Photonendiagnose bei FLASH

2007

Kai.Tiedtke@desy.de

Performance im letzten User Run

Wellenlängenbereich (Fundamentale):

13-48 nm

FEL Harmonische (@13.7 nm):

3 rd : 4.6 nm (270 eV)

5 rd : 2.7 nm (450 eV)

Spektrale Bandbreite (FWHM):

0.5-1 %

Pulsenergie:

bis 100 µJ (average),

200 µJ (peak)

Pulsdauer (FWHM):

10-50 fs

Leistung (Peak):

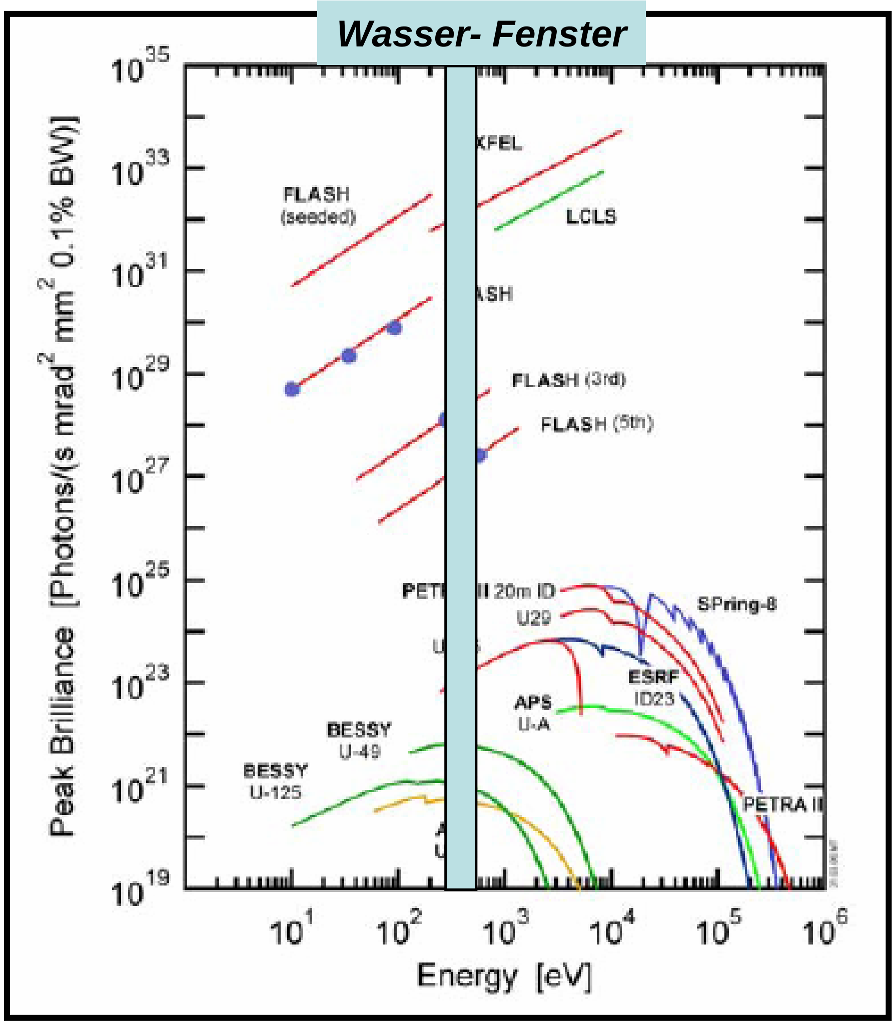
> 4 GW

Leistung (Durchschnitt):

up to 0.1 W

Peak brilliance:

up to 5x10^{29}



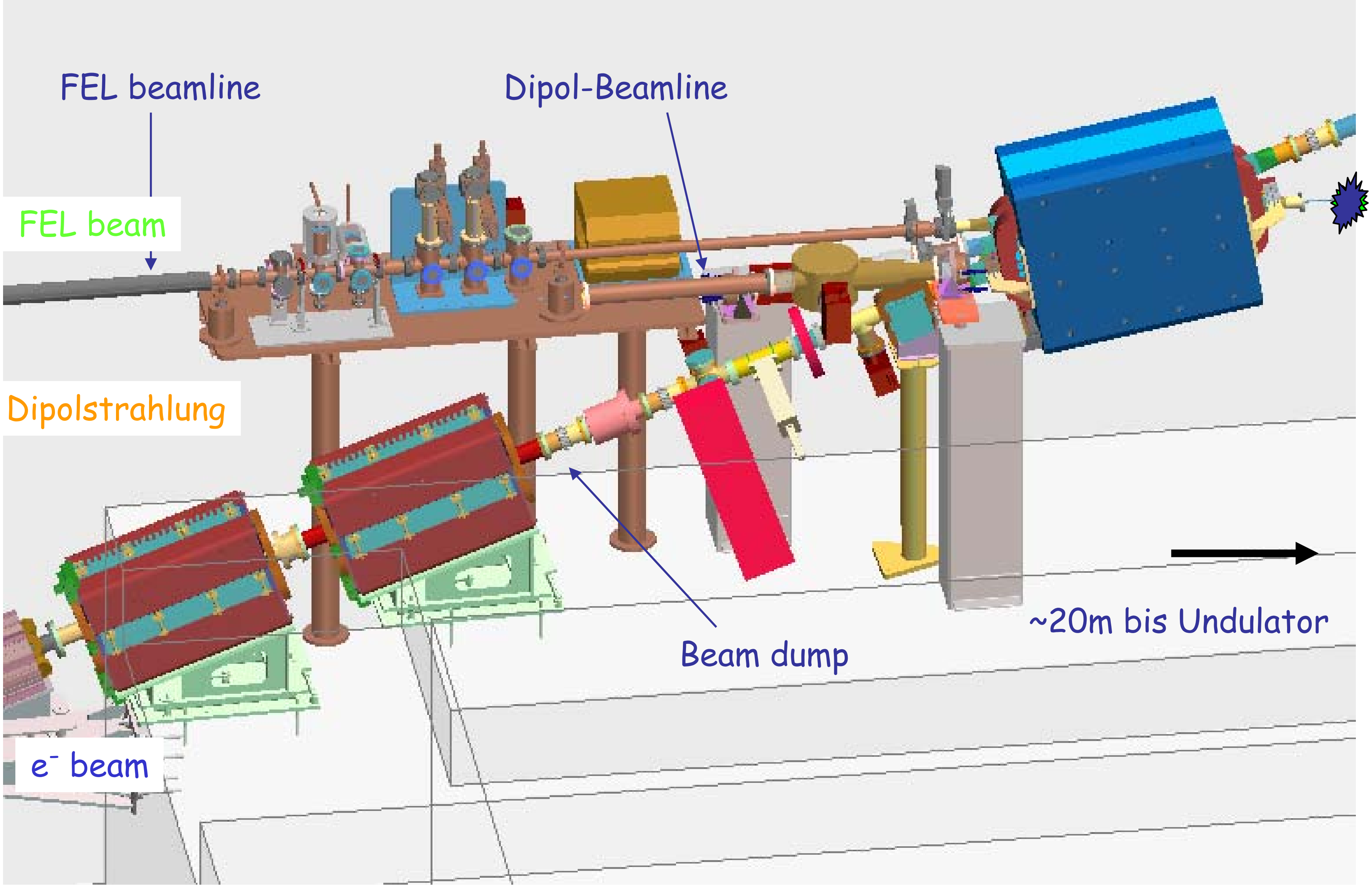
peak brilliance

Inhalt

- Strahltransport zur Experimentierhalle
- Photonenstrahl-Parameter
- Detektoren für die FEL Inbetriebnahme und Charakterisierung
- Online Diagnostik
- Gas Abschwächer
- Einbindung in DOOCS

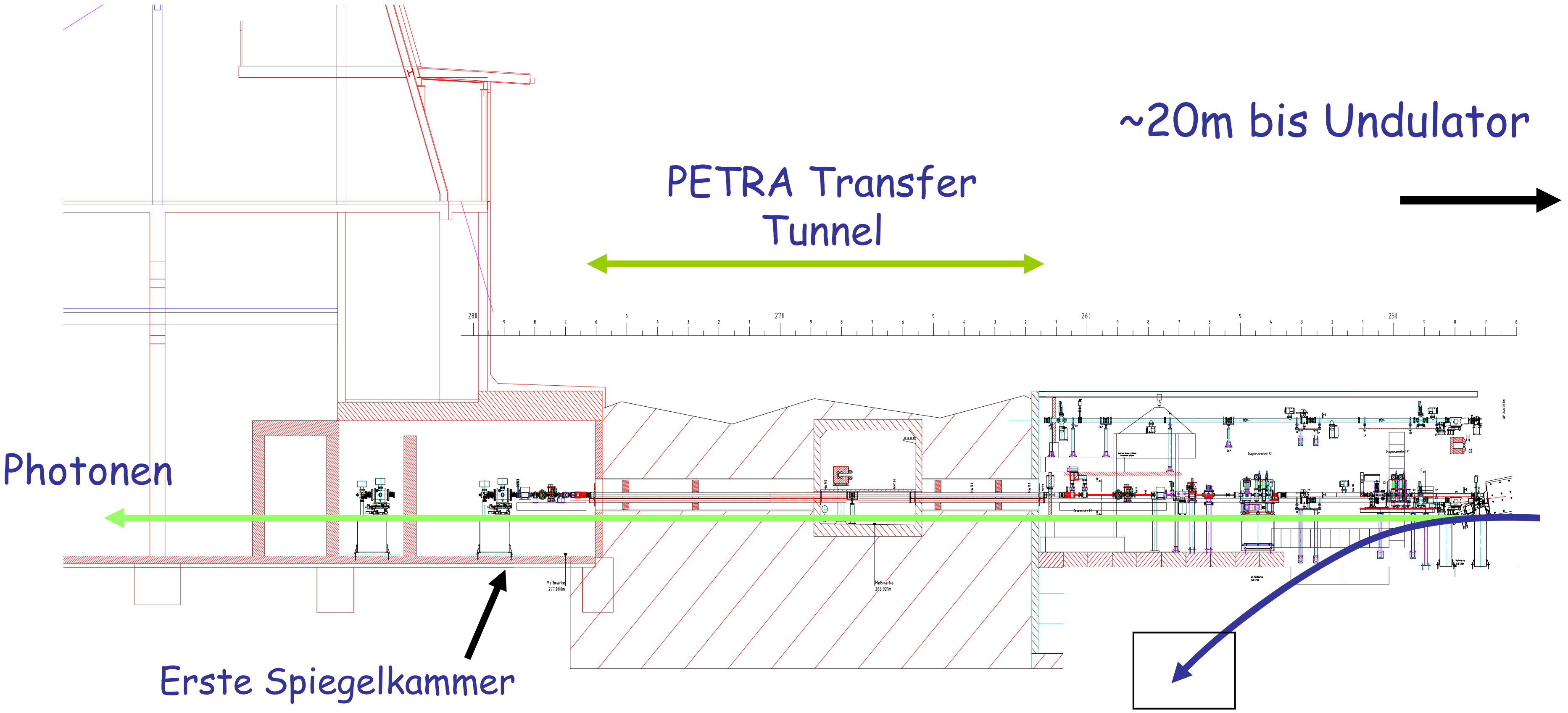
Photonenstrahltransport

Strahltransport


FEL beamline
Dipol-Beamline
FEL beam
Dipolstrahlung
Beam dump
~20m bis Undulator
e^- beam

Photonen Strahltransport

(UH-Vakuum, fensterlos)



~20m bis Undulator

PETRA Transfer Tunnel

Photonen

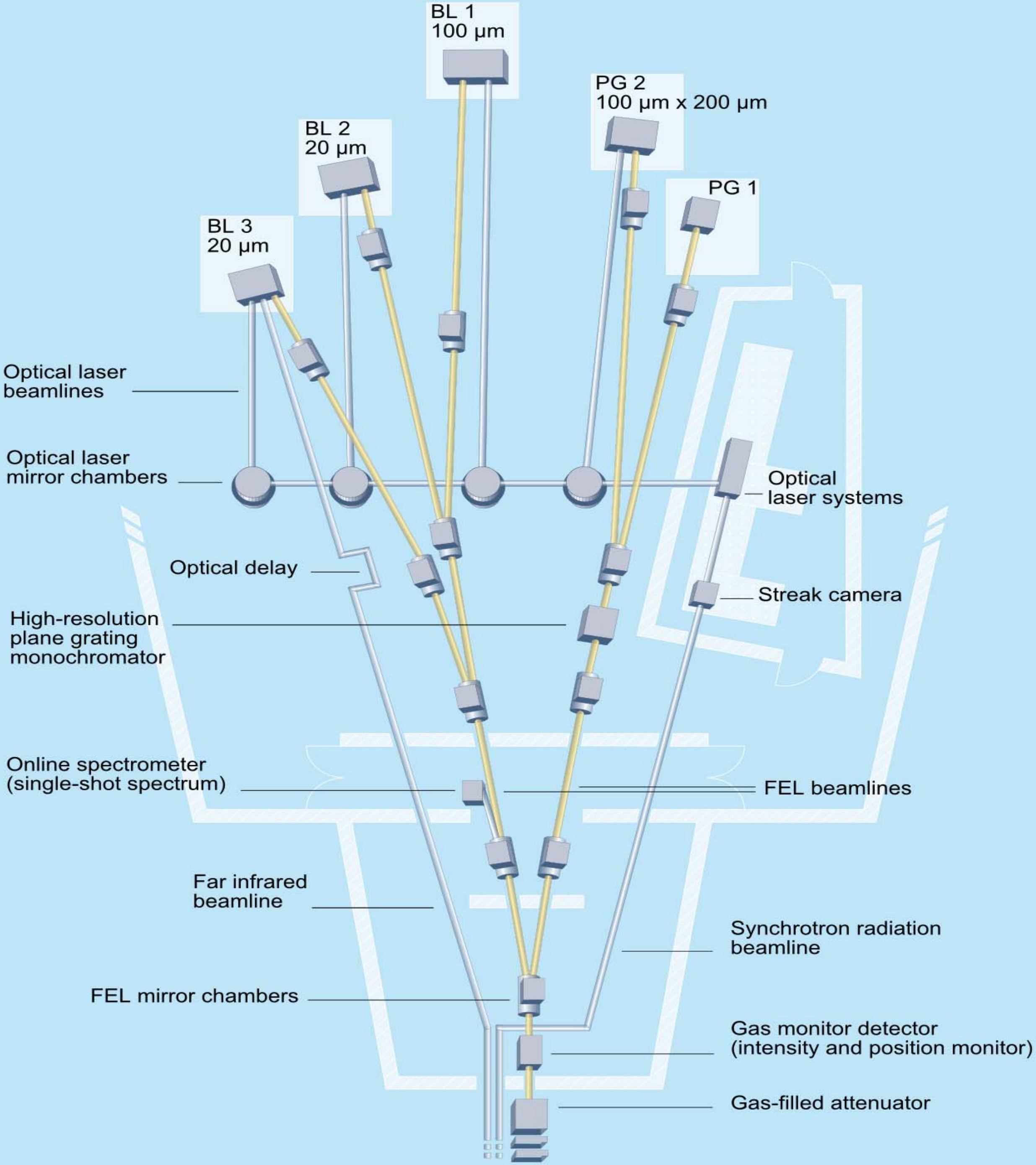
Erste Spiegelkammer

Experimentierhalle

PETRA Speicherring

e⁻ Dump

Beschleuniger-tunnel



BL 1
100 μm

PG 2
100 μm x 200 μm

BL 2
20 μm

PG 1

BL 3
20 μm

Optical laser
beamlines

Optical laser
mirror chambers

Optical
laser systems

Optical delay

Streak camera

High-resolution
plane grating
monochromator

Online spectrometer
(single-shot spectrum)

FEL beamlines

Far infrared
beamline

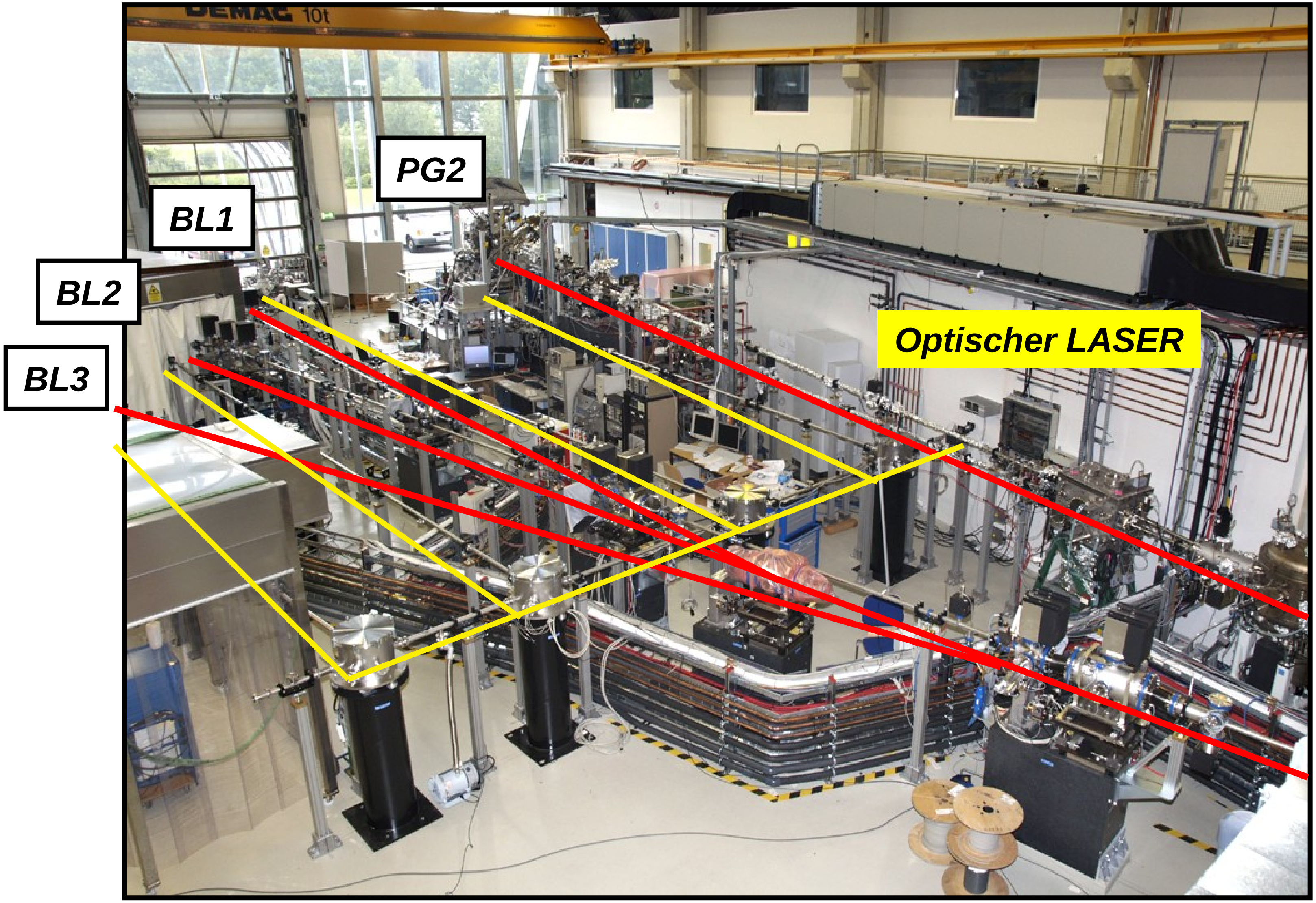
Synchrotron radiation
beamline

FEL mirror chambers

Gas monitor detector
(intensity and position monitor)

Gas-filled attenuator

FLASH Experimentierhalle


PG2
BL1
BL2
BL3
Optischer LASER

Photonenstrahl-Parameter

Wichtige Photonenstrahl Parameter

➢ Intensität	SASE Optimierung, Statistik, Sättigung, Normalisierung
➢ Spektrum	Spikes ⇒ Moden, Pulslänge Wellenlänge ⇒ Elektronenergie Tuning für exp. Anforderungen
➢ Position & Profil	Stabilisation and Fokussierung
➢ Timing	Pump-Probe Experimente
➢ Kohärenz	Fokussierung, Abbildung

Einige Parameter sind für die Experimente der Nutzer zwingend erforderlich.
Sie benötigen die Information zudem oftmals *online* und zeitaufgelöst !

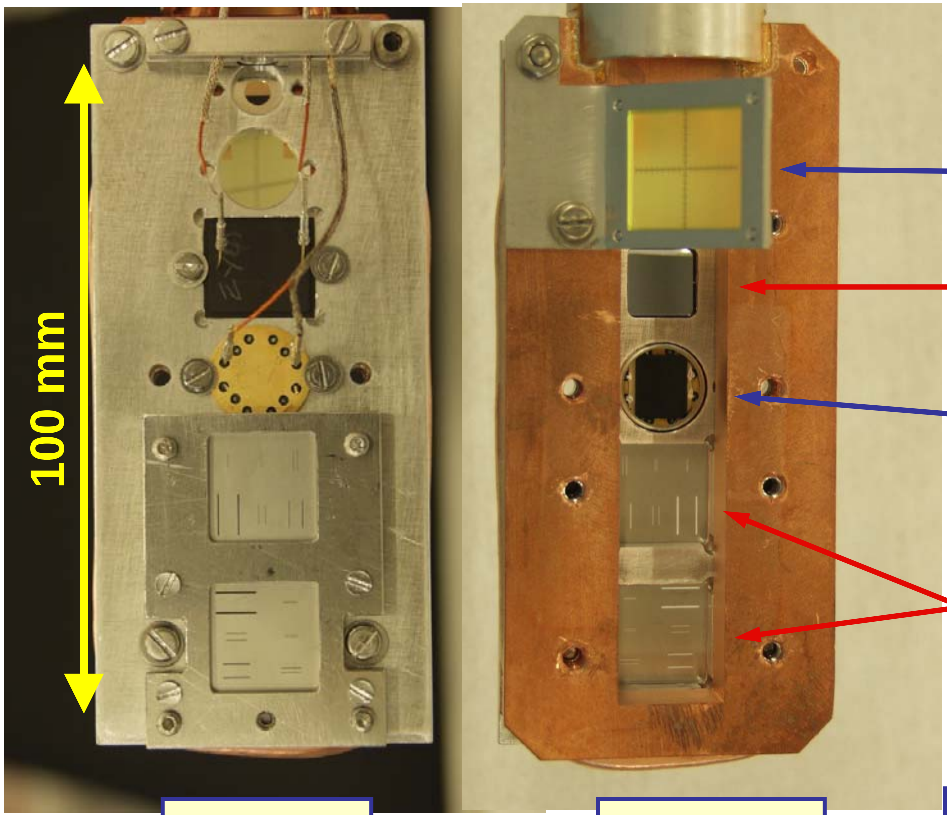
Detektoren für die FEL Inbetriebnahme und Charakterisierung

Detektoren für die FEL Inbetriebnahme und Charakterisierung

- Ce:YAG and $PbWO_4$ Fluoreszenzkristalle
- PtSi Photodioden (kalibriert durch die PTB)
- $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ basierende *Thermopiles* (= schnelle Bolometer)
- Au Draht (50µm) / Netz + MCP
- Gittermonochromator + ICCD
- Schnelle *Streak*-Kamera (für das Timing von Pump-Probe Experimenten)

Detektor und Apertureinheiten F1 & F2

Detektoren



Ce:YAG Kristall

PtSi Photodiode
(1nJ < E_{pulse}< 1µJ)

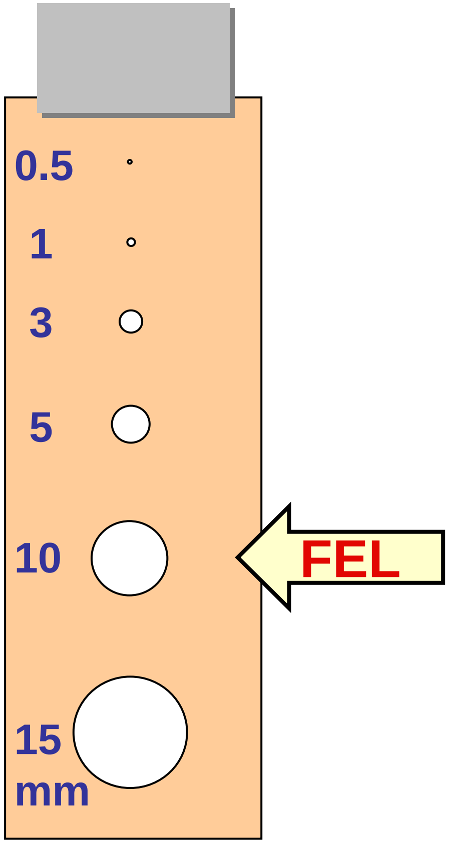
Thermopile
(E_{pulse} > few µJ)

Doppelspalte
in dünner Folie
(Beugung)

Rück-seite

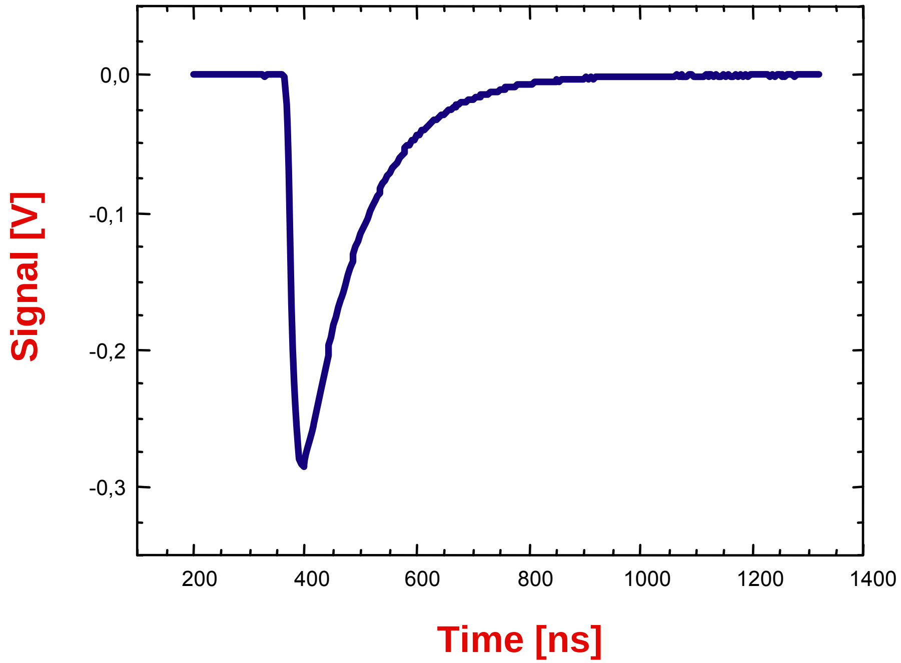
Vorder-seite

Apertur



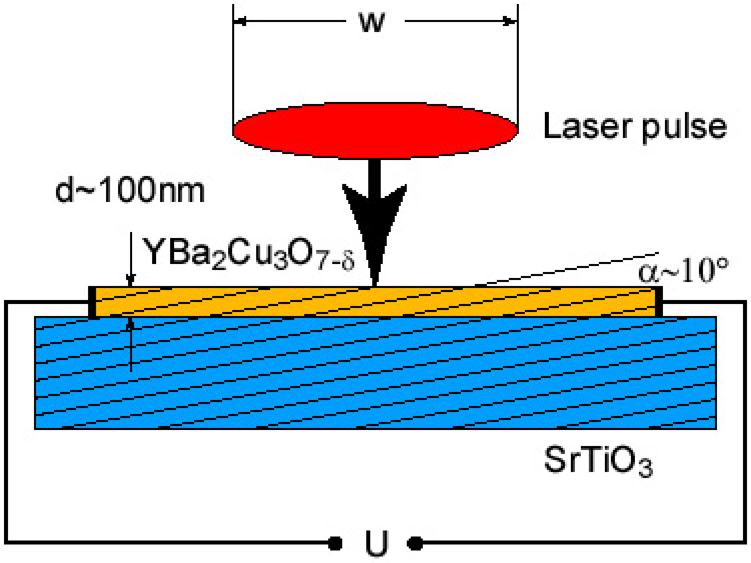
➔Pulsenergie, Strahllage + Profil, transversale Kohärenz

PtSi Photodiode

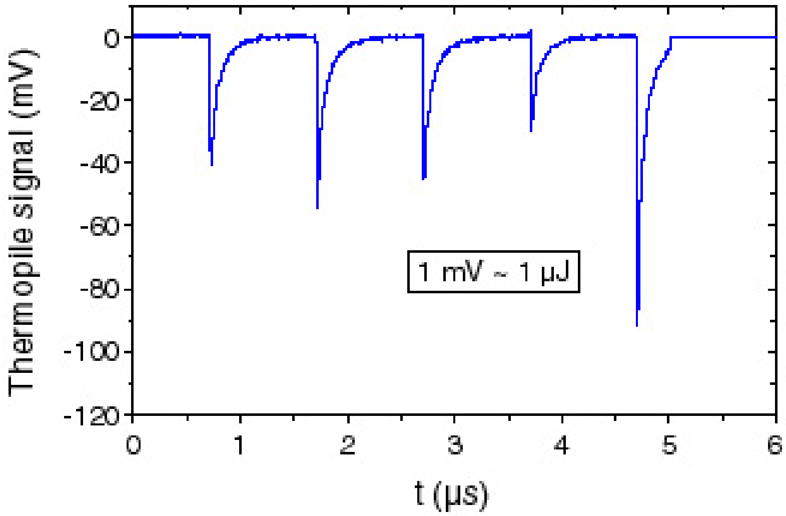


+ radiation hard
+ good for low intensity:
spontaneous emission to ~1 µJ pulse energy
(depending on wavelength)
+ calibrated by PTB
- sensitive to higher harmonics
- cannot be used for high intensities (saturates)

Thermopile Detektor


w
Laser pulse
d~100nm
$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$
α~10°
$SrTiO_3$
U

TTF1 data Sept. 2001



$U = \Delta S \cdot \Delta T \cdot \alpha \cdot w/d \sim 0.5$ V/K

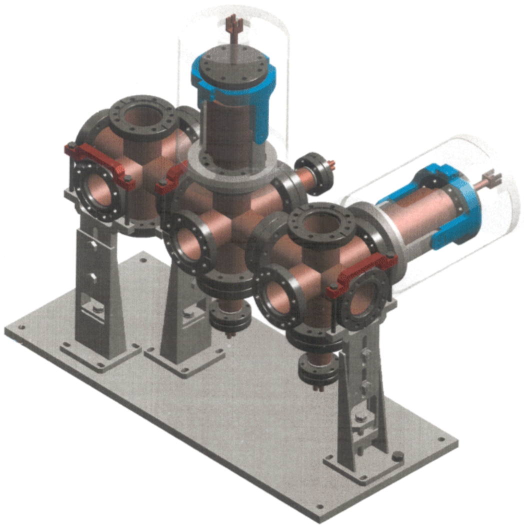
$\Delta S = -10$ µV/K

Sensitivity for pulses: ~ 1 mV/µJ
Response time: ~ 10 ns

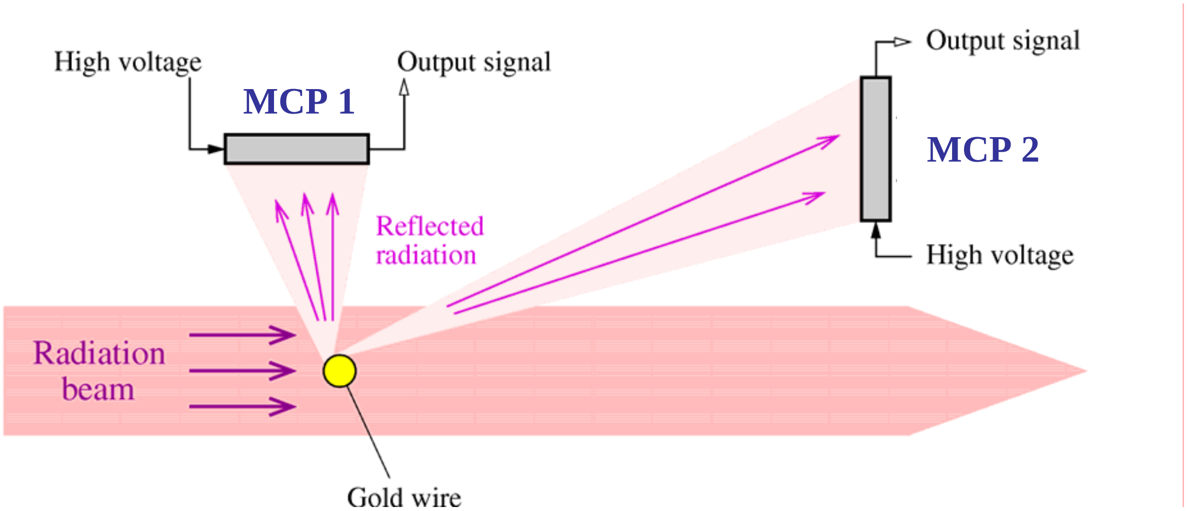
+ good for high intensity: ~10 µJ to saturation
+ independent of wavelength
– cannot be used for long pulse trains
– laser ablation at high power density

S. Zeuner et al.,
Appl. Phys. Lett. 66, 1833 (1995)

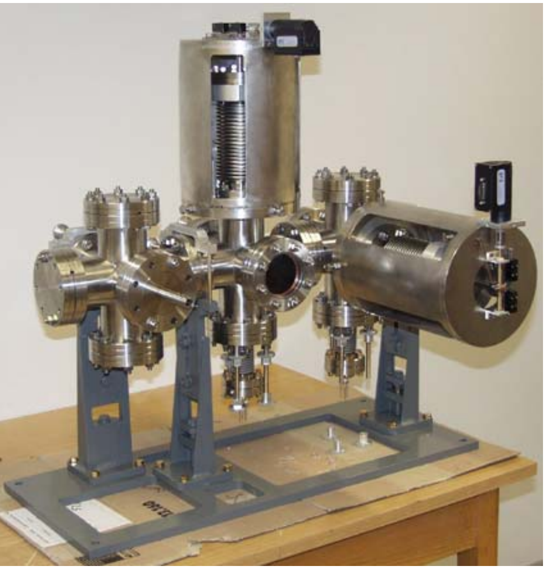
Intensitätsdetektor für FEL Commissioning



MCP Diagnoseeinheit



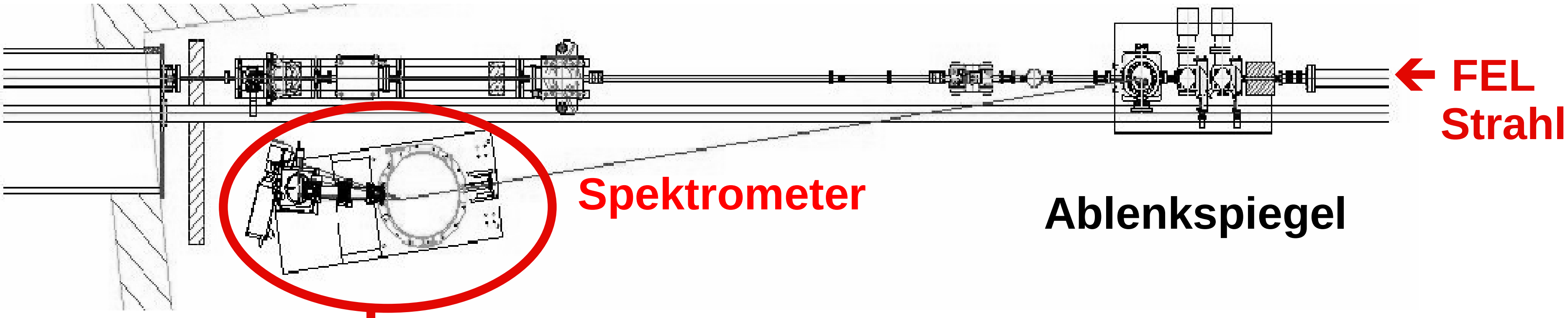
High voltage
Output signal
MCP 1
Reflected radiation
Output signal
MCP 2
High voltage
Radiation beam
Gold wire

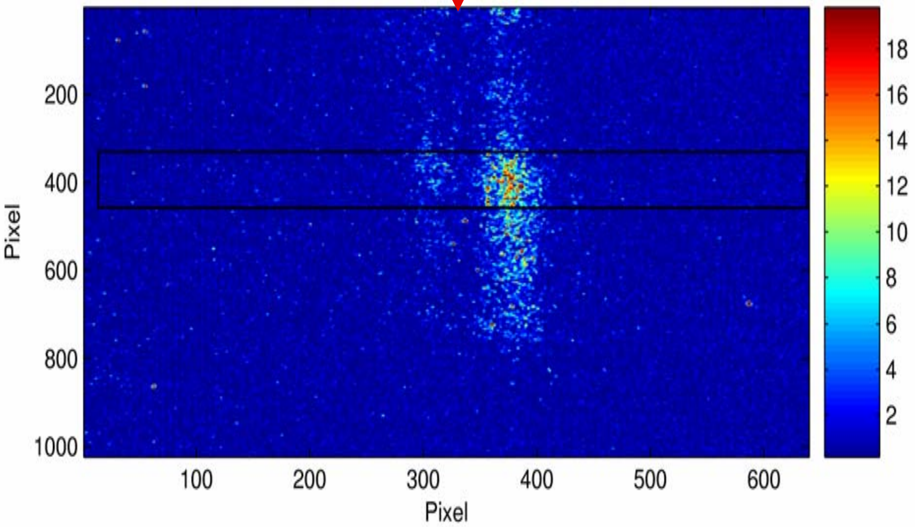


+ großer dynamischer Bereich (~7 Größenordnungen)
- könnte bei langen Pulszügen zerstört werden
- die Drähte bzw. Netze erzeugen unerwünschte Beugung

O.Brovko, A. Fateev, M.Yurkov et al., JINR Dubna

VUV Spektrometer im FEL Tunnel

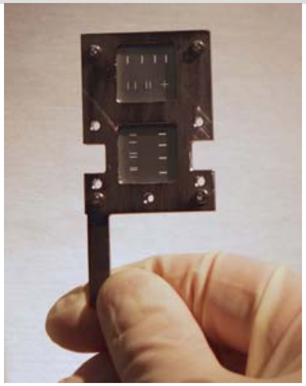

FEL Strahl
Spektrometer
Ablenkspiegel

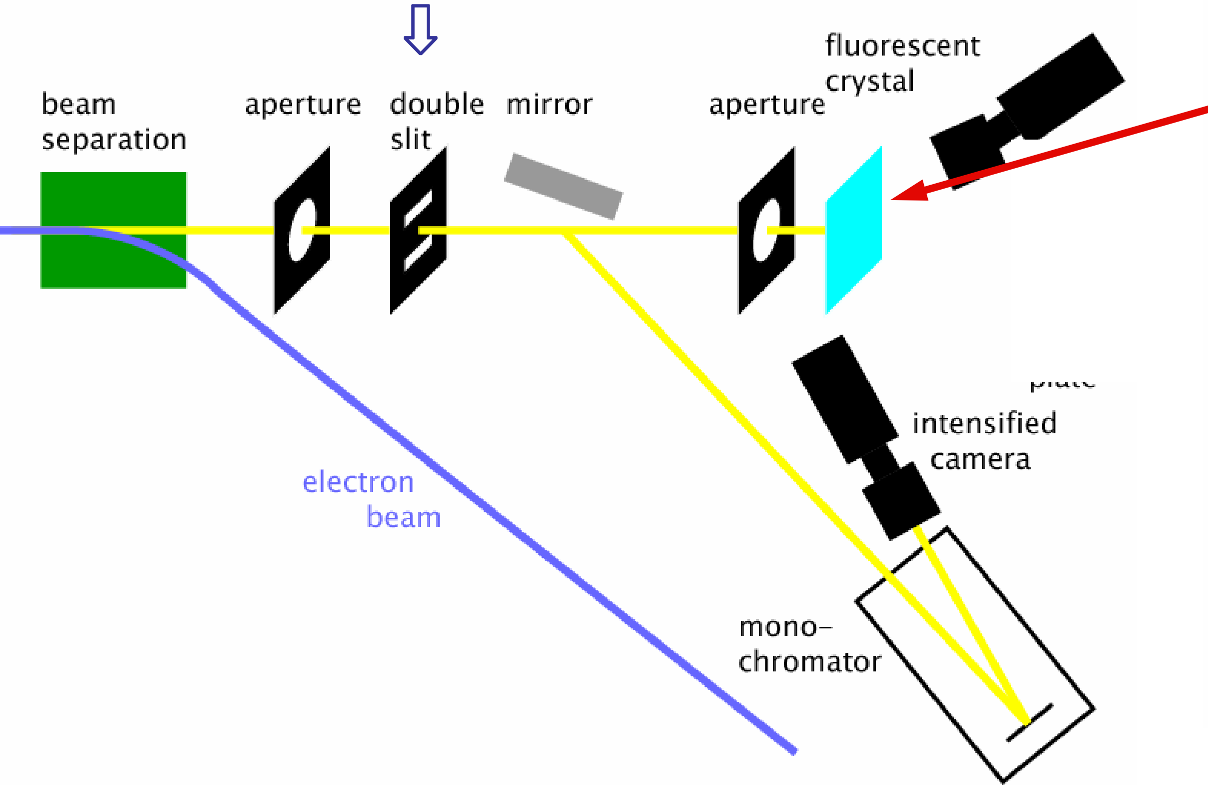


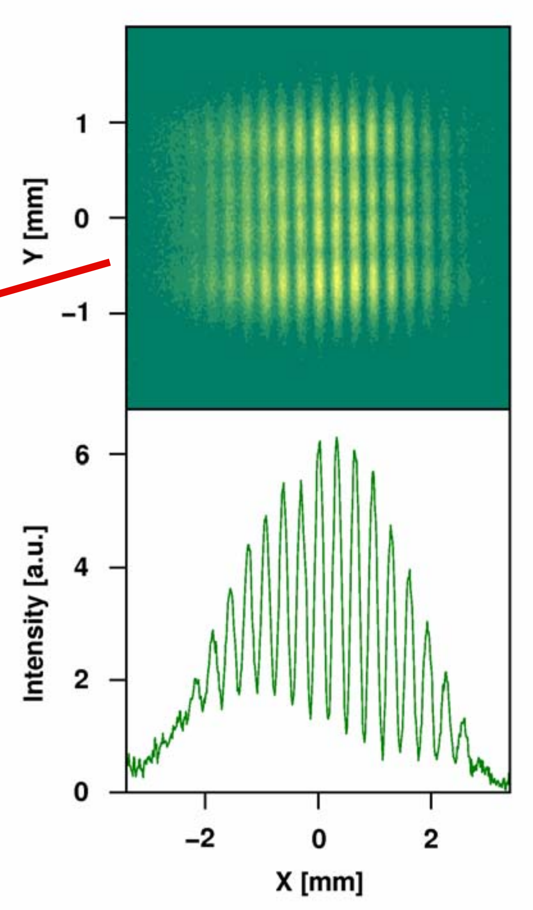
- **VLS (variable line spacing) Gitter + sphärischer Spiegel, Auflösung~ 1500**
- **Ce:YAG Schirm am Spektrometer Ausgang konvertiert VUV in sichtbares Licht**
- **Intensivierte “gatebare” Kamera nimmt Einzelspektren auf**

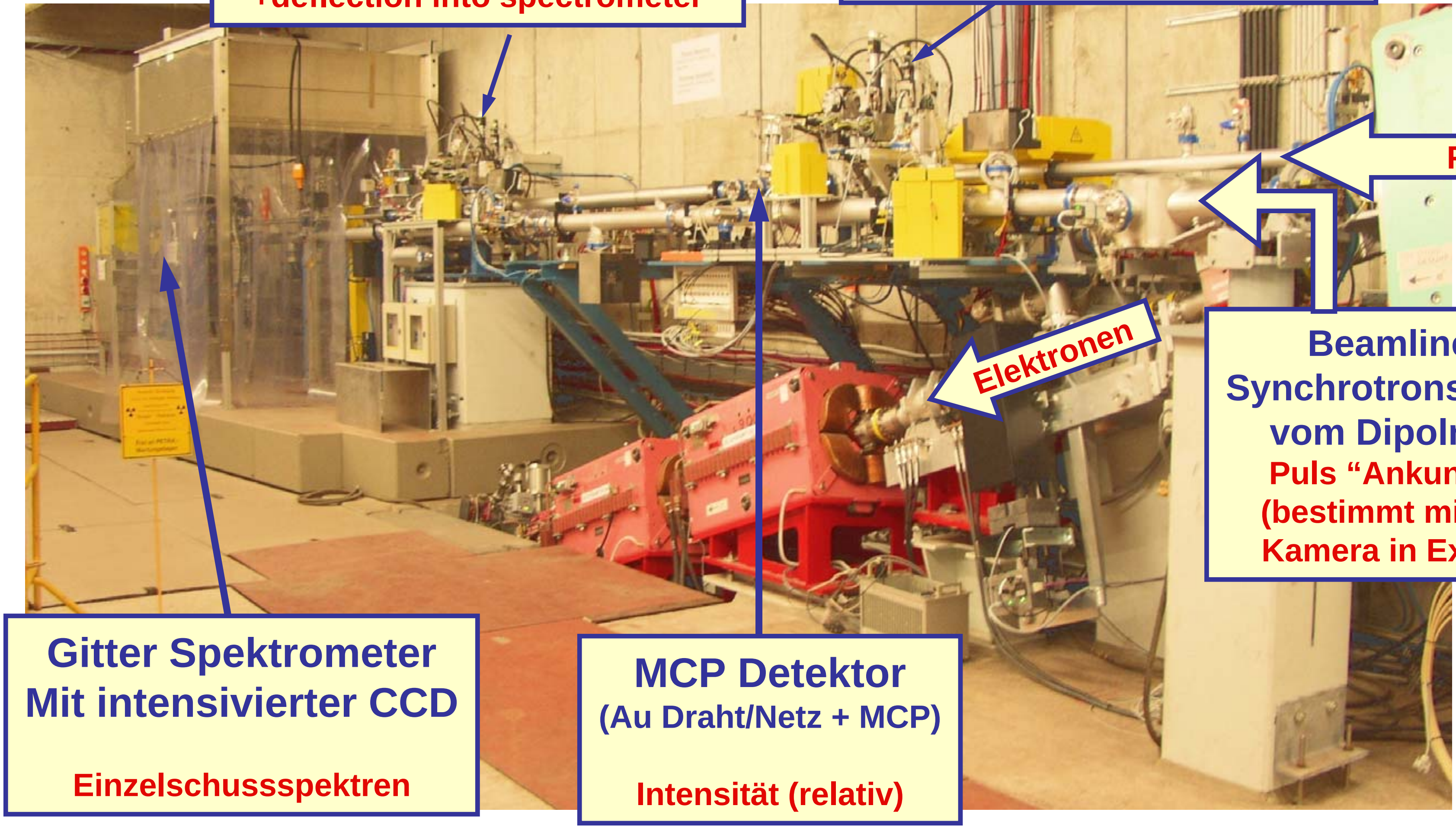
Kollaboration mit der Universität von Padova (INFM)

Doppelspalt Beugungsbilder




beam separation
aperture
double slit
mirror
aperture
fluorescent crystal
camera
intensified camera
electron beam
mono-chromator





Detektor Unit F2
(Aperturen, Detektoren, Spiegel)

Intensität + Strahlprofil
+ Beugung (Kohärenz)
+deflection into spectrometer

Detector Unit F1
(Aperturen, Detektoren, Spiegel)

Intensität + Strahlprofil
+ Doppeltspalt (Kohärenz)

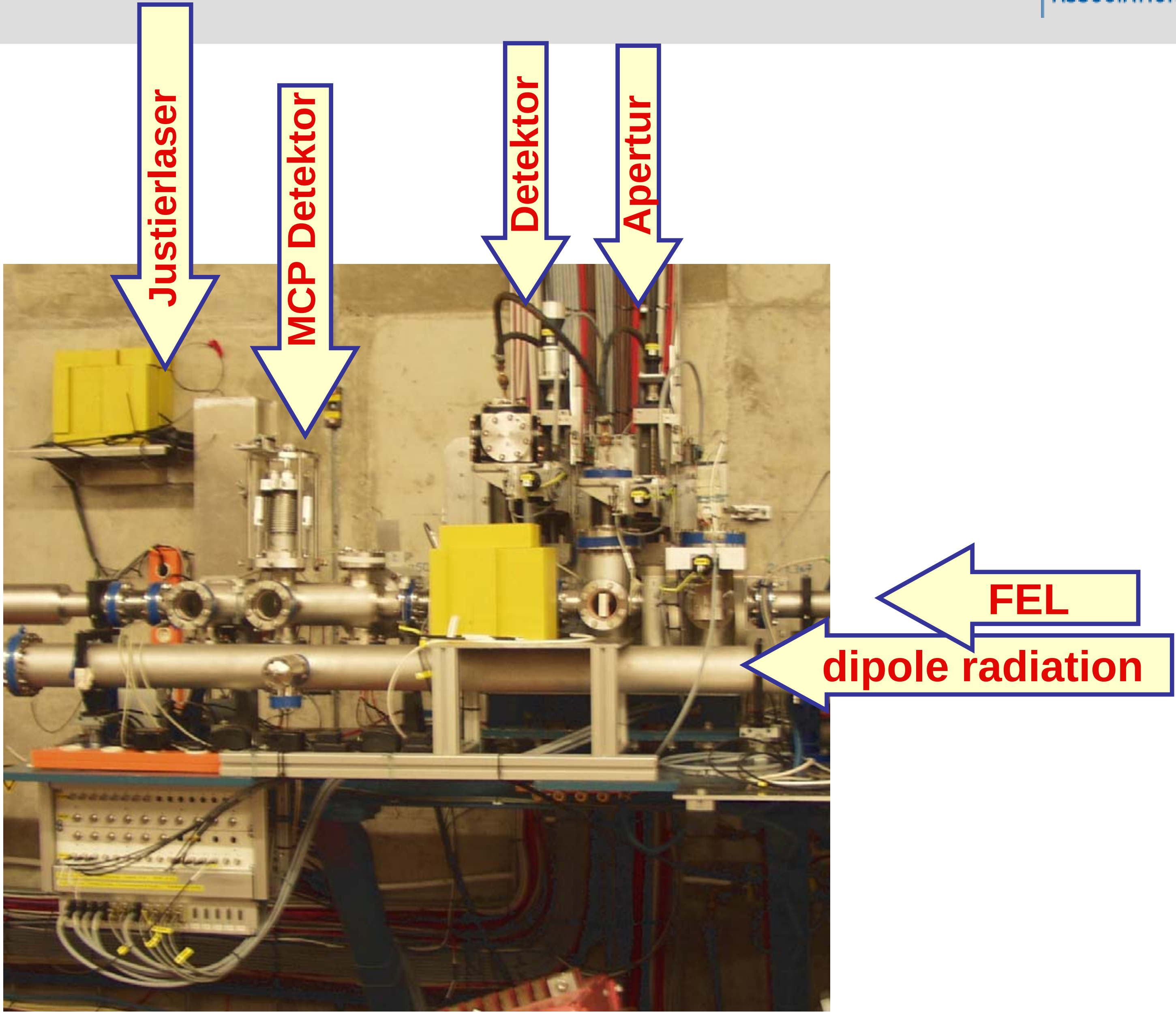
Beamline für Synchrotronstrahlung vom Dipolmagnet
Puls “Ankunftszeit”
(bestimmt mit Streak
Kamera in Exp. halle)

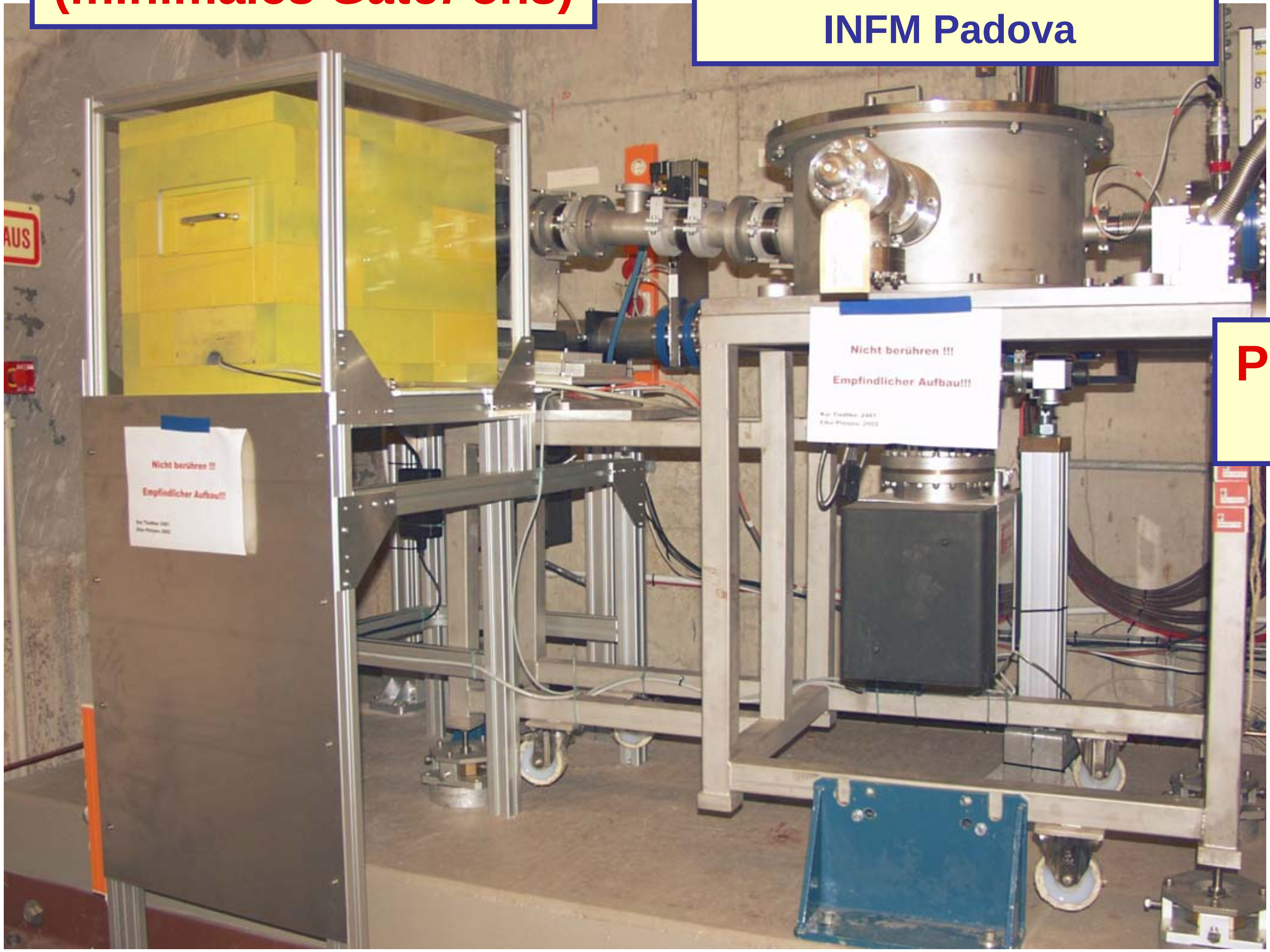
Gitter Spektrometer Mit intensivierter CCD

Einzelschussspektren

MCP Detektor
(Au Draht/Netz + MCP)

Intensität (relativ)


Justierlaser
MCP Detektor
Detektor
Apertur
FEL
dipole radiation


AUS
Nicht berühren !!!
Empfindlicher Aufbau!!!
Nicht berühren !!!
Empfindlicher Aufbau!!!

Intensivierte CCD
(minimales *Gate:* 5ns)

Spektrometer
(Gitter + Vorspiegel)
Kollaboration mit
INFM Padova

Piezo betriebener
Eingangsspalt

Online Detektoren

Anforderungen an Online Detektoren

- großer dynamische Bereich: ~ 7 Größenordnungen von spontaner Strahlung bis SASE in Sättigung
- online Detektoren (transparent) für Einzelpuls-Messungen (Antwort < 100ns)
- strahlungshart
- Ultrahoch-Vakuum kompatibel

Keine kommerziellen, kalibrierten Detektoren erhältlich!

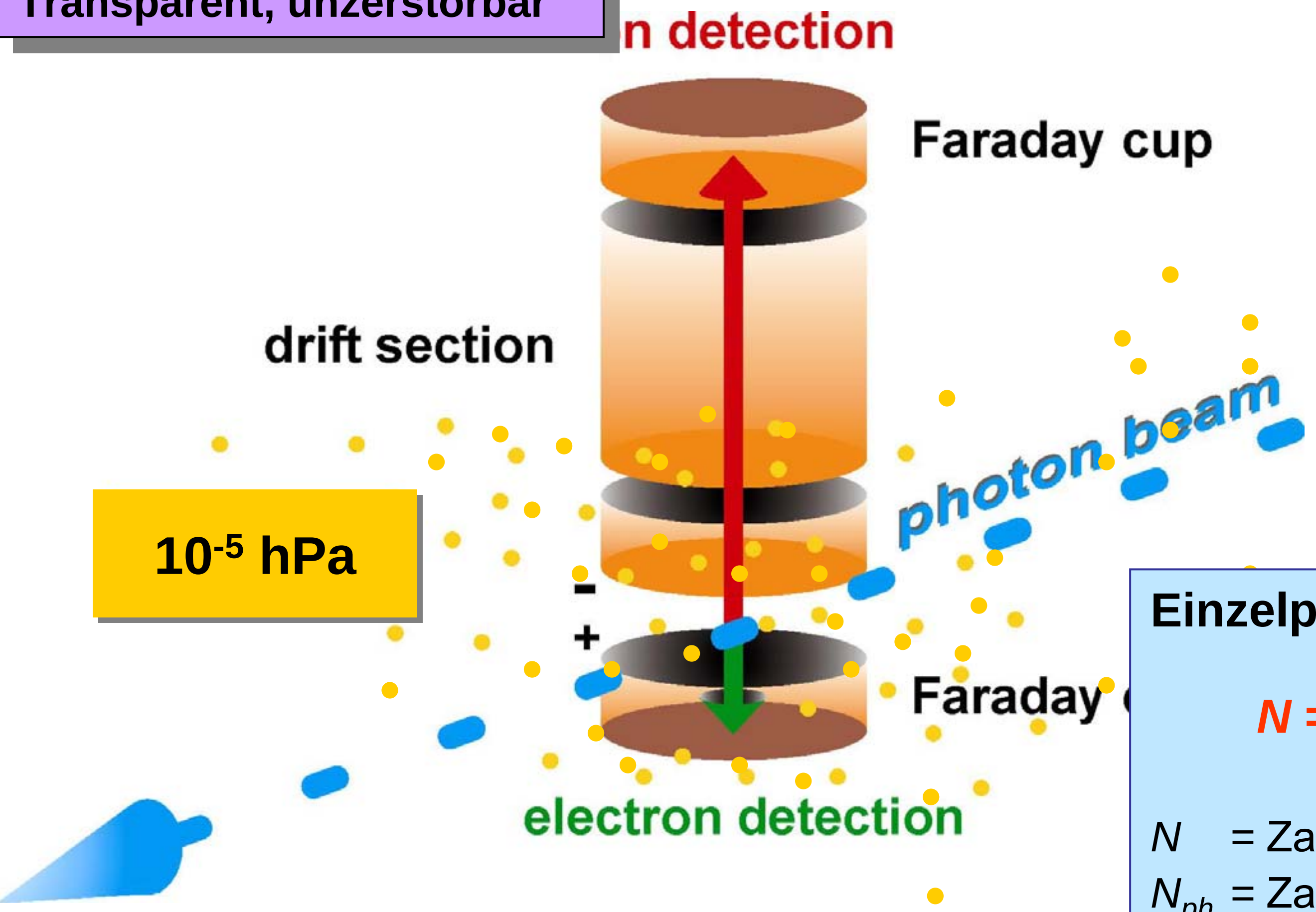
Detektoren für die Intensitätsmessung

Detektor	Standard	Bemerkung
Kryo-Bolometer	Primärer Detektor Standard	begrenzter dynamischer Bereich, keine zeitliche Auflösung
Thermische Detektor SFPD: Thermopile	Sekundärer Detektor Standard (muß kalibriert werden)	begrenzter dynamischer Bereich
Halbleiter-Photodetektor SFPD: PtSi Photodiode	Sekundärer Detektor Standard (muß kalibriert werden)	Sättigt oder wird eventuell zerstört
Photoemission Detektor	Sekundärer Detektor Standard (muß kalibriert werden)	Oberflächenempfindlich
Doppel-Ionisation-Kammer	**Primärer Detektor Standard**	**1 mbar Arbeitsdruck, ungenügende zeitliche Auflösung**
Gas-Monitor-Detektor	**Sekundärer Detektor Standard** **(muß kalibriert werden)**	**• arbeitet bei 10^{-5} mbar** **• großer dynamischer Bereich** **• wird nicht zerstört** **• keine Sättigung**

Nicht transparent

Gas-Monitor Detektor zur ‘online’ Intensitätsmessung

Geringe Teilchendichte =>
Transparent, unzerstörbar


n detection
Faraday cup
drift section
photon beam
-
+
Faraday
electron detection

10^{-5} hPa

Einzelphotoionisation:

$$N = N_{ph} \times n \times \sigma \times \ell$$

N = Zahl der Elektronen od. Ionen
N_{ph} = Zahl der Photonen
n = Teilchendichte
σ = Wirkungsquerschnitt
ℓ = *Länge* des WW Volumens

Deutsches Patent- und Markenamt, No. 102 44 303, München (2004)

S.V. Bobashev, A.A. Sorokin, Ch. Gerth, F. Jastrow, M. Richter, K. Tiedtke

Gas-Monitor Detektor (GMD)

Zahl der nachgewiesenen geladenen Teilchen:

$$N_{Teiclhen} = N_{Photonen} * \sigma(\lambda) * \mathbf{z} * \eta * n_{Atome} = N_{Photon} * Q.E.$$

z = Effektive Länge
η = Nachweiswahrscheinlichkeit
Q.E. = Quantumeffizienz

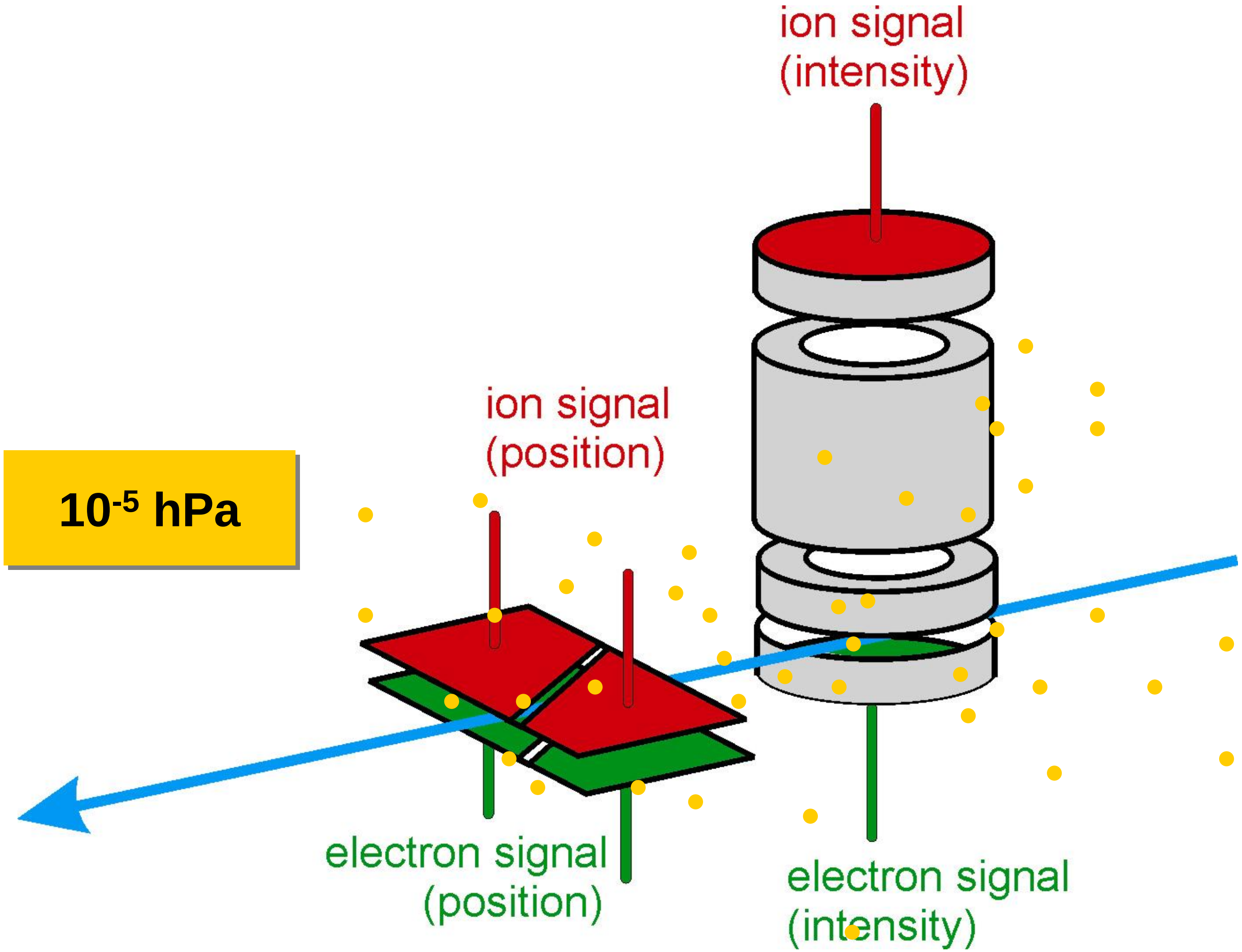
Q.E. kann kalibriert werden ↷

Intensitätsmessung => Messung von Ladungen & relativen Gasdichten

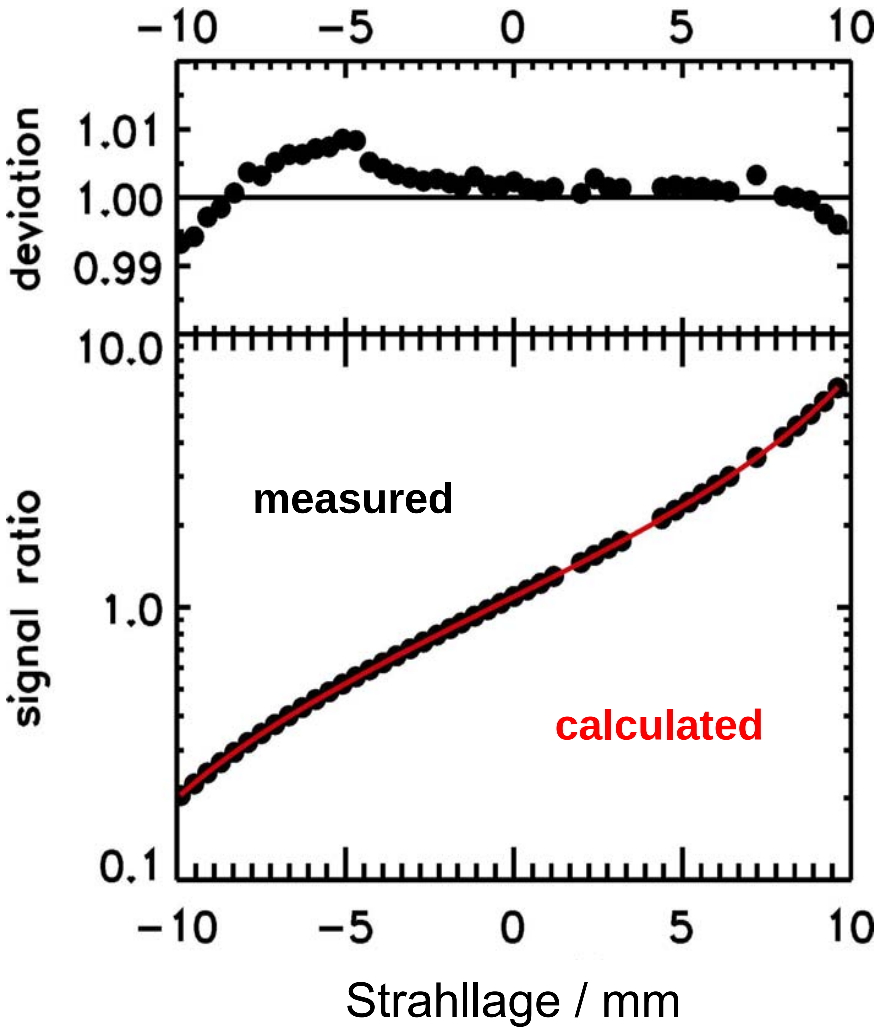
Gasdichte wird mittels Spinning Rotor Druckmesskopf und Thermoelement bestimmt

Vier Gas-Monitor Detektoren zur ‘online’ Intensitäts- und Strahllagemessung

10^{-5} hPa


ion signal
(intensity)
ion signal
(position)
electron signal
(position)
electron signal
(intensity)

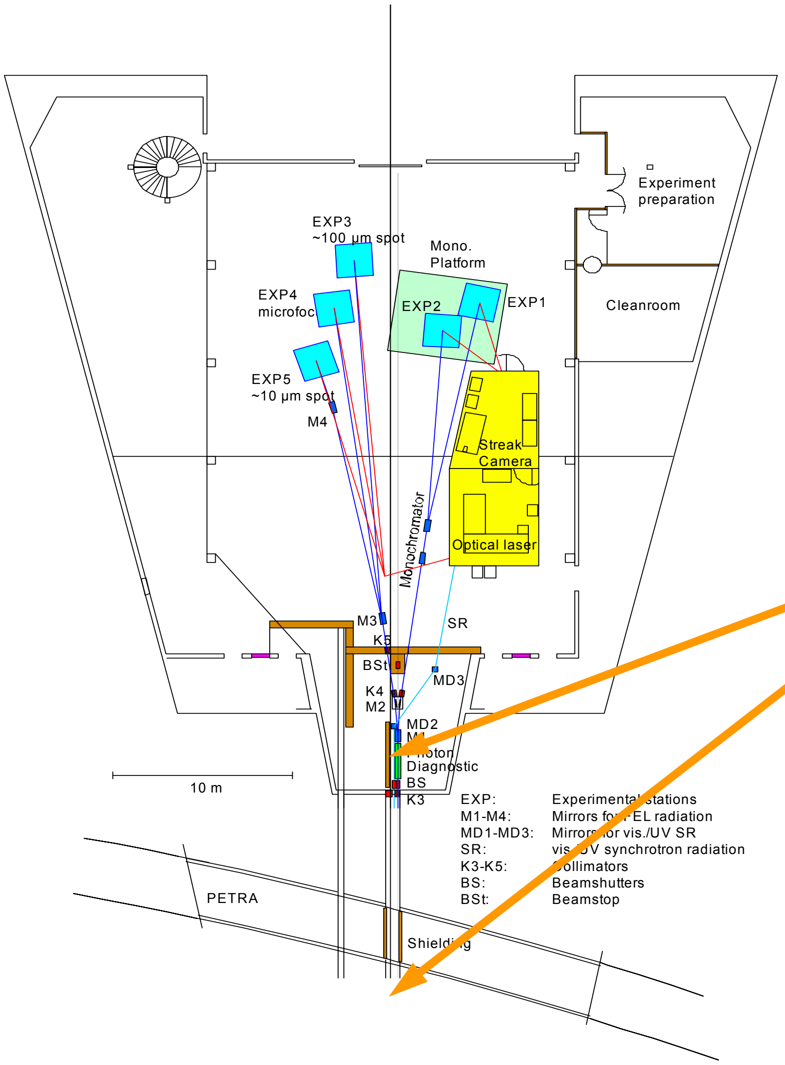
Test- und Kalibriermessung bei BESSY: Strahllage



Genauigkeit für die online Messung der relativen Strahlposition: ~ 20 µm

Zwei Gas-Monitor Detektor Sätze mit 20 m Abstand erlauben eine online Kontrolle des Winkels von: ~ 1 µrad

FLASH


Experiment preparation
Mono. Platform
EXP3
~100 µm spot
EXP4
microfoc
EXP2
EXP1
Cleanroom
EXP5
~10 µm spot
M4
Streak Camera
Optical laser
Monochromator
M3
K5
SR
BSt
MD3
K4
M2
MD2
M1
Photon Diagnostic
BS
K3
10 m
EXP: Experimental stations
M1-M4: Mirrors for FEL radiation
MD1-MD3: Mirrors for vis./UV SR
SR: vis./UV synchrotron radiation
K3-K5: Collimators
BS: Beamshutters
BSt: Beamstop
PETRA
Shielding

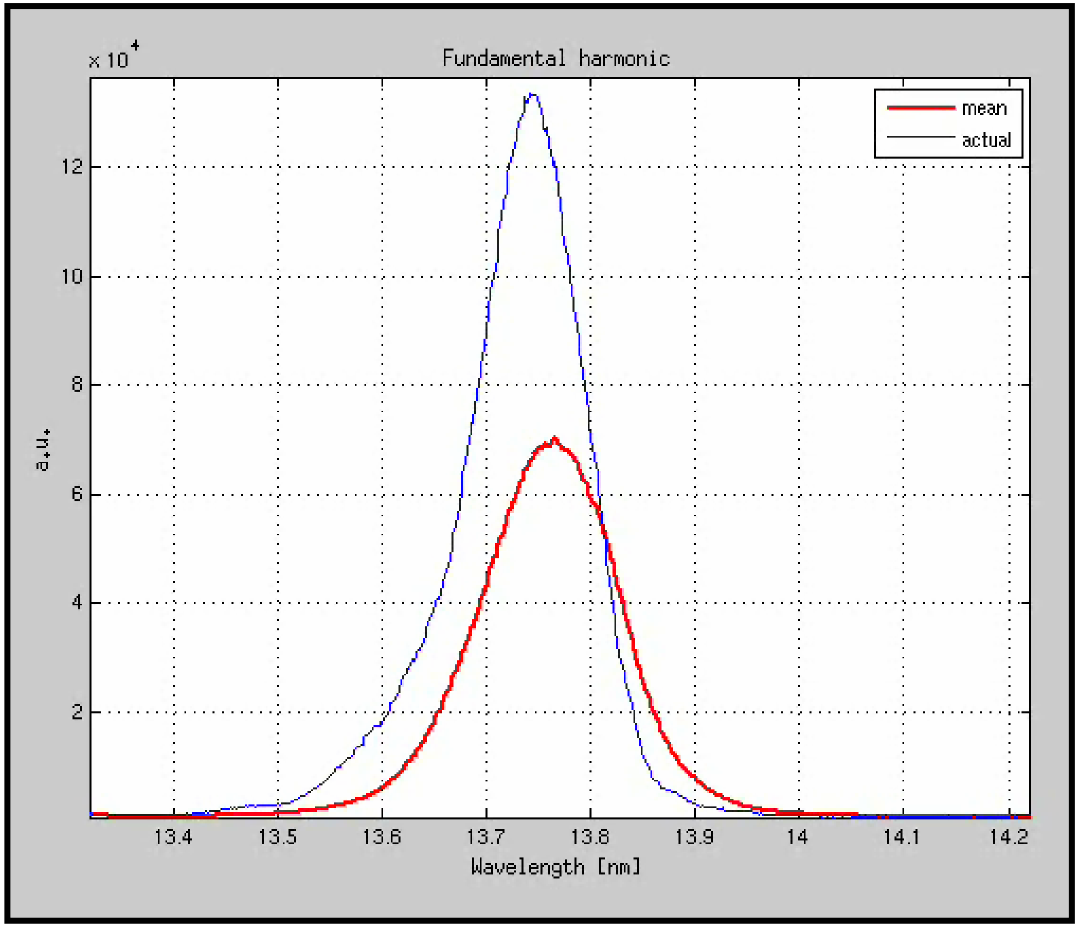
Zwei Gas-Monitor Detector Sätze

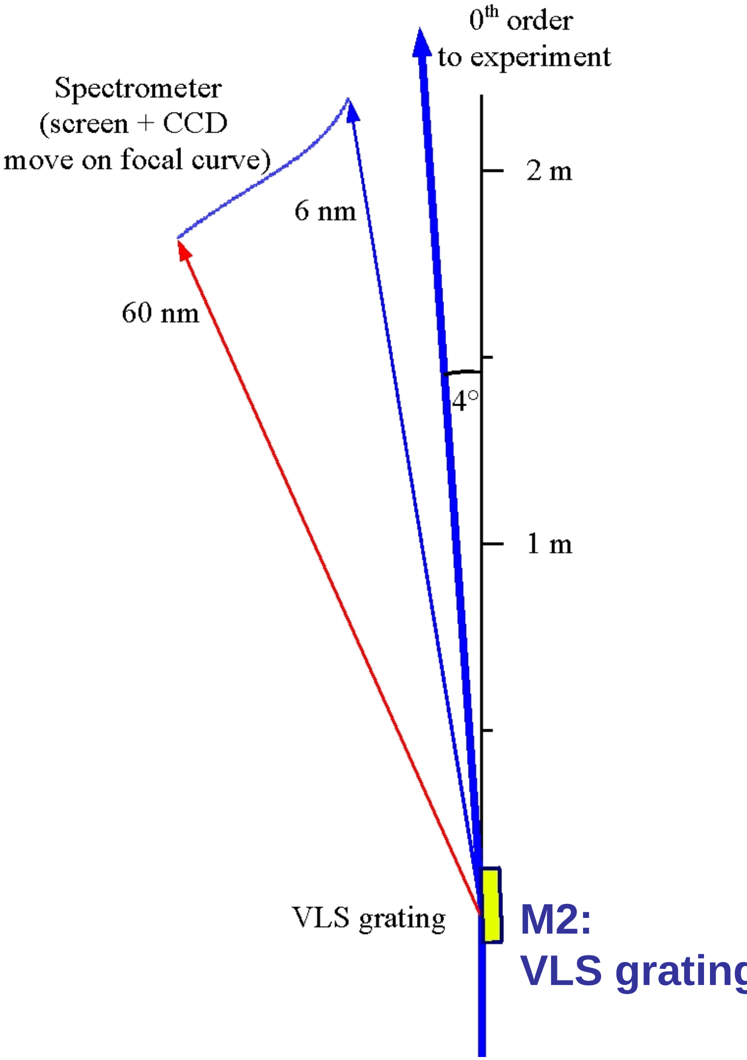
als permanenter Bestandteil der online Photonendiagnose

zur Bestimmung der absoluten Pulsintensität (mit 10 % Messunsicherheit) sowie zur Strahllagebestimmung

im Rahmen einer PTB-DESY Kooperation

Online Spektrometer für Einzelpulse





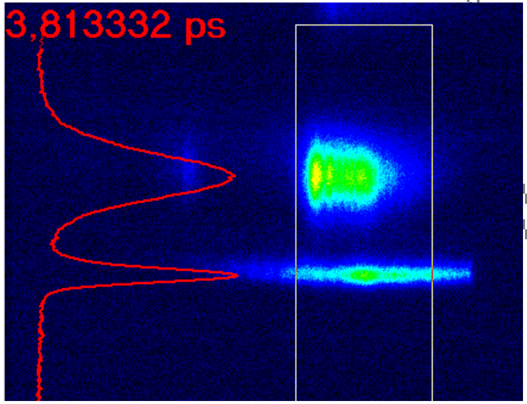
0th order
to experiment
Spectrometer
(screen + CCD
move on focal curve)
6 nm
60 nm
2 m
1 m
4°
VLS grating

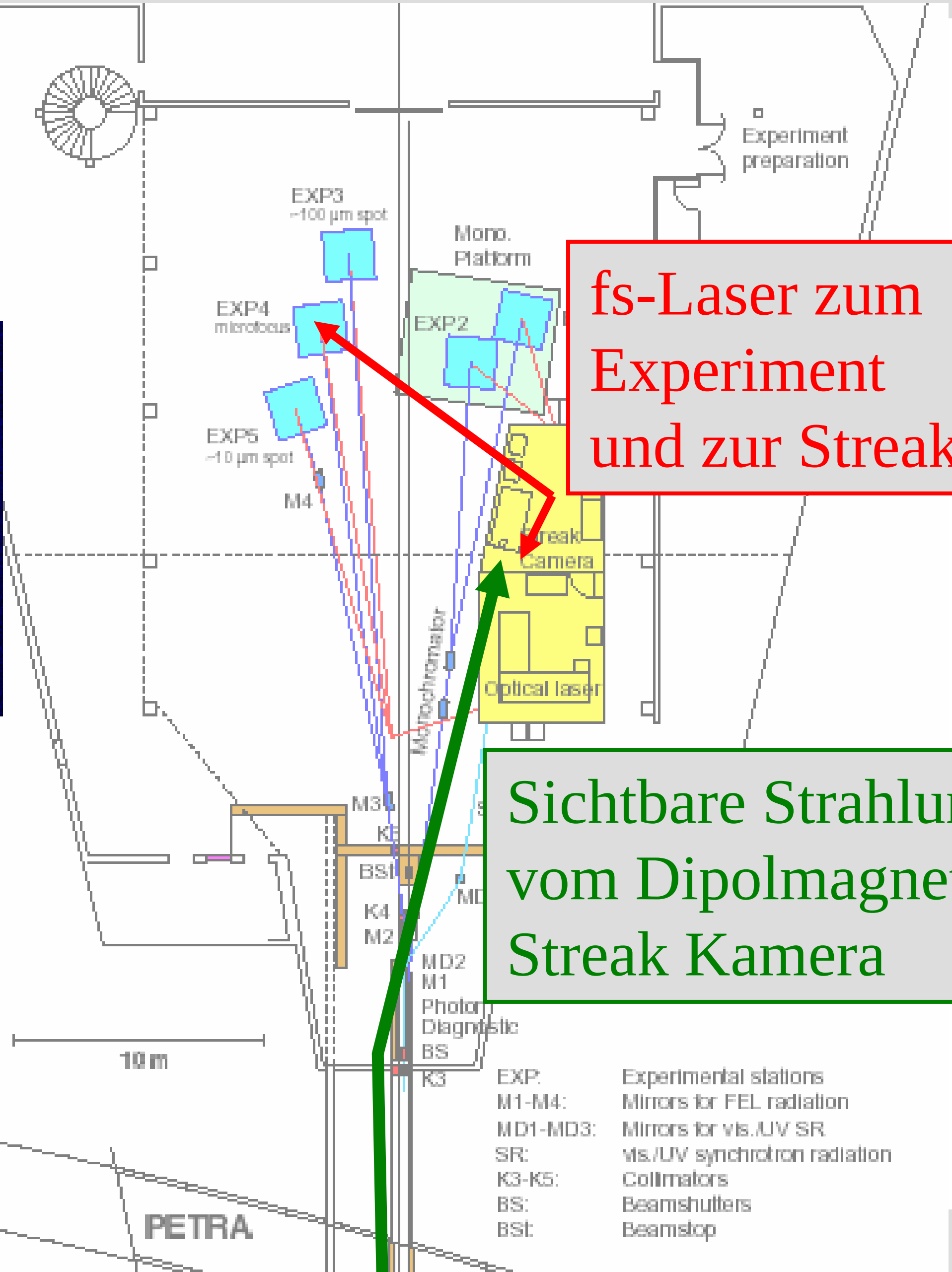
M2:
VLS grating

Pulslänge τ_{rad}:

$\tau_{rad} \cong 2\pi^{1/2}/(\Delta\omega)_{FWHM}$

Jitter Messungen mit Streak-Kamera



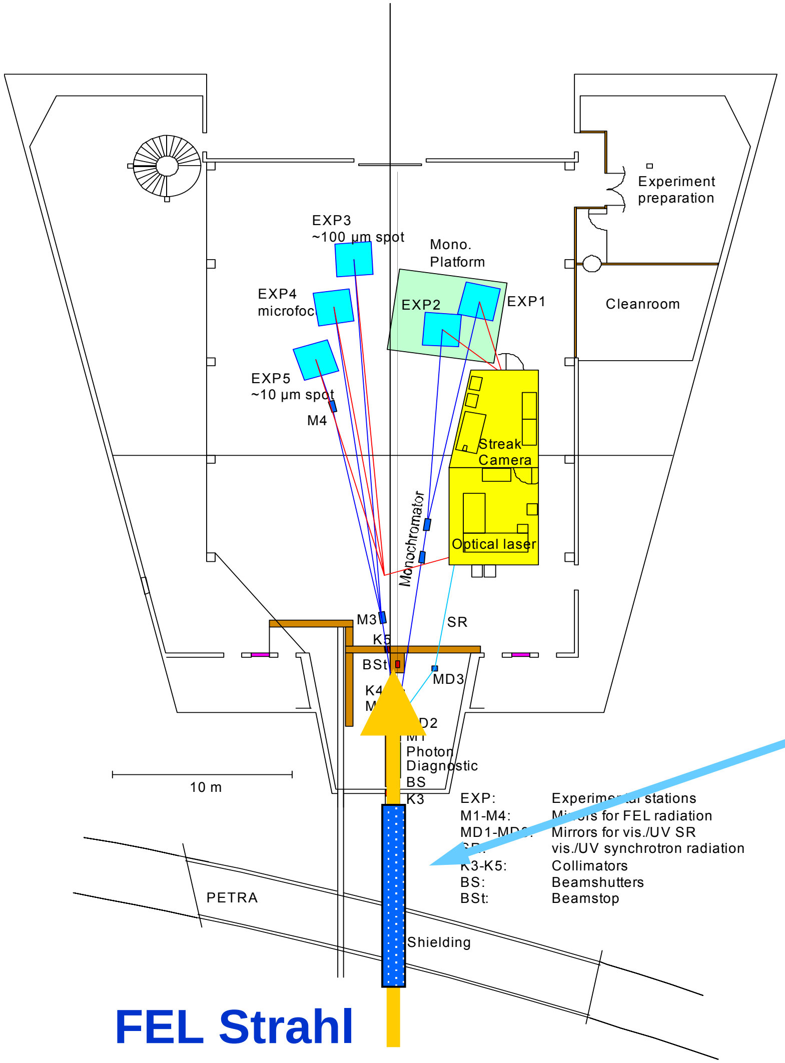

Experiment
preparation
EXP3
~100 µm spot
Mono.
Platform
EXP4
microfocus
EXP2
EXP5
~10 µm spot
M4
Streak
Camera
Monochromator
Optical laser
M3
K5
BSt
K4
M2
MD
MD2
M1
Photon
Diagnostic
BS
K3
10 m
PETRA
EXP: Experimental stations
M1-M4: Mirrors for FEL radiation
MD1-MD3: Mirrors for vis./UV SR
SR: vis./UV synchrotron radiation
K3-K5: Collimators
BS: Beamshutters
BSt: Beamstop

fs-Laser zum
Experiment
und zur Streak Kamera

Sichtbare Strahlung
vom Dipolmagneten zur
Streak Kamera

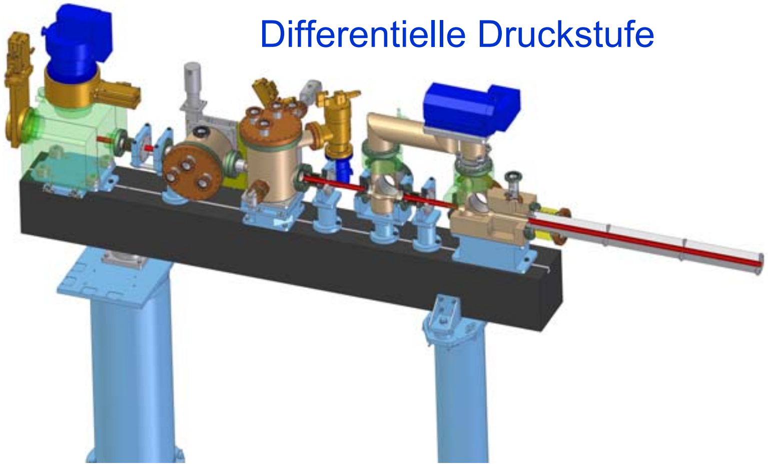
Gas Abschwächer

Gas Abschwächer



Experiment preparation
EXP3
~100 µm spot
Mono. Platform
EXP4
microfoc
EXP2
EXP1
Cleanroom
EXP5
~10 µm spot
M4
Streak Camera
Monochromator
Optical laser
M3
K5
SR
BSt
MD3
K4
M
D2
M1
Photon Diagnostic
BS
K3
10 m
EXP:
M1-M4:
MD1-MD
SR
K3-K5:
BS:
BSt:
Experimental stations
Mirrors for FEL radiation
Mirrors for vis./UV SR
vis./UV synchrotron radiation
Collimators
Beamshutters
Beamstop
PETRA
Shielding

FEL Strahl

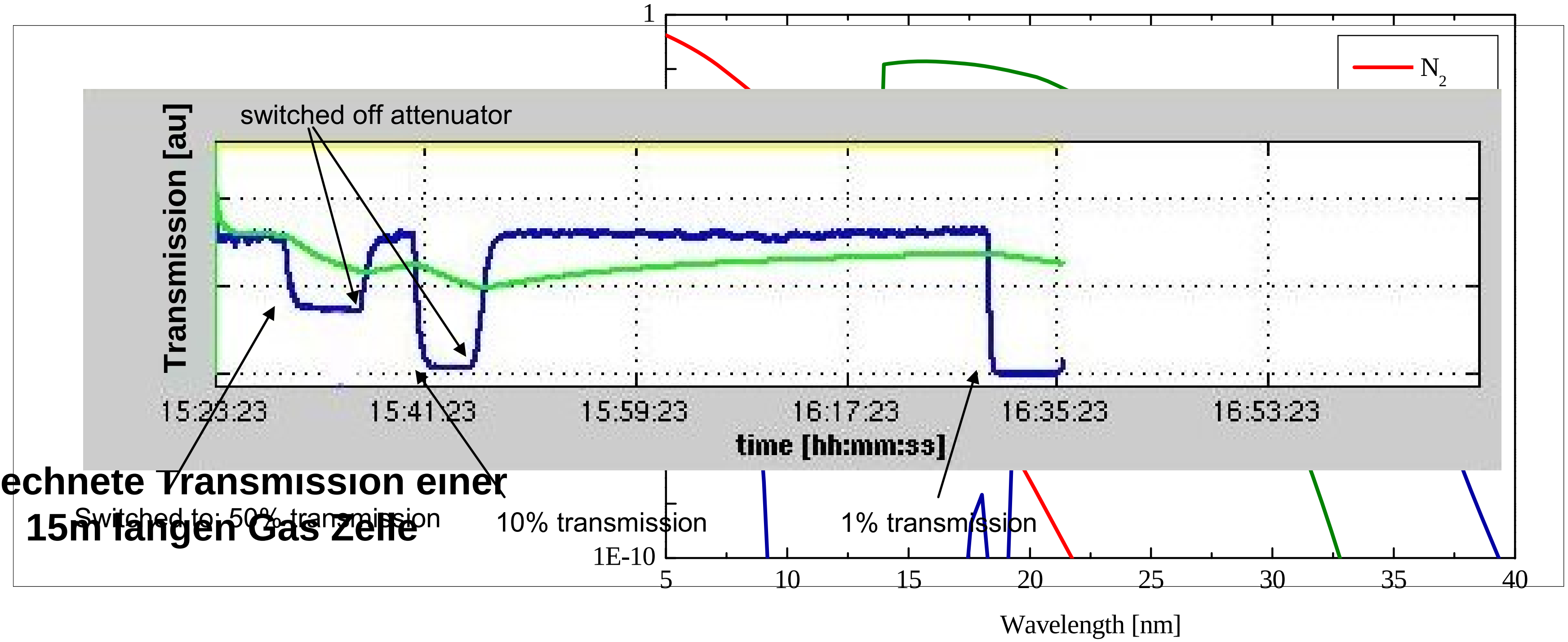


Differentielle Druckstufe

Gas Abschwächer (*15m, P=0.1mbar max*)

Gas-Abschwächer

- Kontrollierte Abschwächung des FEL Strahls im Bereich von 6nm bis 100 nm
- Abschwächung um 10^{-4} (abhängig v. Gas)
- Erhaltung der Strahleigenschaften (Kohärenz, Statistik, Spektrum, etc.)



switched off attenuator

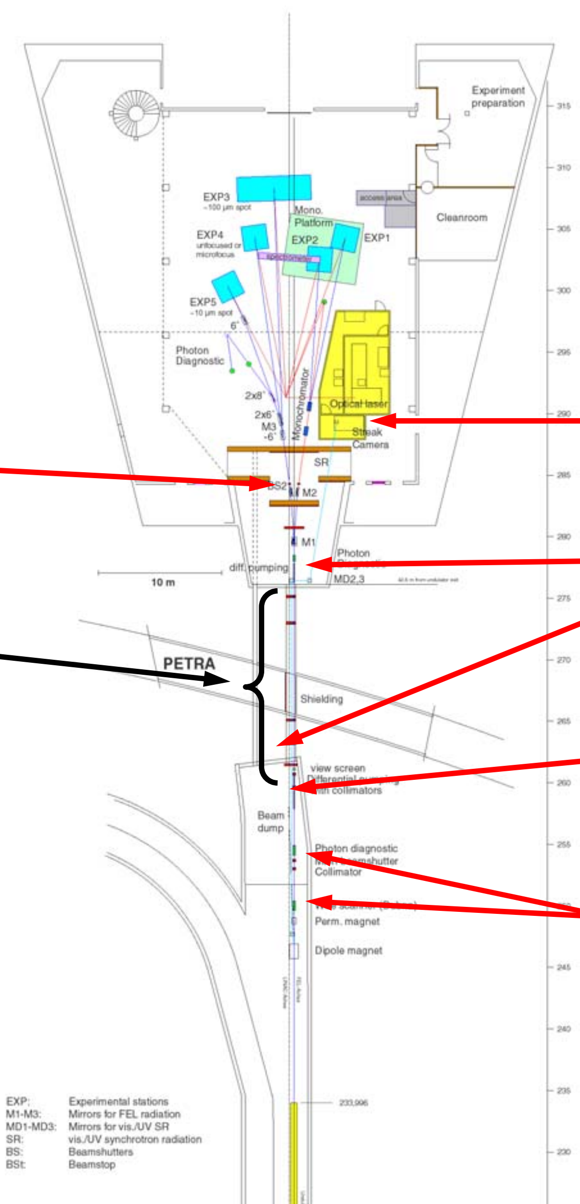
Switched to: 50% transmission

10% transmission

1% transmission

Berechnete Transmission einer 15m langen Gas Zelle

Überblick: Photonen Diagnostik


Experiment preparation
Cleanroom
access area
EXP3
~100 µm spot
Mono. Platform
EXP2
EXP1
EXP4
unfocused or microfocus
spectrometer
EXP5
~10 µm spot
6°
Photon Diagnostic
2x8°
2x6°
M3
-6°
Monochromator
Optical laser
Streak Camera
SR
BS2
M2
M1
Photon Diagnostic
diff. pumping
MD2,3
10 m
PETRA
Shielding
view screen
Differential pumping with collimators
Beam dump
Photon diagnostic
Main beamshutter
Collimator
Wire scanner
Perm. magnet
Dipole magnet
233,996
315
310
305
300
295
290
285
280
275
270
265
260
255
245
240
235
230
EXP: Experimental stations
M1-M3: Mirrors for FEL radiation
MD1-MD3: Mirrors for vis./UV SR
SR: vis./UV synchrotron radiation
BS: Beamshutters
BSt: Beamstop

VLS Spektrometer

Gas-Abschwächer

Streak Kamera
(timing)

GMD
(Intensität and Position)

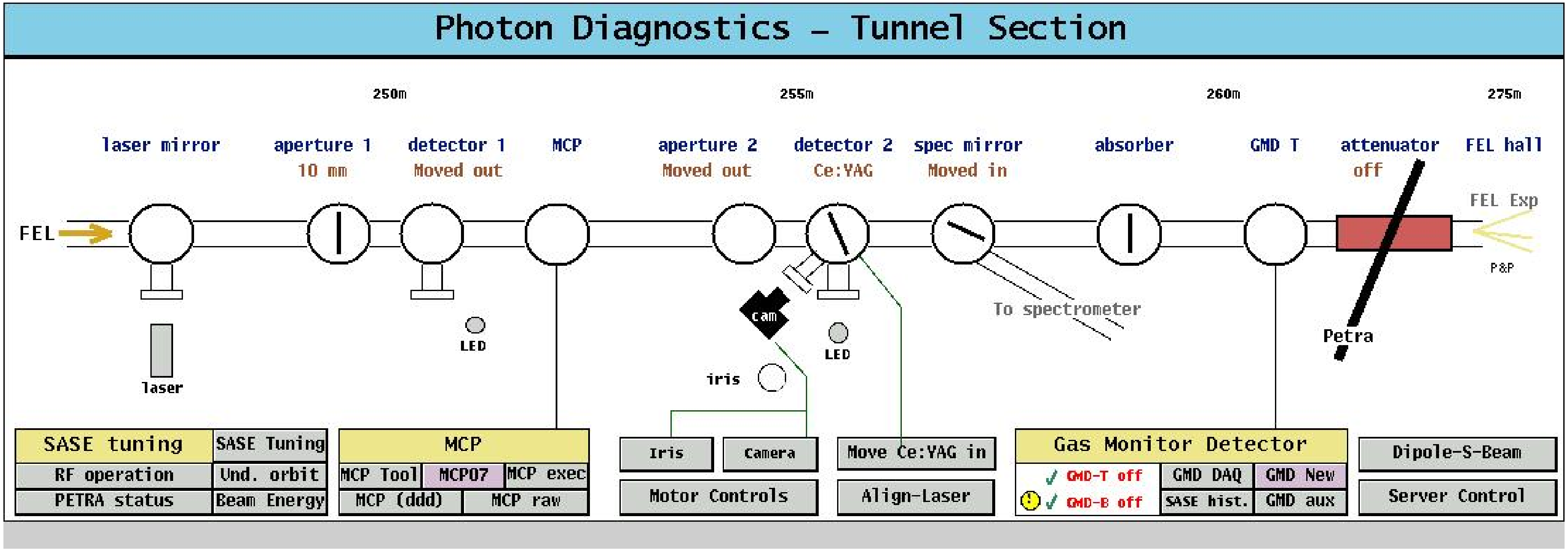
Spektrum *

Intensität und Position *
Detektor Unit 1&2 + MCP)

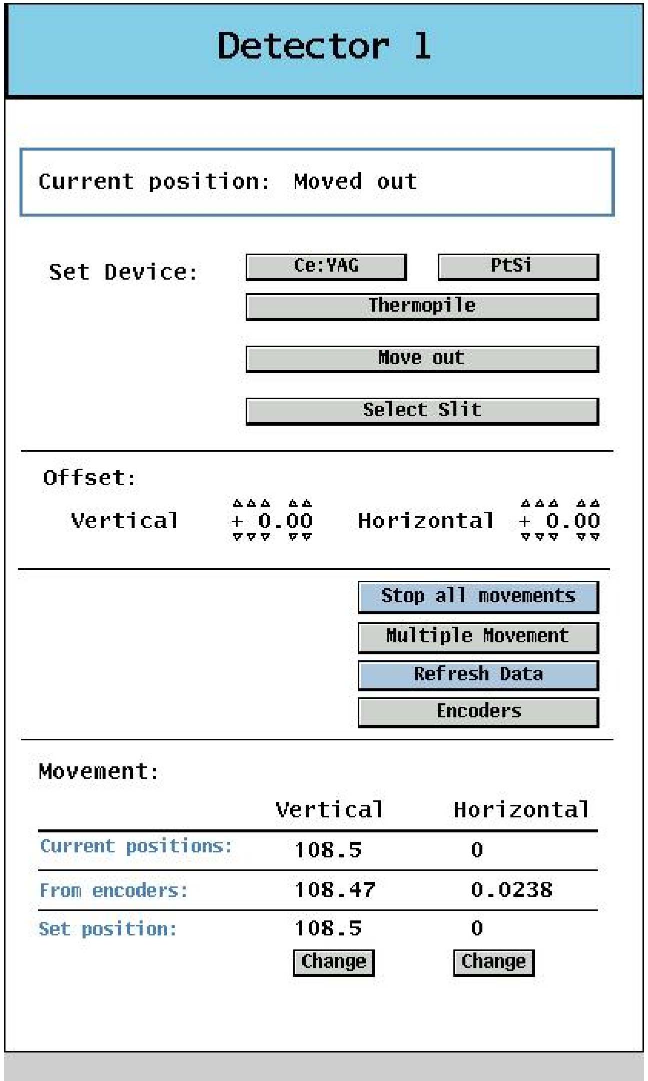
*** = NICHT "online"**

Einbindung der Photonen Diagnostik ins DOOCS Kontrollsystem

Integration der Photonen Diagnostik ins DOOCS Kontrollsystem


Photon Diagnostics – Tunnel Section
250m
255m
260m
275m
laser mirror
aperture 1
10 mm
detector 1
Moved out
MCP
aperture 2
Moved out
detector 2
Ce:YAG
spec mirror
Moved in
absorber
GMD T
attenuator
off
FEL hall
FEL Exp
FEL
P&P
laser
LED
cam
LED
iris
To spectrometer
Petra
SASE tuning
SASE Tuning
RF operation
Und. orbit
PETRA status
Beam Energy
MCP
MCP Tool
MCP07
MCP exec
MCP (ddd)
MCP raw
Iris
Camera
Motor Controls
Move Ce:YAG in
Align-Laser
Gas Monitor Detector
✓ GMD-T off
✓ GMD-B off
GMD DAQ
GMD New
SASE hist.
GMD aux
Dipole-S-Beam
Server Control

Bedienelement für Apertur- und Detektoreinheiten


Set Device:
Ce:YAG
PtSi
Thermopile
Move out
Select Slit
Stop all movements
Multiple Movement
Refresh Data
Encoders
Change
Change

Detector 1

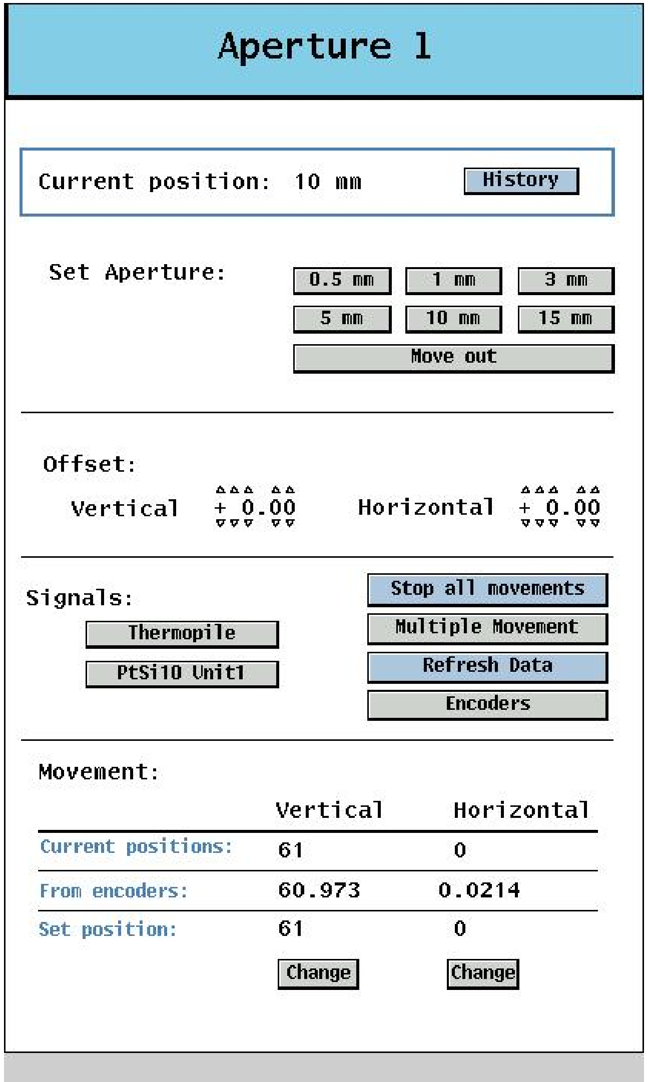
Current position: Moved out

Offset:

Vertical + 0.00 Horizontal + 0.00

Movement:

	Vertical	Horizontal
Current positions:	108.5	0
From encoders:	108.47	0.0238
Set position:	108.5	0


History
Set Aperture:
0.5 mm
1 mm
3 mm
5 mm
10 mm
15 mm
Move out
Signals:
Thermopile
PtSi10 Unit1
Stop all movements
Multiple Movement
Refresh Data
Encoders
Change
Change

Aperture 1

Current position: 10 mm

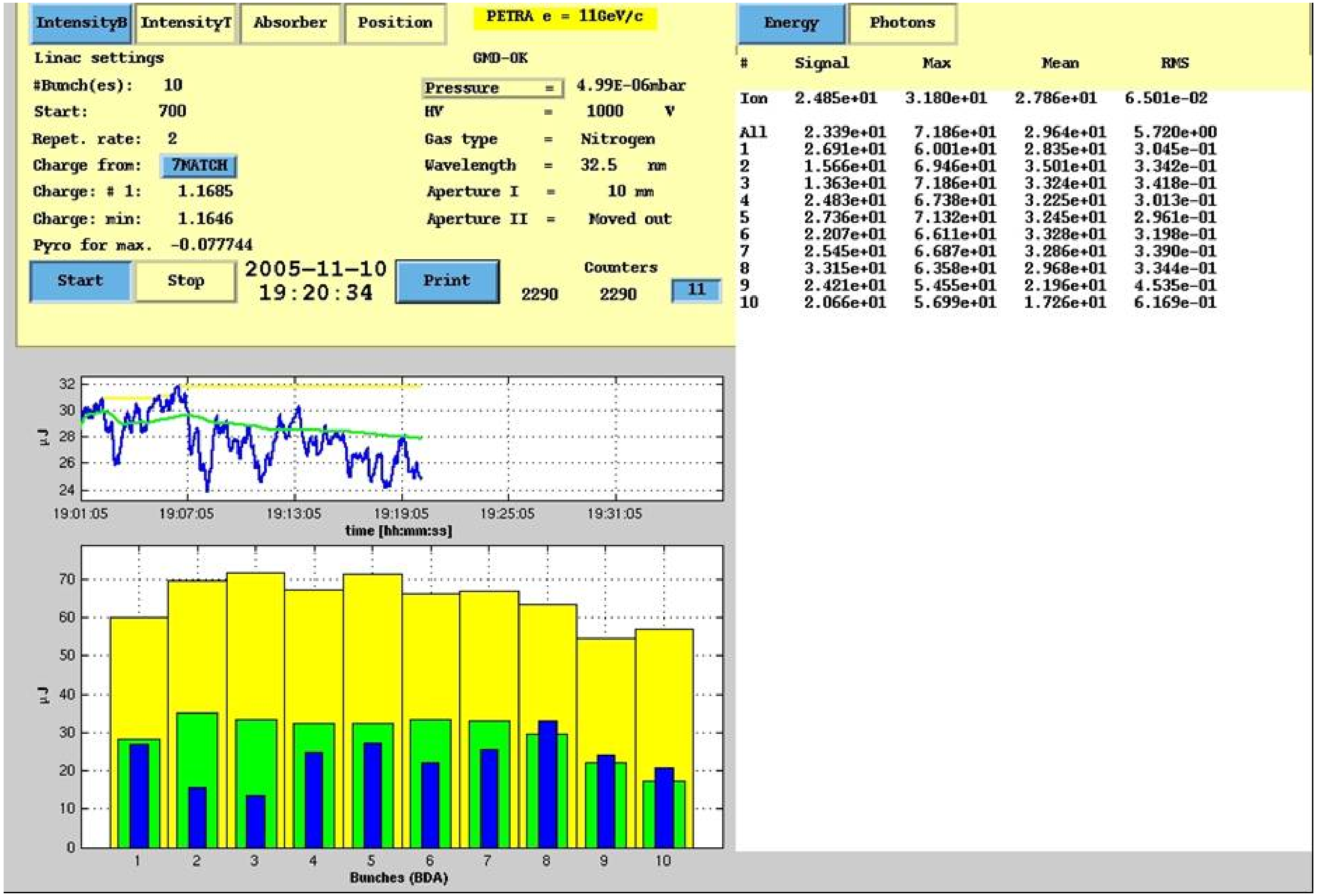
Offset:

Vertical + 0.00 Horizontal + 0.00

Movement:

	Vertical	Horizontal
Current positions:	61	0
From encoders:	60.973	0.0214
Set position:	61	0

Anzeigeelement des Gas-Monitor Detektor (GMD)


IntensityB
IntensityT
Absorber
Position
PETRA e = 11GeV/c
Energy
Photons
Start
Stop
Print
32
30
28
26
24
µJ
19:01:05
19:07:05
19:13:05
19:19:05
19:25:05
19:31:05
time [hh:mm:ss]
70
60
50
40
30
20
10
0
µJ
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Bunches (BDA)

Linac settings

#Bunch(es): 10
Start: 700
Repet. rate: 2
Charge from: 7MATCH
Charge: # 1: 1.1685
Charge: min: 1.1646
Pyro for max. -0.077744

GMD-OK

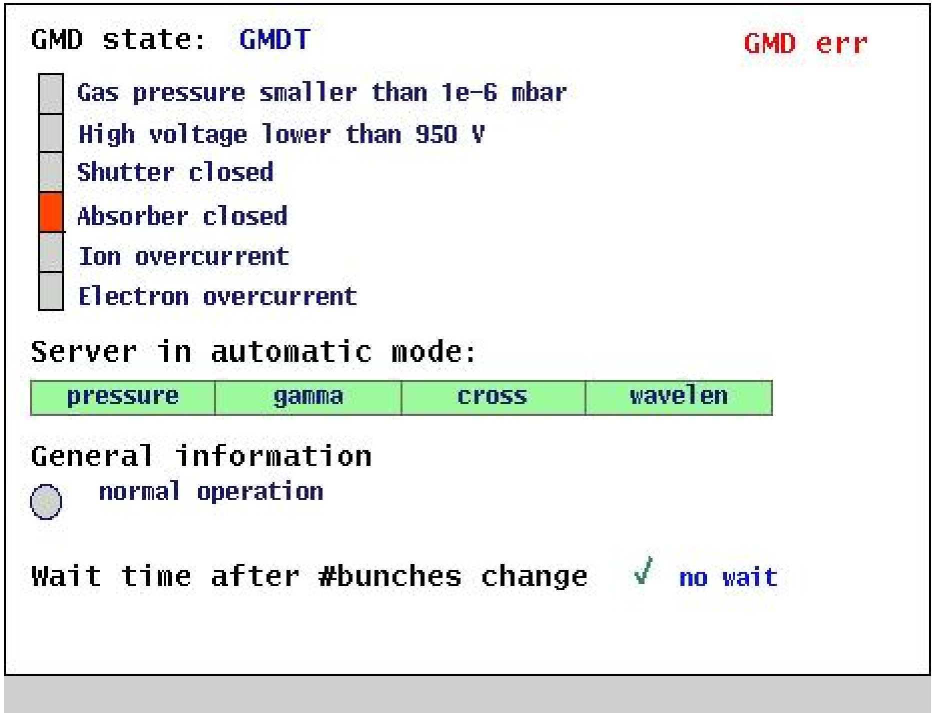
Pressure = 4.99E-06mbar
HV = 1000 V
Gas type = Nitrogen
Wavelength = 32.5 nm
Aperture I = 10 mm
Aperture II = Moved out

2005-11-10
19:20:34

Counters
2290 2290 11

#	Signal	Max	Mean	RMS
Ion	2.485e+01	3.180e+01	2.786e+01	6.501e-02
All	2.339e+01	7.186e+01	2.964e+01	5.720e+00
1	2.691e+01	6.001e+01	2.835e+01	3.045e-01
2	1.566e+01	6.946e+01	3.501e+01	3.342e-01
3	1.363e+01	7.186e+01	3.324e+01	3.418e-01
4	2.483e+01	6.738e+01	3.225e+01	3.013e-01
5	2.736e+01	7.132e+01	3.245e+01	2.961e-01
6	2.207e+01	6.611e+01	3.328e+01	3.198e-01
7	2.545e+01	6.687e+01	3.286e+01	3.390e-01
8	3.315e+01	6.358e+01	2.968e+01	3.344e-01
9	2.421e+01	5.455e+01	2.196e+01	4.535e-01
10	2.066e+01	5.699e+01	1.726e+01	6.169e-01

Bedienelement für Gas-Monitor Detektor (GMD)



GMD state: GMDT GMD err

- ☐ Gas pressure smaller than 1e-6 mbar
- ☐ High voltage lower than 950 V
- ☐ Shutter closed
- 🟥 Absorber closed
- ☐ Ion overcurrent
- ☐ Electron overcurrent

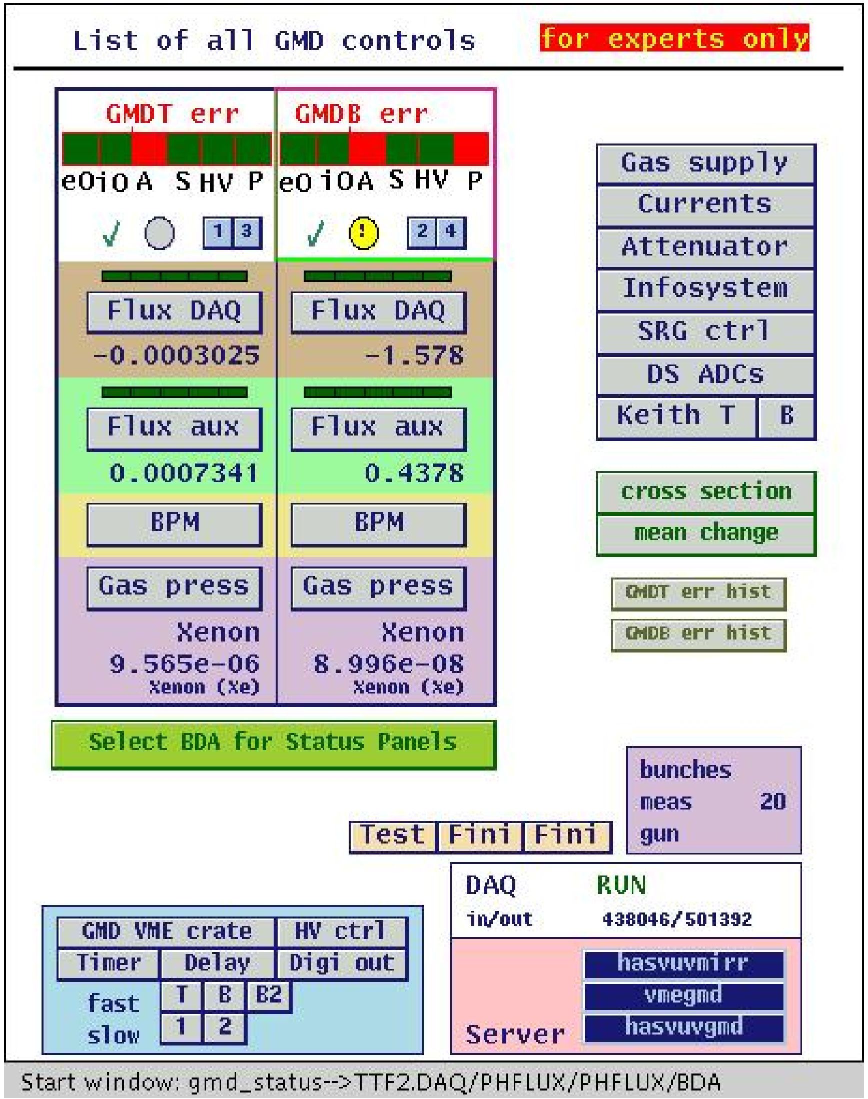
Server in automatic mode:

pressure
gamma
cross
wavelen

General information

○ normal operation

Wait time after #bunches change ✓ no wait



List of all GMD controls for experts only

GMDT err	GMDB err
eOiOA S HV P	eOiOA S HV P
✓ ○ 1 3	✓ ! 2 4
Flux DAQ -0.0003025	Flux DAQ -1.578
Flux aux 0.0007341	Flux aux 0.4378
BPM	BPM
Gas press Xenon 9.565e-06 Xenon (Xe)	Gas press Xenon 8.996e-08 Xenon (Xe)

bunches
meas 20
gun

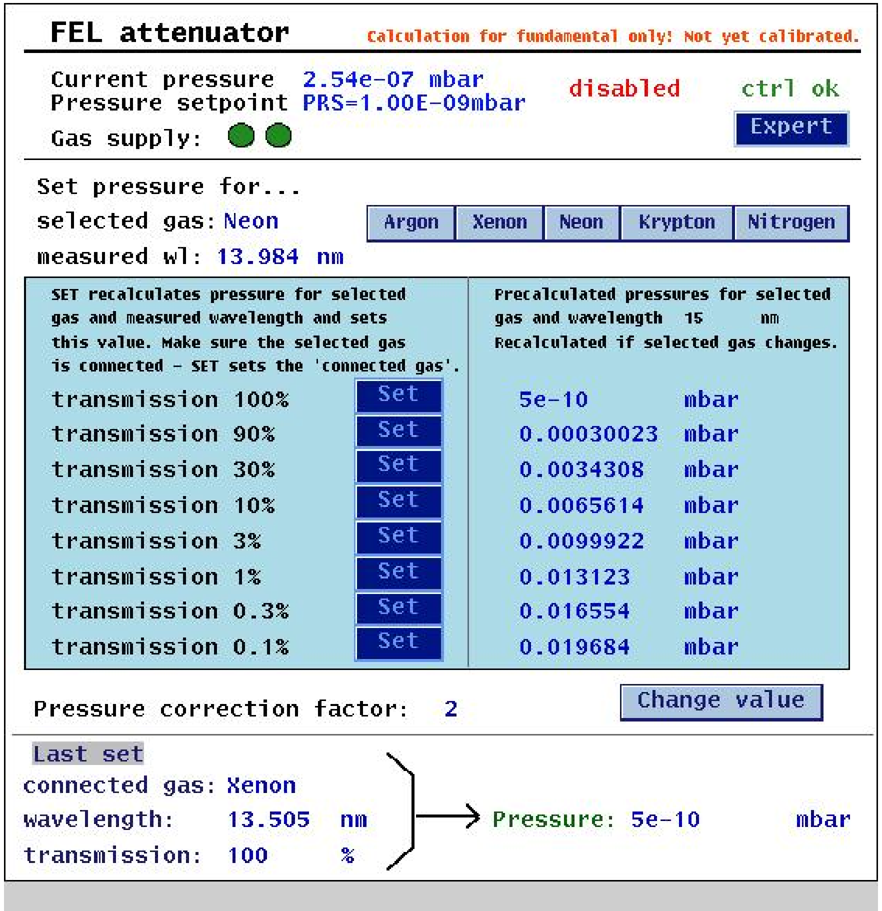
DAQ RUN
in/out 438046/501392

Server

Gas supply
Currents
Attenuator
Infosystem
SRG ctrl
DS ADCs
Keith T
B
cross section
mean change
GMDT err hist
GMDB err hist
Select BDA for Status Panels
Test
Fini
Fini
GMD VME crate
HV ctrl
Timer
Delay
Digi out
fast
slow
T
B
B2
1
2
hasvuvmirr
vmegmd
hasvuvgmd

Start window: gmd_status-->TTF2.DAQ/PHFLUX/PHFLUX/BDA

Bedienelement für Gas-Abschwächer und CCD Kamera



FEL attenuator

Calculation for fundamental only! Not yet calibrated.

Current pressure 2.54e-07 mbar
Pressure setpoint PRS=1.00E-09mbar
Gas supply: ● ●

disabled

ctrl ok

Expert

Set pressure for...
selected gas: Neon
measured wl: 13.984 nm

Argon
Xenon
Neon
Krypton
Nitrogen

SET recalculates pressure for selected gas and measured wavelength and sets this value. Make sure the selected gas is connected - SET sets the 'connected gas'.

Precalculated pressures for selected gas and wavelength 15 nm
Recalculated if selected gas changes.

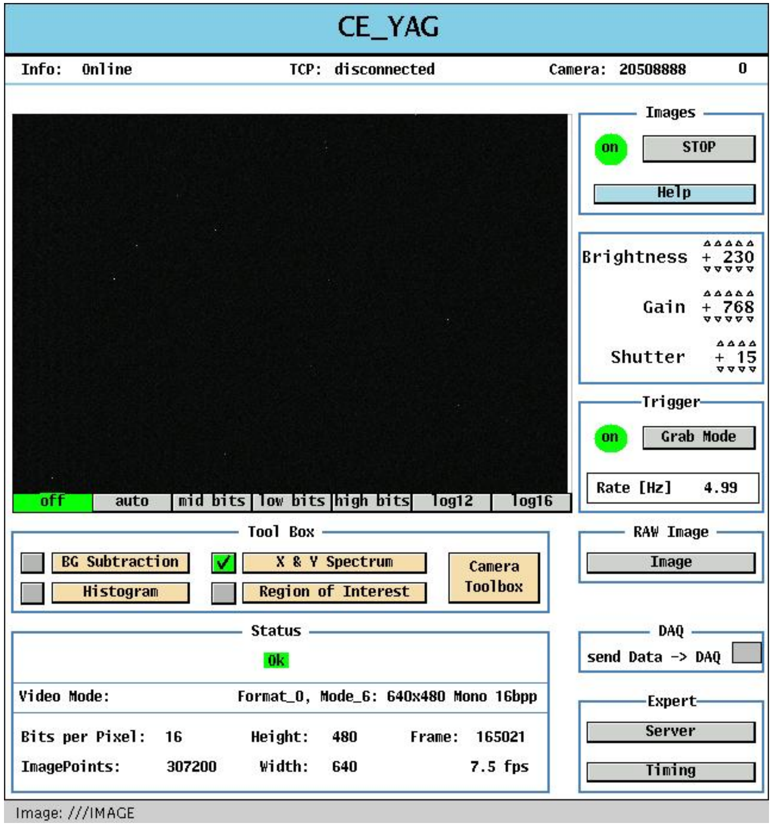
transmission 100%	Set	5e-10	mbar
transmission 90%	Set	0.00030023	mbar
transmission 30%	Set	0.0034308	mbar
transmission 10%	Set	0.0065614	mbar
transmission 3%	Set	0.0099922	mbar
transmission 1%	Set	0.013123	mbar
transmission 0.3%	Set	0.016554	mbar
transmission 0.1%	Set	0.019684	mbar

Pressure correction factor: 2

Change value

Last set
connected gas: Xenon
wavelength: 13.505 nm
transmission: 100 %

→ Pressure: 5e-10 mbar



CE_YAG

Info: Online
TCP: disconnected
Camera: 20508888 0

Images
on
STOP
Help

Brightness 230
Gain 768
Shutter 15

Trigger
on
Grab Mode

Rate [Hz] 4.99

off
auto
mid bits
low bits
high bits
log12
log16
Tool Box
BG Subtraction
Histogram
X & Y Spectrum
Region of Interest
Camera Toolbox
RAW Image
Image

☐ BG Subtraction
☐ Histogram
☑ X & Y Spectrum
☐ Region of Interest

Status
ok

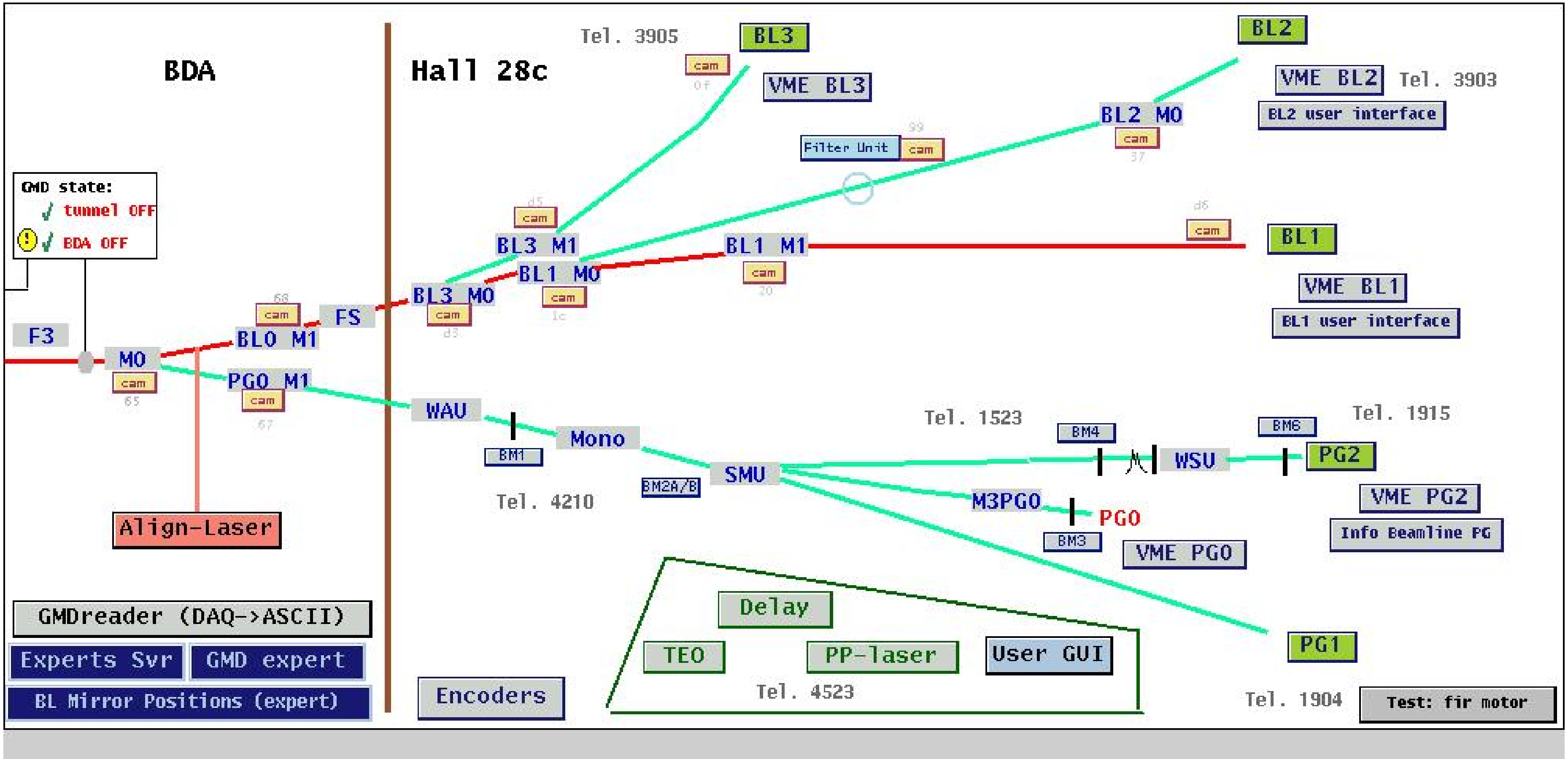
Video Mode: Format_0, Mode_6: 640x480 Mono 16bpp

Bits per Pixel: 16
Height: 480
Frame: 165021
ImagePoints: 307200
Width: 640
7.5 fps

DAQ
send Data -> DAQ
Expert
Server
Timing

Image: ///IMAGE

Bedienelement für die Experimentierhalle


BDA
Hall 28c
Tel. 3905
BL3
cam
0f
VME BL3
BL2
VME BL2
Tel. 3903
BL2 user interface
BL2 M0
cam
37
Filter Unit
cam
99
GMD state:
✓ tunnel OFF
! ✓ BDA OFF
d5
cam
BL3 M1
d6
cam
BL1
BL1 M1
cam
20
BL1 M0
cam
1c
VME BL1
BL1 user interface
68
cam
FS
BL3 M0
cam
d3
F3
BL0 M1
M0
cam
65
PG0 M1
cam
67
WAU
BM1
Mono
Tel. 4210
BM2A/B
SMU
Tel. 1523
BM4
WSU
BM6
PG2
Tel. 1915
M3PG0
PG0
BM3
VME PG0
VME PG2
Info Beamline PG
Align-Laser
Delay
TEO
PP-laser
User GUI
Tel. 4523
PG1
GMDreader (DAQ->ASCII)
Experts Svr
GMD expert
BL Mirror Positions (expert)
Encoders
Tel. 1904
Test: fir motor

FLASH Experimentierhalle