

Normalleitende Beschleunigungsstrecken für Elektronen/Positronen – MHF-e –

MHF-e betreibt die 500-/1000-MHz-HF-Systeme aller Elektronen-Ringbeschleuniger. Diese HF-Systeme bestehen aus 16 Senderanlagen mit insgesamt 28 Dauerstrich-Klystrons. Davon sind 23 800-kW-Klystrons, ein 600-kW-Klystron, zwei 300-kW-Klystrons und zwei 250-kW-Klystrons. Die DC-Anschlussleistung der 16 Senderanlagen beträgt 34 MW. Die HF-Leistung wird über ca. 3,5 km Hohlleiter auf ca. 120 normalleitende und 16 supraleitende Resonatoren verteilt.

HF-Betrieb für HERA-e

Im Berichtsjahr 2006 liefen die acht 500-MHz HF-Systeme 225 Tage für den Betrieb von HERA-e. Während dieser Zeit wurden 165 technische Störungen registriert. Das entspricht ca. fünf Störungen pro Woche. In 1/5 der Fälle war zum Störungszeitpunkt kein Strahl in der Maschine, so dass der Beschleunigerbetrieb nicht beeinträchtigt war. Mit Strahlbetrieb ging bei einer HF-System Störung in $\frac{3}{4}$ der Fälle der Strahl verloren. Die Störanfälligkeit des HF-Systems mit den supraleitenden Kavitäten war im Berichtsjahr deutlich geringer als in den vergangenen Jahren.

Die mittlere Zeit zwischen zwei Störungen war:

- Supraleitendes HF-System 8 Tage
- Normalleitende HF-Systeme 7-28 Tage (Mittelwert 11 Tage)

HF-Betrieb für DORIS-III

Im Berichtsjahr 2006 liefen die zwei 500-MHz HF-Systeme 267 Tage für den Betrieb von DORIS-III. Während dieser Zeit wurden 22 technische Störungen registriert. Das entspricht ca. zwei bis drei Störungen pro Monat. Die beiden HF-Systeme DORIS-NL und DORIS-SR waren zu gleichen Teilen an den Störungen beteiligt.

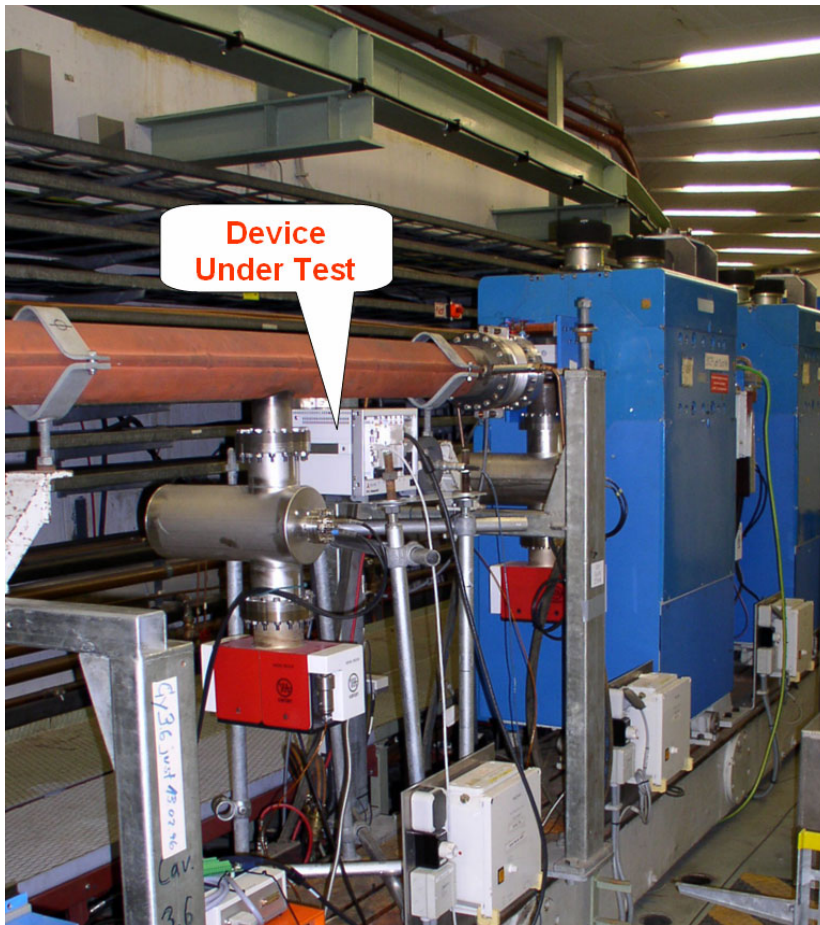
Die mittlere Zeit zwischen zwei Störungen war:

- HF-System DORIS-NL 24 Tage
- HF-System DORIS-SR 24 Tage

Vorbereitende Arbeiten für PETRA-III

Für PETRA-III wurden Planungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt, am Bau von Prototypen gearbeitet, Serienfertigungen über die Abteilung –FE- gestartet, Komponenten beschafft und Abnahmemessungen an gelieferten Komponenten durchgeführt. Insgesamt war für PETRA-III im Jahresmittel ein 7 Vollzeit-Arbeitskräften entsprechendes Personal-Äquivalent gebunden. Ein Arbeitsschwerpunkt war die Software-Entwicklung für das Kontroll- und Interlock-System. Sie erforderte knapp die Hälfte des genannten Personal-Äquivalents. Es wurde am strukturellen Aufbau von Software-Modulen, an der Architektur des Datenverkehrs und an der Entwicklung von Algorithmen für eine vollautomatische Cavity-Regelung gearbeitet. Im DORIS-Ringtunnel werden seit zwei Jahren Elektronik-Komponenten auf ihre Betriebszuverlässigkeit unter Strahlungsbelastung getestet. Ein wichtiger Meilenstein war der erfolgreiche Upgrade der herkömmlichen Cavity-Einkopplungen auf 250 kW HF-Vorlaufleistung und die Bereitstellung von 12 Einkopplungen für den späteren Einbau bei PETRA-III.

Test von Elektronik-Komponenten auf ihre Betriebszuverlässigkeit unter Strahlungsbelastung im DORIS-Ringtunnel



Bei PETRA-III ist beabsichtigt Elektronik im Ringtunnel, direkt unterhalb der Cavities zu installieren und zu betreiben. Zur Ermittlung der Betriebszuverlässigkeit unter Strahlungseinfluss wird eine repräsentative Elektronik im DORIS-Ringtunnel, an verschiedenen Orten mit erhöhter Strahlungsintensität, betrieben (in Bogennähe, dicht am Strahlrohr). Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen. Erste Ergebnisse lassen jedoch vermuten, dass die Elektronik bis zu einer Dosis von mindestens 10 Gy zuverlässig arbeitet. Bei DORIS beträgt die Dosisleistung im Bereich der Cavities ca. 1 mGy pro Tag. Bei PETRA-3 wird aufgrund des wesentlich größeren Dipol-Radius und des ebenfalls wesentlich größeren Abstands der Cavities von den Bögen, mit einer deutlich geringeren Strahlendosisleistung gerechnet.

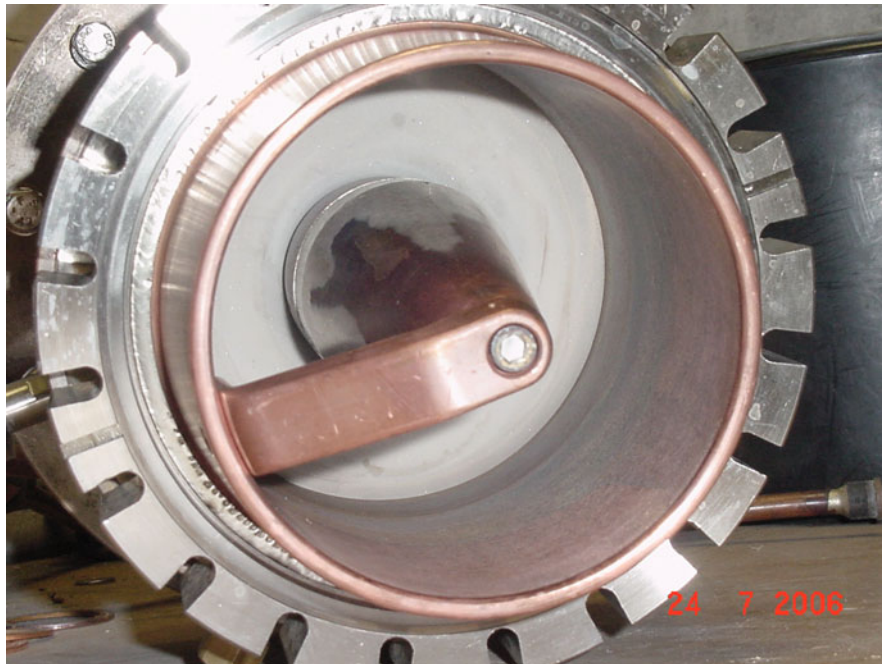
Upgrade der herkömmlichen Cavity-Einkopplungen auf 250 kW

Seit Juni 2004 wurden 33 Cavity-Einkopplungen konditioniert und getestet, um eine verlässliche Prozedur zu finden, die ursprünglich einmal für 60 kW konzipierten sog. PETRA-Koppler sicher bis 250 kW betreiben zu können. Konditionierungen und Leistungstests wurden an einem Kopplertest-Cavity durchgeführt, das von einem 600-kW Klystron gespeist wird. Zum Konditionieren fährt eine Automatik die HF-Leistung zyklisch hoch und herunter und erhöht bei jedem erfolgreich absolvierten Zyklus die Maximalleistung um 10 kW. Die Automatik überwacht dabei das Vakuum im Test-Cavity und senkt die HF-Leistung automatisch ab, sobald der Vakuumdruck den Grenzwert von $5 \cdot 10^{-7}$ mbar übersteigt. Gewöhnlich macht das Konditionieren der Einkopplungen zunächst gute Fortschritte. Bei vakuumseitigen Überschlägen im Leistungsbereich oberhalb von ca. 150 kW beginnt dann aber meistens eine Degradierung. Es kommt zu immer häufigeren Überschlägen bei immer niedrigeren Leistungen, bis schließlich die Verlustleistung des keramischen Vakuumfensters schon bei einigen 10 kW Vorlaufleistung gefährlich hoch wird. Der Konditionier- Prozess muss dann abgebrochen werden, um einen Bruch des Vakuumfensters zu vermeiden. Die im Konditionier-Prozess gescheiterten Koppler zeigen gewöhnlich vakuumseitig eine graue - manchmal auch rötliche - Belegung des Fensters. Der Belag besteht aus Lotmaterial (Silber-Legierung) oder Kupfer, das bei Überschlägen vom Mittelleiter des Kopplers abgetragen wurde und sich zum Teil auf der Keramik niedergeschlagen hat. In der Vergangenheit war es immer rätselhaft, warum viele Koppler bereits frühzeitig durch eine Vielzahl von Überschlägen und resultierender Bedampfung des Vakuumfensters aufgegeben werden mussten und nur wenige relativ problemlos mehr als 250 kW erreichten. Durch mehrere neu eingeführte Maßnahmen wurde erreicht, dass jetzt alle Koppler problemlos und verlässlich auf eine

-MHFe-

Ebert

Vorlaufleistung von über 250 kW konditioniert werden können und bei dieser Leistung auch dauerhaft zu betreiben sind.



Cavity-Einkopplung Typ „PETRA“

Typisches Bild eines während der Konditionierung gescheiterten Kopplers. Die grauen Stellen auf dem Mittelleiter stammen vom überschüssigen Silberlot einer Lötung nahe der Keramik. Dort wurde durch Überschläge Material abgetragen, das sich dann als grauer Schleier auf der Kupferoberfläche des Außenleiters und in Schlierenform auf der Keramik des Vakuumfensters abgelagert hat.

Neu eingeführte Maßnahmen:

1. Sandstrahlen des Mittelleiters. Durch das Sandstrahlen wird die Rautiefe der Oberfläche von $R_z = 2...4 \mu\text{m}$ auf $R_z = 9...12 \mu\text{m}$ erhöht.
2. Koppler-Interlock auf Lichtdetektor-Basis anstatt über Vakuumdruckmessung. Der Lichtdetektor überwacht den Koppler vakuumseitig durch ein gegenüberliegendes Quarzfenster.
3. Modifizierte Konditionierung.
 - Senkung der Steilheit der Leistungsrampe von 60 kW/min auf 15 kW/min.
 - Einführung 30minütiger Zwischenintervalle bei konstanter Leistung.
 - Frequenzmodulation der HF mit einer Modulationsfrequenz von 400 Hz und einem Frequenzhub von 100 kHz.

Die mit Abstand wirkungsvollste Maßnahme ist das Sandstrahlen des Mittelleiters. Durch die im mikroskopischen Maßstab stärker zerklüftete Oberfläche sinkt die Wahrscheinlichkeit für Sekundärelektronen, die Oberfläche mit nennenswerter Energie zu verlassen und weitere Sekundärelektronen zu erzeugen. Damit wird das sogenannte „Multipacting“ unterdrückt, das oft ursächlich für Überschläge im Koppler ist.

Vergleich der etablierten mit der neuen Vorbehandlungs- und Konditionier-Methode:

	Konditioniererfolg mit der seit Jahrzehnten etablierten Vorbehandlungs- und Konditionier-Methode	Konditioniererfolg mit der neuen Vorbehandlungs- und Konditionier-Methode
Anteil der auf 250 kW konditionierten Koppler	8/27 \approx 30%	6/6 = 100%
Anzahl Vakuum-Zusammenbrüche durch Koppler-Überschläge während der Konditionierprozesse	Max: 212 Ø: 60 Min: 3	Max: 12 Ø: 2 Min: 0
Dauer der Konditionierprozesse	Max: 118h Ø: 46h Min: 16h	Max: 35h Ø: 30h Min: 27h

500-MHz Klystron-Reserven

Der Engpass an Klystron-Reserven der vergangenen Jahre hat sich im Berichtsjahr ins Gegenteil verkehrt. Seit Anfang 2005 hätten statistisch sechs der 24 500-MHz/800-kW Klystrons ausfallen müssen. Tatsächlich waren im genannten Zeitraum aber nur zwei Ausfälle zu verzeichnen. Im selben Zeitraum wurden sechs neue Klystrons geliefert und drei Klystrons repariert. Dadurch sind wir heute, ein halbes Jahr vor Beendigung des HERA-Betriebes, in der Situation genügend Klystron-Reserven für die nächsten Jahre zu haben. Aufgrund langer Lieferzeiten und statistisch fluktuierender Klystron-Sterberaten, ist es schwierig die Nachbeschaffung von Klystrons so zu terminieren, dass jederzeit ein optimaler Reservebestand zur Verfügung steht. Die erwähnten sechs neuen Klystrons waren bereits Ende 2002 und Anfang 2003 bestellt worden; zu einem Zeitpunkt, als die Reservesituation kritisch war.

Vorträge

S. WILKE

News of the PETRA-3 RF

10th European Synchrotron Light Source RF Meeting, DELTA, Dortmund (September 2006)

M. EBERT

Status of the RF-System for PETRA-3

PETRA-III Review Meeting of the Machine Advisory Committee, DESY, Hamburg, (November 2006)