UNILAC Strahldiagnose

Christiane Andre, GSI Darmstadt

Operateurs-Schulung

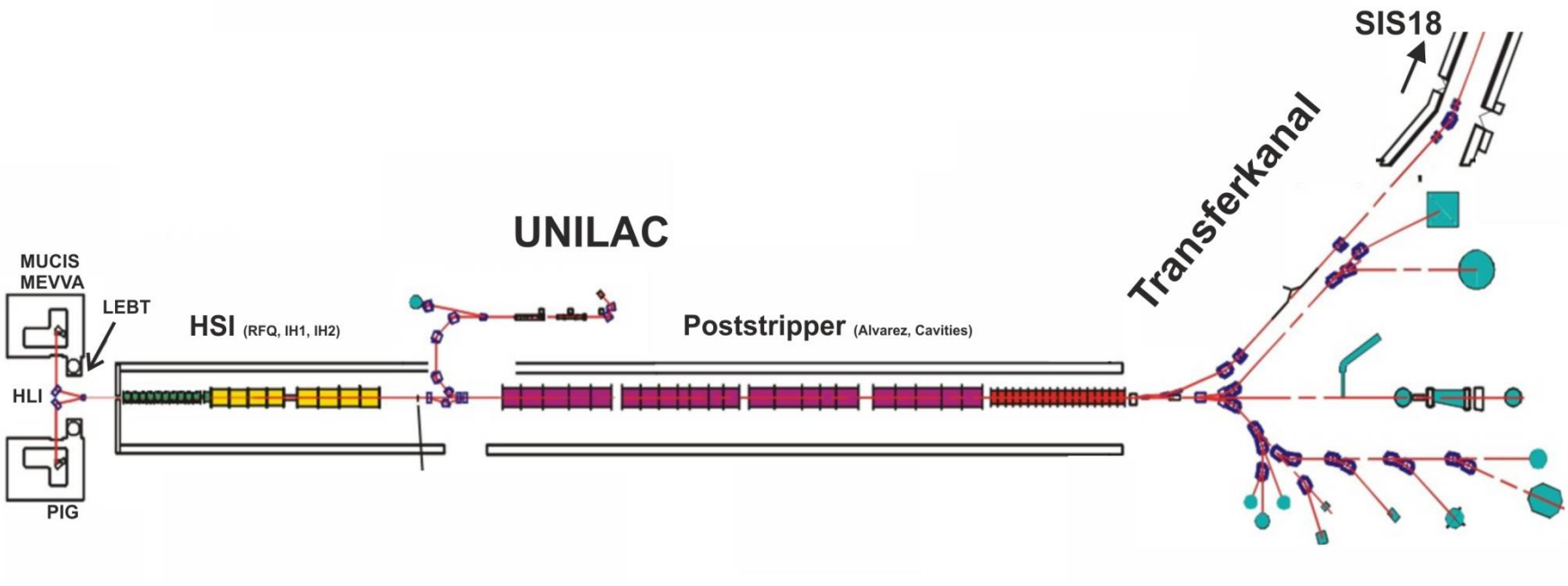
2016

Um was geht's?

UNILAC Strahldiagnose ... eine kleine Auswahl

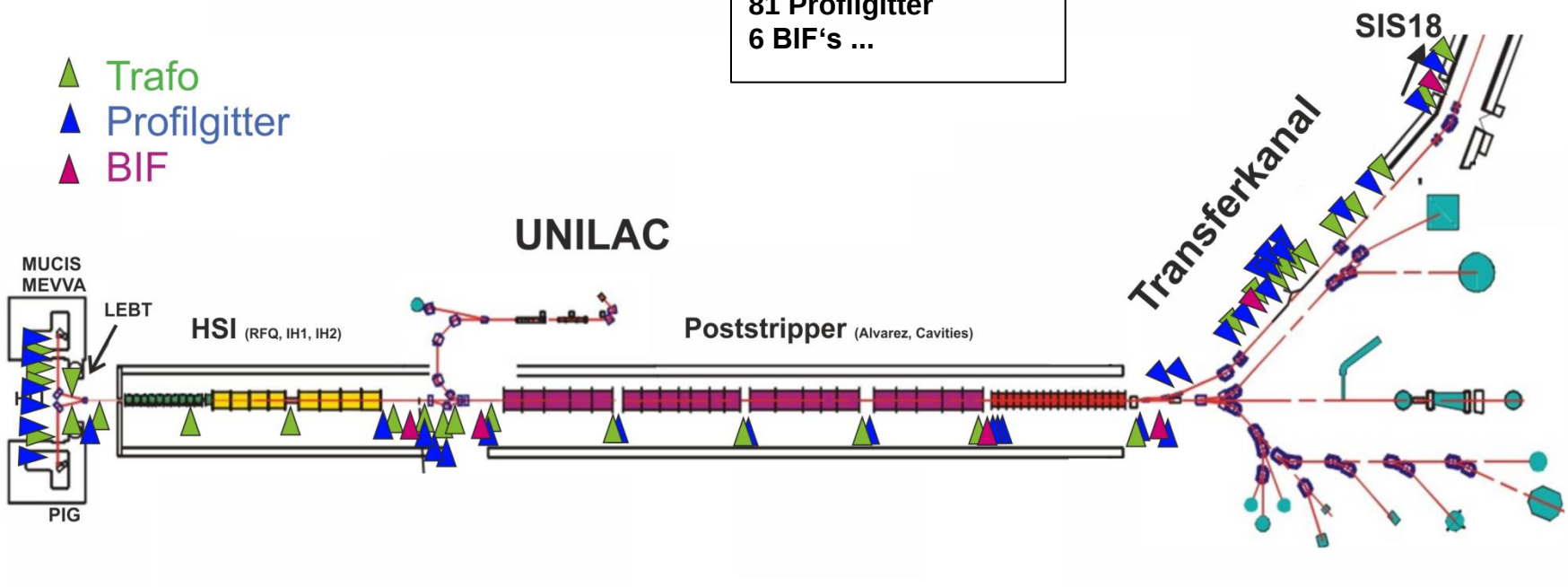
- Strahlstrom-Messung: Transformatoren (Trafos)
  - ► Intensitätsmessung
  - ► Verlust-Überwachung
  - ► Profilgitterschutz
- Strahlstrom-Messung: Faraday Cups (FC)
- Profilmessung 'Strahlbeeinflussend' : SEM-Grids / Profilgitter
- Profilmessung 'Nicht Strahlzerstörend' : Beam Induced Fluorescence (BIF)

UNILAC Strahldiagnose



UNILAC Strahldiagnose

Stand 2009 im Unilac:
51 Trafos
65 Faraday Cups
81 Profilgitter
6 BIF's ...



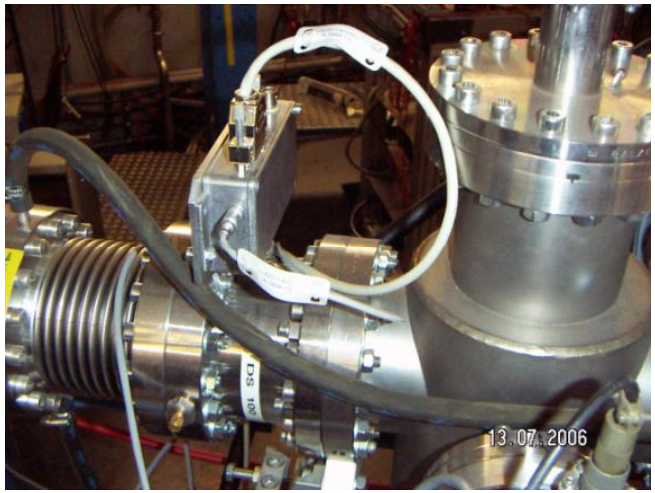
>> Das ‚Auge' des Beschleunigers, quasi überall !!!

UNILAC Strahldiagnose

- Strahlstrom-Messung: Transformatoren (Trafos)
  - ► Intensitätsmessung
  - ► Verlust-Überwachung
  - ► Profilgitterschutz
- Strahlstrom-Messung: Faraday Cups (FC)
- Profilmessung ‘Strahlbeeinflussend’ : SEM-Grids / Profilgitter
- Profilmessung ‘Nicht Strahlzerstörend’ : Beam Induced Fluorescence (BIF)

AC Transformatoren (Trafos)

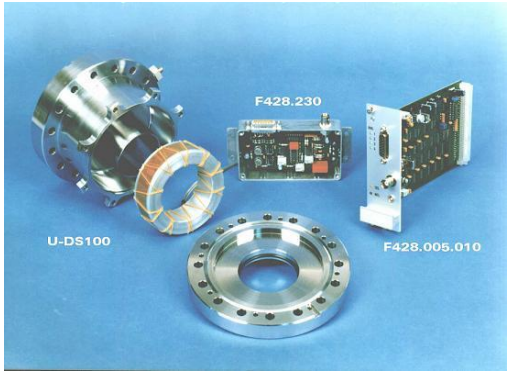
‘Beam Current Transformers (BCT)’



Anwendung:

- Messung des Strahlstroms

  ! **Nicht Strahlzerstörend** !
- Verlustüberwachung entlang der Strahlführung
- Profilgitterschutz (dynamische Anpassung der Pulslänge)



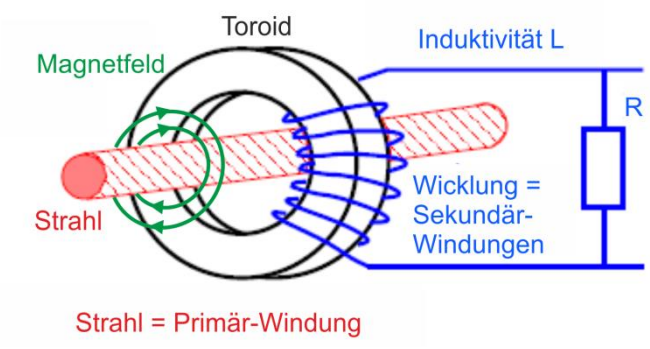
AC Transformatoren (Trafos)

‘Beam Current Transformers (BCT)’

Anwendung:

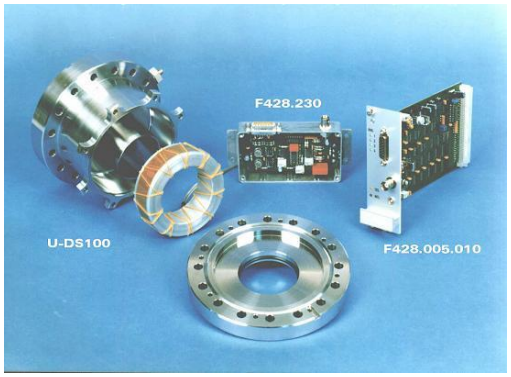
- Messung des Strahlstroms

  ! **Nicht Strahlzerstörend** !
- Verlustüberwachung entlang der Strahlführung
- Profilgitterschutz (dynamische Anpassung der Pulslänge)



Technische Details:

- Trafo besteht aus: Toroid & Gehäuse (geschirmt), Kopfverstärker und DAQ (V/f Converter)
- 5 Messbereiche: 10, 100 µA, 1, 10, 100 mA full scale
- Apertur: 50 mm / 75 mm / 100 mm / 115 mm / 200 mm

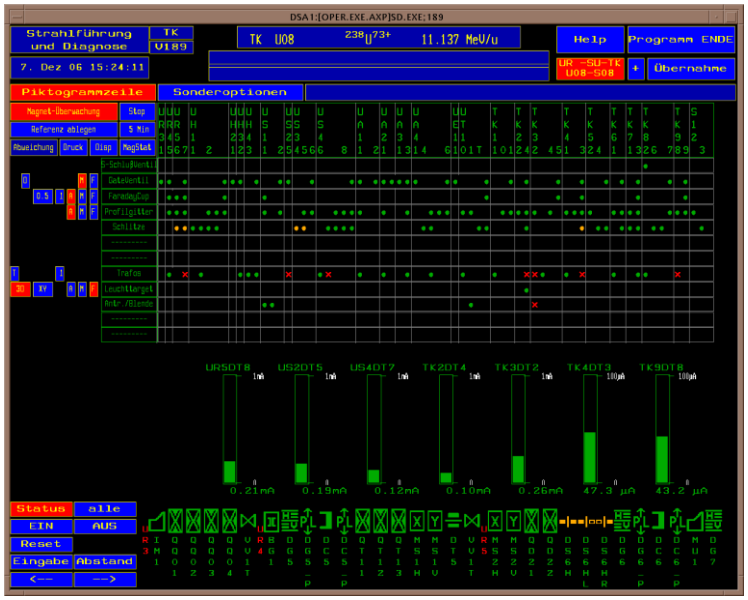


AC Transformatoren (Trafos)

Bedienung

SD-Programm:

- Zeigt für einen virtuellen Beschleuniger den integralen Strom aller Trafos entlang des Strahlweges an



MAPS (MAkro Pulse Selector):

- zeitaufgelöste Struktur eines Trafos über einen Makropuls (blau: Trafosignal ; gelb: Gatepuls)
- Daten für Strom (I) und Pulslänge (t) aus der DAQ in Echtzeit

AC Transformatoren (Trafos)

Trafo Messungen werden verwendet zur ...

Strahlverlust-Überwachung (SVÜ)

Zum Schutz der Anlage vor Beschädigung und Aktivierung !!!

- ► Zu hohe Verluste zwischen 2 Trafos lösen ein Interlock aus
- ► Chopper UH2 bricht den laufenden Strahlpuls ab (**dynamische Pulsverkürzung**)

AC Transformatoren (Trafos)

Trafo Messungen werden verwendet zur ...

Strahlverlust-Überwachung (SVÜ)

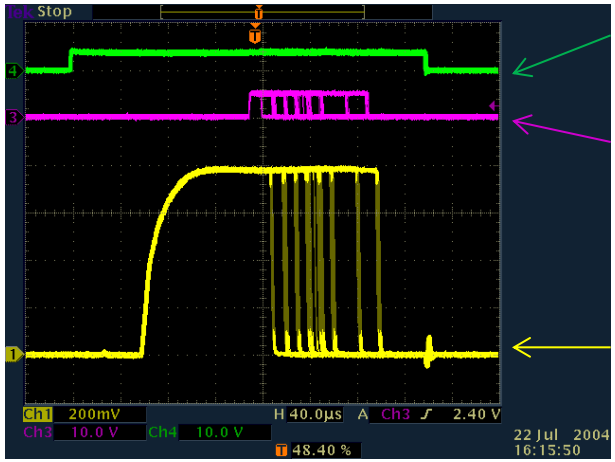
Zum Schutz der Anlage vor Beschädigung und Aktivierung !!!

- ► Zu hohe Verluste zwischen 2 Trafos lösen ein Interlock aus
- ► Chopper UH2 bricht den laufenden Strahlpuls ab (**dynamische Pulsverkürzung**)

Pulsverkürzung zum Profilgitterschutz

- ► Verkürzung des Strahls am Chopper UH2 auf 100 µs bzw. 250 µs / 2,5 Hz
- ► + dynamische Pulsverkürzung durch SVÜ

Mindest-Pulslänge von 10 µs (bedingt durch Chopper-Steuerung)



Klemmpuls

Timing-Fenster vom Trafo an den Chopper

Analogsignal Trafo nach Verkürzung

Pulsverkürzung bei gesteigerten Strahl-Verlusten (H. Reeg, EPAC 2006)

AC Transformatoren (Trafos)

FAQ ...

- **Vermeintliche Fehlmessung an einzelnem Trafo**

Bedingt durch hohen Elektronen-Untergrund (z.B. Gasstripper, IH, Blenden ...) misst ein einzelner Trafo zu viel Strom **T > 100%**

Transmissionsmessung

Isotop 48Ca 10+ 10+ 10+ 10+ 10+
Datum/Uhrzeit 29.Sep 15 11:45
Energie 5.893 MeV/u
virt. Beschl U03-

Nomen	Teilchen/P	Pulsstrom	Ladung	Int-Zeit [ms]	Pulslänge [ms]	VrtAcc
GUN3DT1	160.E+09	73.5 µA	10	3.493	3.500	3
GUN5DT1	109.E+09	50.1 µA	10	3.493	3.500	3
GUN6DT1	100.E+09	46.1 µA	10	3.492	3.500	3
GUN7DT1	381.E+08	17.5 µA	10	3.492	3.500	3
GUS4DT7	306.E+08	14.0 µA	10	3.496	3.500	3
GUA1DT1	295.E+08	13.5 µA	10	3.497	3.500	3
GUA2DT2	281.E+08	12.9 µA	10	3.495	3.500	3
GUA3DT3	277.E+08	12.7 µA	10	3.497	3.500	3
GUA4DT5	285.E+08	13.1 µA	10	3.496	3.500	3
GUT1DT0	329.E+08	15.1 µA	10	3.495	3.500	3
GUXADT2	273.E+08	12.5 µA	10	3.496	3.500	3
GUX2DTA	140.E+08	6.4 µA	10	3.496	3.500	3
GUX2DTB	143.E+08	6.5 µA	10	3.497	3.500	3

► Verlustüberwachung verkürzt den Strahl am Chopper UH2

► Situationsbedingt kann die Interlock-Schwelle manipuliert werden (Zitat H. Reeg)

AC Transformatoren (Trafos)

FAQ ...

- **Vermeintliche Fehlmessung an einzelnem Trafo**

Bedingt durch hohen Elektronen-Untergrund (z.B. Gasstripper, IH, Blenden ...) misst ein einzelner Trafo zu viel Strom

► Verlustüberwachung verkürzt den Strahl am Chopper UH2

► Situationsbedingt kann die Interlock-Schwelle manipuliert werden (Zitat H. Reeg)

Transmissionsmessung

Isotop 48Ca 10+ 10+ 10+ 10+ 10+
Datum/Uhrzeit 29.Sep 15 11:45
Energie 5.893 MeV/u
virt. Beschl U03-

Nomen	Teilchen/P	Pulsstrom	Ladung	Int-Zeit [ms]	Pulslänge [ms]	VrtAcc
GUN3DT1	160.E+09	73.5 µA	10	3.493	3.500	3
GUN5DT1	109.E+09	50.1 µA	10	3.493	3.500	3
GUN6DT1	100.E+09	46.1 µA	10	3.492	3.500	3
GUN7DT1	381.E+08	17.5 µA	10	3.492	3.500	3
GUS4DT7	306.E+08	14.0 µA	10	3.496	3.500	3
GUA1DT1	295.E+08	13.5 µA	10	3.497	3.500	3
GUA2DT2	281.E+08	12.9 µA	10	3.495	3.500	3
GUA3DT3	277.E+08	12.7 µA	10	3.497	3.500	3
GUA4DT5	285.E+08	13.1 µA	10	3.496	3.500	3
GUT1DT0	329.E+08	15.1 µA	10	3.495	3.500	3
GUXADT2	273.E+08	12.5 µA	10	3.496	3.500	3
GUX2DTA	140.E+08	6.4 µA	10	3.496	3.500	3
GUX2DTB	143.E+08	6.5 µA	10	3.497	3.500	3

- **Messung am unteren Messbereichs-Limit (< 10 µA)**

In den unteren Messbereichen nimmt das Signal/Rausch Verhältnis ab

► die Messungen werden ungenau

► Faraday Cups können kleinere Ströme genauer messen

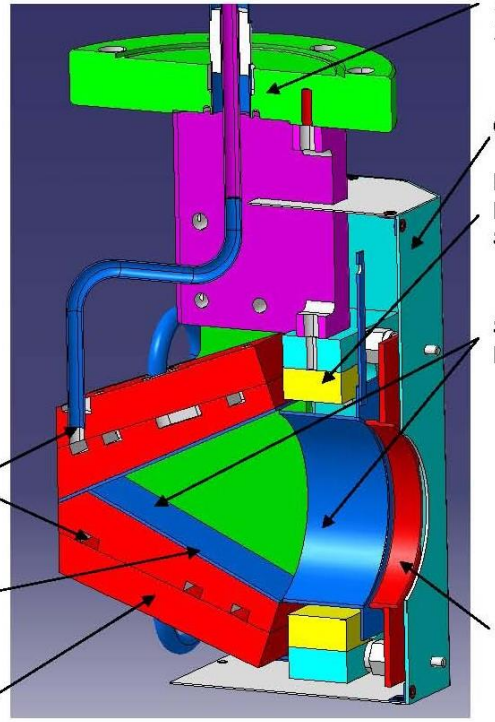
Faraday Cups (FCs, Tassen)

- Messung sehr kleiner Ströme (bis 1 nA)

  ! **Strahlzerstörend** !
- Strahlenschutz-Tasse (‚temporärer Beam-dump‘)
- Vorverstärker mit 7 schaltbaren Messbereichen:

  100 nA, 1, 10, 100 µA, 1, 10, 100 mA full scale
- DAQ (V/f Converter)

- Teilweise wassergekühlt
- HV und Dipol Magnet zur Unterdrückung von Messfehlern durch Sekundär-Elektronen



UNILAC Strahldiagnose

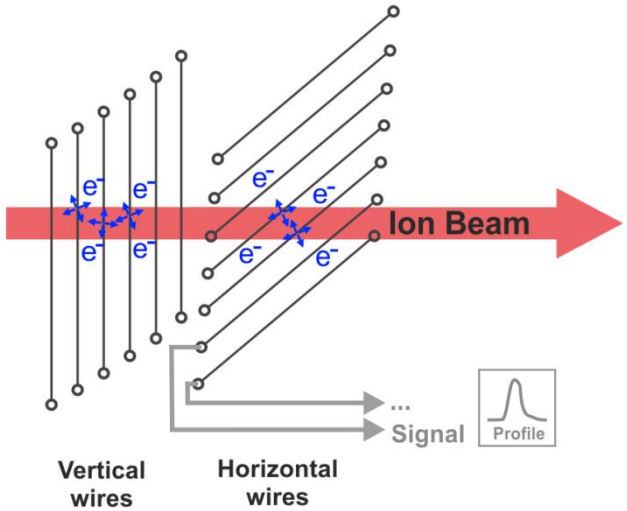
- Strahlstrom-Messung: Transformatoren (Trafos)
  - ► Intensitätsmessung
  - ► Verlust-Überwachung
  - ► Profilgitterschutz
- Strahlstrom-Messung: Faraday Cups (FC)
- Profilmessung ‘Strahlbeeinflussend’ : SEM-Grids / Profilgitter
- Profilmessung ‘Nicht Strahlzerstörend’ : Beam Induced Fluorescence (BIF)

Secondary Electron EMission Grids SEM-Grids

Messung des transversalen Strahlprofils (horizontal & vertikal)

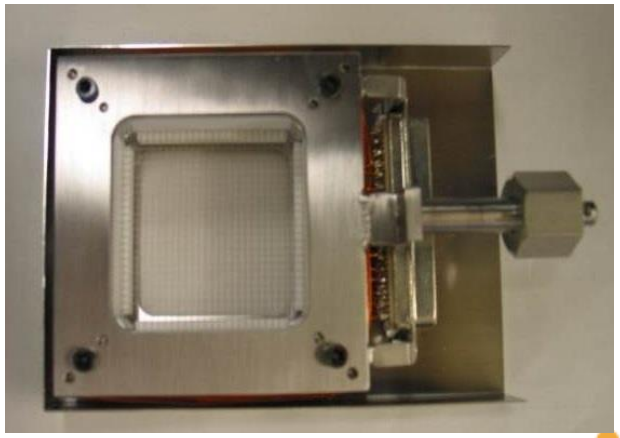
Der Schwerionen-Strahl ‘trifft’ auf einzelne Gitterdrähte

- ► Sekundär-Elektronen werden aus dem Material geschleudert & Primär-Ionen entladen
- ► Die Ladung je Gitterdraht wird verstärkt und gemessen
- ► Darstellung als horizontale und vertikale Profile



+ schnelle Auslese (µs)
+ Gitterabstände von 0,5 mm bis 1,5 mm
+ 15 – 63 Wolfram-Rhenium Drähte (Ø 0,1 mm)

- Drähte interagieren mit dem Ionenstrahl
- Strahlverluste ~10% pro Ebene
- Pulsverkürzung (fix + dynamisch) notwendig !



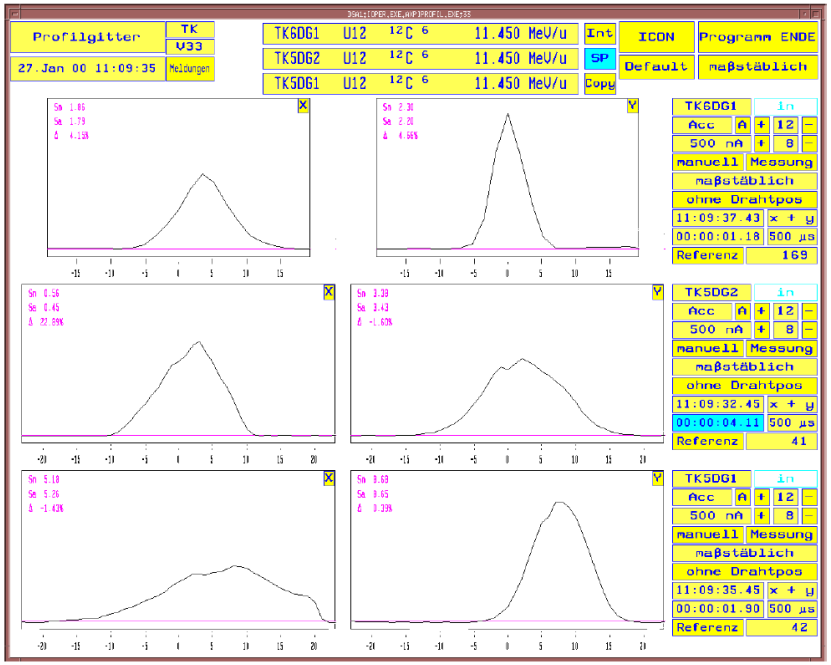
Secondary Electron EMission Grids SEM-Grids

Bedienung:

- Taste „Pulsverkürzung“ im HKR
- SD Programm: Auswahl und Einfahren der Gitter

► Messung startet automatisch

► Anzeige von maximal 3 Gittern (horizontal & vertikal)



Messbereiche: 2 nA – 10 µA (in 12 Schritten)

Integrationszeit: 500 µs ab Start-Event

Pulsverkürzung: Verkürzung des Strahls am Chopper UH2 auf 100 µs bzw. 250 µs / 2,5 Hz

+ dynamische Verkürzung (Mindest-Pulslänge 10 µs)

!!! Gitterdrähte können trotzdem ‘zerschmelzen’ !!!

Secondary Electron EMission Grids SEM-Grids

Fazit aus der letzten Strahlzeit 2015 (Hochstrom, minimierter Fokus ...)

- Trotz Pulsverkürzung auf 10 µs waren die Intensitäten des (insbesondere fokussierten) Strahls zu hoch, mehrere Gitterdrähte wurden zerstört !
- Typisch gehen pro Strahlzeitblock mit Hochstrom ~15 Gitter kaputt (Schätzung RoFi)

FAIR fordert höhere Strahlströme ...

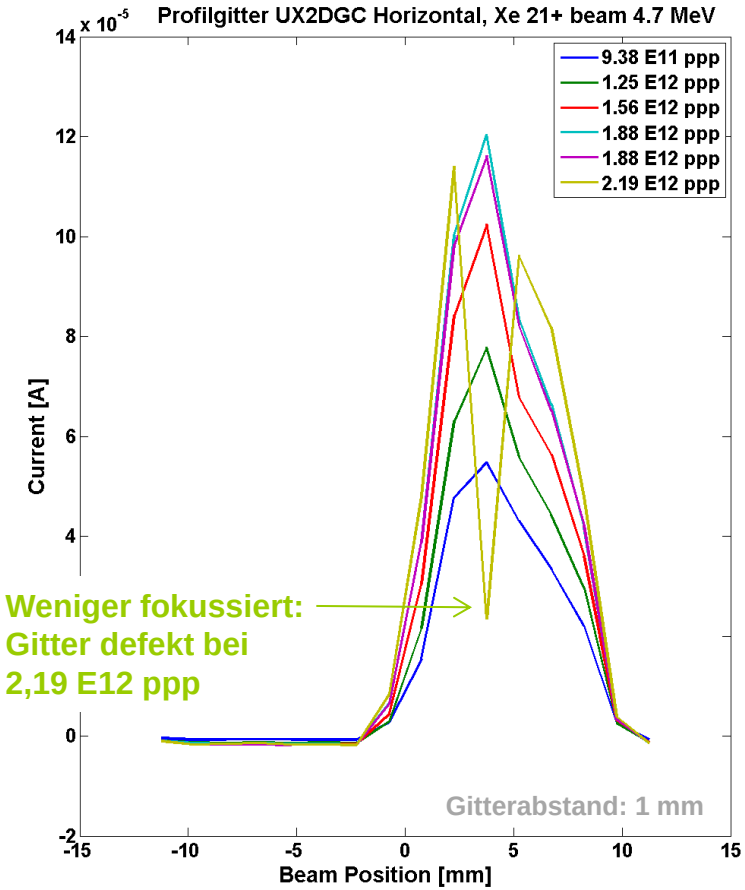
Strahlparameter für ‘FAIR high current operation‘ im Transferkanal (TK):

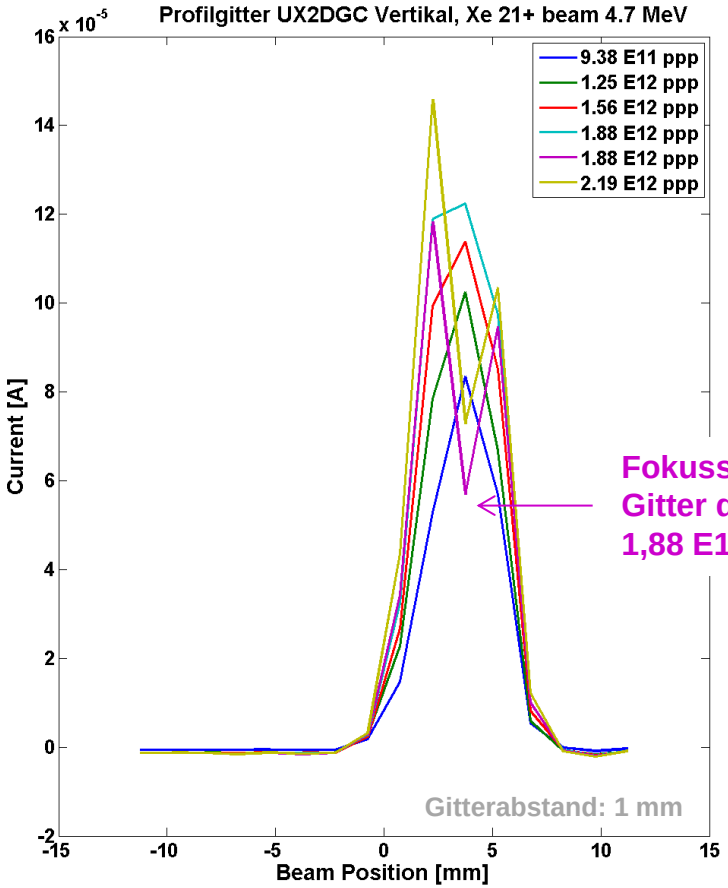
aktuell:	U 28+: 11,4 MeV/u	1-2 mA	20-100 µs pulse duration
für FAIR:	U 28+: 11,4 MeV/u	15 mA	20-100 µs pulse duration

Es folgen ein paar Messungen mit Profilgittern am Limit ...

Secondary Electron EMission Grids SEM-Grids

Test-Gitter im Experiment an X2, ohne Profilgitterschutz



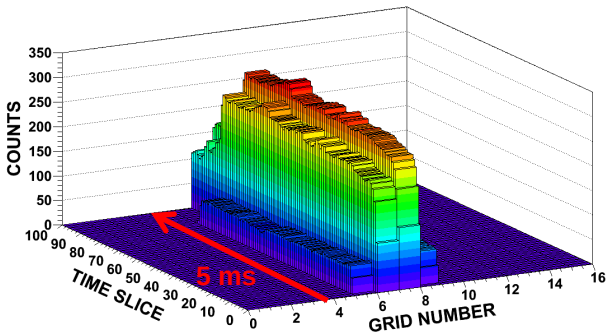


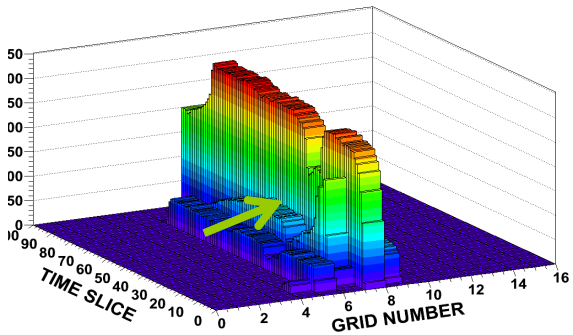
Secondary Electron EMission Grids SEM-Grids

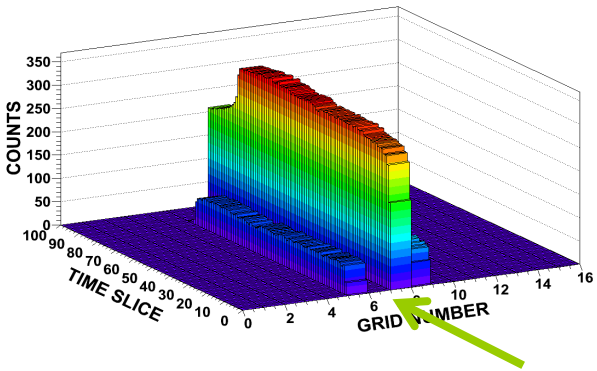
Test des QFW & Poland im Experiment (M. Witthaus, 2011)

Strahlparameter: $^{50}Ti^{12}$; 6,125 MeV; 5 ms Pulslänge bei 43 Hz, 50 µA Strahlstrom (1,3 E11 ppp)

Strahlprofil (Y) in 50 µs Zeitauflösung







N-1

Intaktes Gitter

Signal auf 4 Gitterdrähten

N

Ein Gitterdraht ‚schmilzt' dahin, ‚Übersprechen' auch auf benachbarte Drähte

N+1

Gitterdraht Nr. 7 fehlt

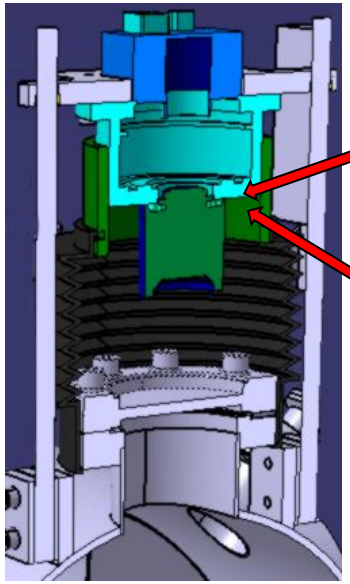
BIF- Beam Induced Fluorescence

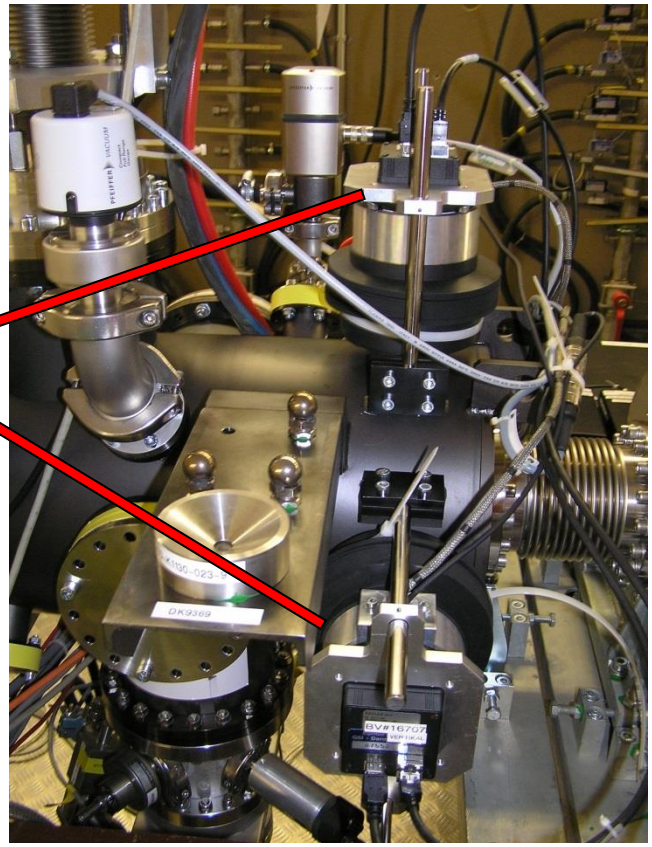
Messung des transversalen Strahlprofils (horizontal & vertikal)

+ Kamerasysteme (‚Detektor‘) sitzen außerhalb der Kammer
+ **Nicht Strahlzerstörend**
+ Speziell für Hochstrom-Anwendungen
+ Target-Material ist N_2 Gas
+ Integration über den gesamten Puls

- Gaseinlass ins Vakuum
- Maximal 7 Hz Puls-Wiederholfrequenz
- Lichtempfindlicher Bildverstärker
  ► Fehlbedienung möglich !
- Elektronik teilweise in Strahlungsumgebung

Kamera mit Bildverstärker

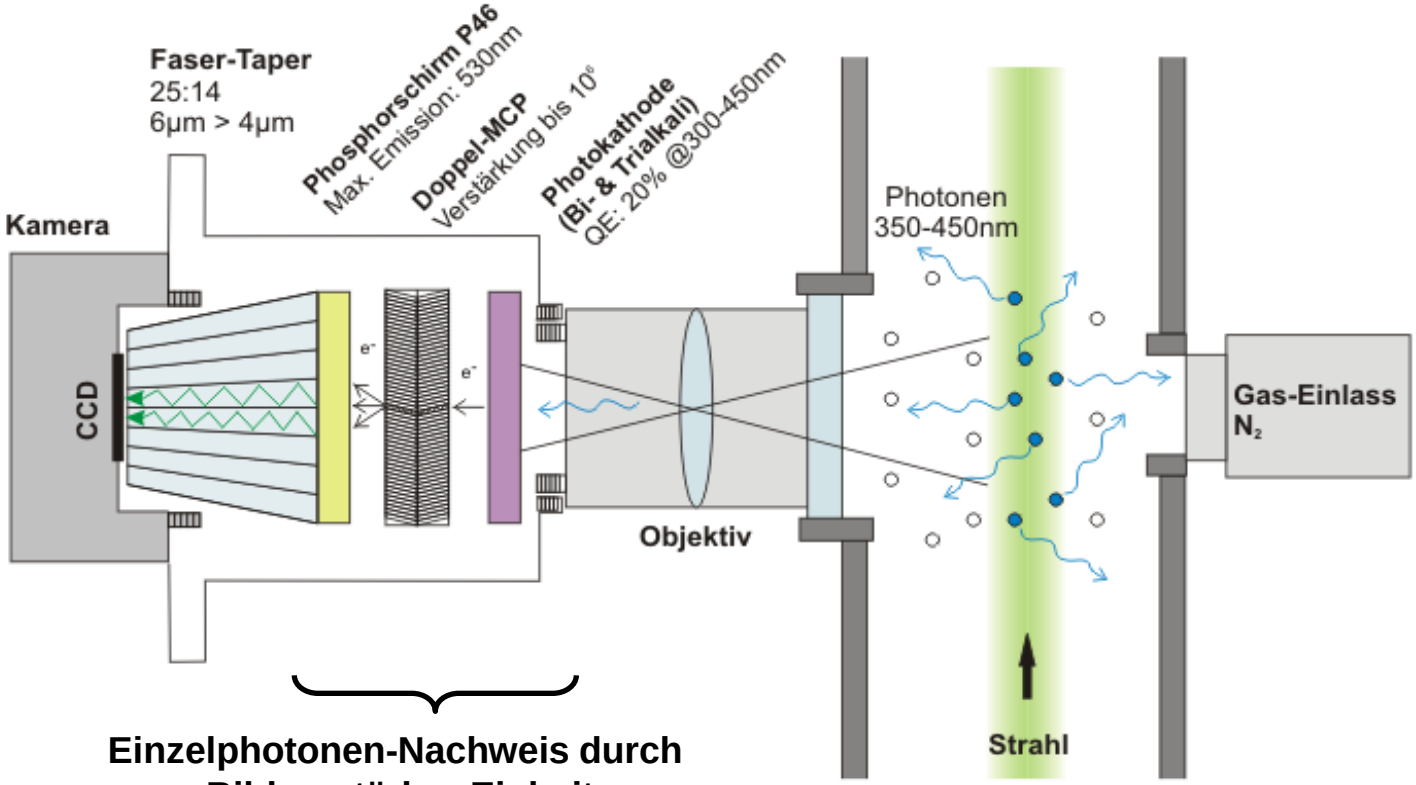




Ein typischer BIF-Einbau

BIF- Beam Induced Fluorescence

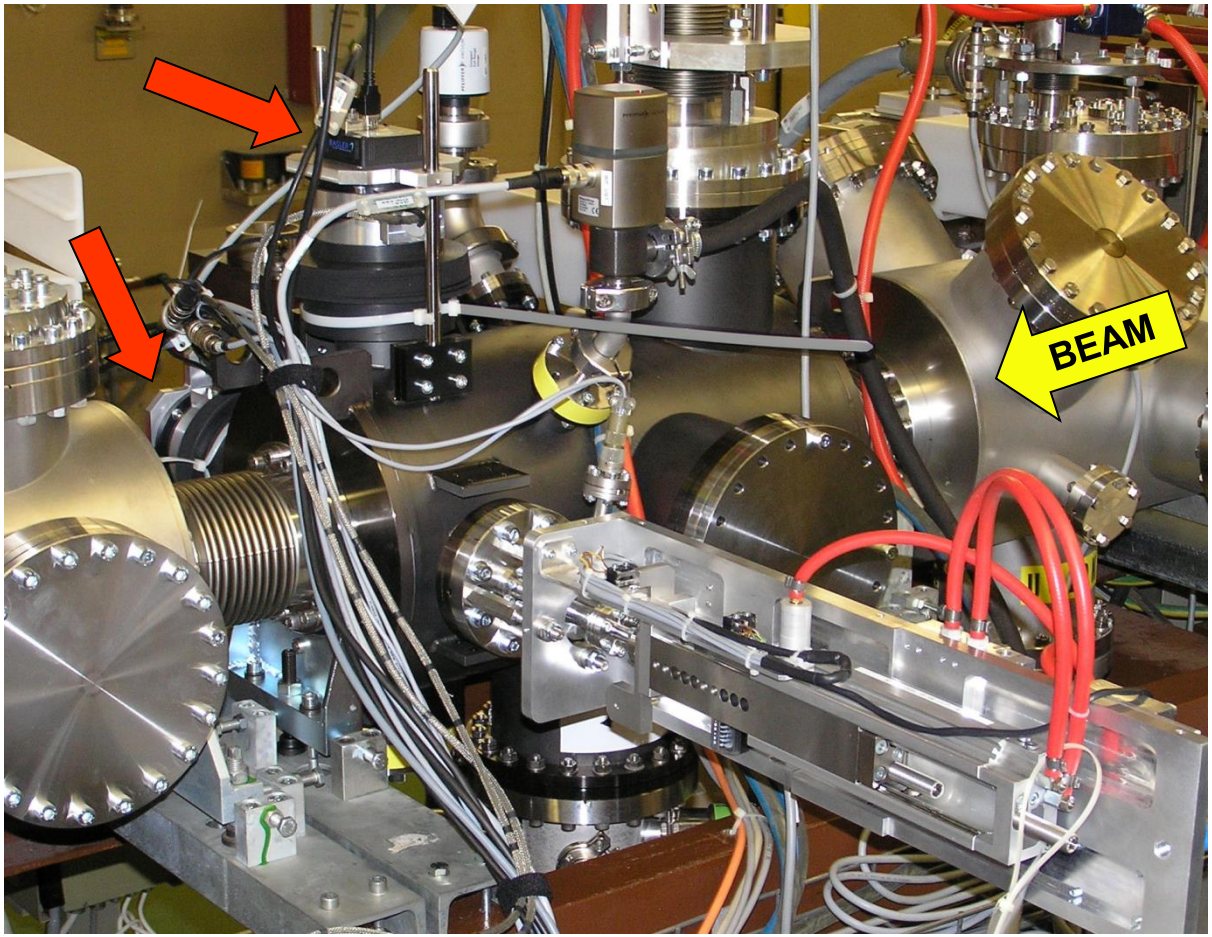
Prinzip: Fluoreszenz durch Anregung von N_2 Molekülen



Einzelphotonen-Nachweis durch Bildverstärker-Einheit

BIF- Beam Induced Fluorescence

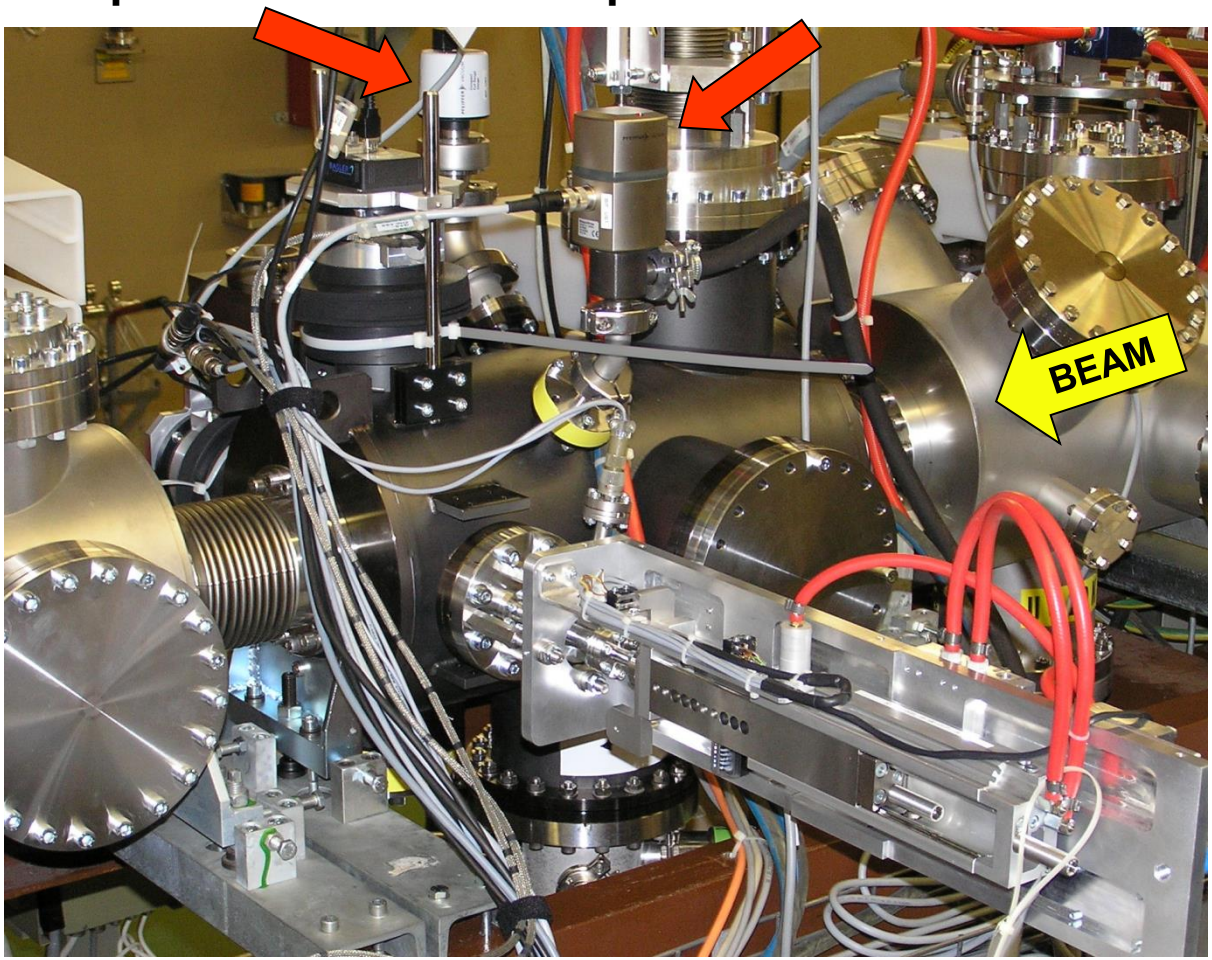
Komponenten im BIF-Setup:



- Bildverstärkte Kameras mit regelbaren Objektiven (horizontal & vertikal)

BIF- Beam Induced Fluorescence

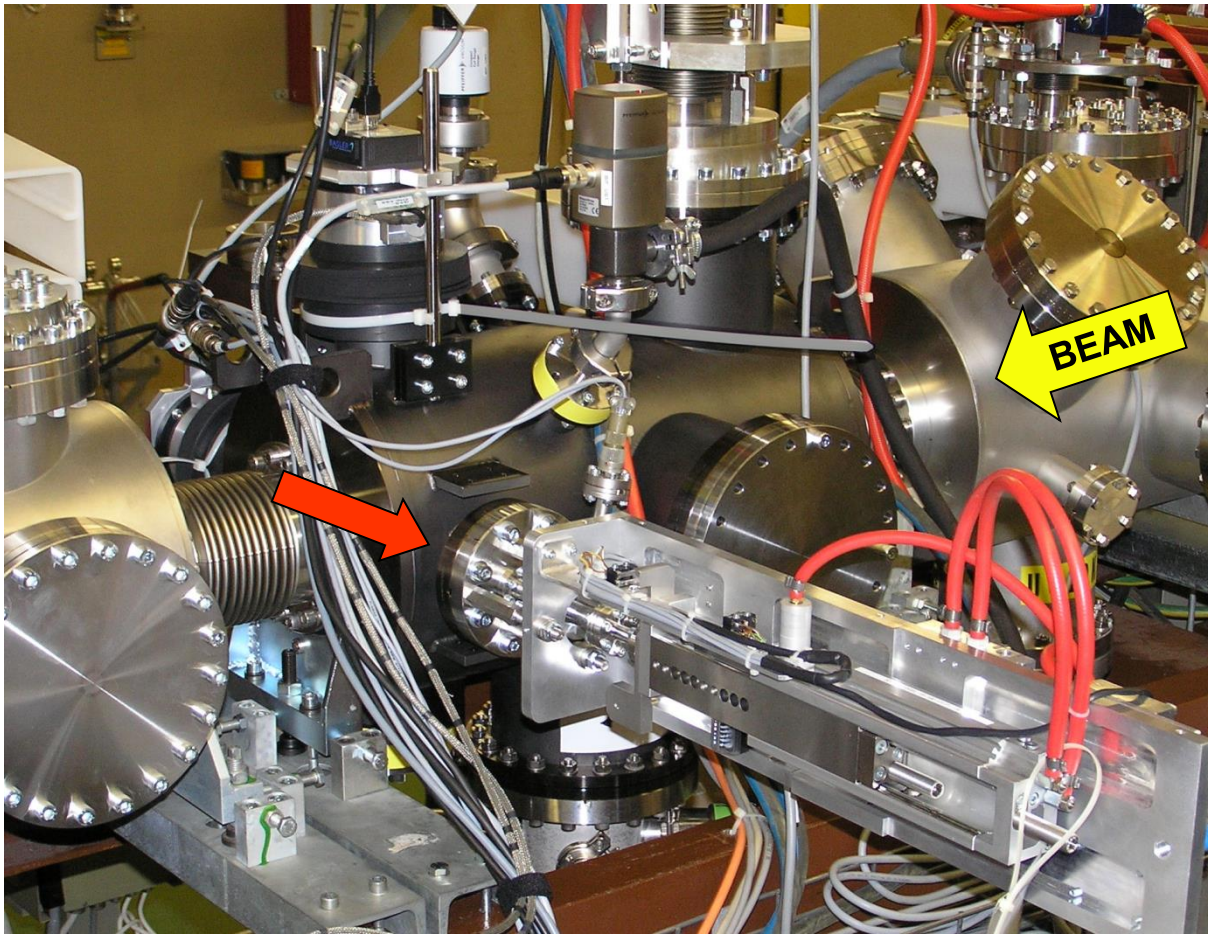
Komponenten im BIF-Setup:



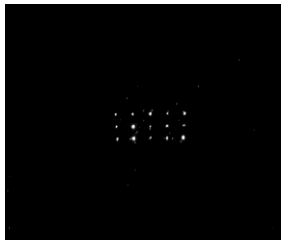
- Bildverstärkte Kameras mit regelbaren Objektiven (horizontal & vertikal)
- Gas-Einlass & Druckregelungs-System

BIF- Beam Induced Fluorescence

Komponenten im BIF-Setup:



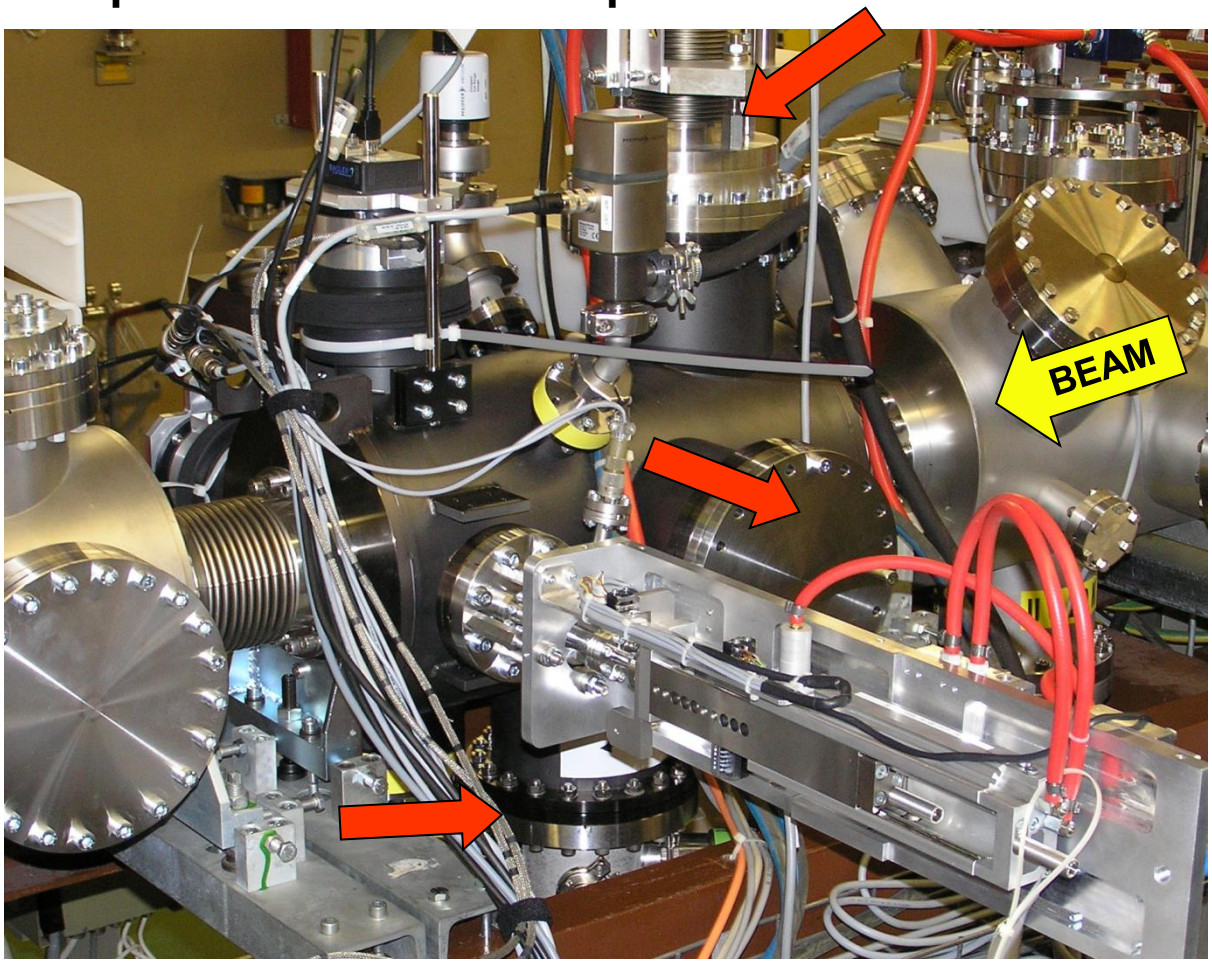
- Bildverstärkte Kameras mit regelbaren Objektiven (horizontal & vertikal)
- Gas-Einlass & Druckregelungs-System
- Kalibrations-LED's (offline) auf Pressluft-Antrieb



Im SD-Programm sichtbar (blockiert): XXXDFXG_P

BIF- Beam Induced Fluorescence

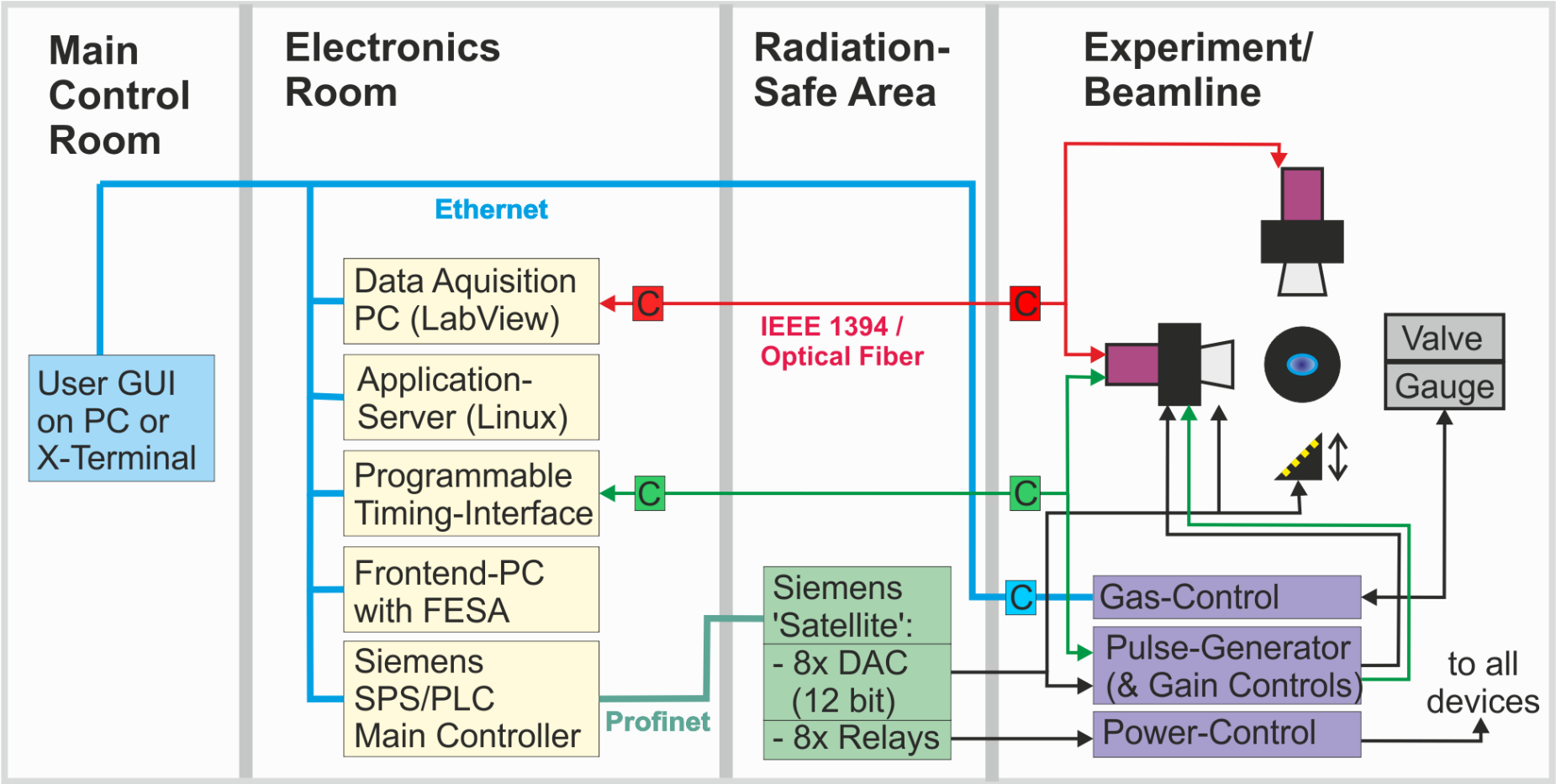
Komponenten im BIF-Setup:



- Bildverstärkte Kameras mit regelbaren Objektiven (horizontal & vertikal)
- Gas-Einlass & Druckregelungs-System
- Kalibrations-LED's (offline) auf Pressluft-Antrieb

- Turbo Pumpe
- Platz für weitere SD-Komponente (Profilgitter, Blende, ...)

BIF- Beam Induced Fluorescence



BIF- Beam Induced Fluorescence

BIF Bedienung aus dem Haupt Kontrollraum

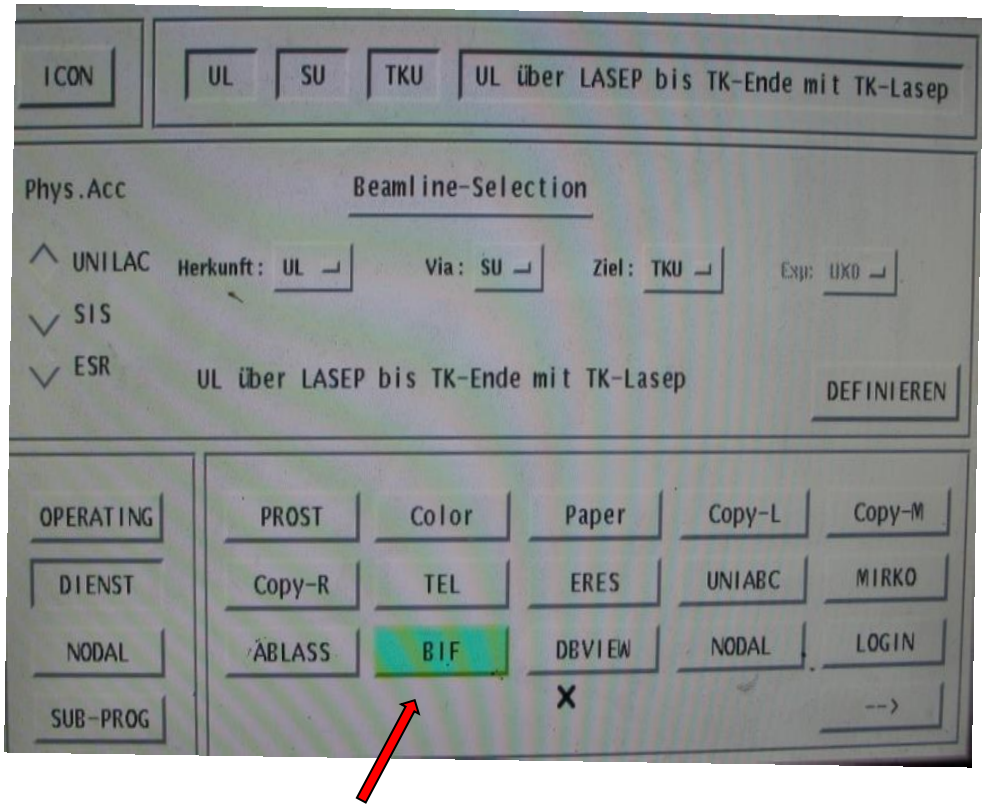
- HKR Konsolen

  TCL007

  TCL011

  TCL015

- DIENST BIF startet ProfileView



BIF- Beam Induced Fluorescence

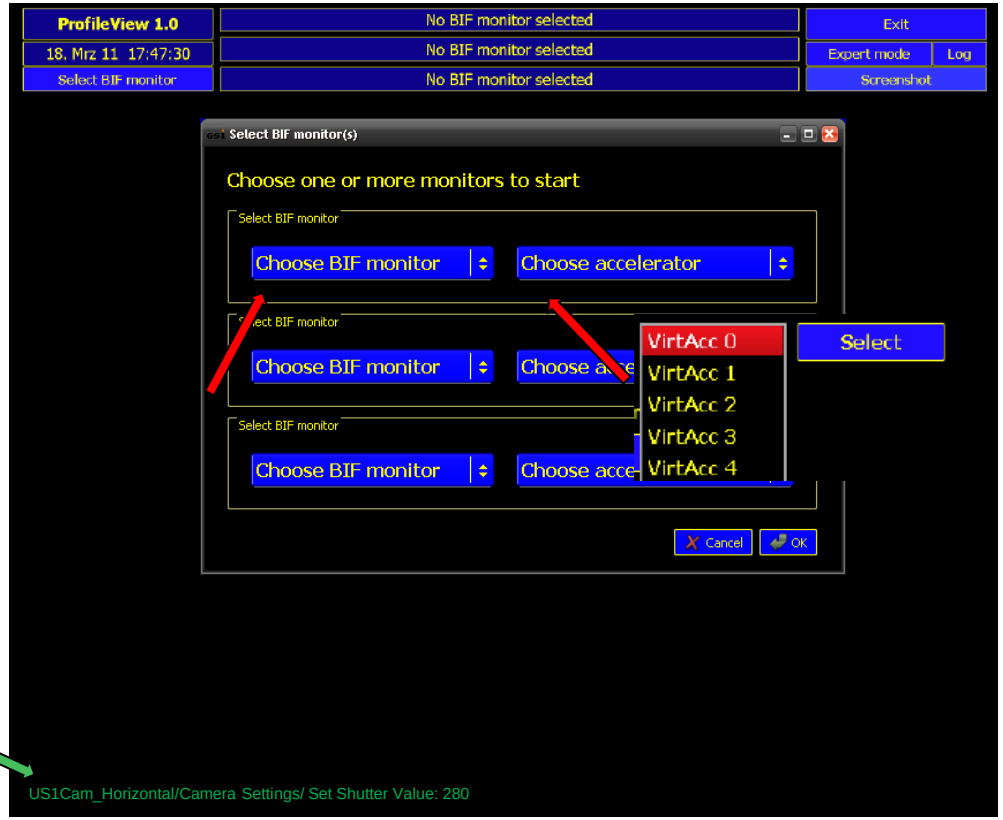
BIF Bedienung aus dem Haupt Kontrollraum

- HKR Konsolen
  - TCL007
  - TCL011
  - TCL015
- DIENST BIF startet ProfileView
- Select BIF monitor

BIF- Beam Induced Fluorescence

BIF Bedienung aus dem Haupt Kontrollraum

- HKR Konsolen
  - TCL007
  - TCL011
  - TCL015
- DIENST BIF startet ProfileView
- Select BIF monitor
- Auswahl
  - → BIF Monitore
  - → Virtuelle Beschleuniger (VirtAcc)



... Bitte Warten ...

es dauert ca. ½ Minute zum Laden aller Settings und Parameter !

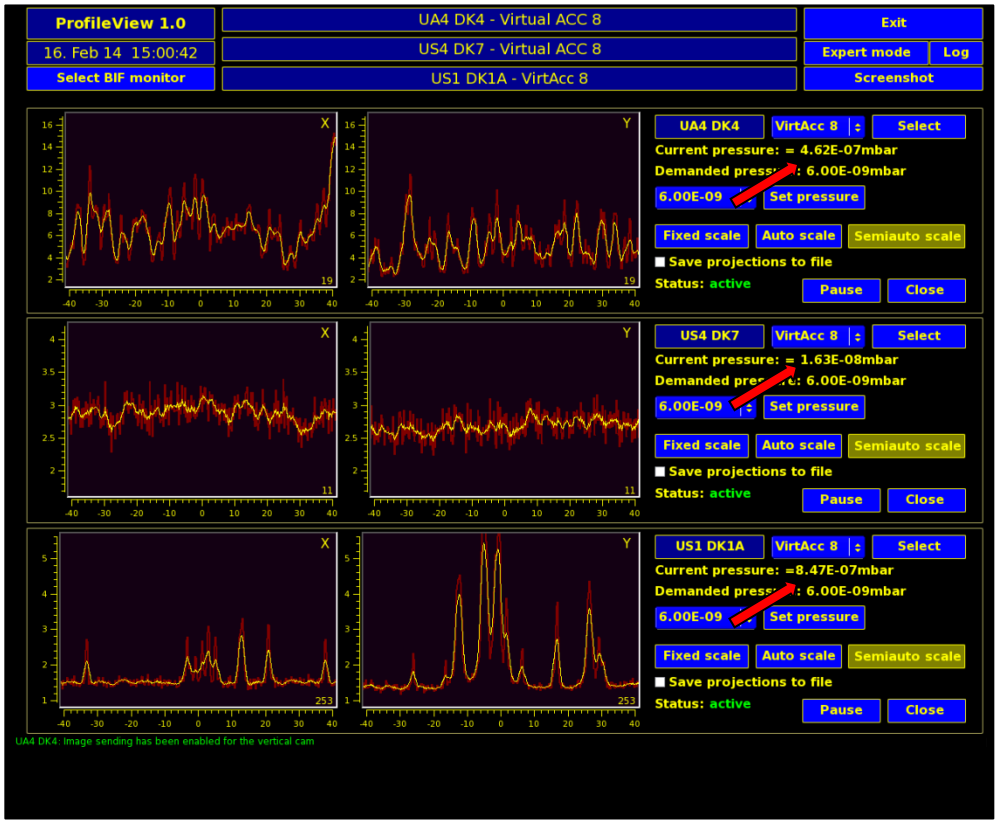
(Kamera Settings, Timing, Gassteuerung, Objektiv, ...)

BIF- Beam Induced Fluorescence

BIF Bedienung aus dem Haupt Kontrollraum

- Iris ist geöffnet, Bildverstärker sind aktiv
- Signal ist nur Rauschen und Untergrund

► Beim Start ist noch kein Gas eingelassen !



BIF- Beam Induced Fluorescence

BIF Bedienung aus dem Haupt Kontrollraum

- Iris ist geöffnet, Bildverstärker sind aktiv
- Signal ist nur Rauschen und Untergrund
- ► Beim Start ist noch kein Gas eingelassen !

► Set pressure:

stufenweise bis 5.00 E-6 mbar

BIF- Beam Induced Fluorescence

BIF Bedienung aus dem Haupt Kontrollraum

- Iris ist geöffnet, Bildverstärker sind aktiv
- Signal ist nur Rauschen und Untergrund

► Beim Start ist noch kein Gas eingelassen !

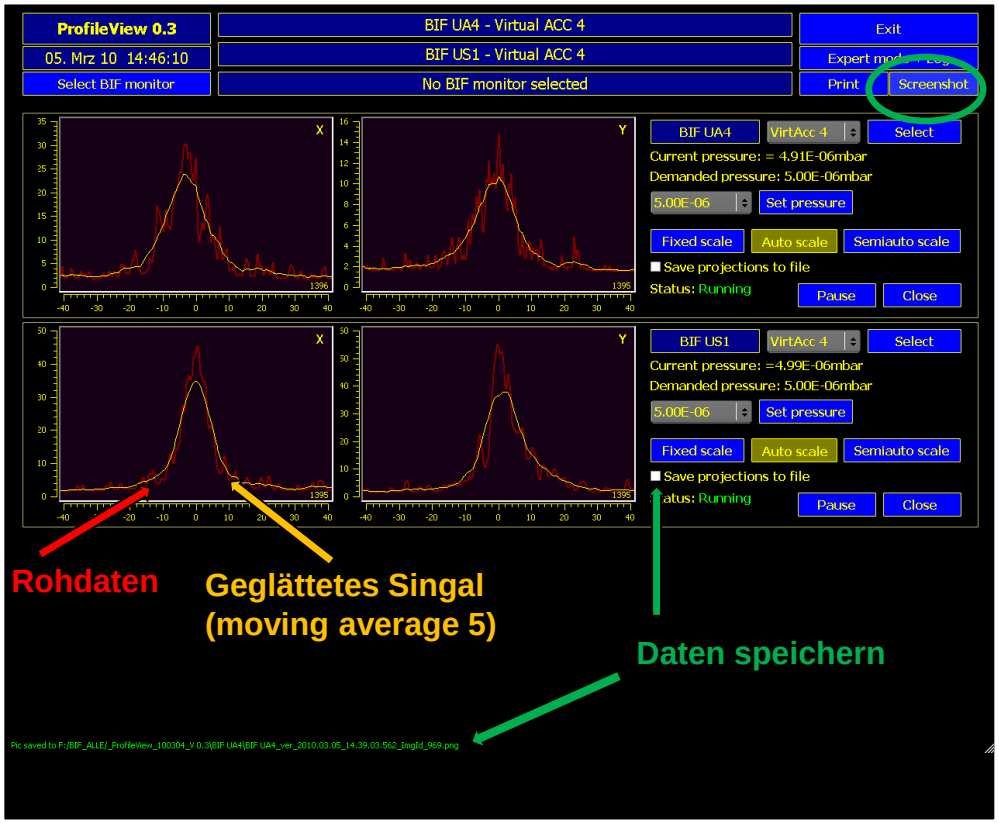
► Set pressure:

stufenweise bis 5.00 E-6 mbar

► Strahlprofile erscheinen

Optionen:

- Skala anpassen
- Profildaten speichern
- Screenshots



BIF- Beam Induced Fluorescence

BIF ‚Pause‘ Funktion

Wenn ProfileView mehr als 10 Minuten nicht bedient wird

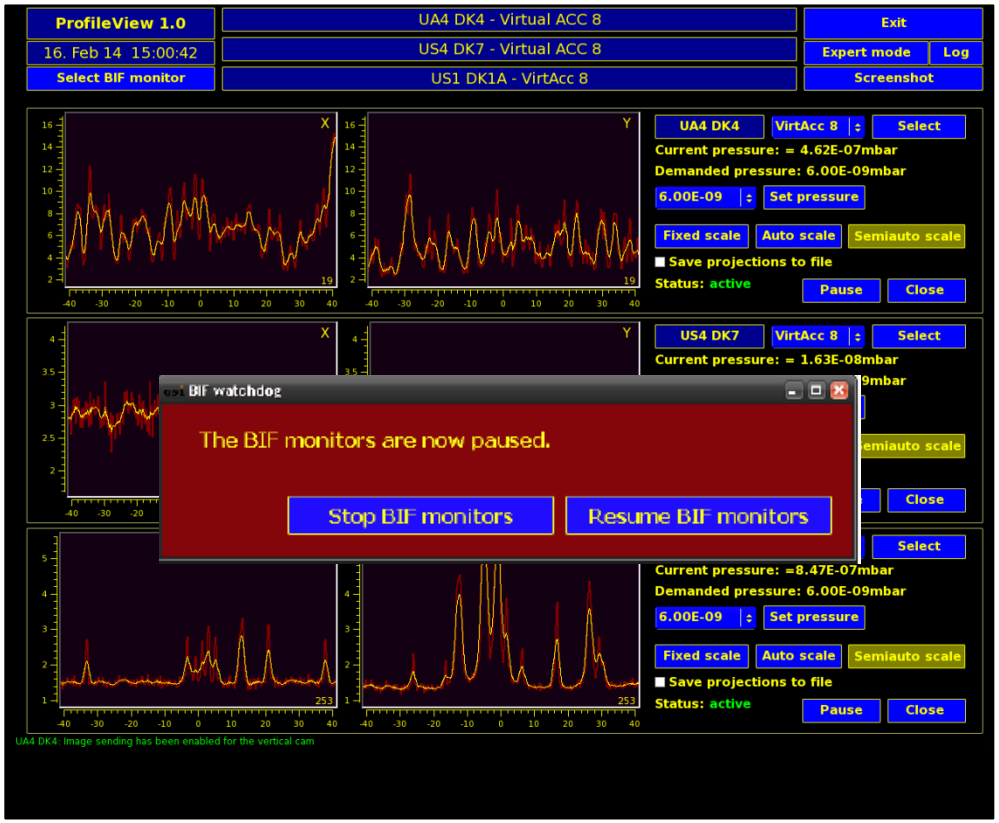
► ‚Pause‘ Modus (watchdog)

Zum Schutz des Bildverstärkers wird

- Iris-Blende (Objektiv) geschlossen
- Gaseinlass gestoppt

Resume BIF Monitors

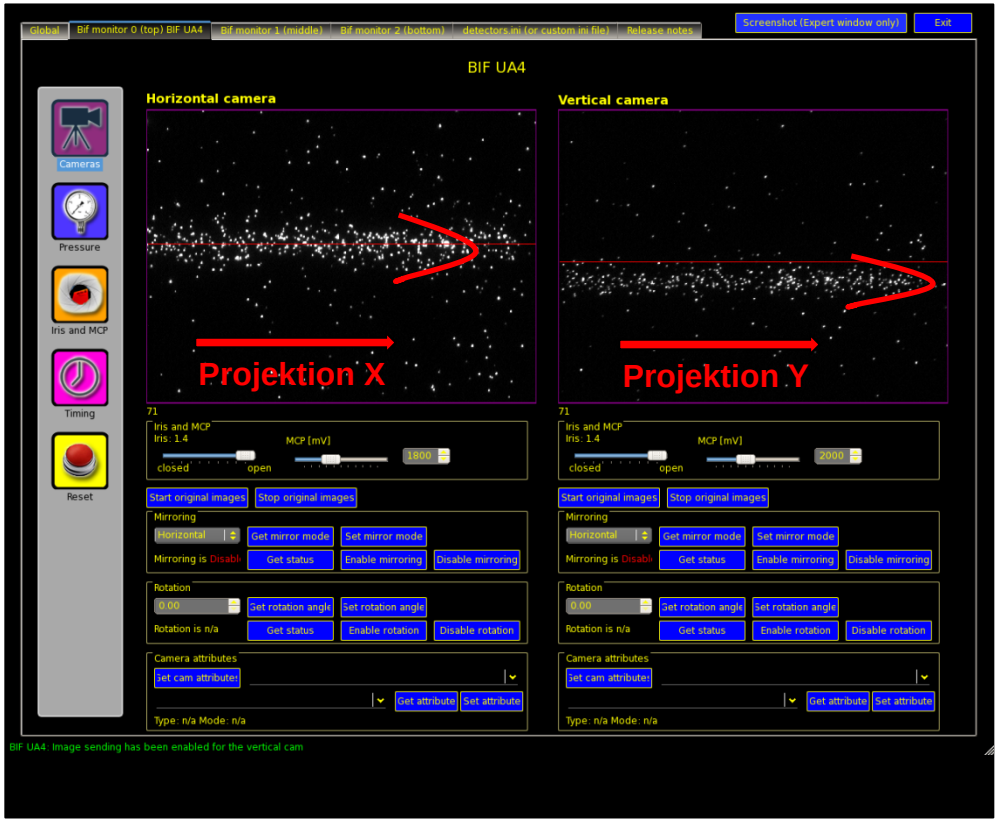
stellt die ursprünglichen Settings wieder her



BIF- Beam Induced Fluorescence

Wie es hinter den Kulissen aussieht ...

Expert Mode



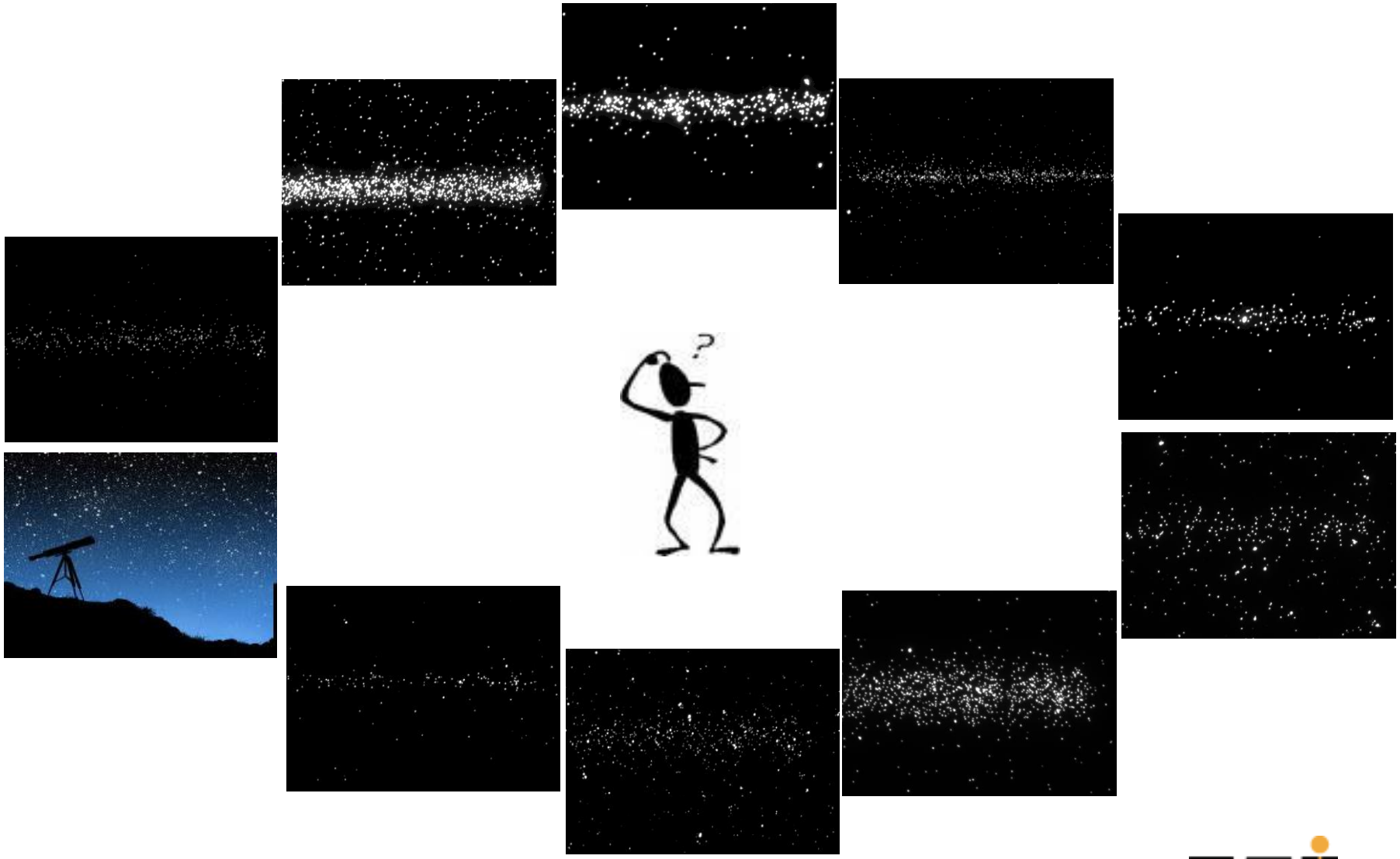
- ► Die Kameras sehen 2D Bilder !
- ► Jeder ‚Punkt' entspricht 1 Photon
- ► Projektion ergibt das Strahlprofil

Im Experten Modus können weitere Parameter eingestellt werden !

- Iris-Öffnung
- MCP Hochspannung
- Timing (bis zu 100 ns Integrationszeit)
- CCD Verstärkung (Gain)

► Bildqualität kann leiden !

BIF- Beam Induced Fluorescence



BIF- Beam Induced Fluorescence

Funktioniert BIF nur bei Hochstrom?

Signalstärke ist definiert durch:

- Die Anzahl von Photonen im Strahl-Gas Volumen:
  - ▶ $\propto$ Anzahl Ionen, Ladung², Energie > Definiert durch den Strahl
  - ▶ $\propto$ Gasdruck (N_2) > User-Parameter

- Die Anzahl der detektierten Photonen durch das Kamerasystem
  - ▶ $\propto$ Öffnung der Blende (Objektiv) > Experten-Settings
  - ▶ $\propto$ MCP Spannung

  } Änderung der Profil-Qualität !!!

BIF- Beam Induced Fluorescence

Funktioniert BIF nur bei Hochstrom?

Signalstärke ist definiert durch:

- Die Anzahl von Photonen im Strahl-Gas Volumen:
  - ▶ $\propto$ Anzahl Ionen, Ladung², Energie > Definiert durch den Strahl
  - ▶ $\propto$ Gasdruck (N_2) > User-Parameter

- Die Anzahl der detektierten Photonen durch das Kamerasystem
  - ▶ $\propto$ Öffnung der Blende (Objektiv)
  - ▶ $\propto$ MCP Spannung

  } > Experten-Settings

  Änderung der Profil-Qualität !!!

Fazit:

BIF funktioniert auch bei niedrigerem Strom, ist aber nicht für‘s Operating geeignet !

- Aufwendigere Einstellung der Parameter (für ‚Experten‘ und Experimente)
- Integration über mehrere Pulse erforderlich (offline Analyse)

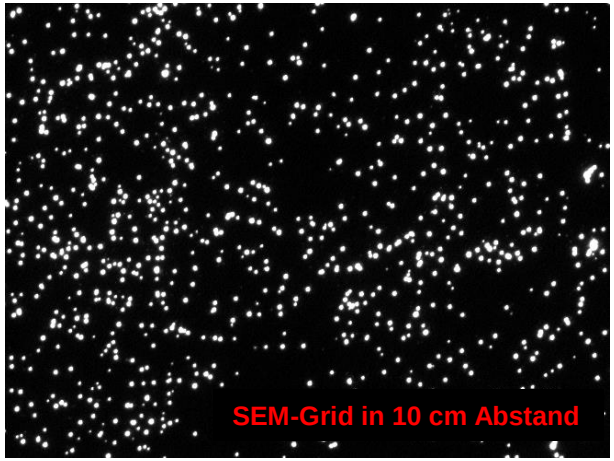
BIF- Beam Induced Fluorescence

FAQ zu BIF ...

- **Es zeigen sich keine ‚schönen' Profile**

Bedingt durch hohen Untergrund

(Blenden, Gitter etc. eingefahren ...)



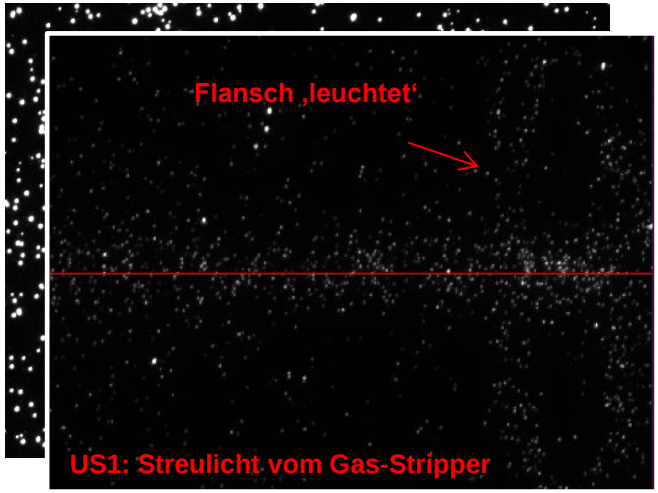
BIF- Beam Induced Fluorescence

FAQ zu BIF ...

- **Es zeigen sich keine ‚schönen' Profile**

Bedingt durch hohen Untergrund

(Blenden, Gitter etc. eingefahren ...)



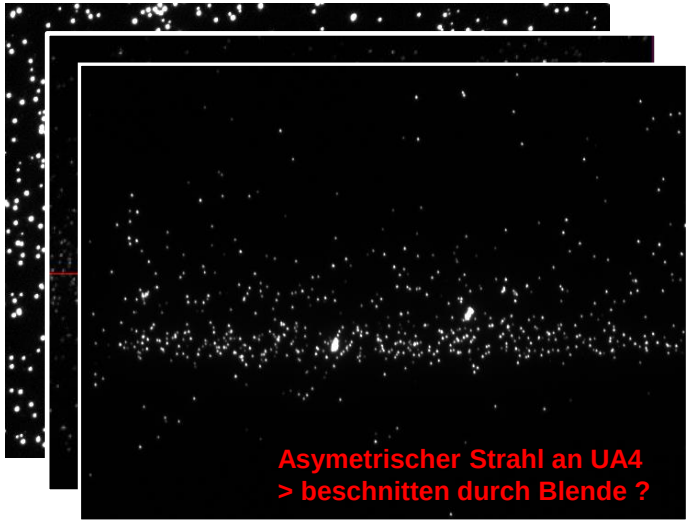
BIF- Beam Induced Fluorescence

FAQ zu BIF ...

- **Es zeigen sich keine ‚schönen' Profile**

Bedingt durch hohen Untergrund

(Blenden, Gitter etc. eingefahren ...)



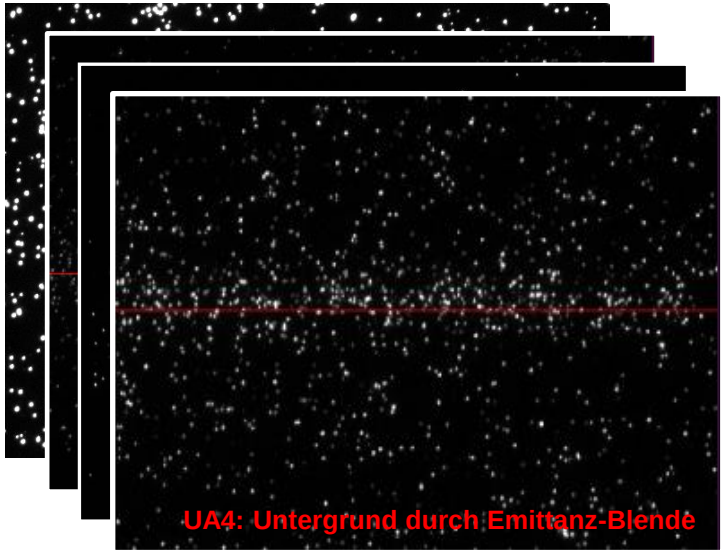
BIF- Beam Induced Fluorescence

FAQ zu BIF ...

- **Es zeigen sich keine ‚schönen' Profile**

Bedingt durch hohen Untergrund

(Blenden, Gitter etc. eingefahren ...)



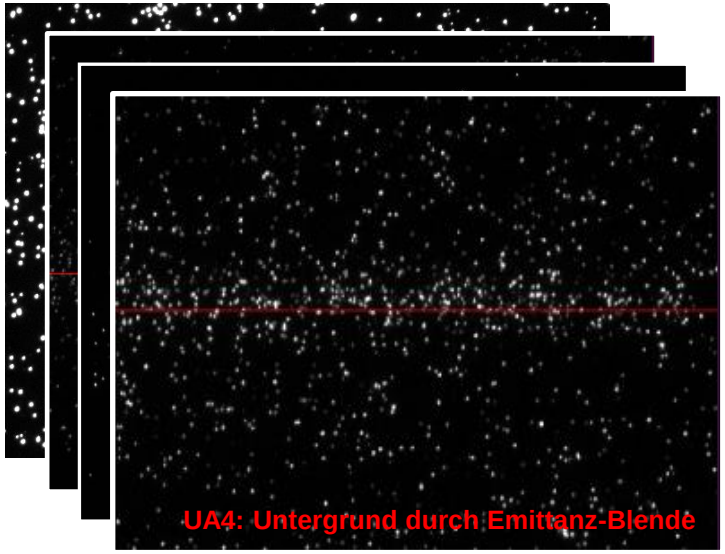
BIF- Beam Induced Fluorescence

FAQ zu BIF ...

- **Es zeigen sich keine ‚schönen' Profile**

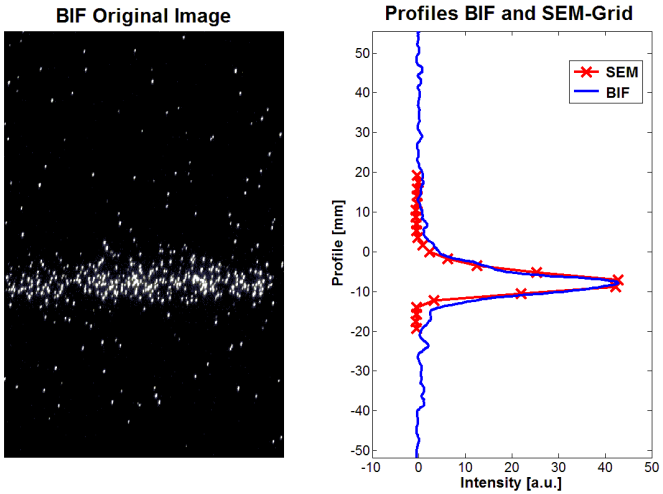
Bedingt durch hohen Untergrund

(Blenden, Gitter etc. eingefahren ...)



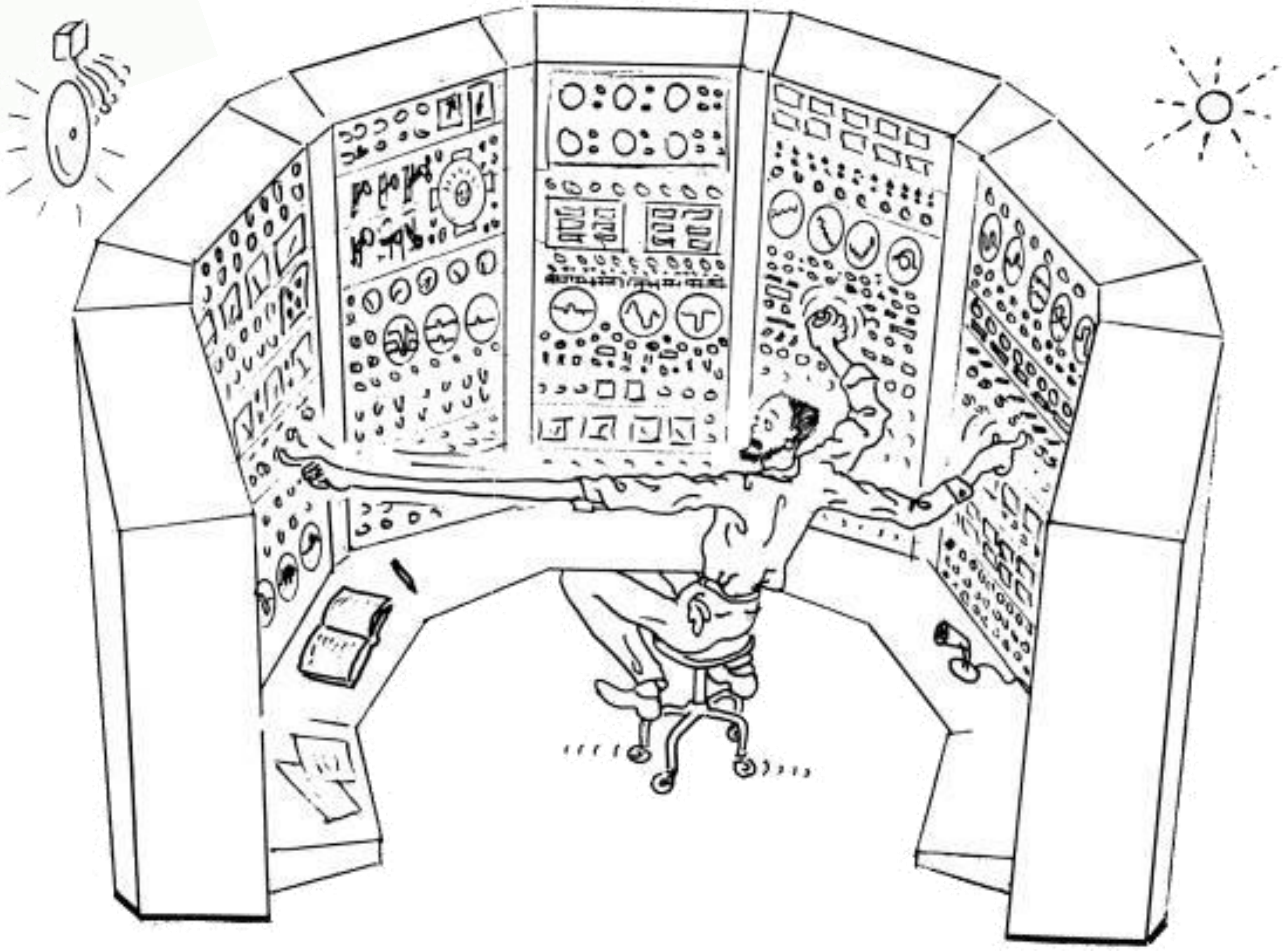
- **Wie ist der Vergleich SEM-Grid – BIF ?**

Gute Übereinstimmung !



UA4 DK5: Abstand BIF-SEM-Grid: 15 cm

Strahlprofil-Messung, Transversal

Detektor	Typ	Anwendung	Vor- / Nachteile
Profilgitter SEM-Grid	Invasiv	Geringer bis mittlerer Strom	+ Strahl ‚fliegt durch', Nutzung mehrerer Gitter hintereinander möglich + einfache Handhabung + hohe Dynamik - 10% Verlust pro Gitterebene - erfordert Pulsverkürzung - wenig robust
Beam Induced Fluorescence (BIF)	Nicht-Invasiv	Hochstrom	+ Nicht-Invasiv: Nutzung mehrerer BIFs gleichzeitig möglich + ‚Targetmaterial' ist N_2 Gas + Integration über komplette Pulsdauer - Komplexes Mess-System - kompliziertere Handhabung - N_2 Gas-Einlass notwendig (dadurch ‚minimal-invasiv')

Thank You!