LSA @ SIS18

David Ondreka, GSI

Operator Training 2016
GSI, 05.02.2016

Inhalt

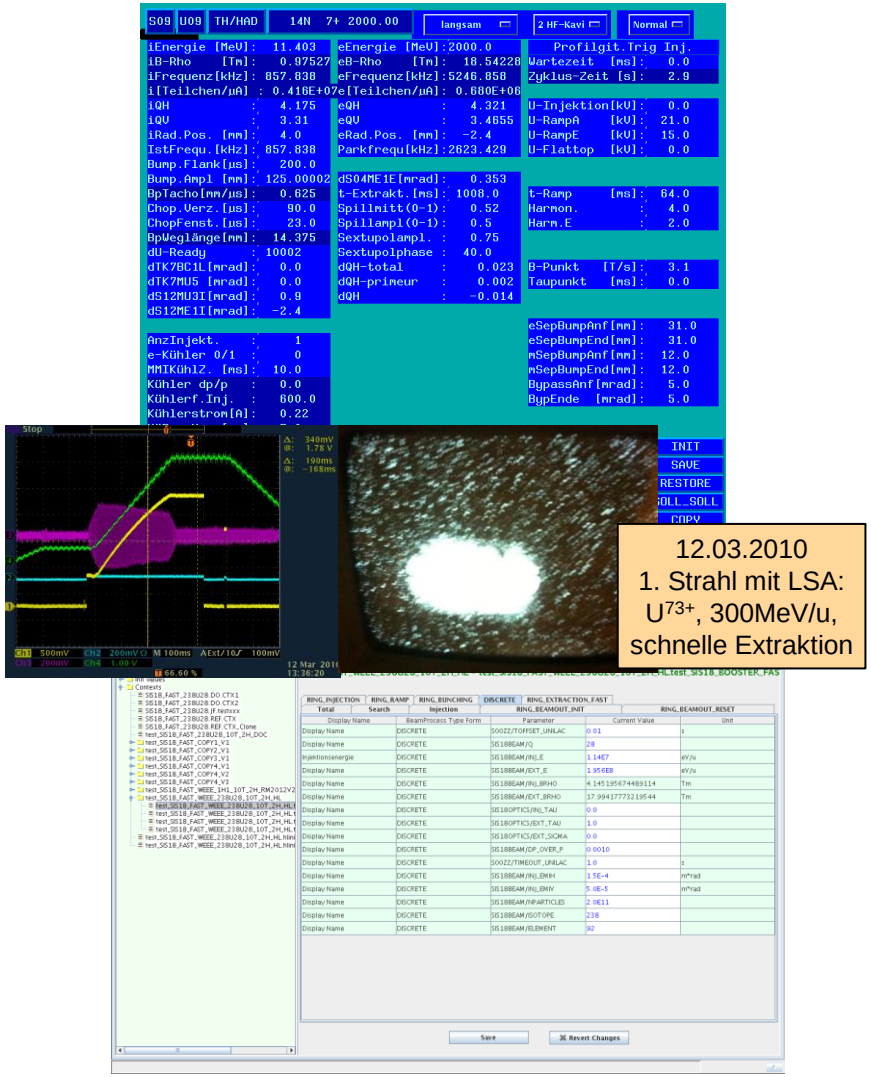
- Datenversorgung für SIS18
  - Herausforderungen
  - Vorteile von LSA
- Betrieb des SIS18 mit LSA
  - Bisherige Maschinenexperimente
  - Planungen für 2016
- LSA aus der Sicht des Nutzers
  - Fehlerbehandlung in SISMODI
  - Fehlerbehandlung in LSA
- Ausblick auf 2018
- Zusammenfassung

Datenversorgung für SIS18

- Synchrotron braucht Maschinenmodell
  - Komplexe Abhängigkeiten zwischen Physik- und Geräteparametern (z.B. Tune, Bucketgröße)
  - Synchrone Ausführung der Sollwerte unabhängiger Geräte führt zur funktionierenden Maschine

- Leistungsvermögen des SIS18 ultimativ durch Design und Geräteeigenschaften bestimmt

- Einfluss der Datenversorgung vorhanden
  - Leistung der Maschine in der Praxis limitiert durch Einstellmöglichkeiten des Modells
  - Gleiche Daten liefern gleiche Leistung (egal ob SISMODI oder LSA)
  - Bessere Leistung bei gleicher Hardware erfordert Verbesserung des Modells oder bessere Nutzung
  - Flexibilität erforderlich für Integration neuer Geräte oder Definition neuer Betriebsmoden

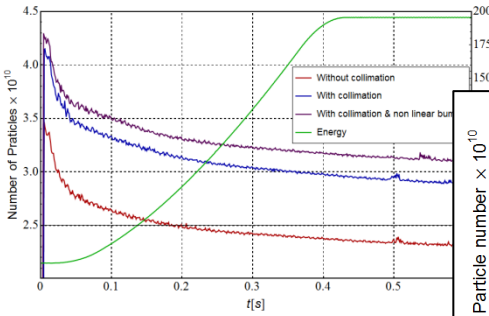


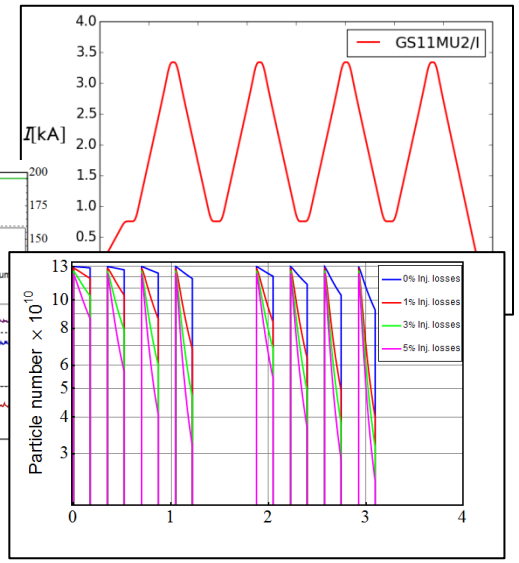
12.03.2010
1. Strahl mit LSA:
U^{73+}, 300MeV/u,
schnelle Extraktion

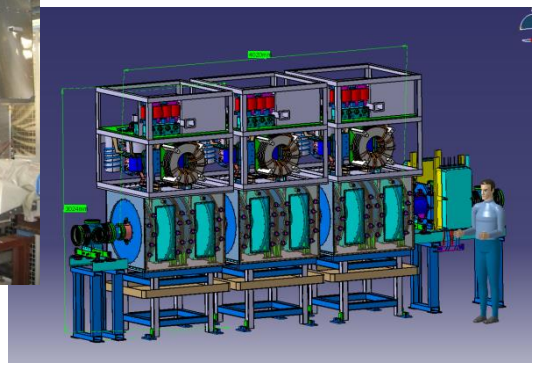
Neue Datenversorgung: Herausforderungen

- FAIR-Injektorbetrieb (Booster-Mode) mit U^{28+}
  - Rampen mit 10 T/s bei Wiederholrate von 2.7 Hz
  - Minimierung der Zyklusabschnitte
  - Beschleunigung mit zwei Harmonischen
  - Kontrolle der Verluste wegen dynamischem Vakuum
    - Minimierung MTI-Verluste
    - Kontrolle Tune und Orbit (Min. Verluste auf Rampe)
- Langsame Extraktion mit höchsten Intensitäten
  - HADES mit N@2 GeV/u bei 10^{11}/Spill
  - Minimierung der Extraktionsverluste
  - KO-Extraktion für Routinebetrieb
- SIS18-Upgrade: Neue oder modifizierte Geräte
  - Dipol-Netzgerät: 10 T/s bis 18 Tm
  - 3 neue MA-Kavitäten für H=2
  - Schneller IPM mit Diagnose- und Korrekturmagneten
- Nutzung der Diagnosemöglichkeiten
  - Turn-by-turn IPM-Daten für MTI-Optimierung
  - BPM-Daten für Orbitkontrolle während Rampe
  - Tune-Daten für Tunekontrolle während Rampe

U^{28+}-Betrieb: Booster-Mode







MA-Kavitäten für Betrieb mitH=2

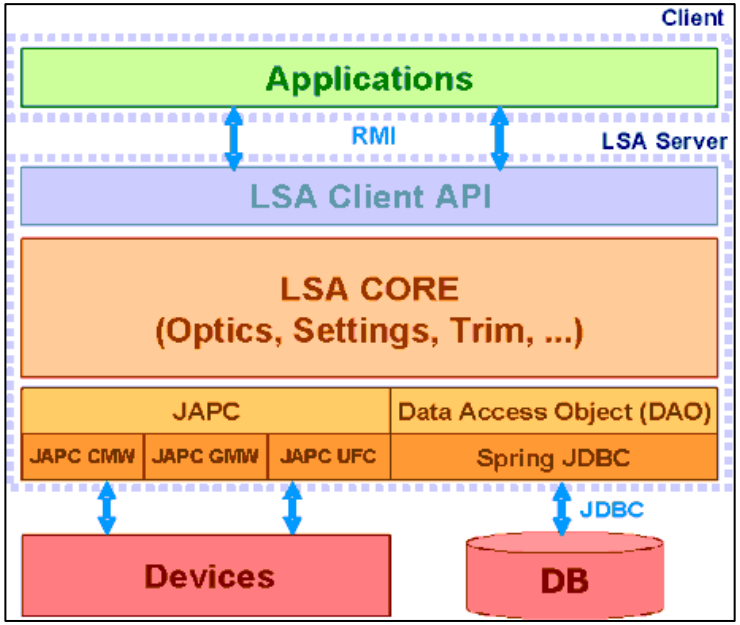
Datenversorgung mit LSA: Vorteile

- LSA – Framework
  - Entwicklung am CERN für Betrieb des LHC
  - Erweiterung für FAIR durch Kollaboration CERN – GSI
  - Strukturen zur Modellierung von Beschleunigern
  - Verwaltung von Geräte-/Layoutdaten und Sollwerten
  - Java-basierte 3-Tier-Architektur mit Datenbank

- Vorteile von LSA
  - Moderne, wartbare Architektur
  - Zugriff auf alle Daten über Standardschnittstellen
  - Trennung von Maschinenphysik und Softwaretechnik

- Vorteile der Datenversorgung über LSA
  - Volle Kontrolle über Maschinenmodelle durch Physiker
  - Explizite Parameterhierarchie für Berechnungen
  - Verteiltes Wissen durch gemeinsame Entwicklung
  - Hohe Flexibilität durch integrierte Entwicklungsumgebung
  - Bessere Integration von SD durch Zugriff auf Sollwerte
  - Nachvollziehbarkeit von Einstellungen durch Historie
  - LSA-basierte Software vom CERN einsetzbar

LSA Software-Architektur



Neue Datenversorgung: FAIR-DV

- Datenversorgung für SIS18 und ESR bisher
  - Physik im Franczak-Modell (Fortran-Bibliothek)
    - Geräte- und Konfigurationsparameter in Dateien
    - fehlende Dokumentation, unübersichtliche Strukturen
  - Separate GUIs für SISMODI und EMODI
  - Weiterentwicklung praktisch unmöglich
    - Beispiel MA-Kavität:
      Keine Spannungsrampe trotz Hilfe von B. Franczak

- Neue Datenversorgung: **FAIR-DV-Projekt**
  - Aktiv seit Ende 2008
  - Strukturen für Software-Entwicklung
    - Zugänglich und nachvollziehbar durch Repository
    - Code-Reviews zur Einhaltung von Software-Standards
    - Einheitliche Entwicklungsumgebung
  - Einheitliche Modellierungsstrategien
    - Generische Hierarchien und Algorithmen
    - Geräte- und Konfigurationsdaten zugänglich in LSA-DB
  - Einheitliche GUIs
    - Minimaler Aufwand für Implementierung und Wartung
    - Betrieb: Gleiche Darstellung für gleiche Funktionen

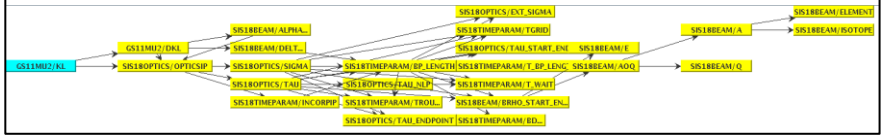
Projektgruppe FAIR-DV

- LSA Framework
  - CSCO-AP: Jutta Fitzek, Raphael Müller, Hanno Hüther
- Maschinenmodelle
  - Ringbeschleuniger
    - Holger Liebermann/PBSP (SIS18, SIS100)
    - Ingrid Kraus/PBSP (Cryring)
  - Elektronenkühler
    - Michael Kellnhofer/SBBC (Cryring-Kühler)
  - Separatoren
    - Stephane Pietri, Jan-Paul Hucka/RBFR (FRS)
  - Strahlführungen
    - Bernd Schlei/PBSP (HEST)
- Applikationen
  - Applikationslogik und GUIs
    - CSCO-AP: Implementierung und Unterstützung
  - ParamModi:
    - Holger Liebermann, Ingrid Kraus
  - LSAMirko
    - Bernd Schlei, Stephan Reimann
  - Orbitkorrektur
    - Bernd Schlei, Ralph Steinhagen

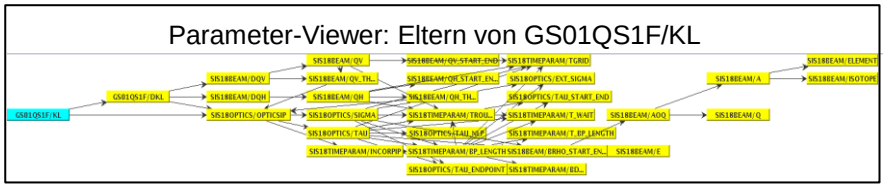
LSA: Parameterhierarchie

- Abbildung aller Abhängigkeiten des Modells
  - Welche Geräte werden berechnet, wenn Parameter XYZ geändert wird?
  - Welche Parameter haben auf Geräte ABC einen Einfluss?
- Berechnung erfolgt entlang der Verbindungen von Physik- zu Hardwareparametern
  - Quellcode für jede Berechnung leicht auffindbar
  - Separate Dokumentation für komplexe Berechnungen
- Darstellung in Standardapplikationen
- Eine der wertvollsten Strukturen von LSA

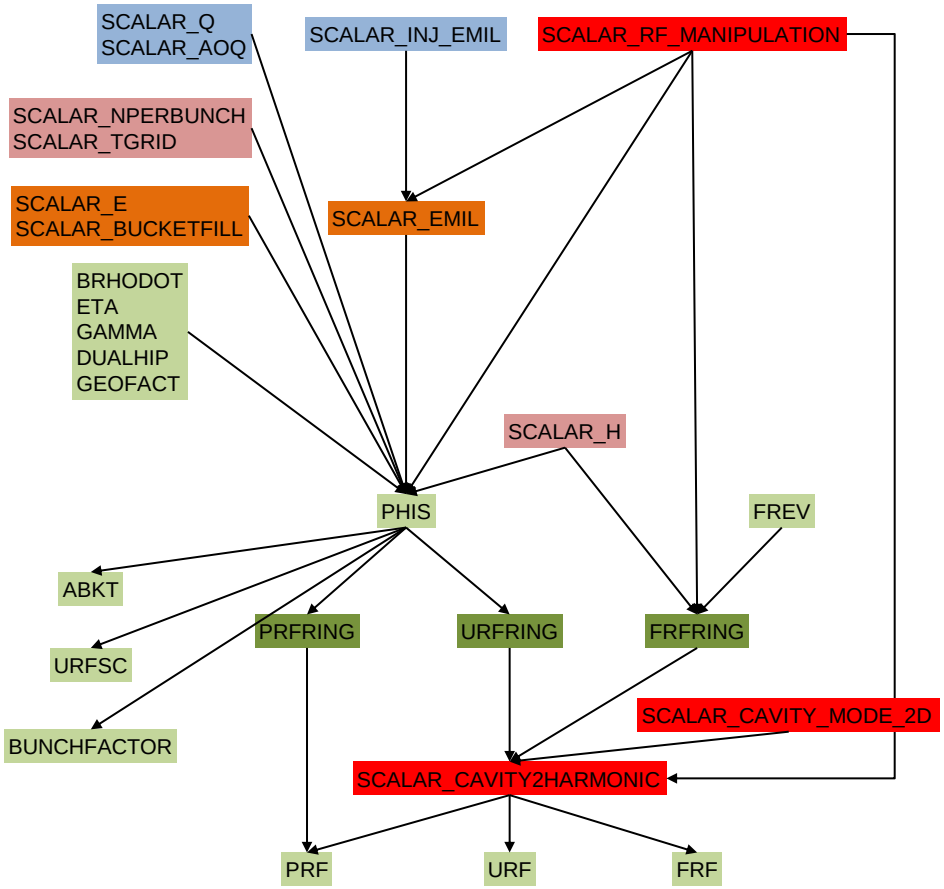
Parameter-Viewer: Eltern von GS11MU2/KL



Parameter-Viewer: Eltern von GS01QS1F/KL

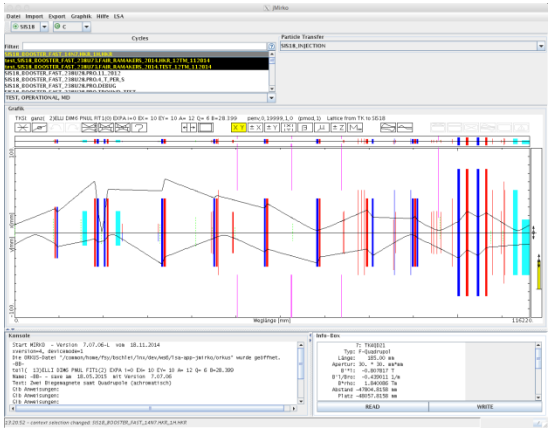


HF-Parameterhierarchie für Mehrharmonischenbetrieb



LSA: Integration von Strahldiagnose

- Status Quo
  - SIS18: Keine Rückkopplung von Messdaten in Sollwerte
  - HEST: Geradelegen mit Mirko-Expert

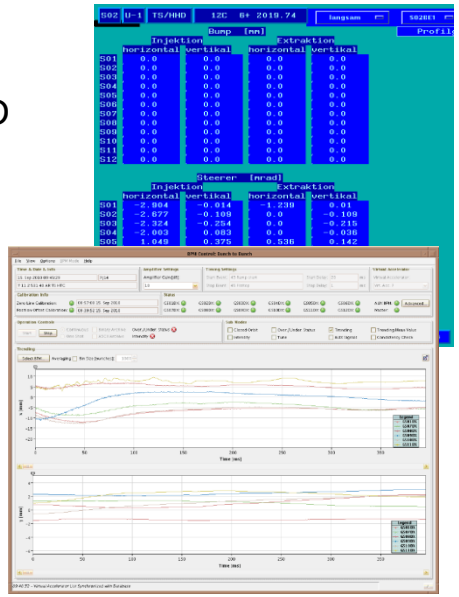


LSA-Mirko: Ersatz für Mirko-Expert

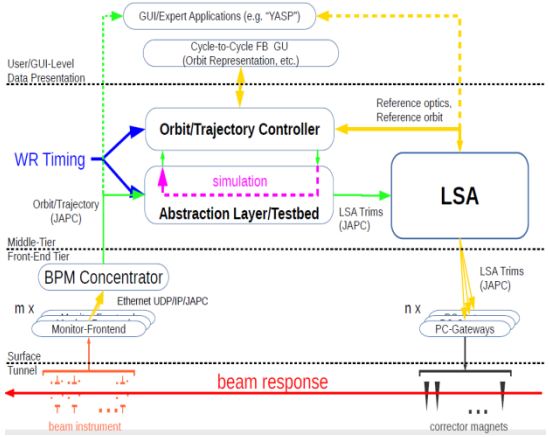
- Vorteile von LSA
  - Auslese von SD-Daten über Java-API (JAPC)
  - Zugriff auf Einstellungen über Java-API (LSA-Trim)
  - Modifikation von Zeitfunktionen möglich
  - Optikdaten für Auswertung in LSA-Datenbank verfügbar

- Geplante Applikationen mit Integration von SD
  - Orbitkorrektur über ganzen Zyklus (Prototyp soll 2016 getestet werden)
  - Korrektur von Tune und Chromatizität über Zyklus
  - Strahllagekorrektur in Transferlinien inklusive Injektion und Extraktion
  - Optimierung Multi-Turn-Injektion
  - Optimierung langsame Extraktion

Für weitergehende Planungen siehe FC2WG



Verteilte Anwendung für Orbitkorrektur

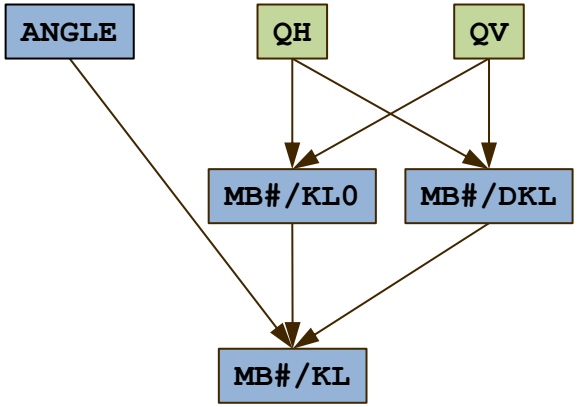


Betriebserfahrung SIS18 mit LSA

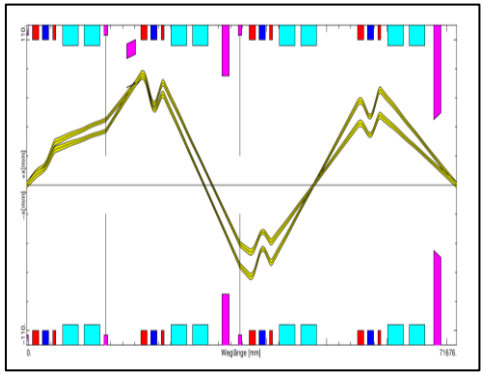
- Betrieb des SIS18 mit LSA
  - Erster Prototyp 2010
  - Erfolgreiche Maschinenexperimente 2012 und 2014
  - Entwicklungen für Strahlzeit 2016

- Betrieb des SIS18 mit LSA in der Strahlzeit 2014
  - Tests von Erweiterungen des Maschinenmodells
    - Neues Bumpermodell
    - Booster-Mode: schnelle Rampen bis 10T/s
    - Flexibles Bunch-Merging
  - Unterstützung B-Experimente Ring-HF-Gruppe
    - Inbetriebnahme MA-Kavität
    - 2H-Beschleunigung mit MA-Kavität und Ferrit-Kavität
    - 2H-Beschleunigung mit zwei Ferrit-Kavitäten
    - Bunch Merging 4:2:1 mit anschließender Kompression
    - Longitudinales Feedback
  - Maschinenexperimente der Theoriegruppe
    - MTI-Effizienz mit neuem Bumpermodell
    - HF-Einfang mit unterschiedlichen Einfangzeiten
    - Resonanzkompensation mit zwei Sextupolen

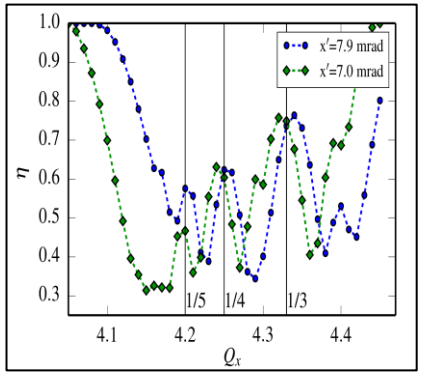
Neue Hierarchie für Anpassung des Injektionsbumps



Bumps mit zwei Winkeln



Effizienz der MTI



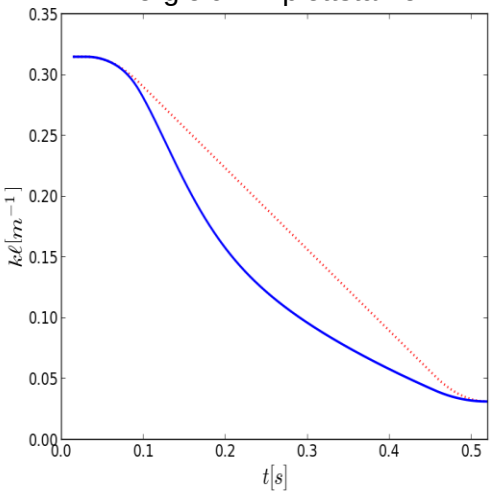
Simulation von S. Appel

B-EXP mit LSA: Rampen für Booster-Mode

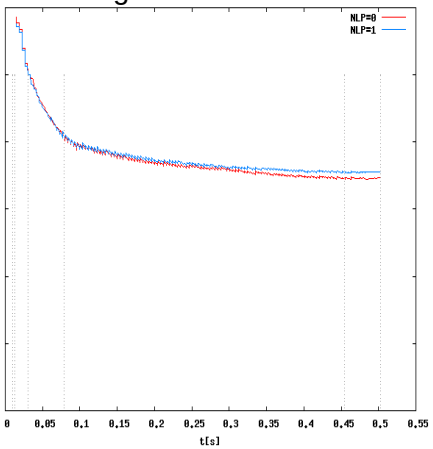
- Neue Parametrisierung des Optikwechsel
  - Triplett bei Injektion → Dublett bei Extraktion
  - Linearer Verlauf führt bei 10T/s zu Überschreitung der maximalen Vorsteuerspannung beim Triplett-Quad
  - Nichtlinearer Verlauf vermeidet Überschreitung
    - Kein neues NG erforderlich (Ersparnis ca. 500kEUR)
  - Erfolgreich mit Strahl getestet

- Verkürzung der Zykluszeit
  - Bisher separate Segmente für Orbitbumps (5, 9)
    - NG für Bumps können nicht gegen Hauptdipol fahren
  - Vorzeichen M-Septum-Bump: Hauptdipol hilft!
    - M-Septum-Bump während oberer Verrundung möglich
    - Kein neues NG erforderlich (Ersparnis ca. 100kEUR)
  - Verkürzung Zykluszeit um ca. 100ms
  - Kürzeste je am SIS18 ausgeführte Rampe
  - Erfolgreich mit Strahl getestet
    - Anfangsverluste wegen fehlender HF-Spannung

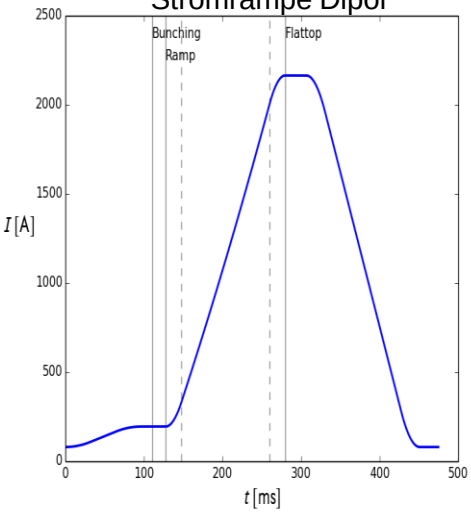
Vergleich Triplettstärke



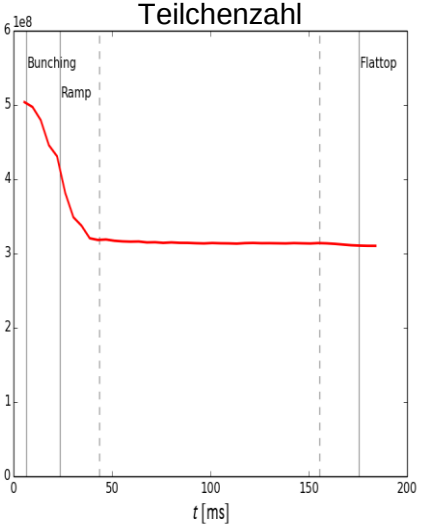
Vergleich Teilchenzahl



Stromrampe Dipol

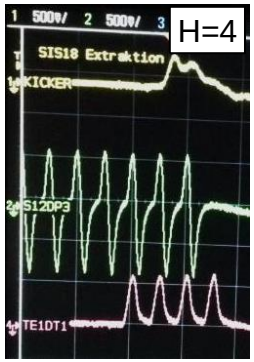


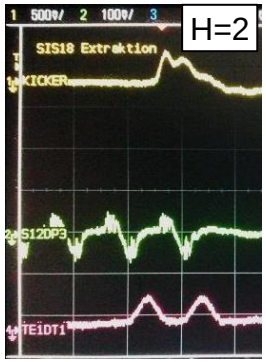
Teilchenzahl



B-EXP mit LSA: HF-Experimente (I)

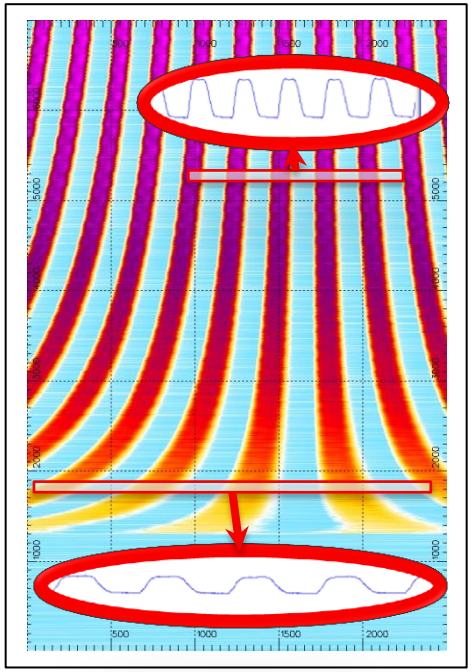
- Erstinbetriebnahme der neuen MA-Kavität (2014)
  - Nicht möglich mit SISMODI (fehlende Spannungsrampe)
  - Betrieb des Beschleunigers mit neuer DV
  - Erfolgreiche Beschleunigung nach wenigen Minuten
  - Funktionstrims zum Testen der Gerätegrenzwerte



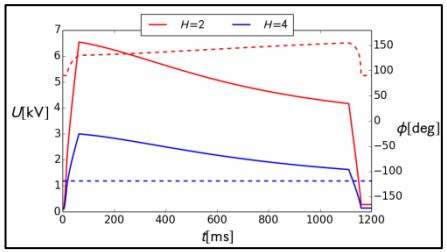


1. Beschleunigung mit MA-Kavität (H=2)

- Beschleunigung mit zwei Harmonischen
  - HF-Betrieb prinzipiell wie für Booster-Mode
  - H=2 mit MA-Kavität, H=4 mit Ferrit-Kavität (BE2)
  - Echte 2H-Bunche über die ganze Rampe
  - Validierung der Algorithmen im Maschinenmodell



2H-Beschleunigung mit MA-Kavität (H=2) und Ferritkavität (H=4)



Gratulation an die Ring-HF-Gruppe zu diesen erfolgreichen Maschinenexperimenten und vielen Dank für die Überlassung der Daten

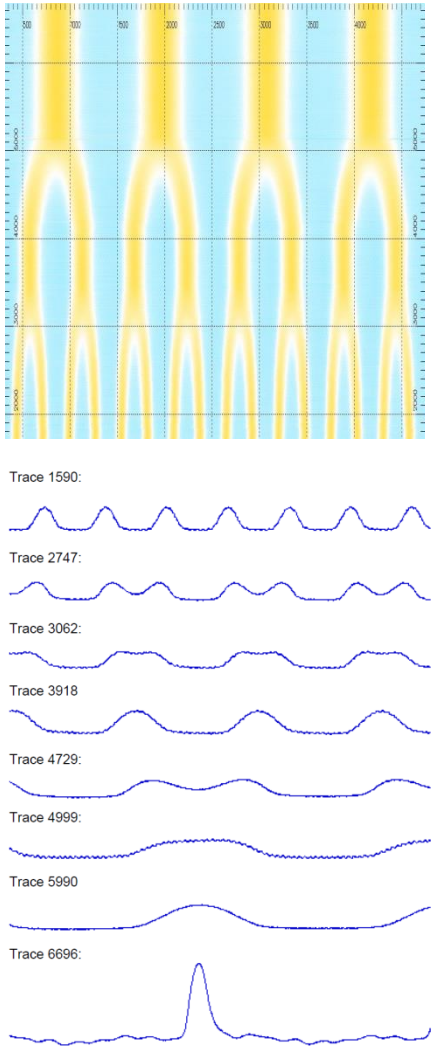
B-EXP mit LSA: HF-Experimente(II)

- Bunch Merging 4:2:1 mit Kompression
  - Ziel: Erzeugung eines kurzen Einzelbunches z.B. für die Plasma-Physik

- Generisches Modell für Bunch Merging
  - Lineare Spannungsrampen
  - Frei wählbare Zeiten
  - Frei wählbare Merging-Schritte
  - Stufenweises Einschalten der Kavitäten
  - Vorbild für HF-Manipulationen in FAIR
  - Alle Einstellungen erfolgen über **Parameter**

- Nutzung der Möglichkeiten von LSA
  - Feinjustierung der Phasen der Kavitäten durch Änderung der Phasenfunktionen

Gratulation an die Ring-HF-Gruppe zu diesen erfolgreichen Maschinenexperimenten und vielen Dank für die Überlassung der Daten



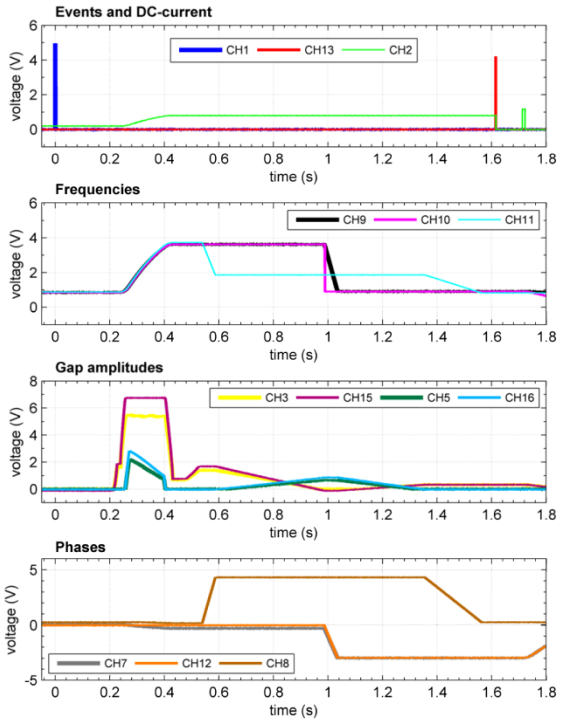
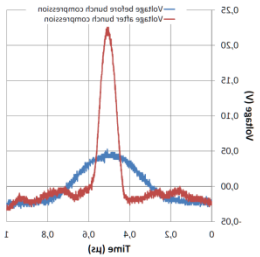


Figure 5: Oscilloscope plot of the generated ramps (measurement 059, DSO Yokogawa, generated from file YOKO0059.WDF[2])



B-EXP mit LSA: Resonanzkompensation

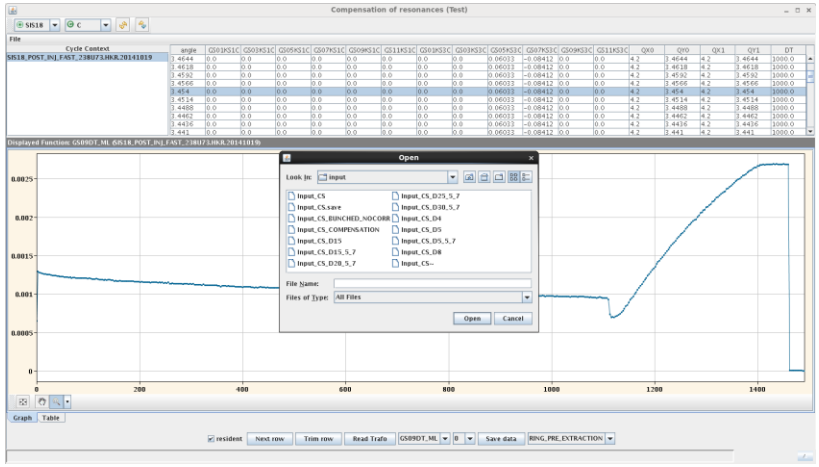
- Kompensation der Resonanz $Q_x + 2Q_y=11$
  - Verursacht durch Magnetfehler
  - Strahlverluste beim Überqueren der Resonanz
  - Untersuchung mit gebunchtem Strahl gewünscht
  - Wichtig für Betrieb mit höchsten Intensitäten

- Durchführung aufwendig
  - Verwendung von zwei Sextupolen
  - Fester horizontaler Tune, Variation des vertikalen Tunes
  - Variation von Amplitude und Phase der Sextupole

- Applikation für halbautomatische Durchführung
  - Einlesen von CSV-Datei mit Beschreibung der Sollwerte
  - Setzen der Sollwertkombination
  - Auslese des Strahlstroms auf dem langsamen Trafo
  - Abspeicherung der Daten
  - 330 Einstellungen in einer Schicht

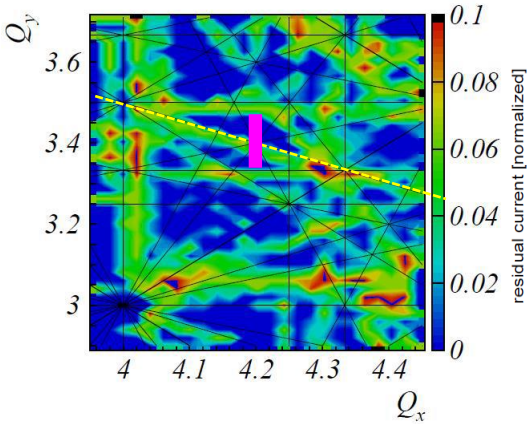
- Erweiterung des Modells
  - Neuer Zyklustyp mit zus. Segment nach Einfang
  - Erlaubt kontrollierte Entsorgung des Reststrahls

Applikation für Durchführung des Experiments

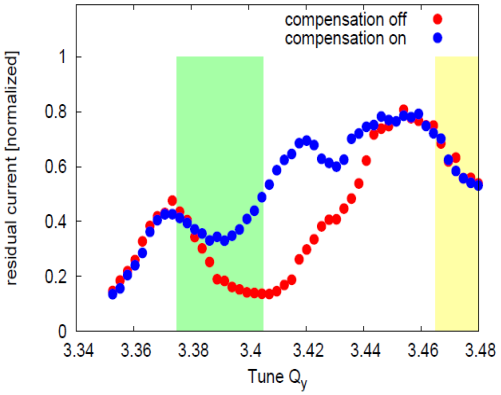


Implementierung und Bedienung durch H. Liebermann

Resonanzdiagramm



Effekt der Kompensation



Gratulation an G. Franchetti für die Demonstration der Kompensation und vielen Dank für die Überlassung der Daten

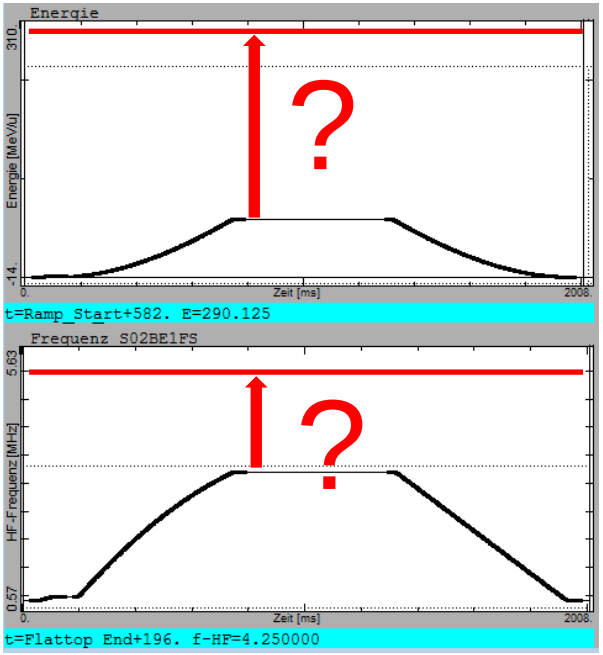
B-Experimente mit LSA: Strahlzeit 2016

- Beschränkung der UNILAC-Energie
  - Ca. 6 – 7 MeV/u statt 11.4 MeV/u

- Beschränkungen im Betrieb mit SISMODI
  - Nur eine Wahl der Harmonischen
  - Wegen minimaler Frequenz der Ferritkavitäten nur H=6 oder H=5
  - Endenergie: 300 MeV/u (H=6) oder 560 MeV/u (H=5)
  - Betrieb mit MA-Kavitäten nicht möglich

- Möglichkeiten mit der neuen Datenversorgung
  - Umbunchen auf Zwischenplateau
    - Nur Anpassung des Modells erforderlich
    - Keine technische Einschränkung durch FE oder HF
  - Beschleunigung mit MA-Kavitäten am Beginn der Rampe und Ferritkavitäten am Ende der Rampe
    - Anpassung des Modells erforderlich
    - Setzt Inbetriebnahme der MA-Kavitäten voraus
  - Modell entsprechend erweitert
  - Test in Maschinenexperimenten

„It's kind of fun to do the impossible."
– Walt Disney



Ein Experimentbetrieb über LSA in der Strahlzeit 2016 ist weder geplant noch möglich. Das System befindet sich immer noch im Prototypstadium und ist nicht für den Routinebetrieb durch Operateure geeignet.

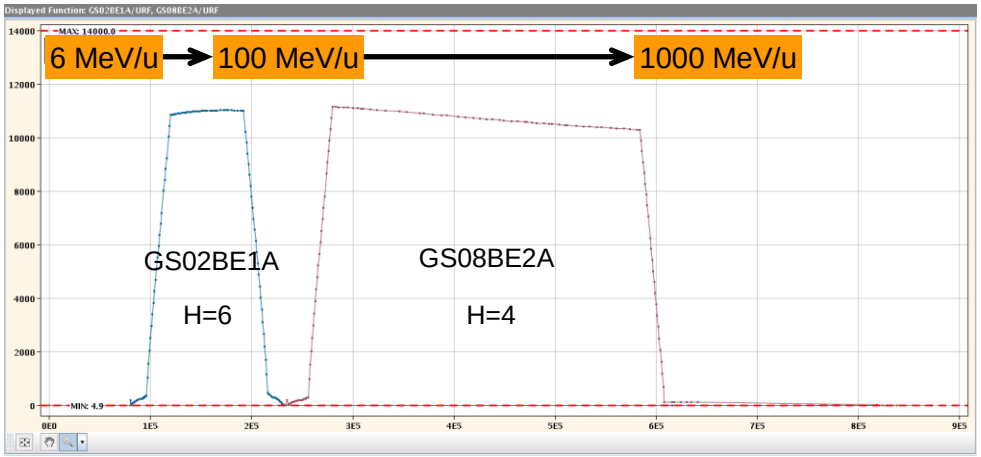
B-EXP 2016: Zwischenplateau

- Beschleunigung von U^{73+} bis 1 GeV/u mit Umbunchen auf Zwischenplateau
  - Einfang bei 6 MeV/u mit H=6 (ggf. auch H=8)
  - Beschleunigung bis Zwischenplateau (100 MeV/u)
  - Debunchen und Rebunchen mit H=4
  - Beschleunigung bis 1 GeV/u

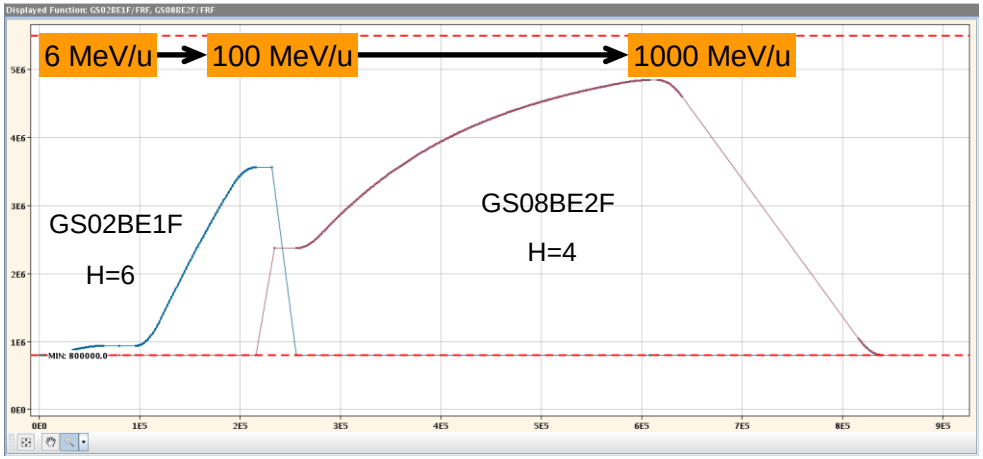
- Randbedingungen
  - Bei geringer Rampensteilheit nur je eine Ferritkavität
  - Keine Synchronisierung der Kavitäten erforderlich
  - Im Prinzip jede Harmonische möglich
  - Sollte auf Anhieb funktionieren

- Weitere Möglichkeiten
  - Bei Verwendung von H=8 und H=4 synchronisierter Betrieb der Ferritkavitäten möglich
  - Dann Rampensteilheiten bis zu 4 T/s möglich

HF-Spannungsrampen für U^{73+}



HF-Frequenzrampen für U^{73+}



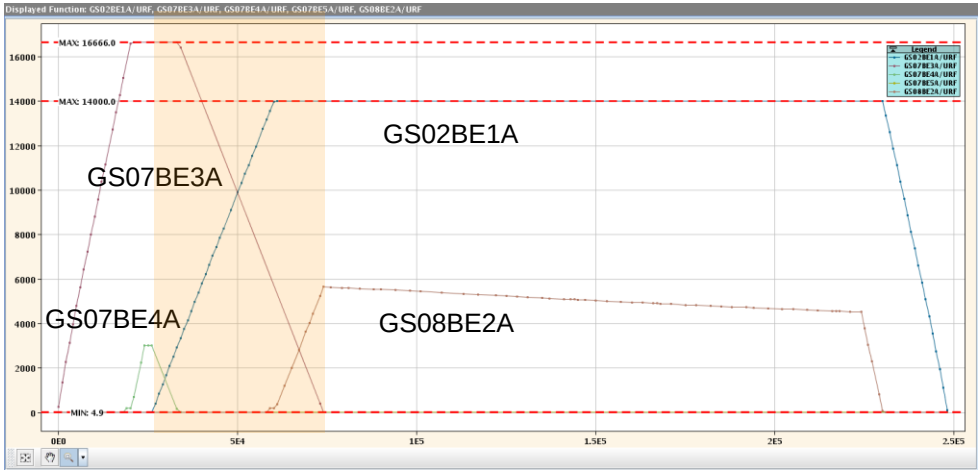
B-EXP 2016: MA- und Ferritkavitäten

- Beschleunigung von U^{73+} bis 1 GeV/u mit MA-Kavitäten und Ferritkavitäten
  - Einfang bei 6 MeV/u mit MA-Kavitäten bei H=4
  - Übergabe des Strahls an Ferritkavitäten im gemeinsamen Frequenzbereich
  - Beschleunigung bis 1 GeV/u mit Ferrit-Kavitäten bei H=4

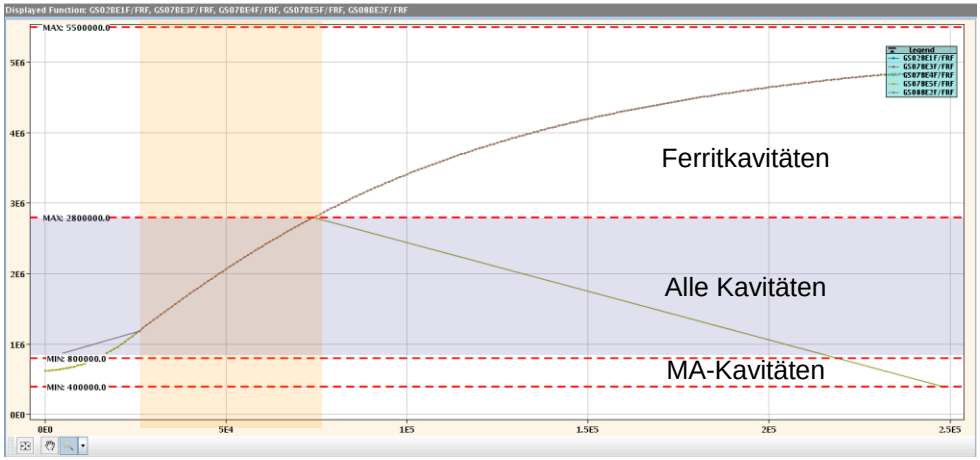
- Randbedingungen
  - Inbetriebnahme mind. einer MA-Kavität abgeschlossen
  - Synchronisierung von MA- und Ferritkavitäten
  - Rampensteilheit abhängig von verfügbaren Kavitäten

- Weitere Möglichkeiten
  - Bei synchronisiertem Betrieb von 2 MA- und 2 Ferritkavitäten Rampensteilheiten bis zu 4 T/s möglich
  - Bis zur Übergabe des Strahls auch 2H-Beschleunigung mit H=4 (MA) und H=8 (Ferrit)
    - Reduktion der Raumladung bei niedrigen Energien

HF-Spannungsrampen für U^{73+}



HF-Frequenzrampen für U^{73+}

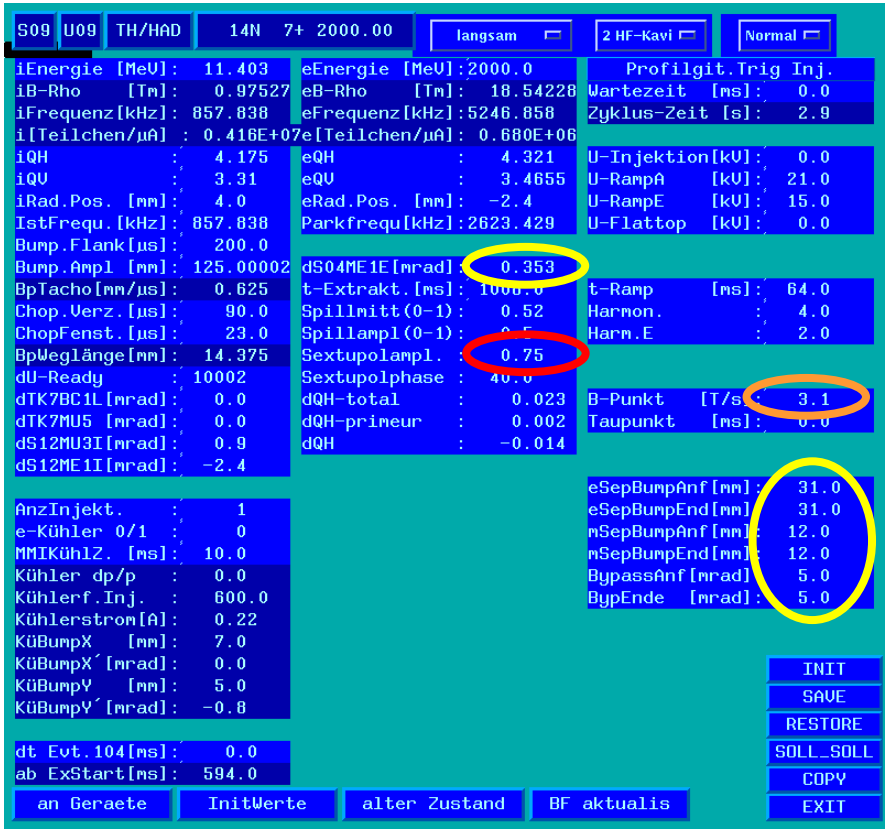


SISMODI vs. LSA: Fehlerbehandlung

- Modelle für Ringbeschleuniger sind komplex
  - Wertebereichsüberschreitungen nicht auszuschließen
  - Wie damit umgehen?

- Philosophie von SISMODI
  - Überschreitungen vermeiden durch Veränderung der Eingangsparameter für die Berechnung

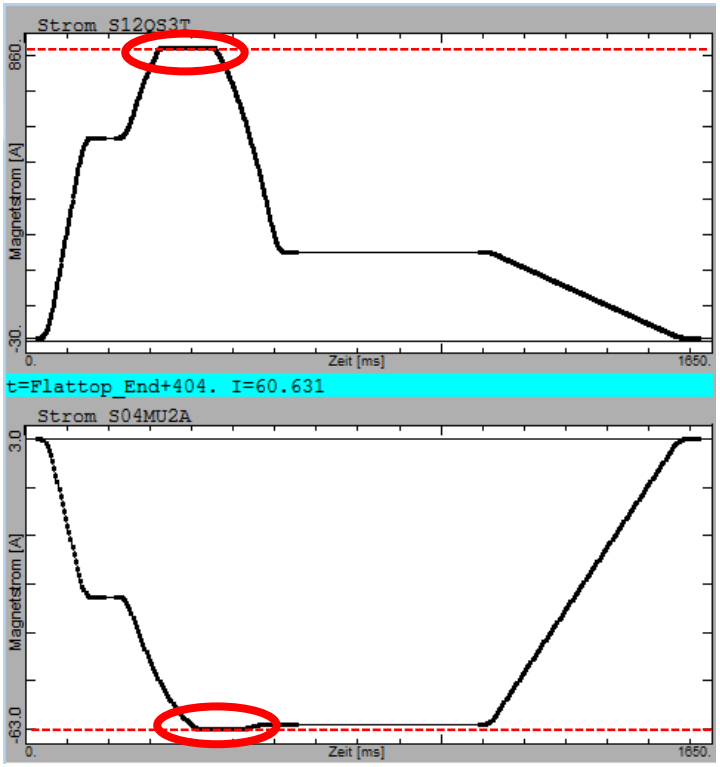
- Veränderungen durch SISMODI in der Praxis
  - Änderung des Eingabewerts auf der Standardoberfläche
  - Änderung von anderen Modellparametern, nur sichtbar auf Expertenblatt
  - Änderung von internen Zwischenparametern, für Bediener unsichtbar
  - Speicherung des ursprünglichen Wertes im Hintergrund und automatisches Zurücksetzen („Wollwerte“)



Mögliche Wahrnehmung des Bedieners:
„In SISMODI geht nie etwas schief.“

SISMODI: Fehlerhafte Rampen

- Nicht alle Wertebereichsüberschreitungen durch Veränderung von Eingangsparametern vermeidbar
- Philosophie von SISMODI
  - Änderung von Rampen durch Beschneidung auf den erlaubten Wertebereich (sehr fragwürdig...)
- Beschneidung von Rampen in der Praxis
  - Änderung der Rampen erfolgt im Hintergrund
  - Keine Blockade des virtuellen Beschleunigers
  - Ausführung VAcc mit „kaputten“ Rampen
  - Anzeige in Meldungsfenster, aber leicht übersehbar
- Fehlende Gerätegrenzwerte für manche Rampen
  - Gerät (FE) lehnt Daten ab und meldet Fehler
  - SISMODI ignoriert Fehlermeldung vom Gerät (!)
  - Ausführung VAcc mit alten Daten („kaputte Rampen“)
- Rampenfehler führen häufig zu Ausfällen
  - „Kaputte Rampen“ meist von Geräte-RB diagnostiziert



Mögliche Wahrnehmung des Bedieners:
„In SISMODI geht nie etwas schief.“

Neue Datenversorgung: Fehlerbehandlung

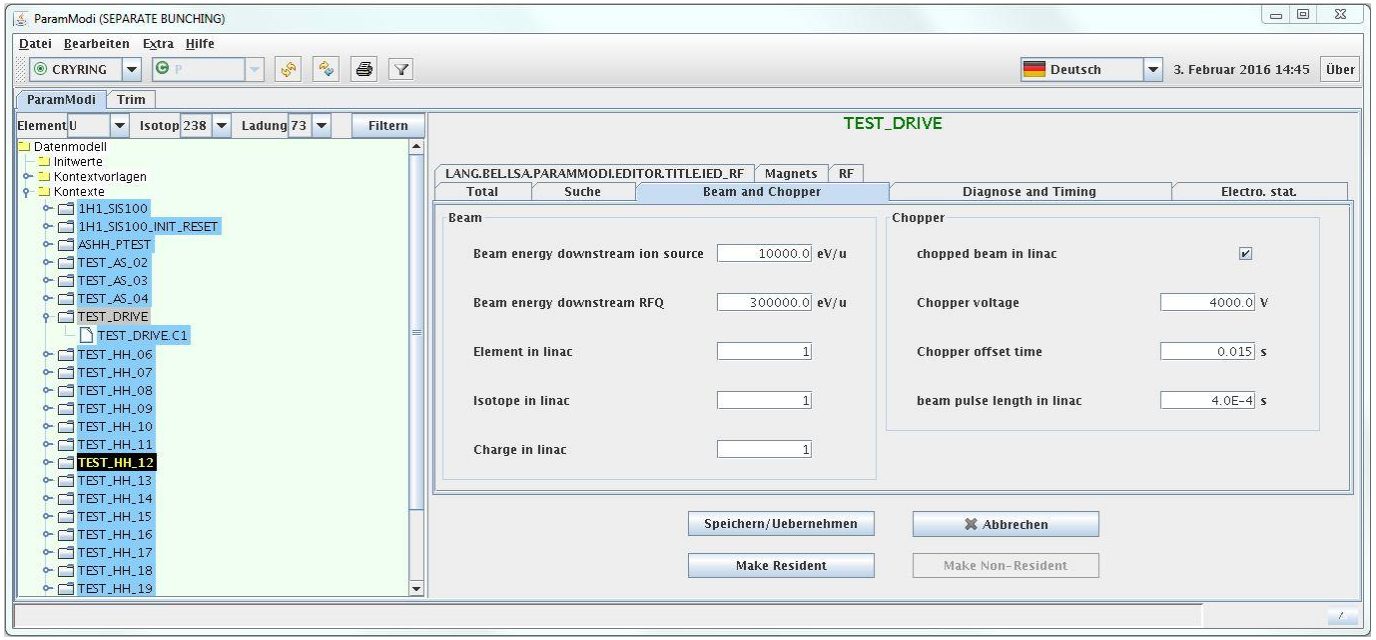
- Wertebereichsüberschreitungen auch mit neuer Datenversorgung nicht auszuschließen
- Philosophie
  - Keine Veränderung der Eingabeparameter
  - Wertebereichsüberschreitung führt zu Exception bei Berechnung auf dem LSA-Server
  - Ausgabe einer Fehlermeldung in der Applikation
  - Daten werden nur an Geräte geschickt, wenn ALLE Berechnungen erfolgreich waren
  - Beschleuniger wird nur wieder ausgeführt, wenn ALLE Geräte neue Daten ohne Fehlermeldung akzeptieren
- Konsequenzen für Betrieb
  - Keine „kaputten Rampen“ mehr
  - Daten entsprechen den angezeigten Parametern
  - **Fehler bei Berechnung häufiger!**
- Hilfen
  - Präzise Fehlermeldungen, Hierarchie für Ursache
  - Bereitstellung von passenden Init-Werten
  - Schulung der Operateure für spezielle Betriebsmoden
  - Möglichst einheitliche Einstellkonzepte

KONSISTENZ
KONSISTENZ
KONSISTENZ
KONSISTENZ
KONSISTENZ
KONSISTENZ
KONSISTENZ
KONSISTENZ

Betrieb SIS18 ab 2018

- Wiederinbetriebnahme SIS18 nach Umbaumaßnahmen mit neuem Kontrollsystem
- Neues Kontrollsystem zuerst am CRYRING
  - Ausschließlich FAIR-Technologie (FESA, LSA, Timing)
  - Entwicklung Betriebsapplikationen und Ausbildung Operateure in Zusammenarbeit mit Betrieb
- Retrofitting für SIS18
  - Umstellung aller Front-Ends auf FAIR-Technologie für SIS18 und HEBT nicht möglich
  - Alte FE's müssen weiter unterstützt werden
  - Datenversorgung ausschließlich über LSA mit robusten Maschinenmodellen

Aktueller Entwicklungsstand der Applikation ParamModi (äquivalent zu SISMODI) für den CRYRING



Zusammenfassung

- LSA bietet exzellente Möglichkeiten für die Verbesserung des Betriebes des SIS18
- Implementierung des Maschinenmodells durch Projektgruppe FAIR-DV
- Viele Erweiterungen für den FAIR-Betrieb sind schon implementiert
- Das Modell ist durch den Einsatz in Maschinenexperimenten bereits sehr robust
- Ersatz für SISMODI ist vorhanden, Oberfläche muss aber noch verbessert werden
- Applikationen für die Integration von Strahldiagnose werden entwickelt
- Betriebserfahrung mit LSA wird am CRYRING möglich sein
- Ab 2018 wird Datenversorgung am SIS18 ausschließlich über LSA erfolgen

Danke für die Aufmerksamkeit!

Ich danke allen Kolleginnen und Kollegen der FAIR-DV-Projektgruppe für ihren unermüdlichen Einsatz und ihren persönlichen Beitrag zum Erfolg des Projektes.

Ich danke den Kolleginnen und Kollegen der Fachgruppen, insbesondere der Ring-HF-Gruppe, für die hervorragende Zusammenarbeit während der Maschinenexperimente.

Mein besonderer Dank gilt den Kolleginnen und Kollegen, die Material für diesen Vortrag zur Verfügung gestellt haben.