



**Abschlußbericht zum GSI-Projekt:**

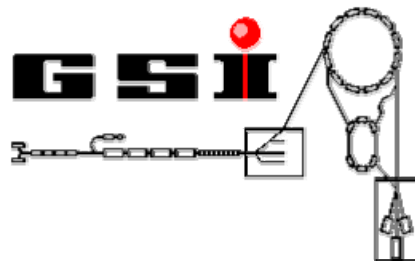
# **Digitale HF-Regelung für den flexiblen Einsatz in Synchrotrons**

(FU 200F+E) Berichtszeitraum: 15. Juli 2004 bis 31. Dezember 2006



Prof. K. Fricke-Neuderth  
Dr. Bernhard Zipfel

Hochschule Fulda  
Fachbereich Elektrotechnik und  
Informationstechnik



Dr.-Ing. Harald Klingbeil

Gesellschaft für  
Schwerionenforschung (GSI)

7. Februar 2007



### Inhaltsverzeichnis

**DIGITALE HF-REGELUNG FÜR DEN FLEXIBLEN EINSATZ IN SYNCHROTRONS ..... 1**

**1 AUZFÄHLUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE ..... 3**

1.1 EINLEITUNG ..... 3

    1.1.1 *Zweck und Notwendigkeit*..... 3

1.2 STATUS DER ARBEITEN ..... 4

    1.2.1 *Status Programmierung und Simulation* ..... 4

    1.2.2 *Status Hardware-Entwicklung* ..... 5

    1.2.3 *Konzeptarbeit* ..... 5

1.3 REALISIERTE ARBEITEN ..... 6

**2 VORHABENSPLANUNG ..... 7**

2.1 VERGLEICH DES STANDS DES VORHABENS MIT DER PLANUNG ..... 7

    2.1.1 *Status der Anwendungen* ..... 8

        2.1.1.1 Amplitudenregelung ..... 8

        2.1.1.2 Eigenfrequenzregelung ..... 8

        2.1.1.3 Synchronisation von Kavitäten ..... 8

        2.1.1.4 Phasenregelung bei unterschiedlichen Harmonischen ..... 8

        2.1.1.5 Bunch-Merging ..... 8

        2.1.1.6 Strahlphasenregelung ..... 8

2.2 HABEN SICH AUSGABEN/KOSTENZEITRAUM GEÄNDERT? ..... 9

2.3 ERGEBNISSE VON DRITTER SEITE ..... 9

2.4 ÄNDERUNGEN IN DER ZIELSETZUNG ..... 9

**3 VERWERTUNGSPLAN ..... 9**

**4 AUSBLICK ..... 10**

**5 GESAMTLISTE DER VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE ..... 10**

5.1 REFERENZEN ..... 10

5.2 WEITERE VERÖFFENTLICHUNGEN: ..... 11

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	2/12



### Abschlußbericht

Zuwendungsempfänger:  
HS-Fulda  
(Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik,  
Prof. K. Fricke-Neudert)

Förderkennzeichen:  
FU 200F+E

Vorhabenbezeichnung: (Thema)  
Digitale HF-Regelung für den flexiblen Einsatz in Synchrotrons

Laufzeit des Vorhabens:  
2½ Jahre ab 15.6.2004

Berichtszeitraum  
15.7.2004 bis 31.12.2006

## 1 Aufzählung der wichtigsten Ergebnisse

Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse

### 1.1 Einleitung

Dieses Dokument zählt die Arbeiten auf, die zum GSI-Projekt "Digitale HF-Regelung für den flexiblen Einsatz in Synchrotrons" geleistet wurden. Es beschreibt die erreichten Ergebnisse und zeigt für die Zukunft weiterführende Arbeiten und Optionen auf.

#### 1.1.1 Zweck und Notwendigkeit

In Bezug auf die Durchführung der Projekte "SIS18-Upgrade", "Bunch Compression", "h2-Kavität" und "FAIR" der GSI ist dieses Projekt von nachdrücklicher Wichtigkeit.

- 1) Strahlverluste im SIS müssen in Bezug auf das SIS18-Upgrade minimiert werden. Eine exakte Phasenregelung (sowohl der Kavitäten als auch des Strahls) kann zur Minimierung von Strahlverlusten beim Einfang und auf den Beschleunigungsrampen beitragen.
- 2) Für die "Bunch-Compression" muss eine Synchronisation der Kavität auf die Strahlphase erfolgen.
- 3) Für einen 'bunch-to-bucket'-Transfer von einem Ring zum anderen über einen langen Transportweg muss eine minimale longitudinale Emittanz erreicht werden und ebenfalls eine Synchronisation der beschleunigenden Kavitäten stattfinden.
- 4) Die Synchronisation einer Vielzahl von Beschleunigungskavitäten im FAIR-Projekt muss gewährleistet werden.

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	3/12



- 5) Synchronisierter, doppelt-harmonischer Betrieb der Beschleunigungskavitäten zur Kompensation von Raumladungseffekten ist erwünscht.
- 6) Für die Generierung hochintensiver Teilchenbündel für Stoßexperimente minimalen Wirkungsquerschnitts ist eine synchronisierte Strahlgymnastik mit 'bunch merging', 'bunch compressing' etc. mit unterschiedlichen Frequenz- und Amplitudenrampen erforderlich (FAIR).

Minimale Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung sind:

- exakte Amplituden und Phasenmessung bei variablen Frequenzen über einen sehr großen dynamischen Bereich
- stabile und robuste Regelalgorithmen
- minimale Regel- und Steuerzeiten

## 1.2 Status der Arbeiten

Die erforderlichen Arbeiten werden in Software- und Simulations-Arbeiten und in Hardwarearbeiten klassifiziert. Da die VHDL- Softwareentwicklung für die digitale Steuerung und Kommunikation der Komponenten speziell an die Anwendung bzw. Hardwarekomponente gebunden ist, wird sie der Hardwareentwicklung zugeordnet.

### 1.2.1 Status Programmierung und Simulation

Zur theoretischen Simulation des Regelungssystems zur Kavitäten-Synchronisation ist ein Modell mit der Simulations-Software MATLAB<sup>®</sup>-Simulink<sup>®</sup> erstellt worden [1]. Diesem Modell wurden Module zur Darstellung der DDS und der Kavitäten als Modell hinzugefügt. Nun ist es möglich, die Kavitäten-Regelung bei variabler Frequenz (z.B. auf einer Frequenzrampe bei der Beschleunigung) zu simulieren und auf ihre Stabilität zu prüfen. Übereinstimmungen des optimalen Wertes sowie des Stabilitätsbereichs des Verstärkungsfaktors der Reglerwirkung (Gain) zwischen der Simulation und dem Laborexperiment wurden gefunden [2].

Die neuen Kavitätenmodelle lassen Simulationen bei 'detuning' der Eigenfrequenzregelung zu, was evtl. für die Kompensation von Beamloading-Effekten wichtig werden kann.

Ein weiteres Simulationsprogramm wurde erstellt, welches die Einflüsse der Strahlphasenregelung für die Beschleunigungsspannung auf die Strahldynamik darstellt. Charakteristische Parameter für Frequenzen, Filter, Regler, DSP-Phasendetektor, Rauschen und Verzögerungen können gesetzt werden. Durch Vorgabe der Beschleunigergeometrie sowie der Rampen für HF-Frequenz und Dipolmagnetfeld lassen sich ganze Beschleunigungszyklen im longitudinalen Phasenraum inklusive Frequenzanalysen der zu erwartenden Bunch-Signale bei wirkender Regelung untersuchen [3].

Mit diesem Werkzeug wurde eine mögliche Lösung für ein variables digitales Filter für die Strahlphasenregelung theoretisch untersucht. Die Strahlphasenregelung wird mit sehr dynamischen Eingangssignalen angesteuert, die von der Strahlphasensonde BPM her

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	4/12



stammen. Sie können Rauschen und Artefakte enthalten. Es konnte eine passende Normierung des Verstärkungsfaktors des Filters für den gesamten abzudeckenden Frequenzbereich gefunden werden. Außerdem konnte für Teilchen, die bis nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden ( $\beta \rightarrow 1$ ) eine zusätzliche Normierung gefunden werden, die die Effektivität der Strahlphasenregelung über den gesamten Beschleunigungszyklus erhalten kann [4].

### 1.2.2 Status Hardware-Entwicklung

a). Die digitale Kommunikation zwischen DSP-System, Kontrollsystem und DDS (Kavitätensteuerung) kann mit dem nun fertiggestellten universell einsetzbaren Interface-Board auf FPGA-Basis (FIB [16]) betrieben werden. Eine neue Version der DDS zur Generierung der Frequenzvorgaben für die Kavitäten wurde damit als Aufsteckkarte auf dieses Kommunikations-Board verwirklicht (FIB-DDS [5]). Der DSP kann nun über die ComPort- Schnittstelle des FIB die DDS regeln [6]. Diese sogenannte FIB-DDS wurde am 13.12.2005 in den standardmäßigen Betrieb für die Steuerung der Frequenz der sogenannten Slave-Kavität bei der Kavitäten-Synchronisation integriert. Bei der Entwicklung der FIB-DDS sind zwei Diplomarbeiten der HS-Fulda eingeflossen [7][8].

b). Eine weitere Diplomarbeit der Hochschule Fulda [9] hatte das Ziel, ein Datenfeld aus Parametern von einer Programmierschnittstelle zu lesen und nichtflüchtig zu speichern. Diese Funktion soll dazu dienen, eine Kennlinie oder Parameterdaten in einem Register auf dem FPGA bereitzuhalten, welche dann von mehreren Komponenten gleichzeitig und bitweise ausgelesen werden können. Mittelfristig kann diese Funktion, auch auf einem FIB realisiert, in der Eigenfrequenzregelung der Kavitäten eingesetzt werden.

c). Ein digital gesteuerter Oszillator auf Basis der FIB-DDS zur Erzeugung des Signals für den Local Offset Oszillator (Offset-LO) steht nun zur Verfügung. Mit ihm wird es möglich sein, auch unterschiedliche Harmonische auf feste Phasenbeziehung zueinander regeln zu können. Voraussetzung dafür ist, dass der Offset-LO exakt kohärent zum Offset-LO der Grundfrequenz arbeitet. Bei Prüfungen hat sich herausgestellt, dass die Phasendetektion für unterschiedlich harmonische Frequenzen besonders harte Anforderungen bezüglich Phasenlinearität und Verzögerungszeit an Filter und andere Bauteile in der Kette der Signalverarbeitung stellt. Es ist auch in Erwägung gezogen nicht tolerierbare Phasengänge der Ausgangsfilter durch eine Kalibrierung der Firmware zu kompensieren. Eine solche Lösung kann auf Basis der Diplomarbeit von Herrn Hartmann [9] erfolgen.

d). Auf der Grundlage des FIB mit einer ADC/DAC-Aufsteckkarte (FIB-FAB) wird eine digitale Logik entwickelt, die es dem DSP-System der Phasenregelung ermöglichen soll, mit sehr kleinen Verzögerungszeiten den Eingangspegel an den ADC-Eingängen zur Phasendetektion zu regeln. Dieses Modul wird die Wirkung der Phasenregelung in Zukunft noch verbessern können.

### 1.2.3 Konzeptarbeit

Für das Projekt "Facility for Antiproton and Ion Research" (FAIR) [11] an der GSI wurde als Konsequenz aus dem übergreifenden Regelkonzept [12] festgestellt, dass eine Entwicklung einer schnellen digitalen Kommunikation zwischen den FIB-DDS-Modulen zwischen getrennten Betriebsräumen für verschiedene Kavitätengruppen zusätzlich notwendig wird.

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	5/12



Diese Kommunikation dient zur Verteilung von Phasenreferenzen für die Betriebsräume durch kohärent laufende FIB-DDS-Module. Für die Verteilung einer lokalen Phasenreferenz (z.B. einer DDS der Strahlphasenregelung, die auf die Bunch-Signale synchronisiert ist) auf die Betriebsräume muss die Übertragung der Steuersignale von einer Master-Referenz (ein FIB-DDS-Modul) zur Erzeugung von Phasenreferenzen vor Ort mit Slave-Referenzen (ebenfalls FIB-DDS-Module) exakt synchron erfolgen. Zur Lösung dieser Aufgabe wurde ein zusätzlicher Projektantrag von der Hochschule Fulda an die GSI genehmigt. Die Ausschreibungen zu dieser Arbeit sind momentan im Gang.

### 1.3 Realisierte Arbeiten

Abgeschlossene Arbeiten und Funktionen:

1. Diplomarbeiten der HS-Fulda von U.Fischer [7], A. Elfimow [8], F. Hartmann [9].
2. Fertigung der FIB-DDS [16] und Implementierung der Kommunikation zwischen DSP und Kontrollsystem mit DDS.
3. Untersuchung der Wirkung Kavitäten-Synchronisation im Maschinenexperiment [17].
4. Kavitäten-Synchronisation mit neuer FIB-DDS in den Standardbetrieb übernommen [15].
5. Erweitertes MatLab/Simulink Modell zur Kavitäten-Synchronisation für Frequenzrampen [2]. Anhand dieses MATLAB-Modells der Kavitätenregelung wurden Untersuchungen zur Stabilität der Kavitätenregelung durchgeführt. Parameterbereich für 'Gain' konnte festgelegt werden. Außerdem konnte die kürzeste für den optimalen Fall erreichbare Regelzeit bestimmt werden.
6. Analysesoftware für Strahlphasenregelung im SIS18 Beschleuniger System [3].
7. Präsentation des Konzeptes der Digitalen Kavitätenregelung [21] und der Strahlphasenregelung [22] auf dem LLRF-Workshop am CERN (Okt.2005) [23].
8. Eine Synchronisation einer FIB-DDS auf das Bunchsignal des Beschleunigers SIS18 auf dem 'Flattop' bei konstanter Extraktionsenergie konnte an einem Testaufbau durchgeführt werden. Diese Synchronisation ist für die Ansteuerung der Bunch Kompression für das Projekt "SIS12/18 upgrade" notwendig.
9. Für die Phasenmessung bei unterschiedlich harmonischen Frequenzen ist ein digitaler Offset-Oszillator entwickelt worden, der kohärent zur Grundfrequenz schwingt und mit dessen Hilfe es möglich ist, beliebige Multiharmonische einer Frequenzrampe auf die gleiche konstante Zwischenfrequenz zur Phasendetektion zu mischen. Dieser Oszillator weist jedoch noch einen frequenzabhängigen Phasengang über den weiten Einsatzbereich von 0.2-30MHz auf. Eine Kompensation dieses Verhaltens kann

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	6/12



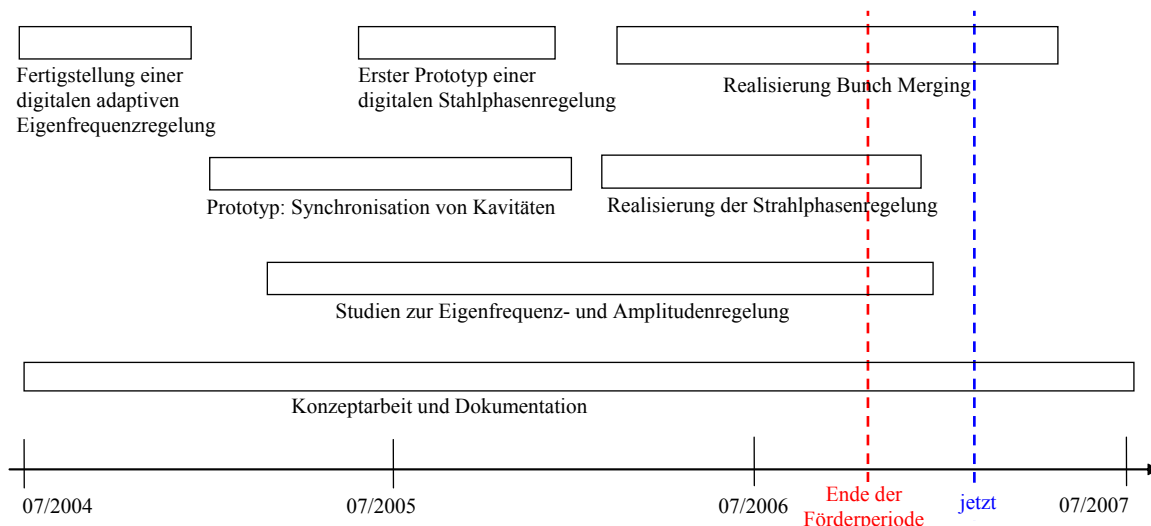
notwendig werden.

10. Auf der Basis der gleichen Hardware, die zur Kavitätsynchronisation benutzt wird, wurde durch Implementierung eines digital konfigurierbaren Filters ein Regelsystem zur Strahlphasenregelung gebaut.
11. Tests der Strahlphasenregelung in ersten Maschinenexperimenten haben die Wirksamkeit dieses Systems nachweisen und das Prinzip der Regelung bestätigen können [10]. Die Definition der optimalen Regelungsparameter für die verschiedenen Ionensorten und Beschleunigungszyklen muss in weiteren Maschinenexperimenten erfolgen. Daraus folgend können sogenannte 'Events', Steuersignale und Parameterrampen zur automatischen Steuerung der Strahlphasenregelung abgeleitet werden. Die folgende Anbindung an das Kontrollsystem wird dann noch erheblichen koordinativen Aufwand bedeuten.

## 2 Vorhabensplanung

### 2.1 Vergleich des Stands des Vorhabens mit der Planung

Vergleich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des Zuwendungsgebers geänderten) Arbeits-, Zeit- und Ausgaben/Kostenplanung.



### Projektplanung

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	7/12



### 2.1.1 Status der Anwendungen

Mit den oben beschriebenen Aktivitäten ergibt sich folgender Status für die Anwendungen.

#### 2.1.1.1 Amplitudenregelung

Die entwickelte Amplitudenregelung der SIS18 Kavitäten erfüllt die gestellten Anforderungen. Studien zur Amplitudendetektion sind abgeschlossen [24]. Weitere Schritte sind nicht geplant.

#### 2.1.1.2 Eigenfrequenzregelung

Die Eigenfrequenzregelung erfüllt zur Zeit die gestellten Anforderungen. Messungen während Experimenten [17] haben gezeigt, dass die schnelle Kavitäten-Synchronisation in der Lage ist, langsame Phasenänderungen durch nicht synchrone Abläufe der Eigenfrequenzregelungen unterschiedlicher Kavitäten auszuregeln.

#### 2.1.1.3 Synchronisation von Kavitäten

Die Synchronisation der Kavitäten wurde in den Standardbetrieb übernommen [15].

#### 2.1.1.4 Phasenregelung bei unterschiedlichen Harmonischen

Ein kohärenter digitaler Local Offset-Oszillator für die doppelt harmonische Frequenz der Beschleunigungsspannung steht nun auf Basis der FIB-DDS zur Verfügung. Er kann auch standardmäßig als LO-Oszillator eingesetzt werden. Lediglich die Firmware unterscheidet sich beim Einsatz als standardmäßiger LO-Oszillator oder für den Betrieb unterschiedlichen harmonischen Frequenzen. Er wird den herkömmlichen LO-Oszillator ablösen. Aufgrund der in Kapitel 1.3. unter Punkt 9. aufgeführten Anforderungen kann eine Nachbesserung dieser Komponente erforderlich werden. Eine genaue Analyse der Auswirkungen eines leichten Phasenganges auch in Bezug auf die Teilchendynamik und eine evtl. notwendige Reduktion bzw. Kompensation dieses Phasenganges wird Bestandteil des Folgeprojektes sein.

#### 2.1.1.5 Bunch-Merging

Der kohärente digitale Local Offset-Oszillator für doppelt harmonische Frequenzen ermöglicht die Synchronisation zweier Kavitäten unterschiedlicher harmonischer Frequenz. Damit kann das Kontrollsystem entsprechende zeitsynchrone Rampen für das Ein- bzw. Ausschalten der HF-Amplitude an den beiden Kavitäten für das Bunch-Merging senden. Dazu wurden erste konzeptionelle Überlegungen [12] durchgeführt. Ein Termin für einen Praxistest der Offset-LOs in einem Maschinenexperiment zum Bunch Merging steht noch nicht fest.

#### 2.1.1.6 Strahlphasenregelung

Um Fragen zur Strahldynamik unter dem Einfluss der Strahlphasenregelung beantworten zu können, wurde eine Software entwickelt und numerische Simulationen des Regelsystems mit Wirkung auf die Strahldynamik im Synchrotron durchgeführt [3].

Folgende Fragen konnten dabei beantwortet werden:

- Beinhaltet das Signal des digitalen Phasendetektors die benötigte Information für eine direkte Ausregelung der longitudinalen Bunch-Schwingungen? [4]
- Kann das Signal für die Regelung der Kavitäten auf die Strahlphase aufbereitet werden? [4]

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	8/12





- In einem Maschinenexperiment konnte gezeigt werden, dass die Strahlphasenregelung, ein komplexes dynamisches System, den Strahl stabilisiert [10]. Weitergehende Experimente werden zeigen, ob insbesondere während des adiabatischen Einfangs und während der Beschleunigungsrampe, bei sich ändernder synchroner Phase des Bunch weiterhin eine Stabilisierung mit dem System möglich ist.

### 2.2 Haben sich Ausgaben/Kostenzeitraum geändert?

Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Ausgaben/Kostenzeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert?

Ein Übergang vom Prototypenzustand zum standardmäßigen Betrieb der Strahlphasenregelung im SIS18 ist von der zur Verfügung stehenden Strahlzeit für Maschinenexperimente und von den Prioritäten abhängig. Das Gleiche gilt für das 4:2:1-Bunch-Merging. Realisierung beider Aufgaben haben Abhängigkeiten vom Entwicklungsstand zusätzlicher Steuerungsrampen und Signale durch das Kontrollsystem.

### 2.3 Ergebnisse von dritter Seite

Sind inzwischen von dritter Seite Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind? (Darstellung der aktuellen Informationsrecherchen nach Nr. 2.1 BNBest-BMBF 98 bzw. Nr. 6.1 NKBF 98).

Auf dem Workshop LLRF2005 am CERN wurde deutlich, dass andere führende Forschungsstätten an Lösungen für vergleichbare Probleme arbeiten. Andere Forschungsstätten verfolgen ähnliche Konzepte, besitzen aber keine verfügbaren Lösungen, die alle Anforderungen erfüllen.

### 2.4 Änderungen in der Zielsetzung

Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?

Die Strahlphasenregelung ist in dem vorgesehenen Projektrahmen bis zum Prototypenstatus entwickelt worden. Ihr Einsatz im Standardbetrieb ist mit erheblichem Aufwand für die Anbindung an das Zentrale Kontrollsystem verbunden.

## 3 Verwertungsplan

Die in diesem Projekt entwickelten Regelungen finden Einsatz im Projekt "SIS18 upgrade". Anschlussfähigkeit besteht auch in der "Doppelt Harmonischen Beschleunigung" und beim Einsatz in "FAIR". Die Konzepte und die Hardwareentwicklung der Strahlphasenregelung finden im EU-Projekt "Longitudinal Feedback" Verwertung und können dort für die erweiterten Aufgaben zur Stabilisierung einzelner Bunche weiterentwickelt werden.

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	9/12

## 4 Ausblick

Die Master-Kavität der Kavitätensynchronisation sollte aus Gründen der Standardisierung in naher Zukunft als zweite Kavität auch mit der neuen FIB-DDS ausgerüstet werden. Dies bietet zusätzlich Möglichkeiten der unabhängigen Synchronisation jeder der beiden Kavitäten im SIS18 auf unterschiedliche Referenzen. Dies ist auch ein weiterer Schritt zu einer flexiblen Mehrkavitätenregelung, wie sie für das SIS100/300 im FAIR-Projekt notwendig werden wird.

Für das Fernziel und in Bezug auf FAIR sollten in naher Zukunft folgende Arbeiten in Angriff genommen werden:

- Der Programmcode der Simulation der Strahlphasenregelung wird modularisiert, dokumentiert und geprüft, damit in Zukunft Simulationen zur Anwendung der Strahlphasenregelung im SIS100/300 Beschleunigungszyklus durchgeführt werden können.
- Der Dynamikbereich und die Präzision der Phasendetektion des DSP-Phasendetektors [24] sollen mit einem neuen FIB-ADC/DAC-Modul für sehr schnell ansteigende HF-Rampen weiter verbessert werden.

Folgende Fragen konnten im Zeitrahmen dieses Projekts nicht mehr ausreichend untersucht werden (Sie sind nicht Bestandteil des beschriebenen Projektes gewesen).

- Ist es möglich, die Strahlphasenregelung auch während des doppelt-harmonischen Betriebs des SIS12/18 einzusetzen?
- Wie kann das Strahlphasenregelsystem für den Einsatz im zukünftigen System FAIR erweitert werden?

Insbesondere der letzte Punkt bedingt eine schnelle Kommunikation zwischen FIB-Modulen über lange Distanzen, die es ermöglicht, Phasenreferenzen wie die FIB-DDS in weit entfernten Betriebsräumen exakt kohärent zu erzeugen und zu steuern. Diese Aufgabe wird in einem eigenständigen Projekt "Inter-DDS-Kommunikation der Digitalen Mehr-Kavitäten-Regelung für das FAIR-Projekt" konzeptioniert und entwickelt werden.

Konzeptionelle Arbeiten mit Bezug zu den Projekten "h2-Kavität", "FAIR" und "BuTiS" werden in dem Folgeprojekt "Digitale Kavitätenregelung für doppelt-harmonische Beschleunigersysteme" fortgesetzt.

## 5 Gesamtliste der Veröffentlichungen und Vorträge

### 5.1 Referenzen

- [1] Sanket, "RF Cavity Synchronization", Master Thesis, 2004
- [2] A. Malik, B. Zipfel, "Summary of new Cavity Synchronisation Models and Results of Simulations", interne Arbeitsnotiz, GSI, 2006
- [3] B. Zipfel, "Kurzanleitung zu SCS", interne Arbeitsnotiz, GSI, 2006
- [4] B. Zipfel, "Parameter und Filter für Strahlphasenregelung am SIS12/18", Rev. 0.9, GSI, 2006

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	10/12



- [5] M. Kumm, "FIB – User Manual v.0.8", GSI, 8.2005
- [6] H. Klingbeil, "DSP-Software Implementation v.1.4", 9.2005
- [7] U. Fischer, "Entwurf und Implementierung eines echtzeitfähigen Network-on-Chip für den Einsatz in zeitkritischen Regelungsaufgaben", Diplomarbeit, HS-Fulda, 2005
- [8] A. Elfimow, "Realisierung eines DDS-HF-Synthesizers für digitale Regelungssysteme", Diplomarbeit, HS-Fulda, 2005
- [9] F. Hartmann, "Nichtflüchtige, hardwareeffiziente Realisierung einer Kennlinie auf einem FPGA", Diplomarbeit, HS-Fulda, 16.2.2007
- [10] B. Zipfel, H. Klingbeil, "Beam Phase Control Experiment", GSI interne Notiz, 2007
- [11] "Conceptual Design Report: An International Accelerator Facility for Beams of Ions and Antiprotons", GSI, 2003
- [12] H. Klingbeil, P. Hülsmann, P. Moritz, G. Schreiber, B. Zipfel, "Technical Concept Cavity Synchronization", Rev. 0.91, GSI, 2005
- [13] H. Klingbeil, "Kavitätensynchronisation", GSI, 2004
- [14] H. Klingbeil, M. Emmerling, "Gesamtkonzept Digitale Regelungen", Rev. 0.60, GSI, 2002
- [15] GSI Jahresbericht 2005, "Commissioning of the SIS12/18 Cavity Synchronization System"
- [16] M. Kumm, H. Klingbeil, "FIB-DDS Dokumentation", GSI, 2005
- [17] O. Chorniy, H. Damerau, G. Schreiber, B. Zipfel, "Machine Development Experiments on Cavity Synchronization in the SIS12/18", GSI Arbeitsnotiz 2005  
B. Zipfel, " Zusammenfassung Kavitäten-Synchronisation", GSI, 2005
- [18] B. Zipfel, " Phasensynchronisation einer DDS auf BPM ", Rev. 0.50, GSI Arbeitsnotiz, 2005
- [19] P. Moritz: "Technical Concept Bunchphase-Timing-System BuTiS", Rev. 0.92, 2005
- [20] H. Klingbeil, P. Moritz: "Digitale Regelungen & BuTiS", 140404-V1.3, GSI
- [21] H. Klingbeil et al.: "A Cavity Synchronization System for Heavy Ion Synchrotrons Based on DSP, DDS and FPGA Technology", Workshop LLRF05, CERN, 2005  
<http://indico.cern.ch/contributionDisplay.py?contribId=5&sessionId=53&confId=a050>
- [22] B. Zipfel, K. Fricke-Neuderth, et al.: "Analysis of a Digital Beam Phase Control System", Workshop LLRF05, CERN, 2005  
<http://indico.cern.ch/contributionDisplay.py?contribId=15&sessionId=53&confId=a050>
- [23] Homepage und Dokumentenserver Workshop LLRF05:  
<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=a050>
- [24] B. Zipfel, "BZ41018.Phasen und Amplitudendetektion mit dem DSP Sundance SMT374-6713 Dual", GSI, 2004

### 5.2 Weitere Veröffentlichungen:

- [25] P. Moritz: "Bunchphasen-Timing-System BuTiS", Rev. 1.10, 2003
- [26] H. Klingbeil, "Digitale Kavitätensynchronisation", Rev. 1.30, GSI, 2005
- [27] H. Klingbeil, M. Emmerling, "Phasenregelung" Rev. 0.60, 2002
- [28] H. Klingbeil, M. Emmerling, "Gesamtkonzept Digitale Regelungen", Rev. 0.60, 2002

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	11/12



# GSI

## Digitale HF-Regelung für den flexiblen Einsatz in Synchrotrons

- [29] M. Kumm, "GSI MIL-Bus Test software for the SIS", Rev. 0.62, 2004
- [30] H. Klingbeil, M. Emmerling, "Phasenregelung" Rev. 0.60, 2002
- [31] B. Zipfel, "Phasendetektion für Signale unterschiedlicher Frequenz", GSI internal note, 2004
- [32] LEIR am CERN: <http://project-leir-dsp-bc.web.cern.ch/project-leir-dsp-bc>
- [33] LHC Design Report: <http://ab-div.web.cern.ch/ab-div/Publications/LHC-DesignReport.html>
- [34] Dr. Fumihiko Tamura, Dr. SCHNASE, Alexander, Dr. YOSHII, Masahito, Dr. YAMAMOTO, Masanobu, Dr. NOMURA, Masahiro, Dr. OHMORI, Chihiro, Dr. HARA, Keigo, Dr. TAKAGI, Akira, Dr. ANAMI, Shozo, Dr. EZURA, Eizi, "[J-PARC Ring-RF Group - Development of LLRF control system for J-PARC RCS](#)"

Autor	Datum	Version	Dateiname	Seite
B.Zipfel	20.02.2007	1.0	BZ70207.Statusbericht Digitale Regelung 3.v1	12/12