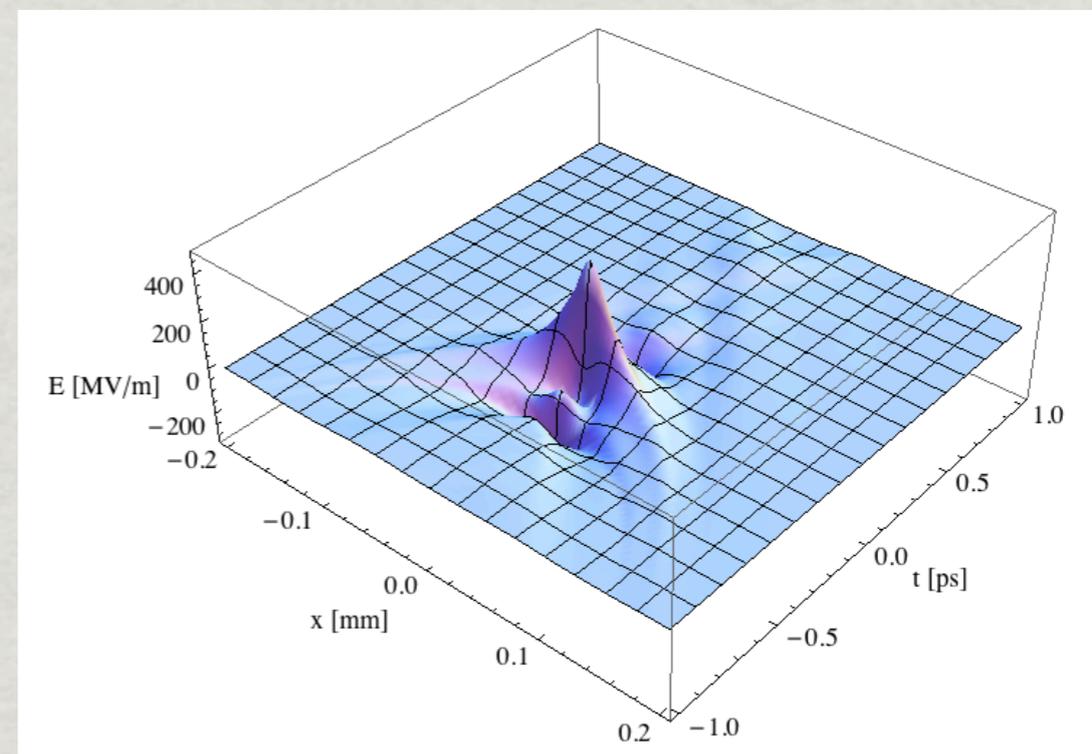
S. Casalbuoni,¹ B. Schmidt,² P. Schmüser,^{2,3} V. Arsov,² and S. Wesch²

¹Institute for Synchrotron Radiation, Research Center Karlsruhe, P.O. Box 3640, D-76021 Karlsruhe, Germany

²Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Notkestrasse 85, 22607 Hamburg, Germany

³Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg, Luruper Chaussee 149, 22607 Hamburg, Germany

(Received 30 October 2008; published 25 March 2009)



weitere EO Entwicklung (Grundlagen)

- andere EO Materialien (keine Resonanzen, organisch, „percolation films“..)
- SHG statt EO ??

ideale Spielwiese : FLASH - THz beamline

- externes Labor, keine Zugangsbeschränkung
- intensive, breitbandige (kurze) THz Pulse
- diverse Lasersysteme (incl. high power TiSa) at hand...

PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS 12, 030705 (2009)

Ultrabroadband terahertz source and beamline based on coherent transition radiation

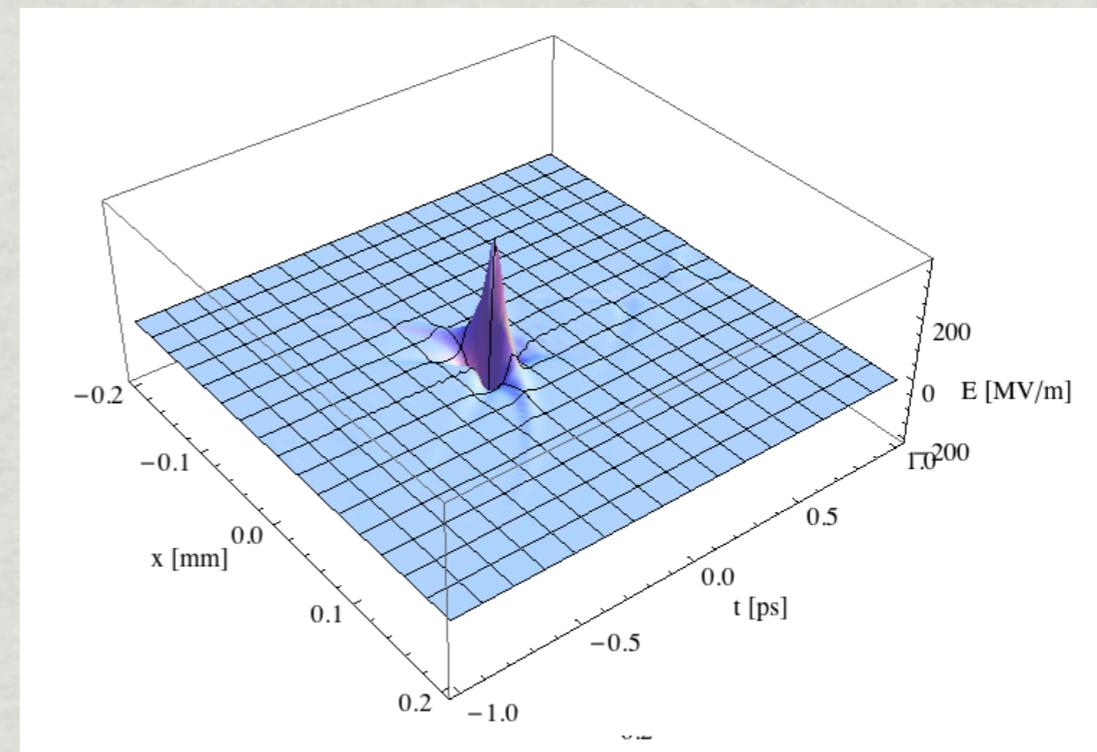
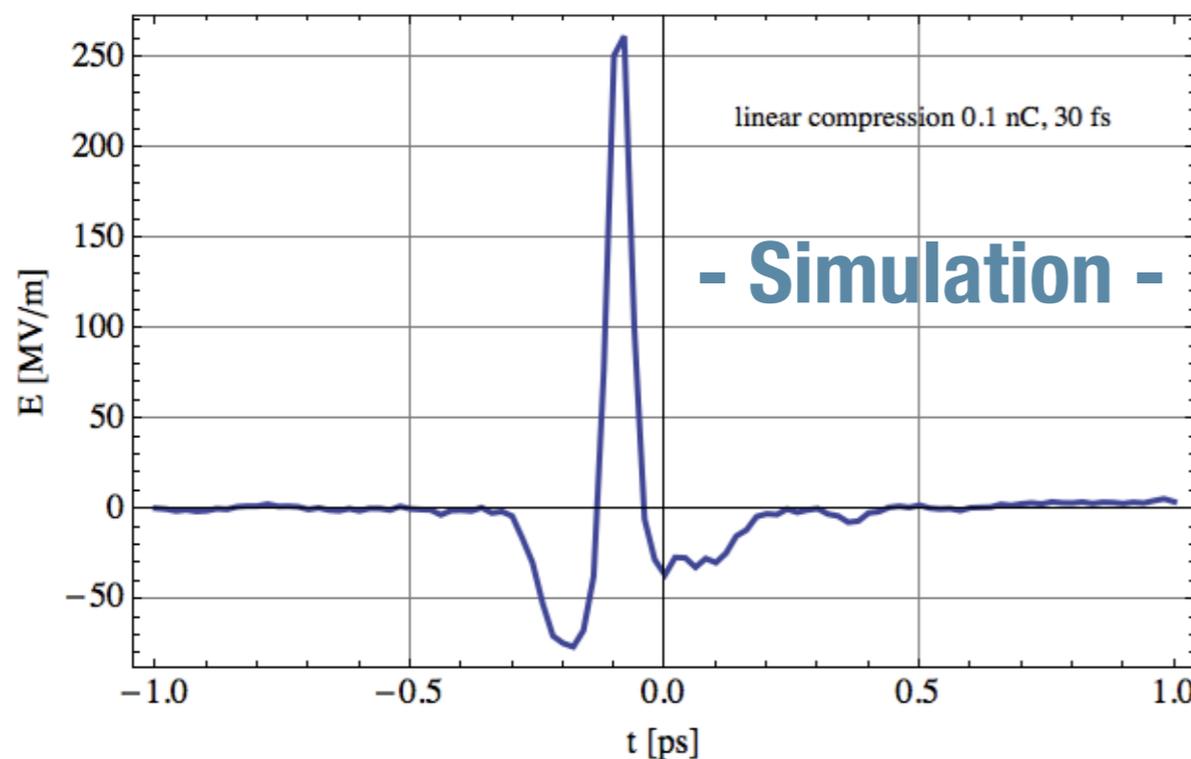
S. Casalbuoni,¹ B. Schmidt,² P. Schmüser,^{2,3} V. Arsov,² and S. Wesch²

¹Institute for Synchrotron Radiation, Research Center Karlsruhe, P.O. Box 3640, D-76021 Karlsruhe, Germany

²Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Notkestrasse 85, 22607 Hamburg, Germany

³Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg, Luruper Chaussee 149, 22607 Hamburg, Germany

(Received 30 October 2008; published 25 March 2009)



THz Spektroskopie zur longitudinalen Diagnose

Integrale und indirekte Methode

N Teilchenzahl

Einzelelektronenspektrum

$$\frac{dU}{d\omega} = C N^2 |F_{long}(\omega)|^2 T(\omega, \gamma, r_b, \theta, source)$$

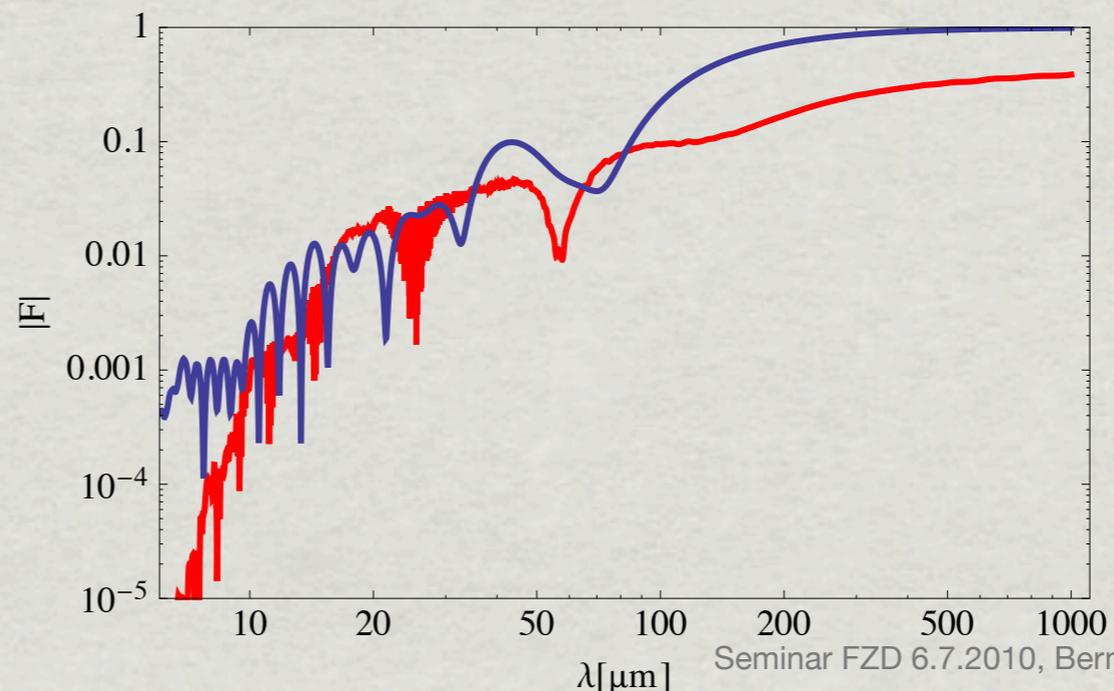
F longitudinaler Formfaktor

$$F_{long}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{\rho}(t) \exp(-i\omega t) dt$$

Integrale Intensität für $f > f_{grenz}$:
 „**Kompressionsmonitor**“, keine Strukturinformation
 (FLASH BCM2 und BCM3, gerade runderneuert)

Spektral aufgelöste Intensität :
 Betrag des Formfaktors vs. Wellenlänge
 keine Phaseninformation,
 Zeitprofil modellabhängig

Breitbandiges Spektrum, Einzelbunchinformation :
 Breitband-Einzelschuss-Spektrometer
 linearized (blue), non-linear (red)



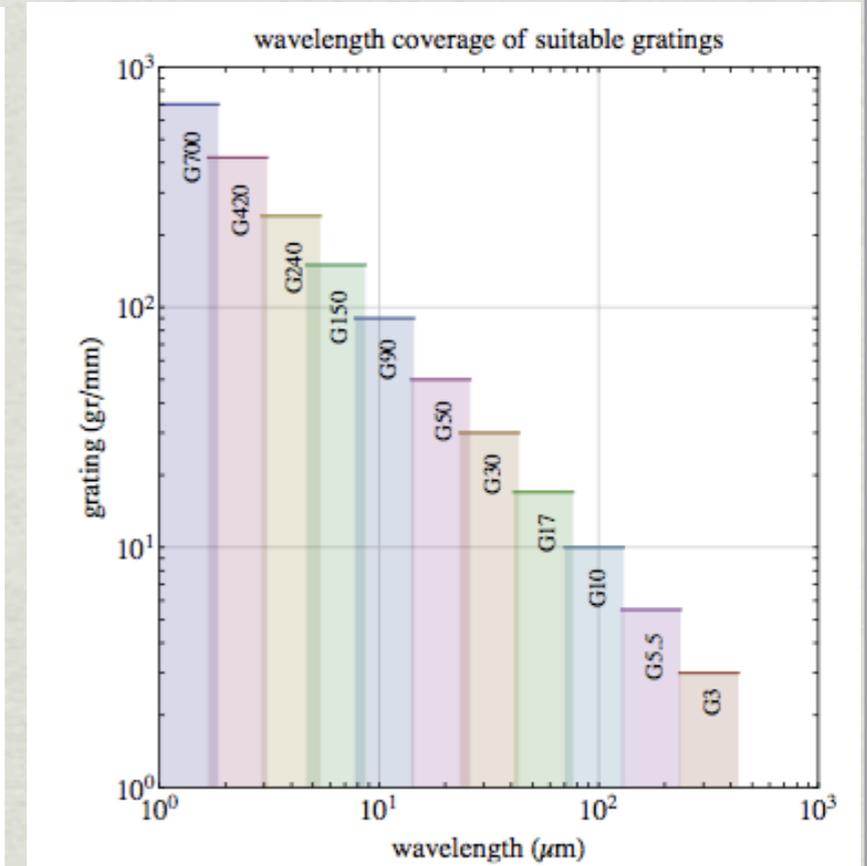
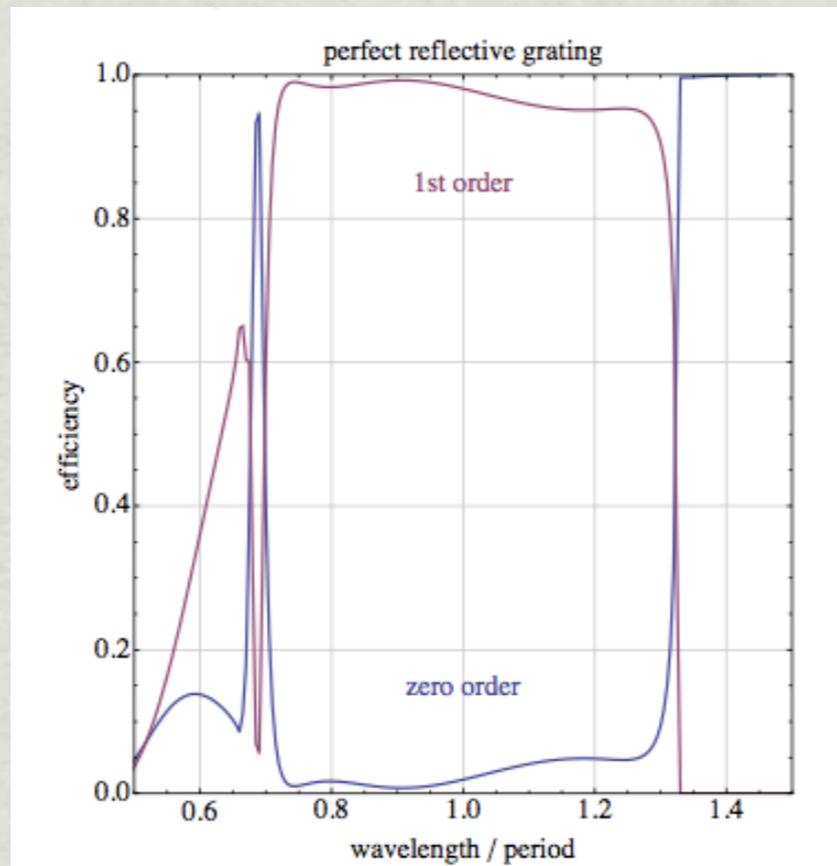
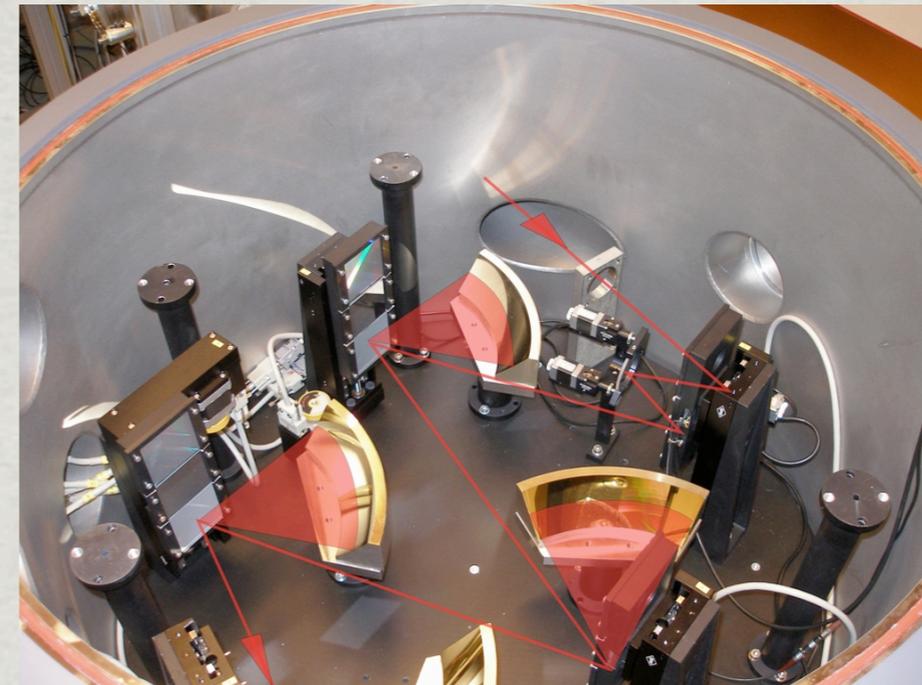
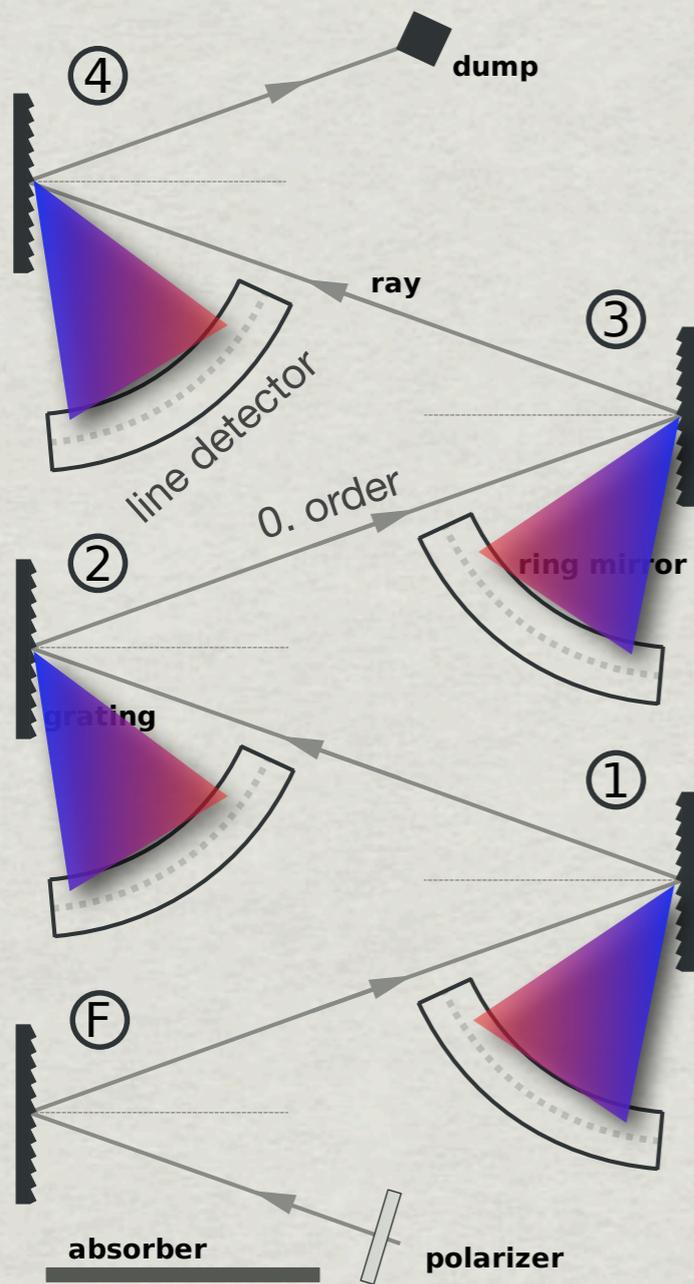
DESY „staged grating“ Spectrometer

courtesy : S. Wesch

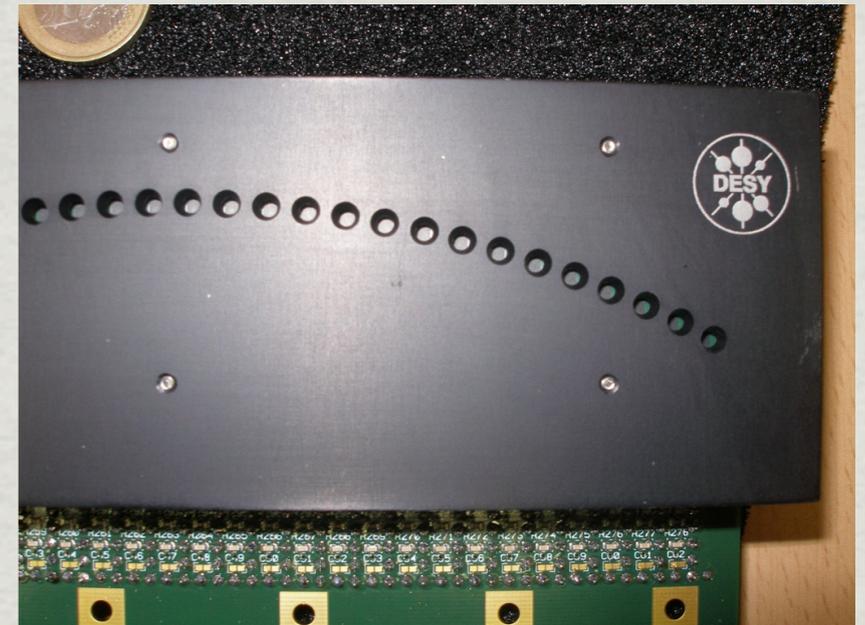
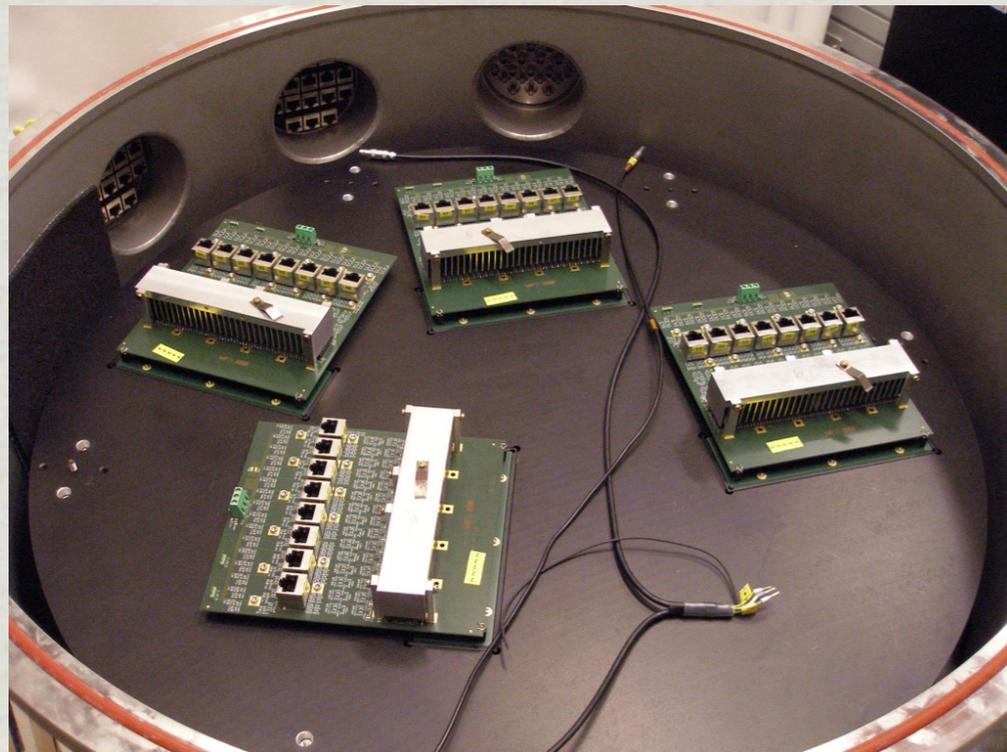
$5 \mu\text{m} < \lambda < 450 \mu\text{m}$

Prinzip

2 Sätze á 5 Gitter



DESY staged grating spectrometer - Detektoren



Verstärker

commercial hybrids by

Cremat, Inc.	
Products	Detection Electronics by Cremat, Inc.
Application notes, etc...	Cremat's radiation detection electronics can be used with a wide range of detectors, including semiconductor radiation detectors, scintillator-photodiode detectors, avalanche photodiodes, photomultiplier tubes (PMTs), microchannel plate detectors, and gas-based detectors (e.g. proportional counters).
Ordering from the USA	

Pyroelektrischer Detektor

Sensorzeile zur THz- und mm-Wellenlängen-Detektion



In Zusammenarbeit mit dem Institut „Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY“ hat InfraTec eine 30-elementige pyroelektrische Zeile (LIM-107) entwickelt, welche Synchrotron-Strahlung im Terahertz- und Millimeterwellenbereich in einem Spektrometer detektiert.

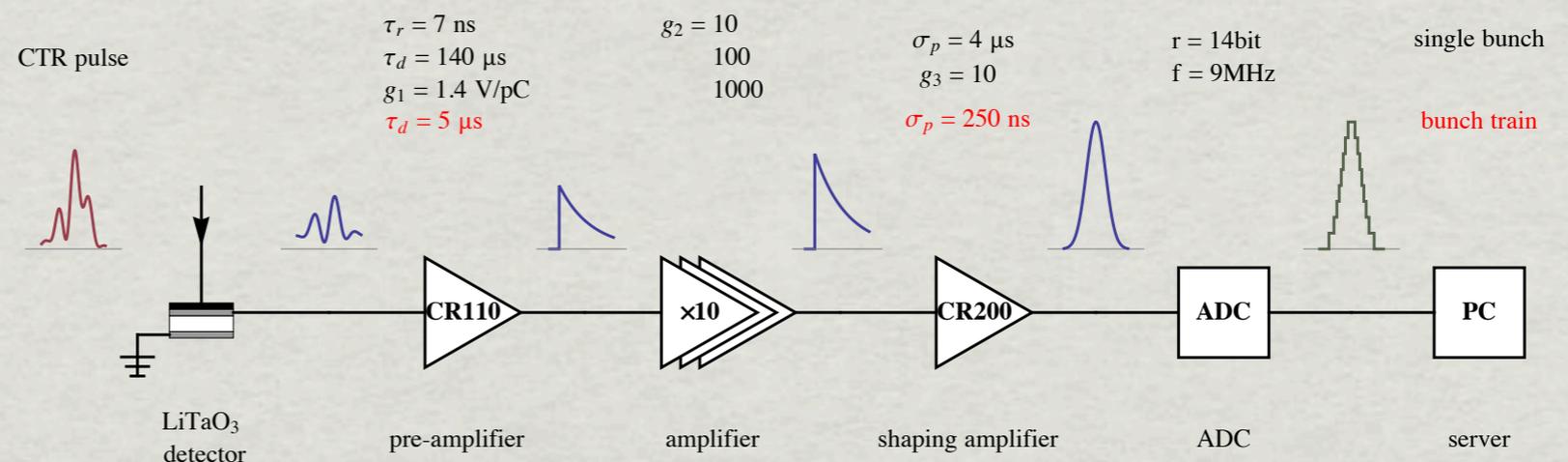
Die Eckdaten des Detektors LIM-107 sind wie folgt:

- 30 Elemente 2 x 2 mm² angeordnet auf einem Kreisbogen R = 150 mm im Abstand 5 mm

- 3 alternative Elektrodenbeschichtungen möglich für die Wellenlängenbereiche um 100 μm (3 THz), 300 μm (1 THz) und 1 mm (0,33 THz)

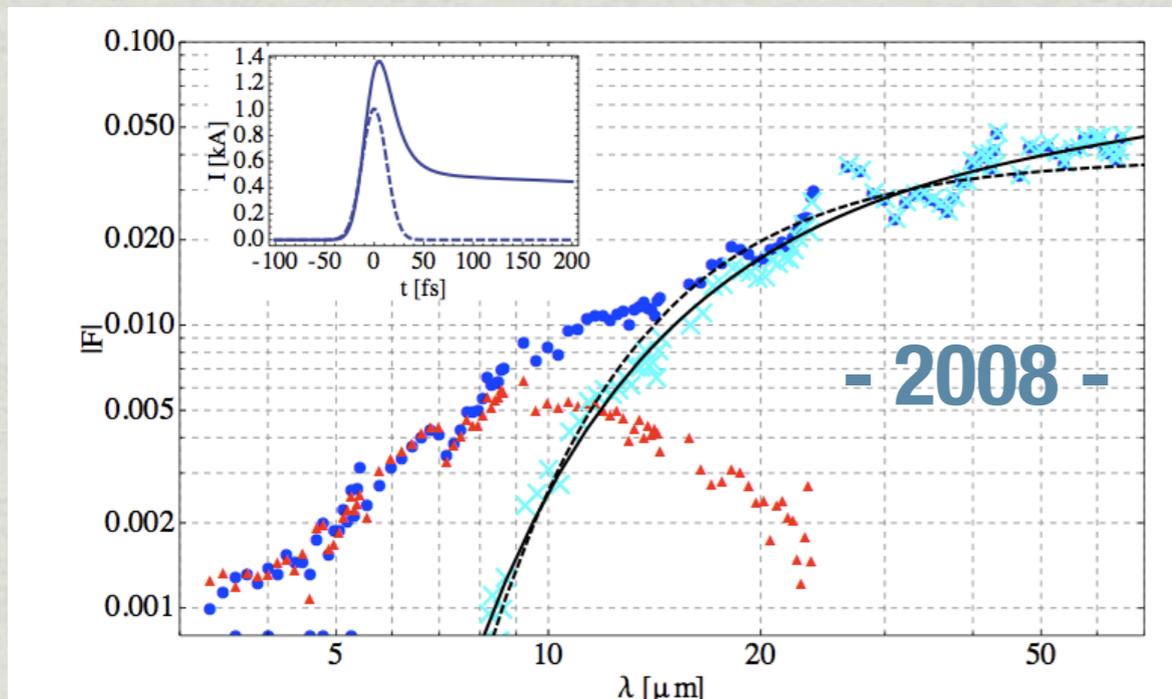
- Kein Fenster
- Betrieb im Vakuum möglich
- Außenabmessung ca. 170 x 55 x 5 mm³

Eine angepasste schnelle Vorverstärkerelektronik ist bei Bedarf verfügbar.
 Joe Kunsch: 08142 2864-28
 Datenblattservice - Webcode 033



Status THz Spektroskopie

umfangreiche Erfahrungen mit 2-stufigem Prototyp 2008/2009



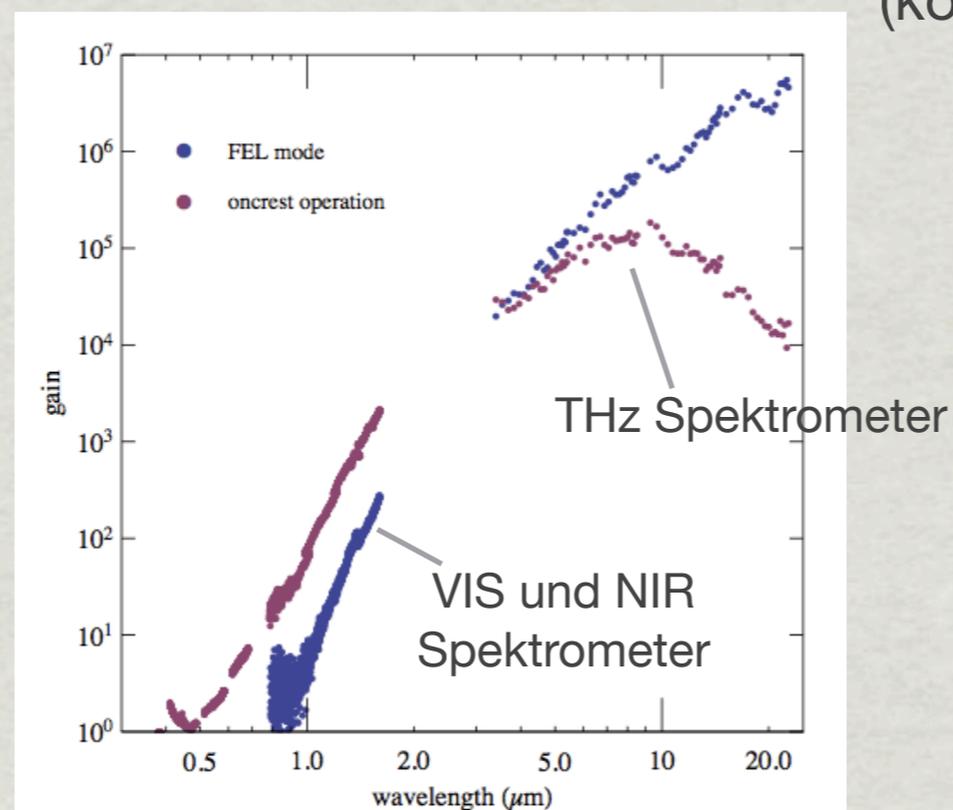
erste Versuche mit „Formfaktoren“
leading spike ~ 15 fs RMS

auch unkomprimierte bunche „strahlen“
von $3 \mu\text{m}$ - $20 \mu\text{m}$!

- > „microbunching“

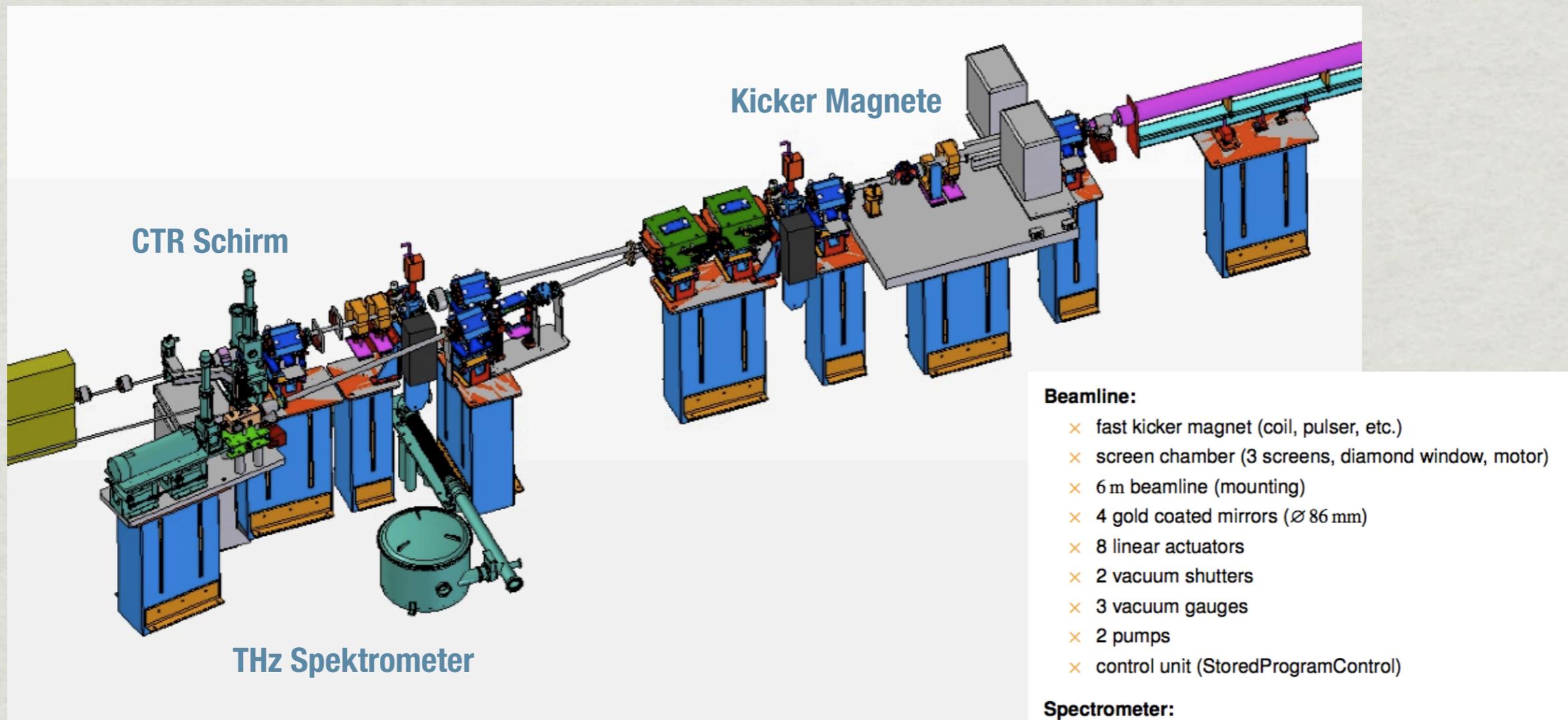
inzwischen bestätigt bis ins UV
(kommerzielle Spektrometer)

courtesy : S. Wesch



Status THz Spektroskopie

- Komplettes 4-stufiges Spektrometer im FLASH Tunnel installiert (beamline, Spektrometer, Elektronik etc.)
- zweites System in externem Labor (THz beamline) im Aufbau



wir warten auf Strahl !

A b s p a n n

Synchronisationssystem

Drehbuch, Regie und Hauptrolle (Erzschurke) : **Holger Schlarb** (jetzt MSK)

Doktoranden:

Dipl. Phys. Sebastian Schulz (FLA)

Dipl. Phys. Marie-Kristin Bock (FLA)

MSc. Kirsten Hacker (MPY)

Dipl. Ing. Patrick Geßler (MSK)

Dipl. Ing. Matthias Felber (MSK)

Diplomanden:

Thorsten Lamb

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Drehbuch, Regie und Hauptrolle (Erzschurke) : **Holger Schlarb** (jetzt MSK)

Doktoranden:

Dipl. Phys. Sebastian Schulz (FLA)

Dipl. Phys. Marie-Kristin Bock (FLA)

MSc. Kirsten Hacker (MPY)

Dipl. Ing. Patrick Geßler (MSK)

Dipl. Ing. Matthias Felber (MSK)

Diplomanden:

Thorsten Lamb

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Doktoranden:

Dipl. Phys. Sebastian Schulz (FLA)
Dipl. Phys. Marie-Kristin Bock (FLA)
MSc. Kirsten Hacker (MPY)
Dipl. Ing. Patrick Geßler (MSK)
Dipl. Ing. Matthias Felber (MSK)

Diplomanden:

Thorsten Lamb

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)
Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)
Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Dipl. Phys. Sebastian Schulz (FLA)

Dipl. Phys. Marie-Kristin Bock (FLA)

MSc. Kirsten Hacker (MPY)

Dipl. Ing. Patrick Geßler (MSK)

Dipl. Ing. Matthias Felber (MSK)

Diplomanden:

Thorsten Lamb

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Dipl. Phys. Marie-Kristin Bock (FLA)

MSc. Kirsten Hacker (MPY)

Dipl. Ing. Patrick Geßler (MSK)

Dipl. Ing. Matthias Felber (MSK)

Diplomanden:

Thorsten Lamb

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

MSc. Kirsten Hacker (MPY)

Dipl. Ing. Patrick Geßler (MSK)

Dipl. Ing. Matthias Felber (MSK)

Diplomanden:

Thorsten Lamb

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Dipl. Ing. Patrick Geßler (MSK)

Dipl. Ing. Matthias Felber (MSK)

Diplomanden:

Thorsten Lamb

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Dipl. Ing. Matthias Felber (MSK)

Diplomanden:

Thorsten Lamb

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Diplomanden:

Thorsten Lamb

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Thorsten Lamb

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Ehemalige:

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhler (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Dr. A. Winter (jetzt ITER)

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Dr. F. Löhl (jetzt Cornell)
Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Dipl. Phys. J. Zemella (jetzt DESY-MPY)

A b s p a n n

Elektrooptischer Monitor

Doktoranden:

Dipl. Phys. Laurens Wißmann (FLA)

Diplomanden:

Jonas Breunlin

Ehemalige:

Dr. B. Steffen (PSI, jetzt DESY-MSK)

Dr. V. Arsov (jetzt PSI)

Doktoranden:

Dipl. Phys. Laurens Wißmann (FLA)

Diplomanden:

Jonas Breunlin

Ehemalige:

Dr. B. Steffen (PSI, jetzt DESY-MSK)

Dr. V. Arsov (jetzt PSI)

Dipl. Phys. Laurens Wißmann (FLA)

Diplomanden:

Jonas Breunlin

Ehemalige:

Dr. B. Steffen (PSI, jetzt DESY-MSK)

Dr. V. Arsov (jetzt PSI)

Diplomanden:

Jonas Breunlin

Ehemalige:

Dr. B. Steffen (PSI, jetzt DESY-MSK)

Dr. V. Arsov (jetzt PSI)

Jonas Breunlin

Ehemalige:

Dr. B. Steffen (PSI, jetzt DESY-MSK)

Dr. V. Arsov (jetzt PSI)

Ehemalige:

Dr. B. Steffen (PSI, jetzt DESY-MSK)

Dr. V. Arsov (jetzt PSI)

Dr. B. Steffen (PSI, jetzt DESY-MSK)
Dr. V. Arsov (jetzt PSI)

Dr. V. Arsov (jetzt PSI)

THz Spektrometer

Doktoranden:

Dipl. Phys. Stephan Wesch (FLA)

Ehemalige:

Dr. H. Delsim-Hashemi (jetzt DESY-MPY)

FLA - Technik

Dipl. Ing. Kai Ludwig

Bernd Beyer

Wolfgang Reinsch

Matthias Hoffmann

Albert Schleiermacher

Karol Dlugolecki

Uschi Djuanda

Ingrid Nikodem



Doktoranden:

Dipl. Phys. Stephan Wesch (FLA)

Ehemalige:

Dr. H. Delsim-Hashemi (jetzt DESY-MPY)

FLA - Technik

Dipl. Ing. Kai Ludwig

Bernd Beyer

Wolfgang Reinsch

Matthias Hoffmann

Albert Schleiermacher

Karol Dlugolecki

Uschi Djuanda

Ingrid Nikodem



Dipl. Phys. Stephan Wesch (FLA)
Ehemalige:
Dr. H. Delsim-Hashemi (jetzt DESY-MPY)

FLA - Technik

Dipl. Ing. Kai Ludwig
Bernd Beyer
Wolfgang Reinsch
Matthias Hoffmann
Albert Schleiermacher
Karol Dlugolecki

Uschi Djuanda
Ingrid Nikodem



Ehemalige:

Dr. H. Delsim-Hashemi (jetzt DESY-MPY)

FLA - Technik

Dipl. Ing. Kai Ludwig

Bernd Beyer

Wolfgang Reinsch

Matthias Hoffmann

Albert Schleiermacher

Karol Dlugolecki

Uschi Djuanda

Ingrid Nikodem



Dr. H. Delsim-Hashemi (jetzt DESY-MPY)

FLA - Technik

Dipl. Ing. Kai Ludwig
Bernd Beyer
Wolfgang Reinsch
Matthias Hoffmann
Albert Schleiermacher
Karol Dlugolecki

Uschi Djuanda
Ingrid Nikodem



FLA - Technik

Dipl. Ing. Kai Ludwig
Bernd Beyer
Wolfgang Reinsch
Matthias Hoffmann
Albert Schleiermacher
Karol Dlugolecki

Uschi Djuanda
Ingrid Nikodem





Danke !

