

# Low Level RF Status und Tools

Für FLASH und XFEL

Christian Schmidt  
for the LLRF & LbSyn team  
Beschleuniger Betriebsseminar Grömitz  
19.3.2013

- > Das LLRF System bei FLASH
  - Aktueller Status und Standardbetrieb
  - Werkzeuge für die Automatisierung
  
- > Low Level RF System für FLASH und XFEL
  - Gegenwärtiger Umbau bei FLASH
  - LLRF Systembeschreibung für den XFEL
  
- > Beispiel: Strahlinduzierter Feldabfall
  - Auswirkung und Kompensation
  - Nutzung zur VS Kalibration
  
- > Zusammenfassung

# Gegenwärtiger LLRF Status bei FLASH

- LLRF bei Flash im regulären Betrieb
  - Wiederkehrende Aufgaben wie Kalibration und Tuning
  - **Strahlbasiertes FB für viele Nutzer bereitgestellt (manuelles Tuning, Kicker)**
  - Longitudinales (slow) RF FB im Dauereinsatz
  - Automatisierung, HF Gun recovery (FSM)
  - **Schnelle Amplituden/ Phasen- Änderung innerhalb eines HF Pulses (FLASH II)**
  
- Vorbereitung für die Umstellung auf mTCA.4 basiertes LLRF System
  - Permanente Messungen im Parallelbetrieb (Software-Entwicklung)
  - Messschichten, für direkte Systemtests und Kalibration
  - Längere Tests bei „Freundliche Nutzern“
  - Weiterentwicklung und Funktionstests für XFEL Serienfertigung

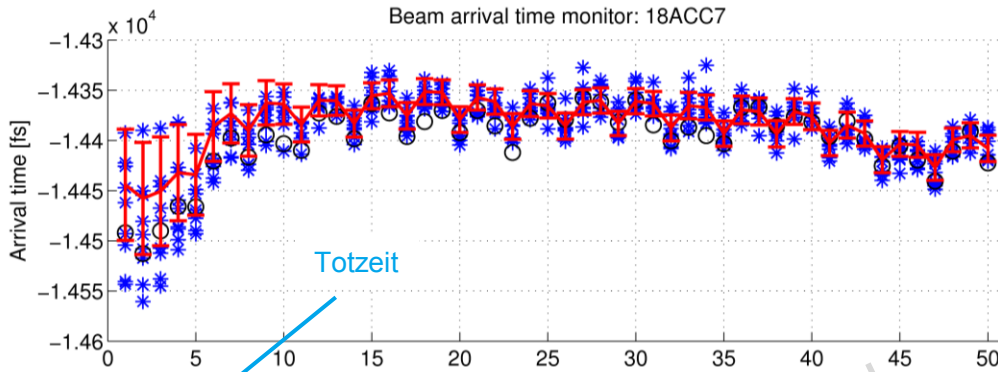
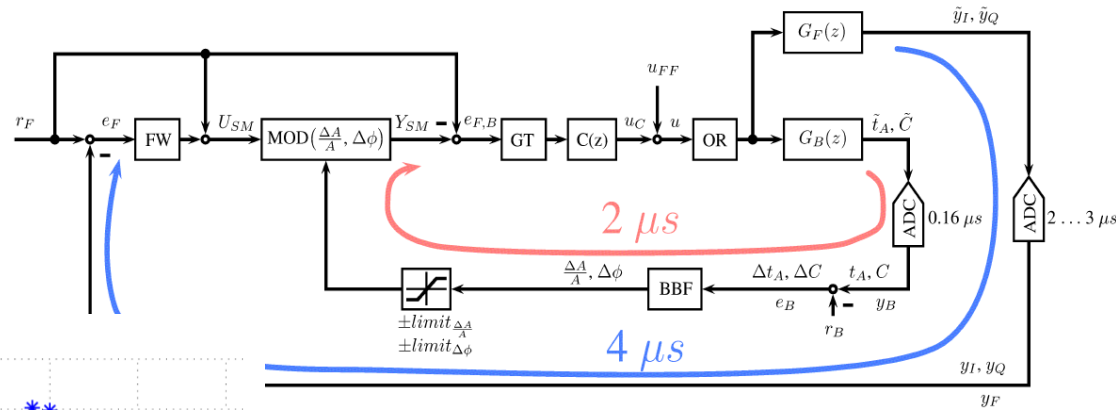


# Schnelles Strahlbasiertes FB

➤ Veränderte BBF Implementation

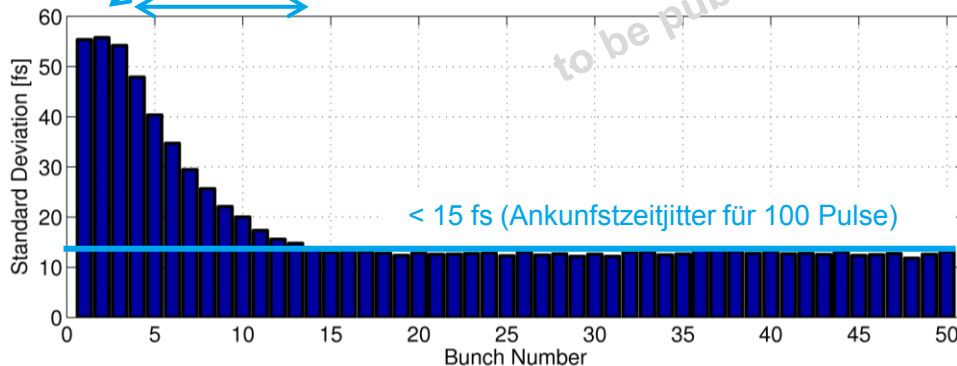
➤ Kaskadierte Rückkopplung:

- Geringere Totzeit, Fehler-Wichtung
- Erhöhte Regelbandbreite



Totzeit

System Bandbreite



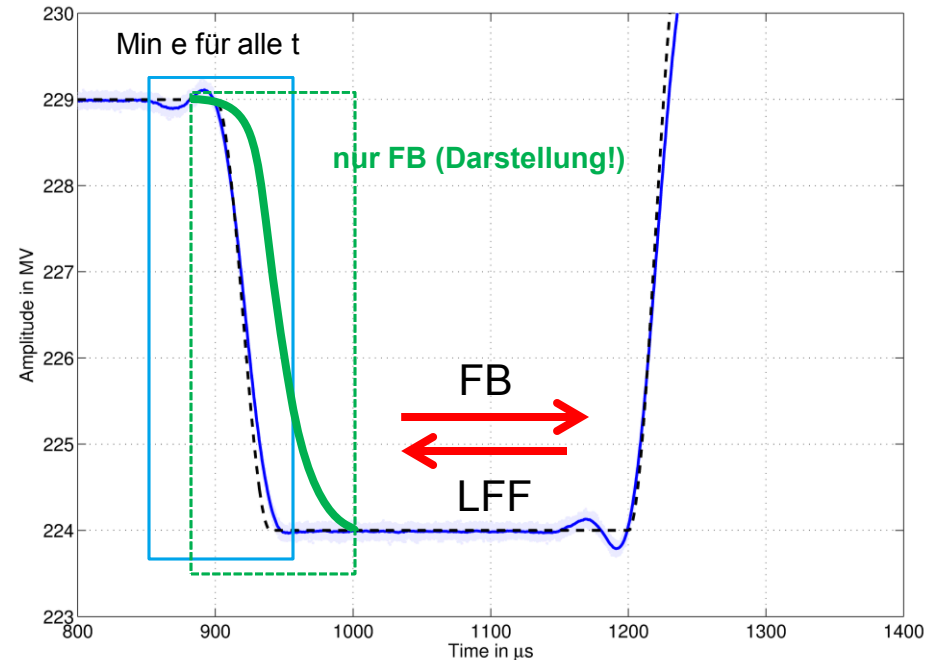
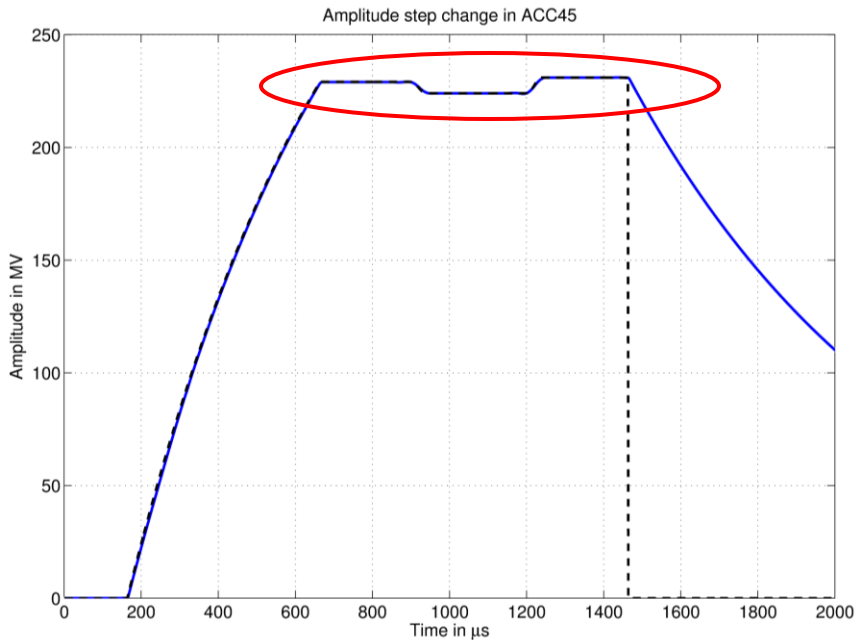
➤ Referenzmessung bei 18ACC7

- FEL Nutzer BAM
- Ankunftszeit-jitter wird reduziert auf 15fs (x4)



# Gradientenvariation im Puls

## ➤ Typische Amplitudenvarianz innerhalb des HF Pulses



## ➤ Übergangszeit limitiert durch Systembandbreite

- Größere Sprünge → mehr Zeit
- Amplitude dargestellt, Phasensprünge nach gleichem Prinzip

## ➤ Einschwingvorgänge bedingt durch Regelungskonzept (LFF + FB)

# LLRF Status Update: FIRMWARE & SOFTWARE

## > Kontinuierliche Weiterentwicklung

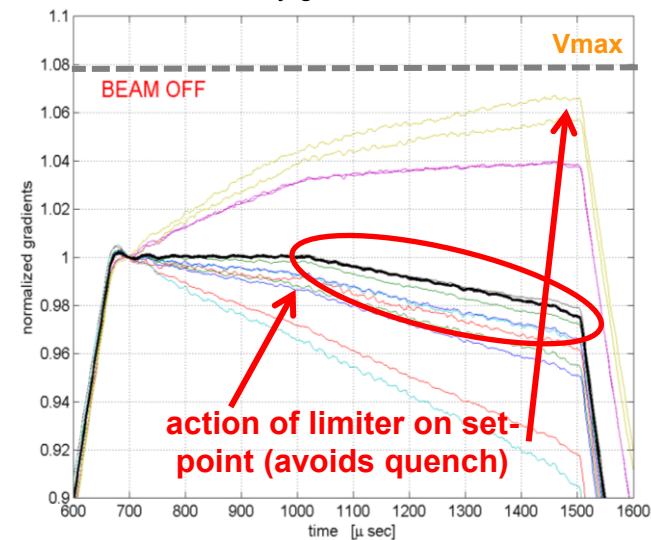
- **FLASH**, CMTB, REGAE

## > Werkzeuge zur Automatisierung

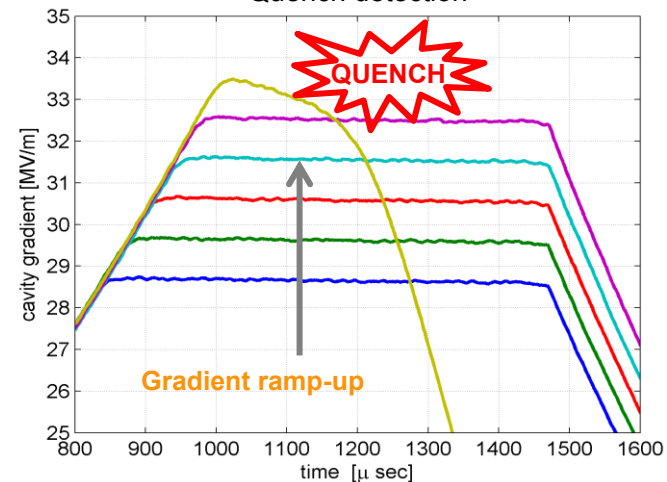
- Tuning Kontrolle mit Piezo (Motor)
- Gradienten Limit (Setzwert Reduktion, HF stop)
- Quench Detektion bzw. Verhinderung
- Integration in FSM (Trip, Wiederherstellung)
- Strahlbasierte Setzwertanpassung
- Klystron Linearisierung
- Loop Parameter Korrektur
- Kalibration rel. zum Strahl
- ...

## > Ziel: LLRF Parameter (A,P, AN)

Cavity gradient limiters



Quench detection



# Test und Umstellung in mehreren Schritten

## > Verkabelung und Installation der Systeme während der FLASH Umbauarbeiten

- Im Tunnel: Längere Zugänge notwendig, Aufteilen mit VME System, Patch, Infrastruktur
- Außerhalb: Signal Reflexionen → Einfluss auf VME System
- Oftmals iterative Prozesse, bei Komponenteninstallation
- Kompromisse durch VME Systeme, FLASH Betrieb muss gewährleistet sein

## > Parallel zur HW auch SW Entwicklung

- Anpassung der Regel Struktur an neue Hardware
- Weiterentwicklung bestehender Algorithmen
- Iterative Tests, Kalibration und Performance

## > LLRF System im Tunnel (ACC23)

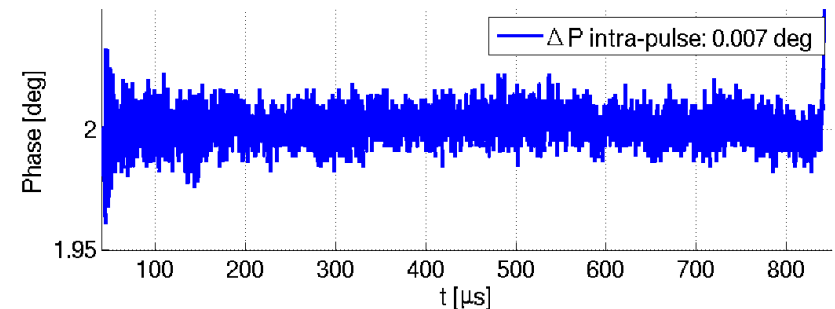
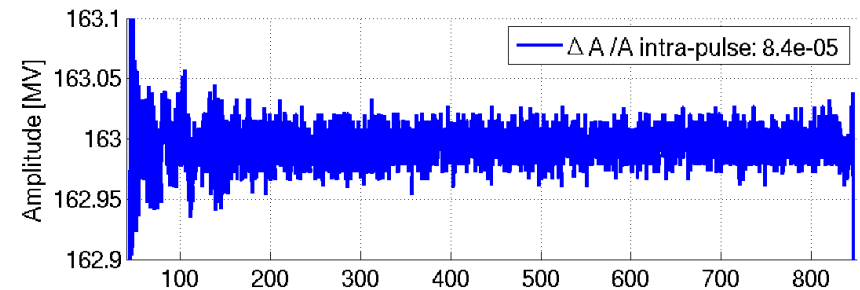
- Strahlung, kein Zugang zum System

## > Weiterentwicklung der Bedienung

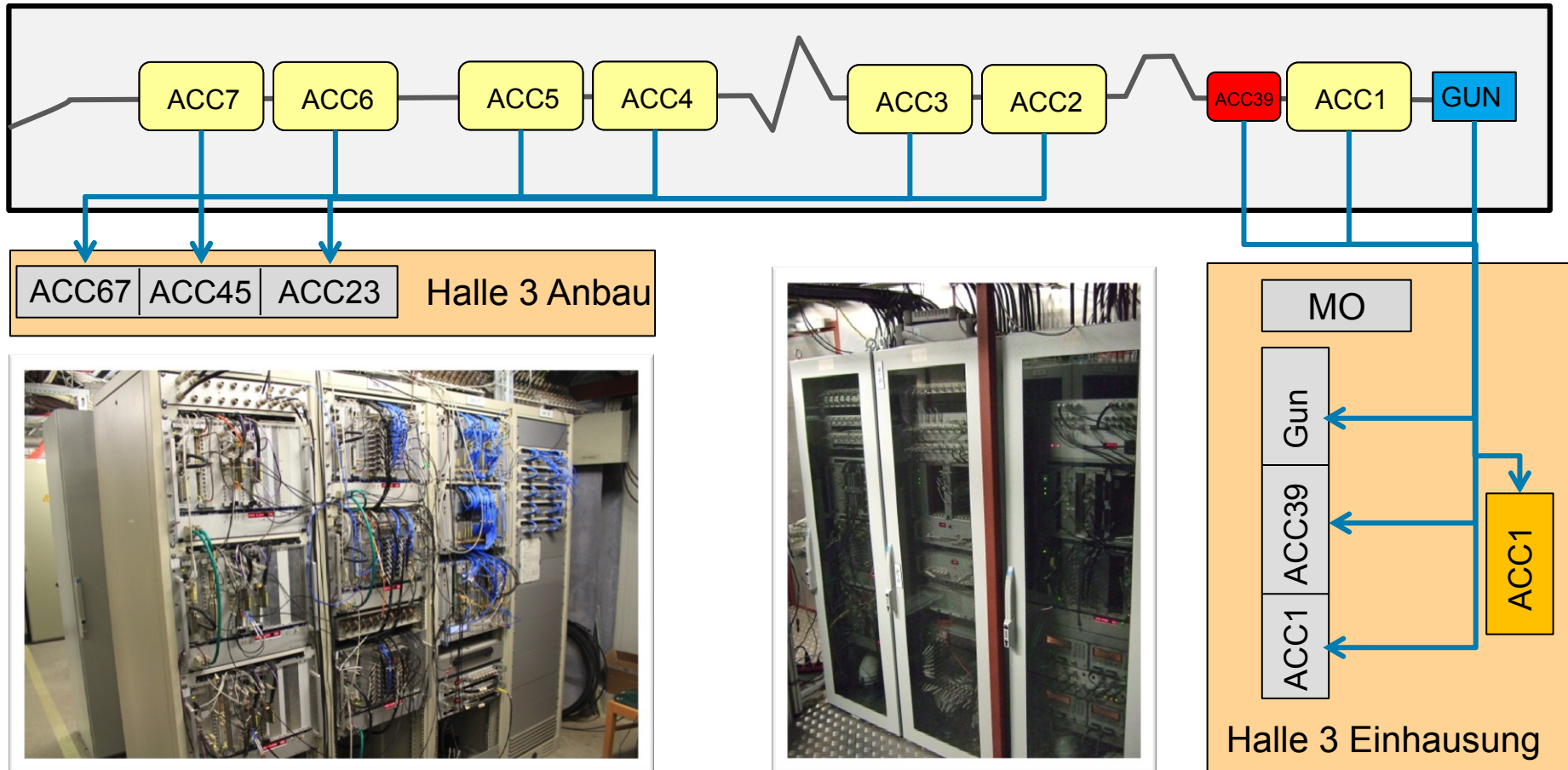
- Umstellung auf jDDD für mTCA.4 LLRF

## > Neustart im Juli mit mTCA.4 LLRF

- Probleme zu erwarten, Backup VME System



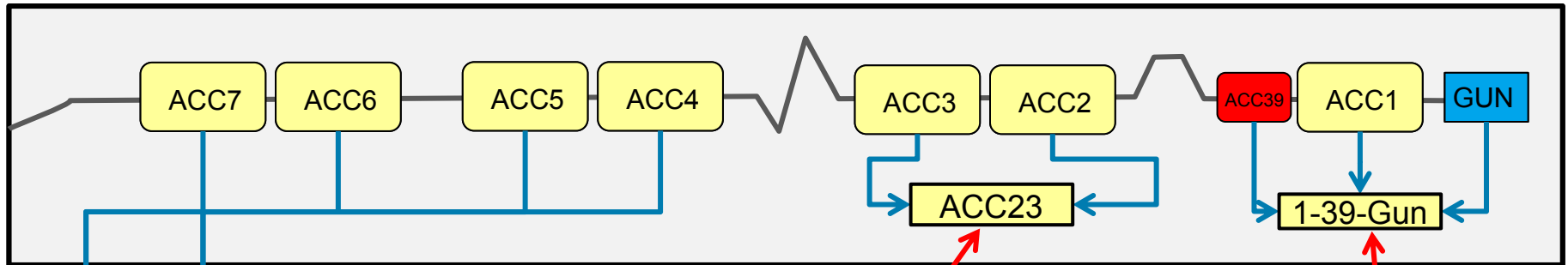
# LLRF Installationen bei FLASH



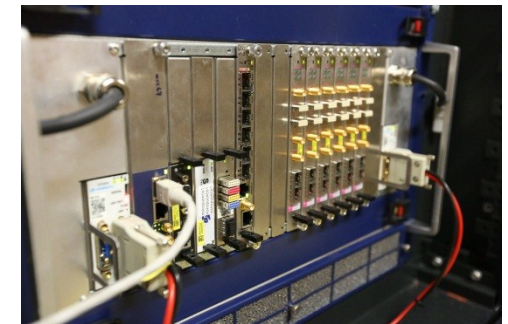
- **VME Standard basierte Systeme (für alle LLRF Stationen)**
- **Gesplittet System für LLRF mTCA.4 Tests seit 2011**



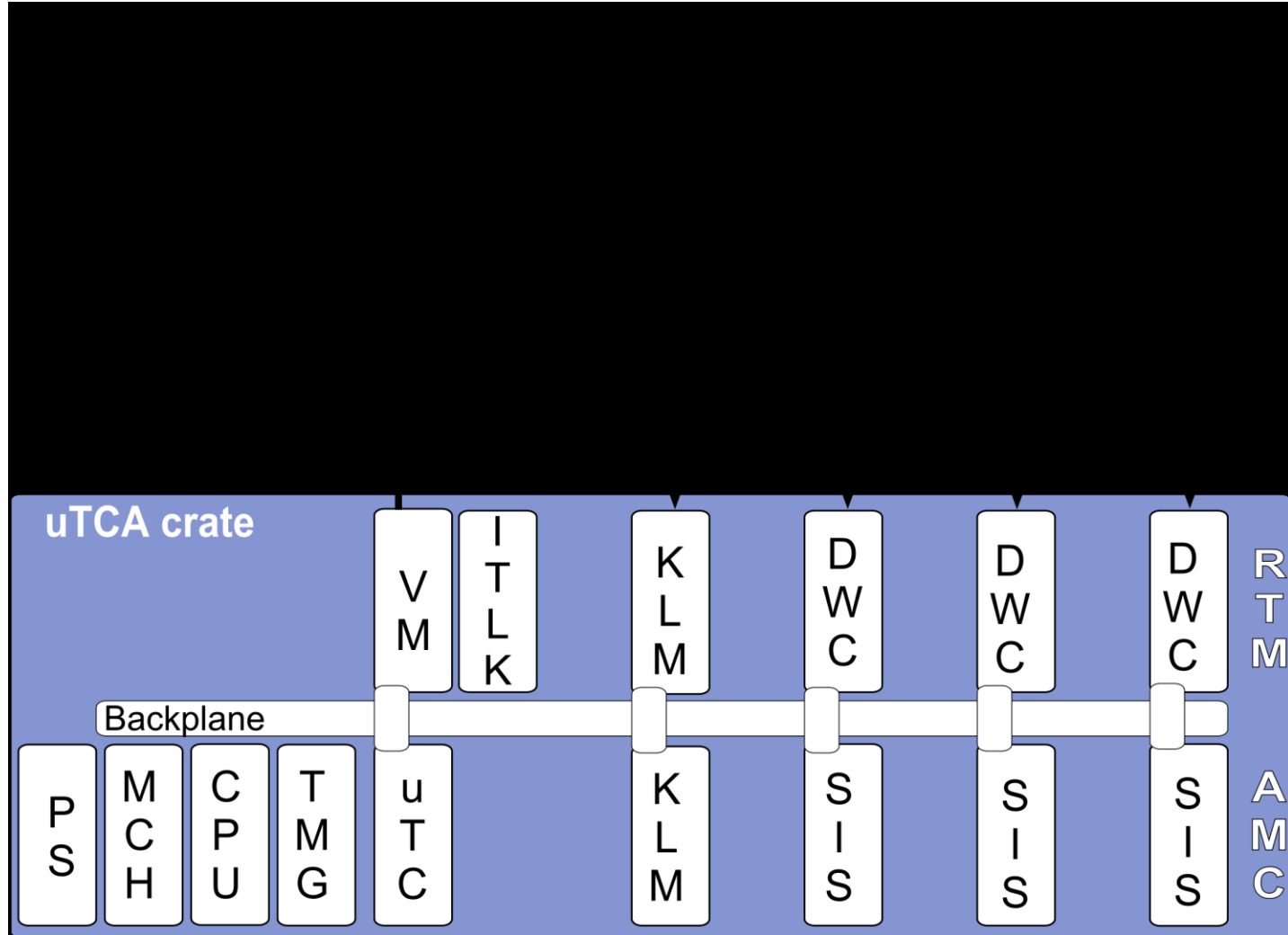
# LLRF Installationen bei FLASH



ACC67 | ACC45 | Halle 3 Anbau

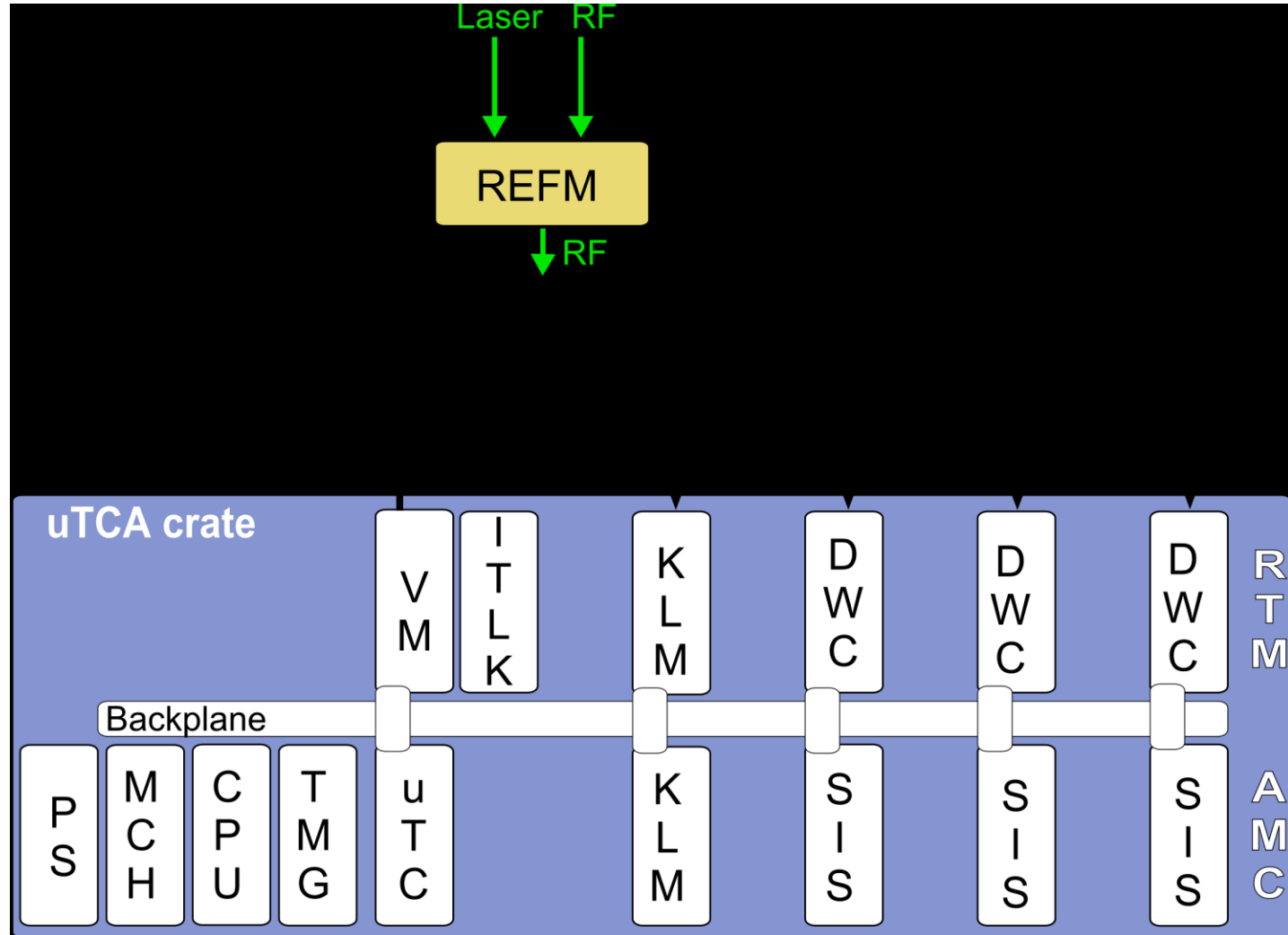


# LLRF System Beschreibung



# LLRF System Beschreibung

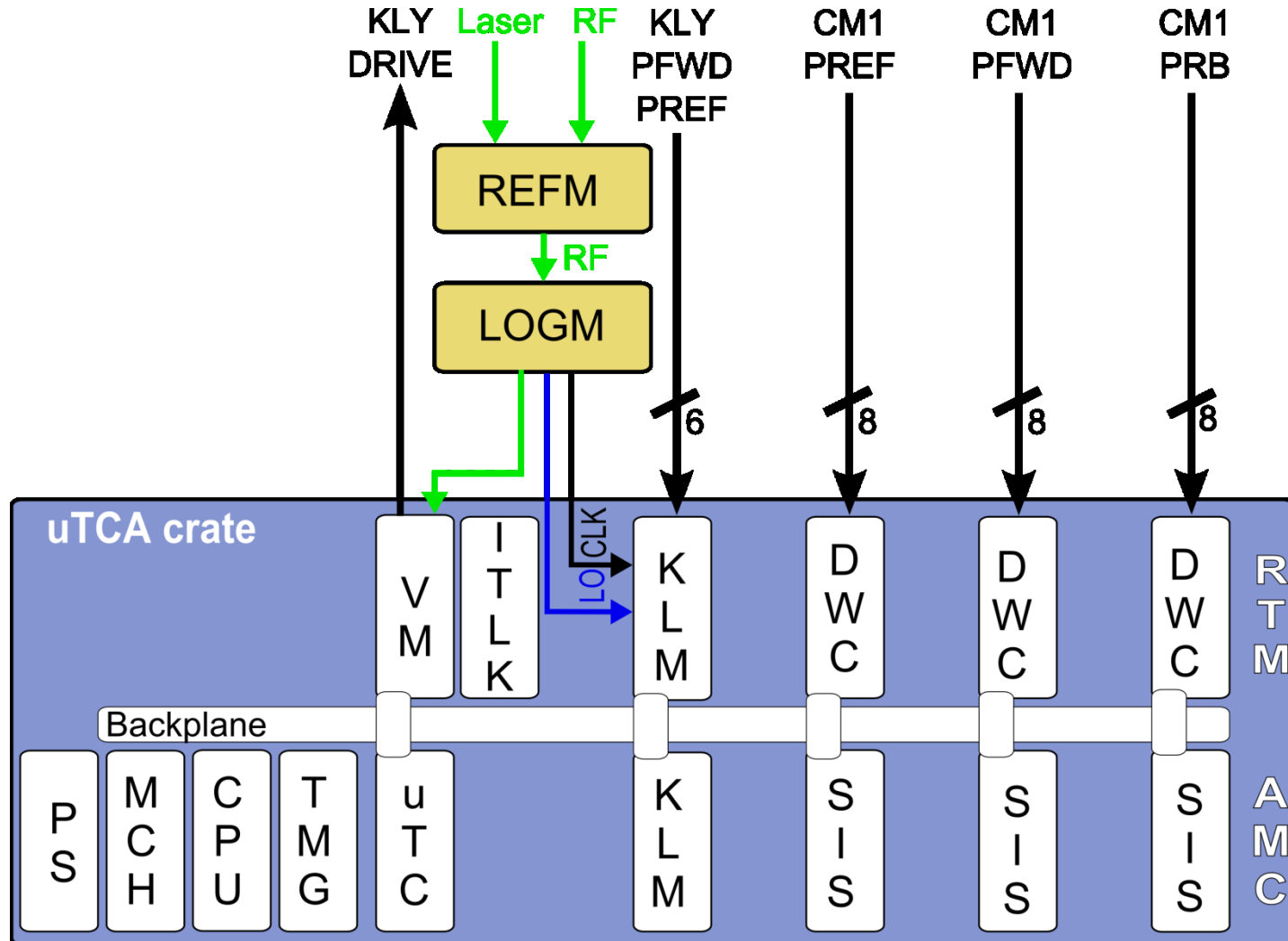
REFM  
RF Reference Module



# LLRF System Beschreibung

**REFM**  
RF Reference Module

**LOGM**  
Local Oscillator  
Generation Module

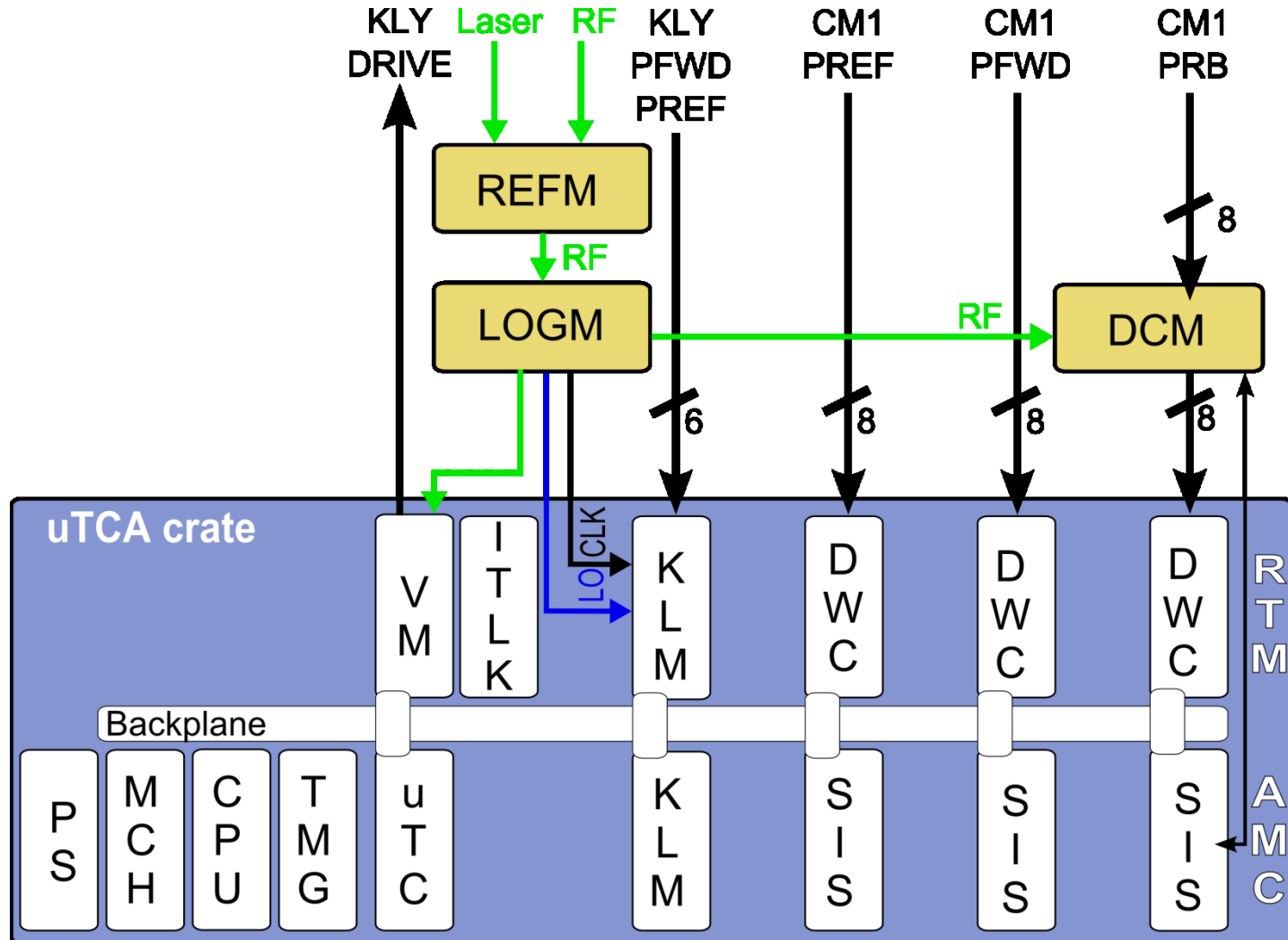


# LLRF System Beschreibung

**REFM**  
RF Reference Module

**LOGM**  
Local Oscillator  
Generation Module

**DCM**  
Drift Compensation  
Module



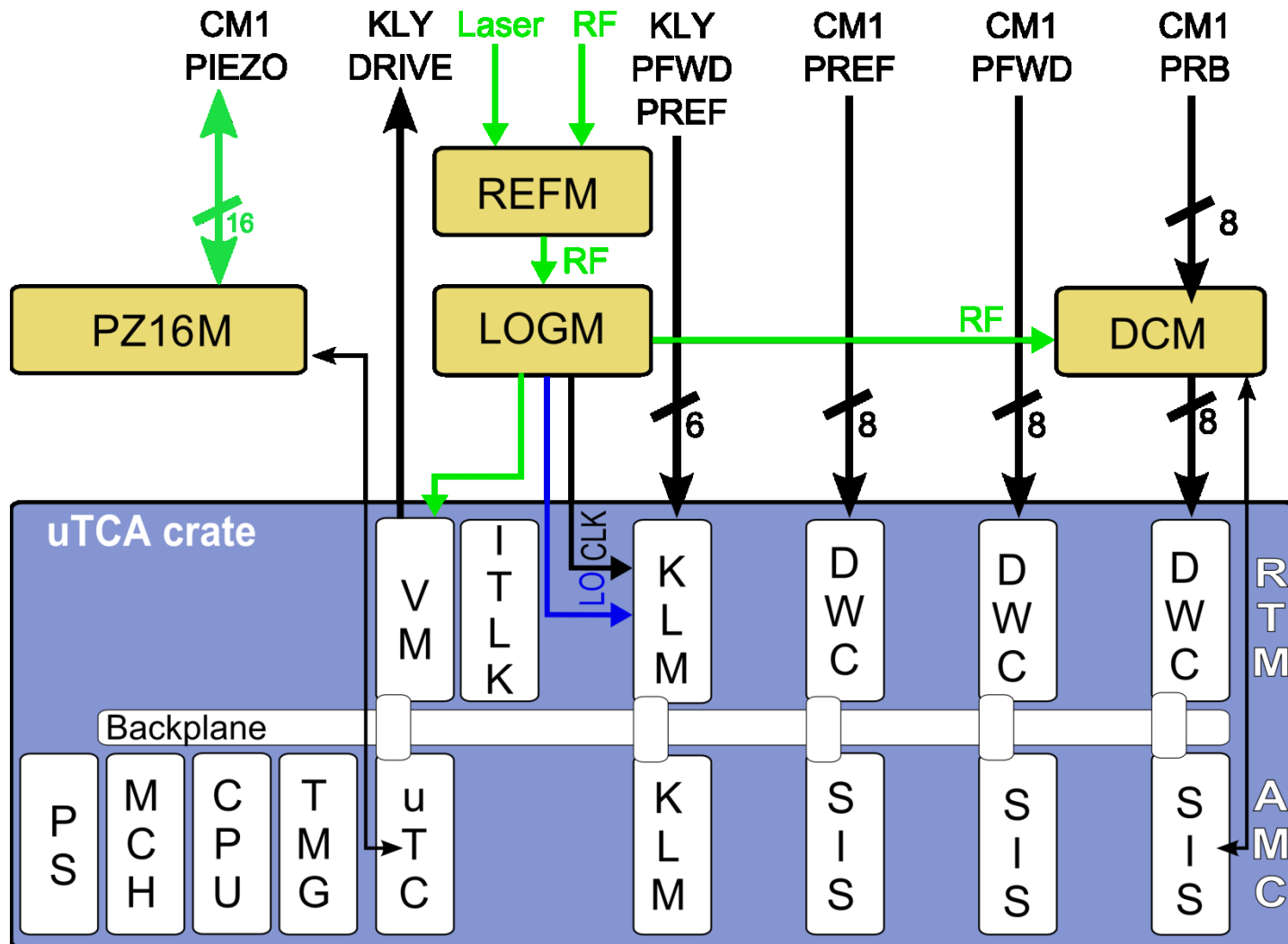
# LLRF System Beschreibung

**REFM**  
RF Reference Module

**LOGM**  
Local Oscillator  
Generation Module

**DCM**  
Drift Compensation  
Module

**PZ16M**  
Piezo Driver Module

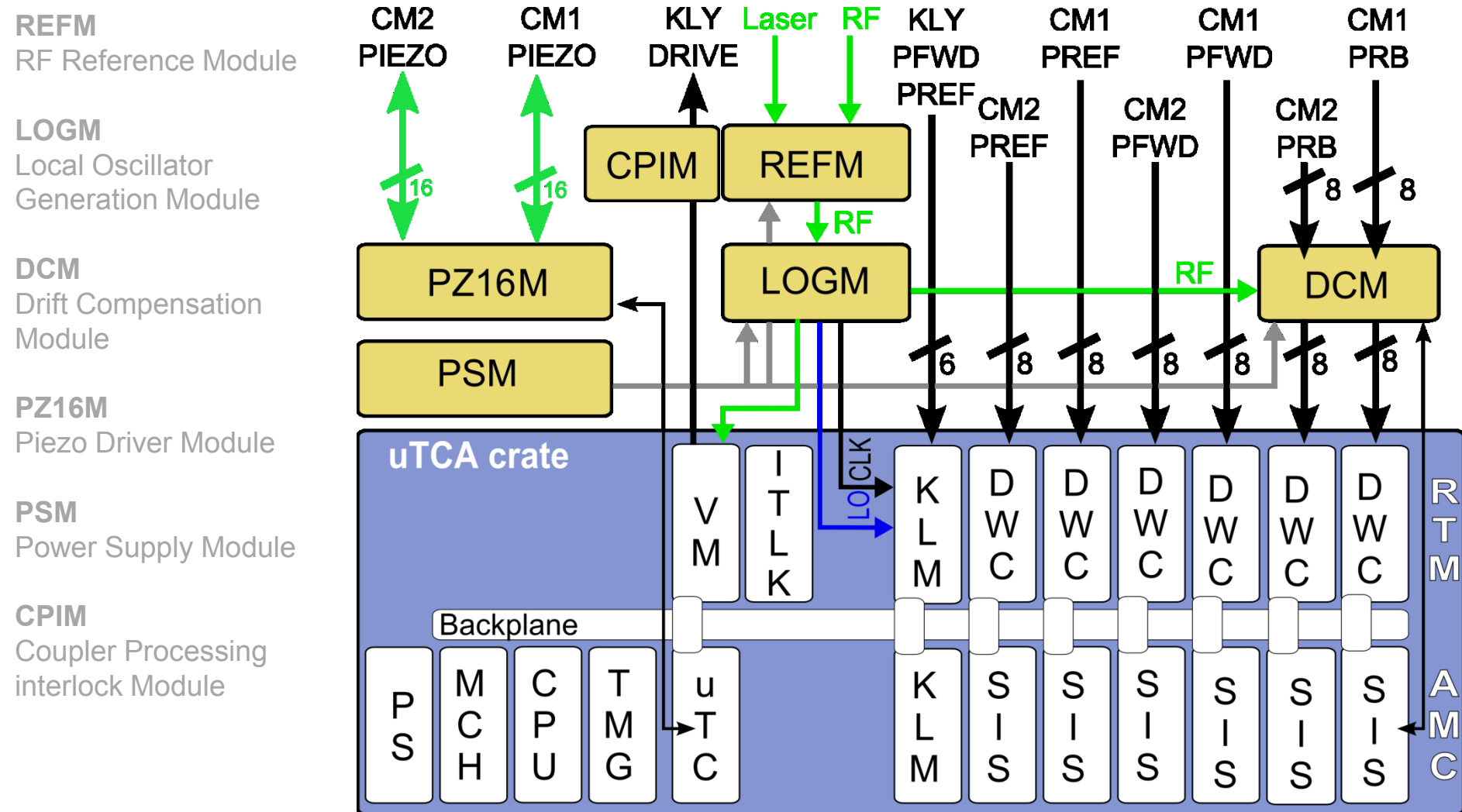




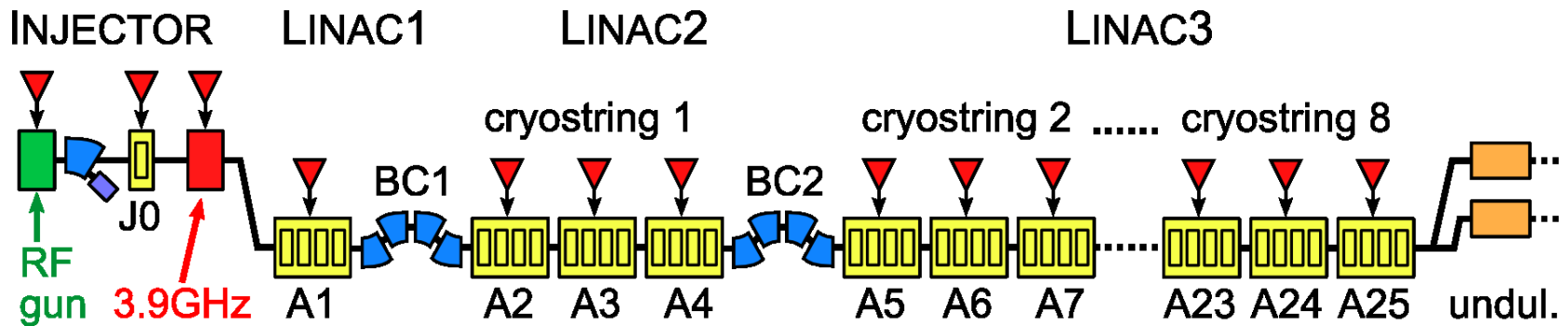




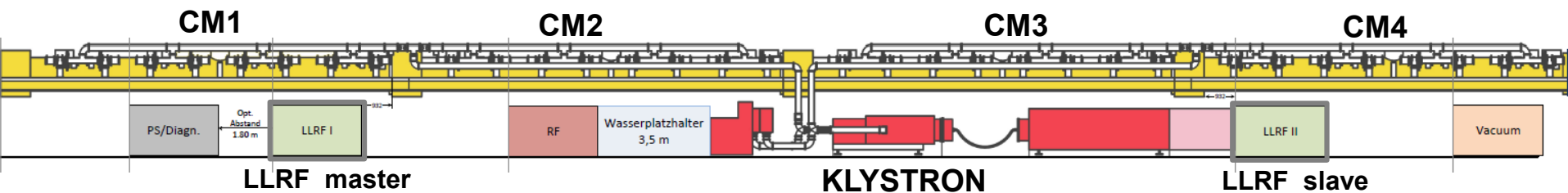
# LLRF System Beschreibung



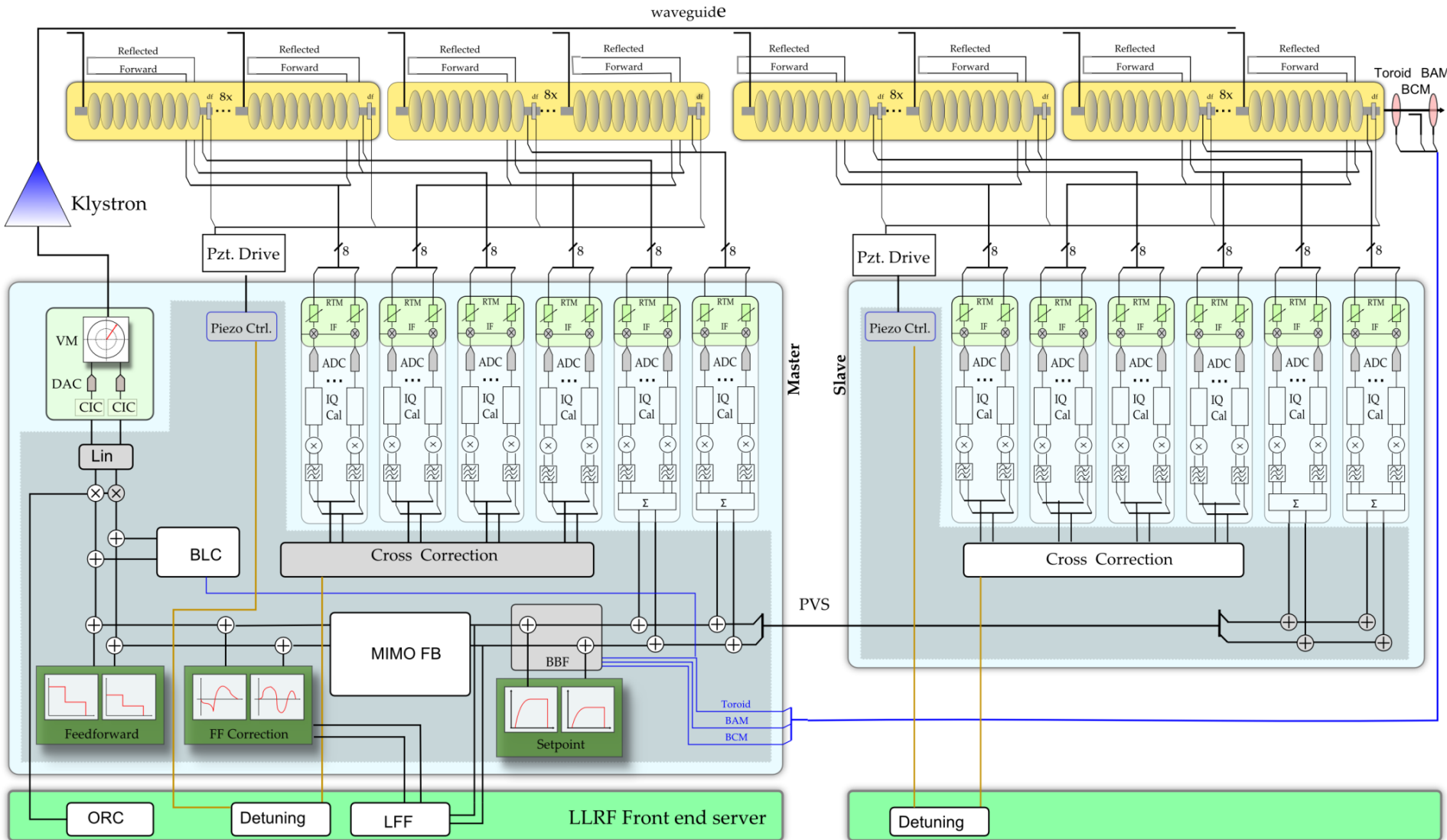
# XFEL LLRF System



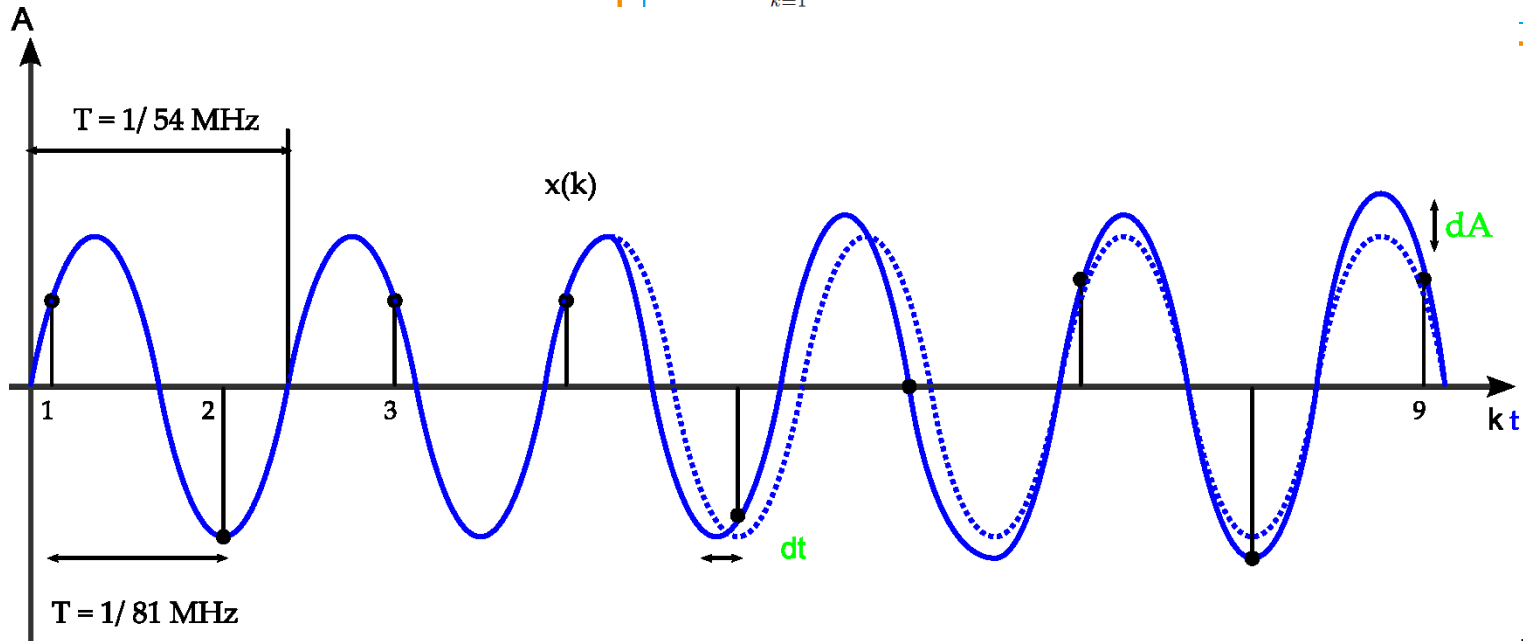
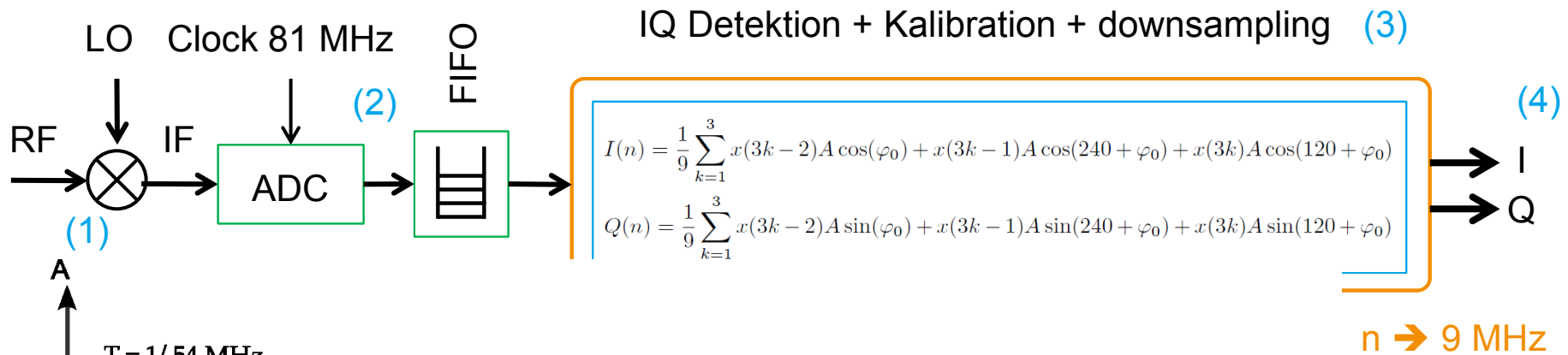
- > 808 superconducting 1.3 GHz TESLA RF cavities
- > 101 cryomodules (8 cavities)
- > 25 RF stations (4 cryomodules)
- > **1 LLRF system / RF station (i.e. per klystron)**



# LLRF Regelungssystem Übersicht



# LLRF Digitalisierung und Weiterverarbeitung



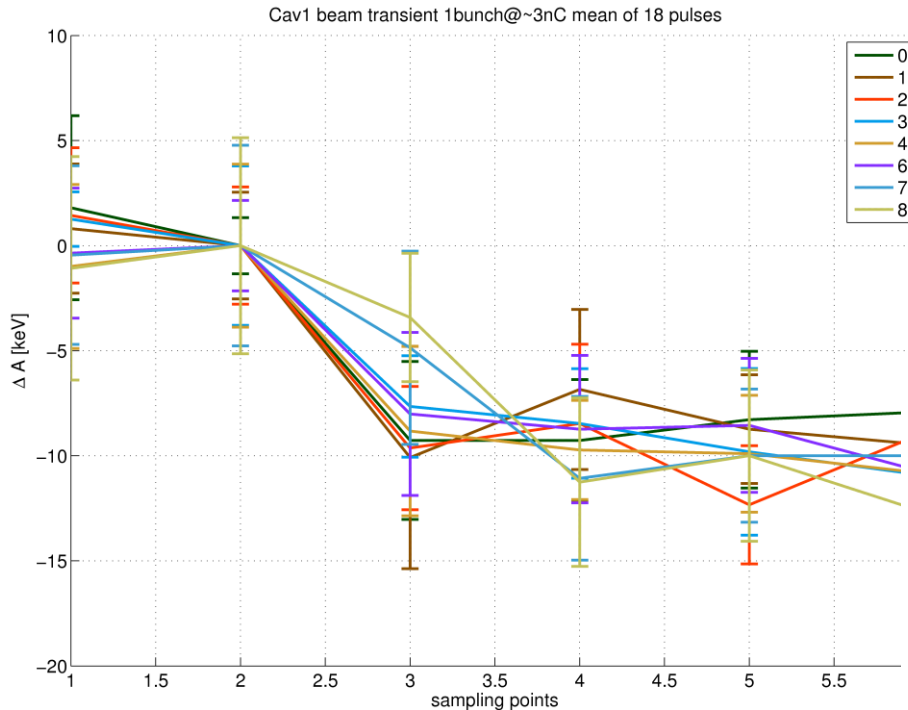
1. RF Signale werden auf Zwischentfrequenz von 54 MHz heruntergemischt
2. ADC Sampling mit 81 MHz + einstellbare Verzögerung in Schritten von 1/81MHz
3. IQ Detektion und Mittelung über 9 Sampling Punkte
4. Weiterverarbeitung aller Messwerte mit 9 MHz

# Einzelbunch Spannungsabfall (Einfluss des Samplings)

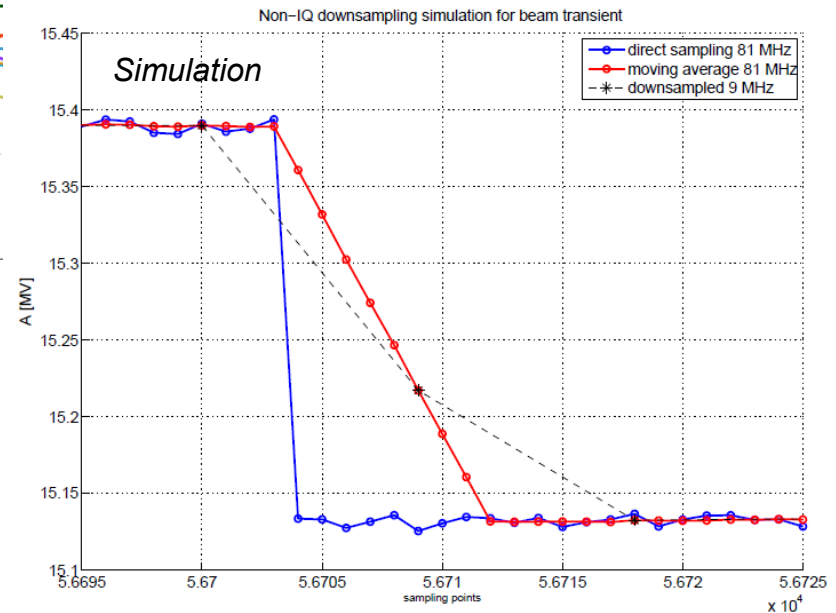
Messung

## Induzierter Spannungsabfall

$$V = - \left( \frac{r}{Q} \right) \cdot q_B \cdot \pi \cdot f_0$$



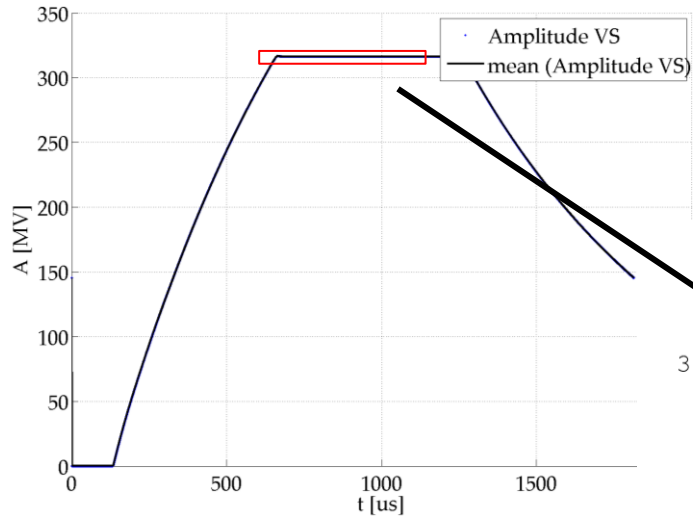
Charge [nC]	0.1	0.5	1	2	3
Voltage drop [kV]	0.4	2.1	4.25	8.5	12.7



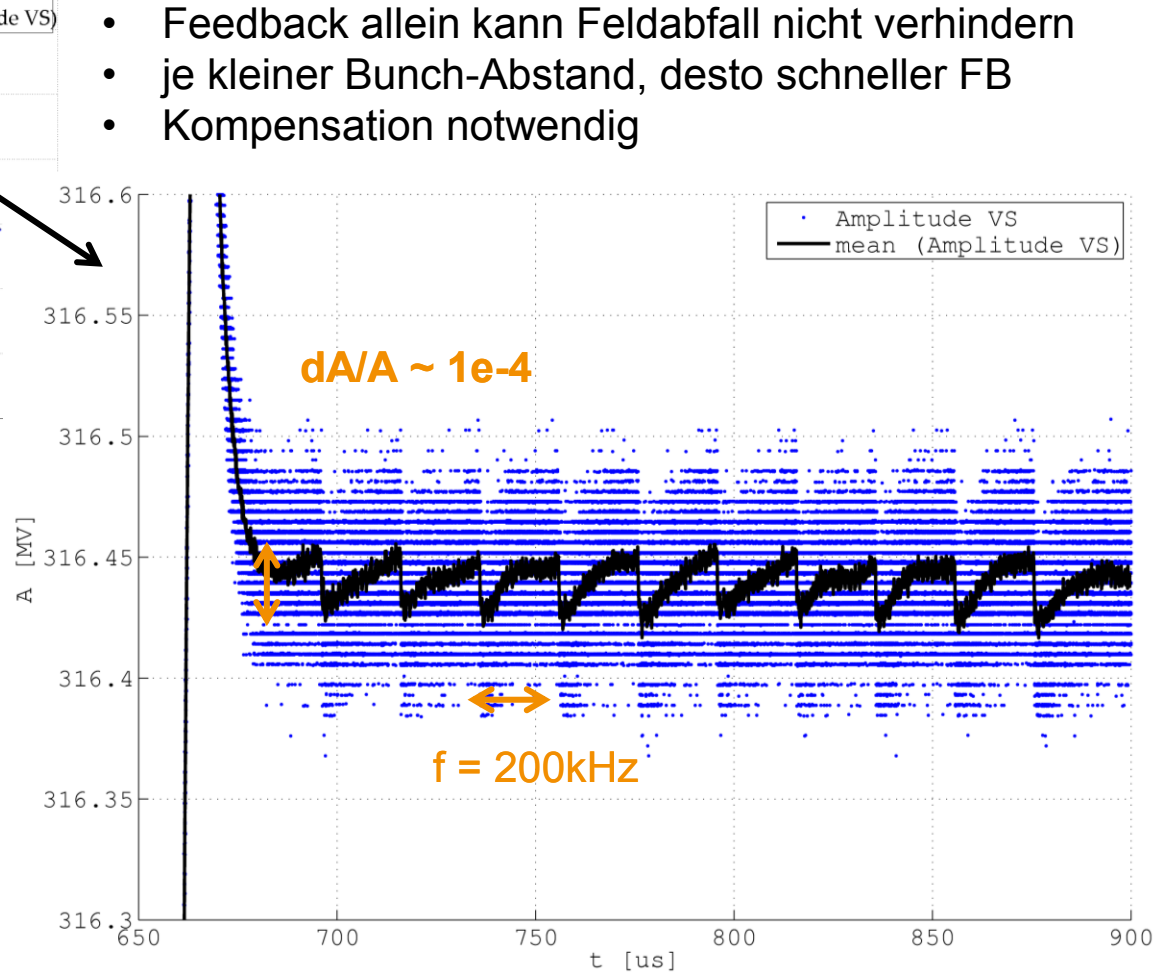
- Zeitliche Anpassung der RF Signale (Kabel, Flugzeit)
- Vektorsummen Mittelung
- Optimierung des Samplings



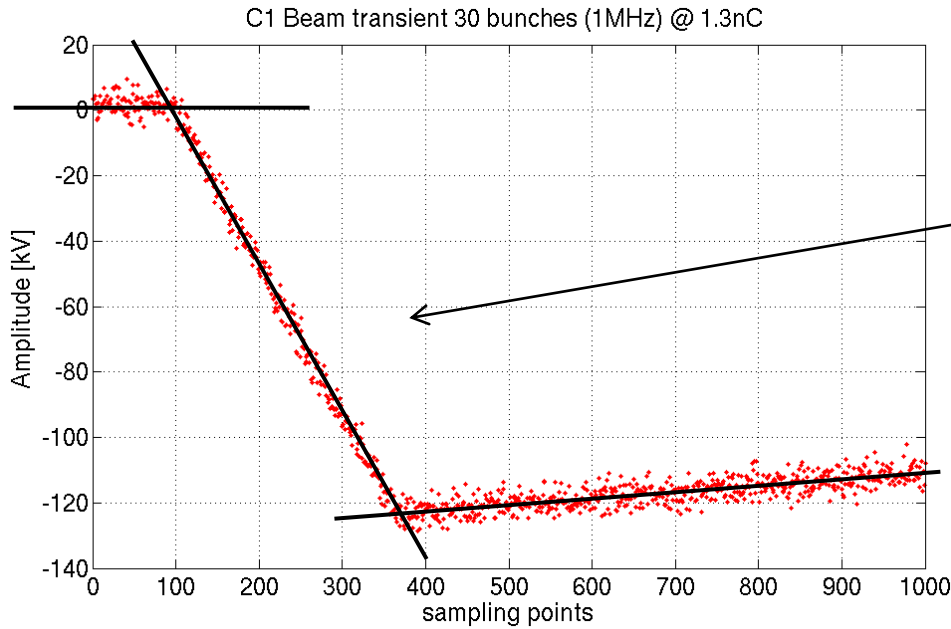
# Strahlinduzierter Feldabfall ohne Kompensation



- Hinreichende Messauflösung
- Feld gesehen vom Strahl !
- Messgröße für Qualität ?



# Strahlabsierte Vektorsummenkalibration



Strahlinduzierter Feldabfall  
~ -125 kV @ 30b / 1MHz / 1.3 nC

- Gleich für alle Kavitäten in VS
- Unterschiede durch Kabel , ...

## ➤ Erfordert hohen Strahlstrom im Modul (Ladung, Frequenz)

- Hohe Ladung, hohe Frequenz, viele Bunche
- Nur im Feed Forward Mode → Einfluss auf Transmission für folgende Module
- Kurzzeitig (20 Pulse), Offline auswerten und prozessieren der Daten

## ➤ Vorteile durch mTCA.4 System

- Höhere Messauflösung, Steigerung durch schaltbare Dämpfungsglieder
- Einbeziehen von Forw./Refl. Signalen, Messung im FB Modus, online Überprüfung

# LLRF Panel für FLASH ( Vorschlag )

Umschalten zwischen Beamlines

farbliche/schriftliche Kennung

Statischer Überblick  
 • Schaltet für FLASHx um

Fenster nochmals aufrufen

Details zu jeder Location  
 • Standard status  
 • Feedback  
 • LFF

Module / Plotbereiche umschalten



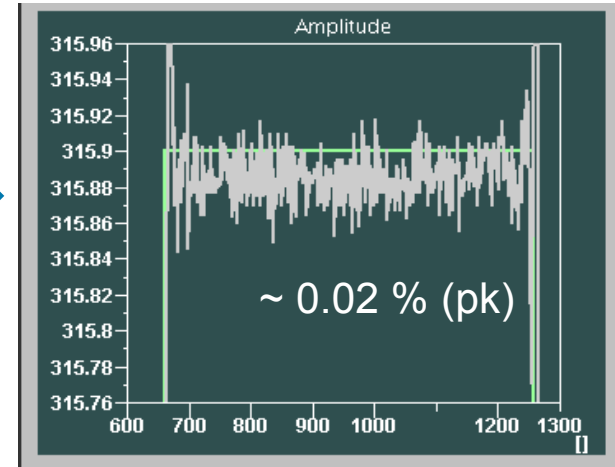
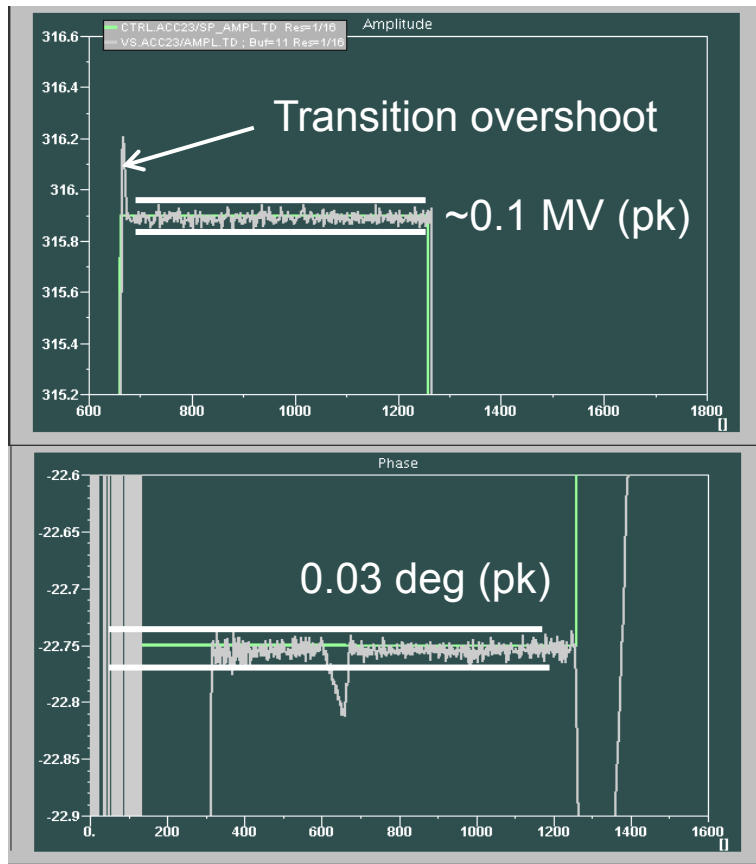


- > Das LLRF System bei FLASH
  - Automatisierung, Integration des BBF
- > Das mTCA.4 basierte LLRF System
  - Umstellung von FLASH
  - Vorbereitung für den XFEL
- > Beispiel für strahlinduzierte Störungen
  - Auswirkung und Nutzung
- > Umstellung auf jDDD Benutzeroberfläche

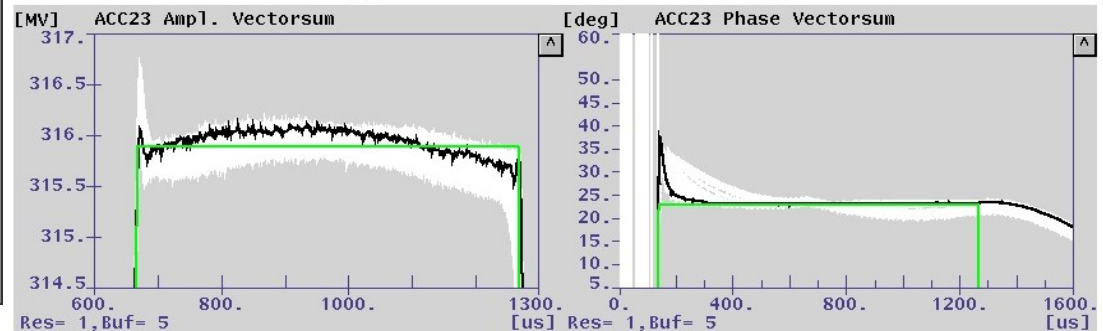
Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



# Referenzmessung mit mTCA @ ACC23



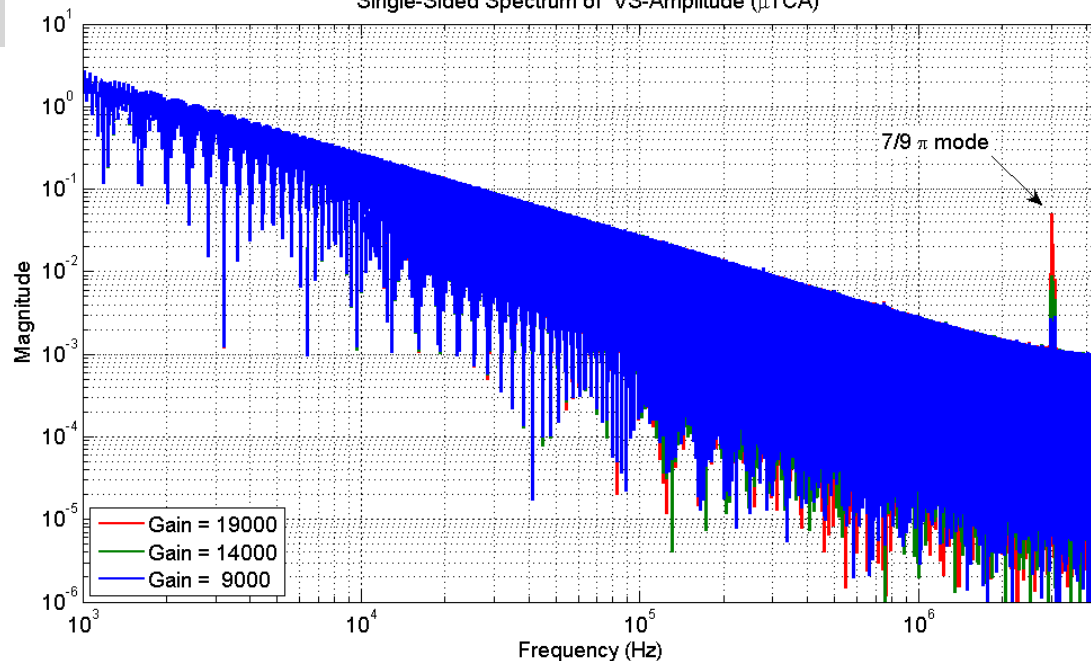
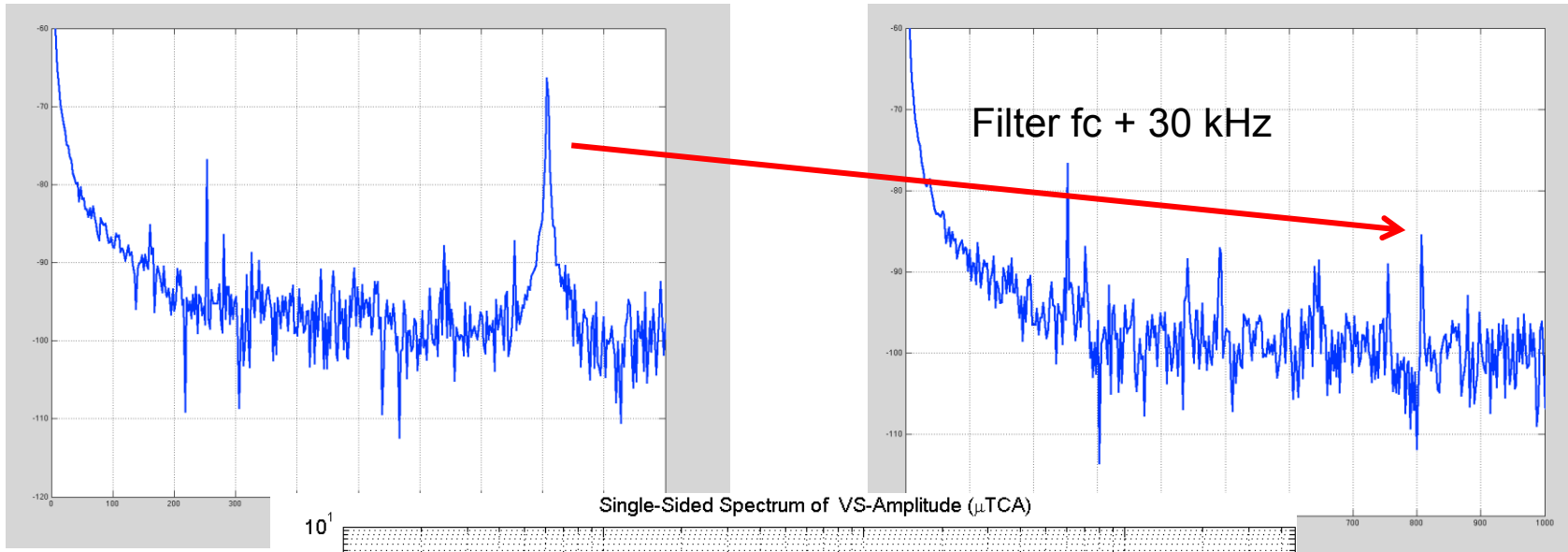
## Zugehörige VME basierte Messung



➤ Beide LLRF Systeme sind gleichartig kalibriert, aber gemessene VS abweichend

- Systematische Kalibrationsfehler
- Einfluss durch VS Bildung hoch
- Rückwirkung auf Elektronenstrahl

# Filtering unwanted modes individually in preprocessing stage



# LLRF System Beschreibung

- AMC: Advanced Mezzanine Card
- RTM: Rear Transition Module
- 12 slots, hot swap
- Redundant power supply

