

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 2005 liefen die acht 500-MHz HF-Systeme 235 Tage für den Betrieb von HERA-e. Während dieser Zeit wurden 219 technische Störungen registriert. Das entspricht ca. einer Störung pro Tag. Allerdings führte nur ca. jede zweite Störung eines HF-Systems zum Strahlverlust. In einem Drittel der Fälle war zum Störungszeitpunkt gerade kein Strahl in der Maschine gespeichert und in einem Achtel der Fälle überlebte der Strahl die Störung eines HF-Systems.

Wie schon in der Vergangenheit, war auch im Berichtsjahr die Störanfälligkeit des HF-Systems mit den supraleitenden Kavitäten deutlich höher als die Störanfälligkeit der HF-Systeme mit normalleitenden Kupfer-Kavitäten.

Die mittlere Zeit zwischen zwei Störungen war:

- Supraleitendes HF-System 2 Tage
- Normalleitende HF-Systeme 15 Tage (Mittelwert)

Ca. 10% der registrierten Störungen wurden durch kurze Aussetzer der HF-Ausgangsleistung der Senderanlagen HERA-NL, -NR und -WR verursacht. Diese Störungen äußerten sich durch plötzliche Strahlverluste, ohne dass zunächst eine Ursache zu finden war. Erst die Durchforstung von Transientenrekorder-Dateien brachte Aufschluss. In den Datensätzen war zu erkennen, dass hin und wieder die HF-Ausgangsleistung von Senderanlagen innerhalb einiger 10µs auf null ging und dann innerhalb einiger Millisekunden zurückkehrte. Nach langwierigen Untersuchungen wurden die Modulatorröhren, die zur Leistungssteuerung der Klystrons dienen, als Störungsverursacher ermittelt. Nach einem Austausch der Modulatorröhre waren die Leistungsaussetzer zunächst verschwunden. Es gab jedoch bis zum Ende des HERA-Betriebes keine Erklärung für den Störungsmechanismus. Erst nach dem Beginn der Wartungszeit führten weitere Untersuchungen zu Erkenntnissen, aus denen wirksame Gegenmaßnahmen abgeleitet werden konnten (siehe: **Modulatorröhren-Überschläge**).

Gegenüber 2004 gab es 2005 deutlich weniger Auslösungen der Klystronschutz-Systeme (Crowbars inkl. Sensorik). Der Grund hierfür ist vermutlich die in der vergangenen Betriebsperiode durchgeführte Desensibilisierung der Sensorik (sog. Rogowski-Monitore wurden gegen Pearson-Monitore ausgetauscht).

HF-Betrieb für DORIS-III

Im Berichtsjahr 2005 liefen die zwei 500-MHz HF-Systeme 210 Tage für den Betrieb von DORIS-III. Während dieser Zeit wurden 30 technische Störungen registriert. Das entspricht ca. einer Störung pro Woche. 60% der Störungen wurden durch das ältere HF-System DORIS-NL verursacht, 40% durch das neuere HF-System DORIS-SR.

Die mittlere Zeit zwischen zwei Störungen war:

- HF-System DORIS-NL 12 Tage
- HF-System DORIS-SR 18 Tage

Modulatorröhren-Überschläge

Ende März 2005 wurde die Senderanlage HERA-NR als Verursacher von plötzlichen Strahlverlusten ermittelt. Überschläge im Bereich der Hochspannungs-Installationen der Senderanlage sperrten schlagartig die Klystrons, so dass für kurze Zeit die HF-Ausgangsleistung des Senders aussetzte. In vielen Fällen ging dadurch der gespeicherte Strahl teilweise oder ganz verloren. **Abb. 1** zeigt den Transientenrekorder-Schnappschuss eines solchen Ereignisses. Die Fehlersuche gestaltete sich sehr schwierig, da einerseits die hohen Spannungen und Ströme (70kV, 30A), als auch die Unregelmäßigkeit der Ereignisse (einige Minuten bis mehrere Tage) die Diagnose erschwerten. Stück für Stück wurden Anlagenteile abgetrennt und einzeln auf Isolationsfestigkeit geprüft, ohne dass eine Schwachstelle gefunden werden konnte. Die Überschläge traten weiterhin in unregelmäßigen Abständen auf. Auf dem Gipfel allgemeiner Ratlosigkeit wurde die Modulatorröhre ausgetauscht (THALES-Tetrode TH-5186). Obwohl niemand ernsthaft damit gerechnet hatte, traten die Überschläge nun nicht mehr auf. Die anschließende prophylaktische Durchsichtung der Transientenrekorder-Datensätze anderer Senderanlagen förderte überraschenderweise 22 ähnliche Signalmuster an den Senderanlagen HERA-NL und -WR zu Tage. Auch dort konnte das Problem durch den Austausch der Modulatorröhre zumindest temporär beseitigt werden. In **Abb.2** ist die Hochspannungs-Installation einer Senderanlage mit dem Überschlagsort an der Modulatorröhre skizziert.

Da die Ursache der Überschläge völlig unverstanden war und der Austausch der Modulatorröhre das Problem nicht immer dauerhaft beseitigte, wurde nach Beginn der Wartungsperiode im Dezember Ursachenforschung betrieben. Es stellte sich heraus, dass der Kühlluftstrom an der Modulatorröhre die Überschläge verursacht. Leitet man die auf die Anode treffende Kühlluft dicht am Glaskolben der Röhre vorbei, kann man bis zu zehn Überschläge pro Stunde erzeugen. Leitet man die Kühlluft mittels eines Ableitbleches vom Glaskolben weg, ereignen sich keine Überschläge mehr. Bemerkenswert ist, dass die Überschlagsrate unabhängig von der Kathoden-Anoden-Spannung der Röhre ist! Die Kathoden-Anoden-Spannung beträgt bei gesperrter Röhre ca. 50 kV und bei aufgesteuerter Röhre ca. 5 kV. Zur physikalischen Erklärung des Effektes gibt es bisher nur Mutmaßungen. Weitere Untersuchungen sind für 2006 geplant. Als Gegenmaßnahme wurden im Dezember alle Modulatorröhren mit Luftableitblechen an den Anoden ausgerüstet (siehe **Abb.3**).

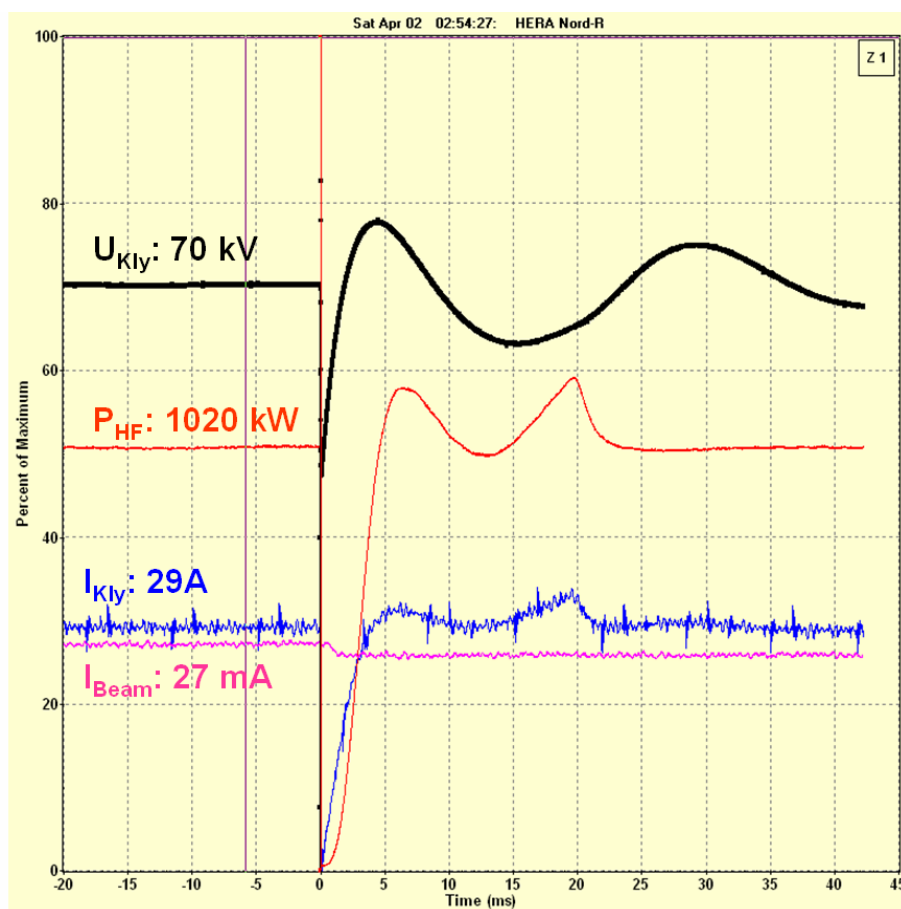


Abb. 1:
Transientenrekorder-Schnappschuss eines Modulatorröhren-Überschlags.

Innerhalb von 30 μ s gehen Klystronstrom und HF-Ausgangsleistung der Klystrons auf null und kehren innerhalb von 5ms in die Nähe der Ausgangswerte zurück. Nach ca. 25ms ist die HF-Ausgangsleistung wieder stabil. Im dargestellten Fall gibt es nur einen leichten Strahlverlust von 27mA auf 26mA. In vielen anderen Fällen ging der Strahl völlig verloren.

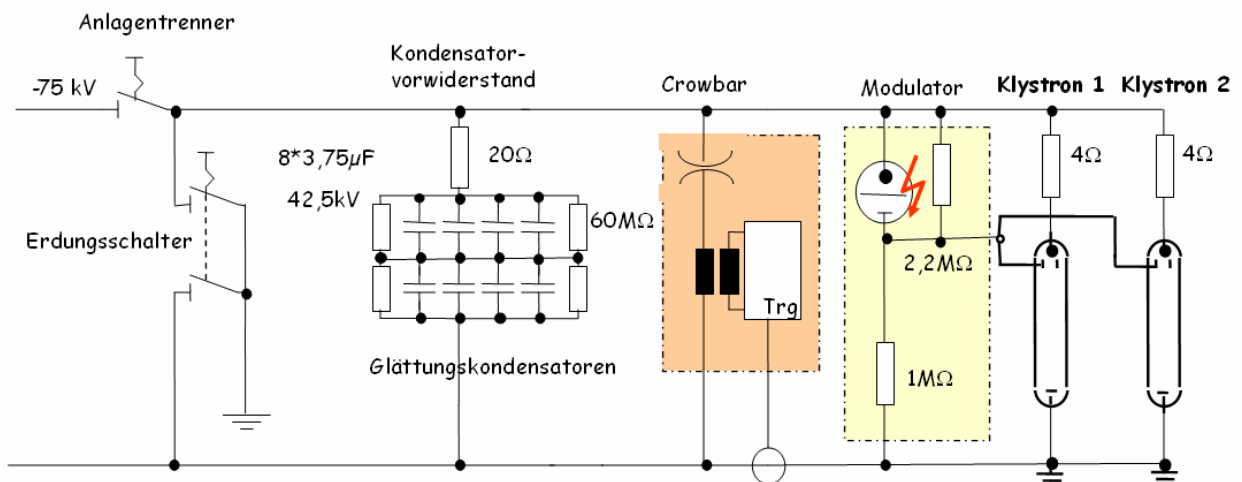


Abb.2: Hochspannungs-Installation einer Senderanlage. Der Zick-Zack-Pfeil skizziert den Überschlagnort an der Modulatorröhre. Wird die Kathoden-Anoden-Strecke der Modulatorröhre niederohmig (z.B. aufgrund eines Überschlages), dann wird das Modulationsanoden-Potenzial der Klystrons auf deren Kathoden-Potenzial gezogen und der Klystronstrom gesperrt. Die HF-Ausgangsleistung geht mit dem Klystronstrom auf null.

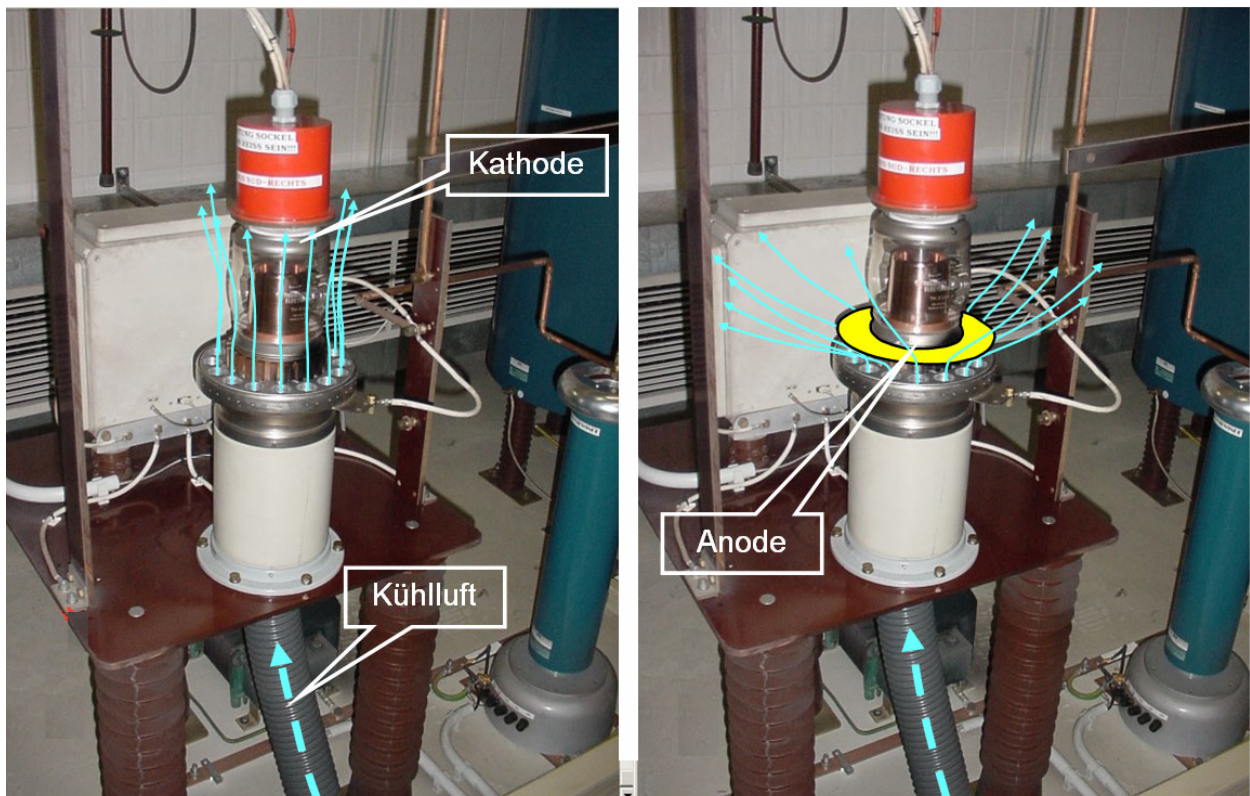
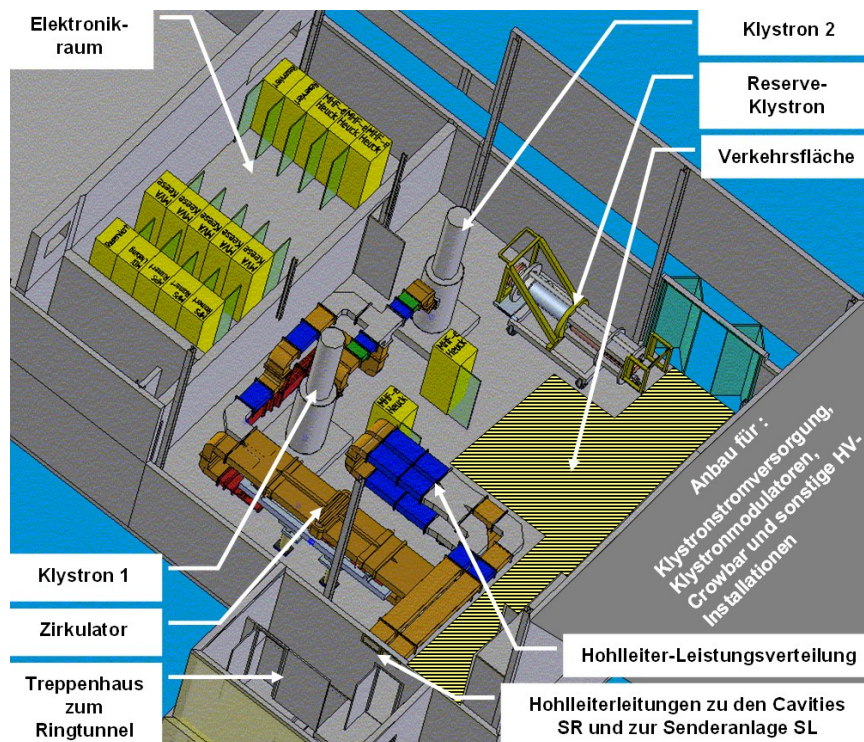


Abb.3: Testaufbau zur Untersuchung der Modulatorröhren-Überschläge am Sender DORIS-SR. Das linke Bild zeigt die bisherigen Verhältnisse. Die Anodenkühlluft streift relativ dicht am Glaskolben der Röhre vorbei und verursacht dadurch Überschläge. Das rechte Bild zeigt den modifizierten Röhrensockel mit dem ringförmigen Luftableitblech (zur besseren Sichtbarkeit gelb eingefärbt)

-MHFe-
Ebert

Planungen und Entwicklungen zur PETRA-III HF



Die Planung der neuen Senderanlagen in den Hallen 42a und 42b konnte im Berichtsjahr im Wesentlichen abgeschlossen werden. In **Abb.4** ist der Aufbau der Senderanlage PETRA-SR in der Halle 42b dargestellt. Der bisherige HV-Raum (in der Abbildung oben links) wird zukünftig als Elektronikraum für Vakuumpumpennetzeile (Gruppe MVA), Diagnose & Instrumentierung (Gruppe MDI), Personensicherheitssysteme (Gruppe MPS) und HF-Elektronik (Gruppe MHFe) genutzt. Für die Klystronstromversorgung, die Klystronmodulatoren, den Crowbar und die sonstigen HV-Installationen werden die Hallen 42a und 42b um einen Anbau erweitert (in der Abbildung unten rechts)

Abb.4: Planung der neuen Senderanlage PETRA-SR in der Halle 42b

Des Weiteren wurde zur Steuerung, Regelung und Kontrolle der neuen HF-Systeme für PETRA-III ein Konzept ausgearbeitet, das es erlauben soll die meisten Anlagenstörungen ohne Werkzeug, ohne Schalt- und Kabelpläne und ohne besondere Detailkenntnisse zu lokalisieren und zu beheben. Das Konzept kommt mit wenigen, gleichartigen Modulen und nahezu ohne Verkabelung aus. Die Hardware für das erste Prototyp-Modul ist fertig gestellt (M. EBERT, *ELWIS - an Unconventional Concept for Automation and Control of RF Systems*, Mini Workshop on Design for High Availability, Grömitz, 2005).

Für das longitudinale Multibunch-Feedback wurde die Eignung eines longitudinalen Feedback-Kickers anhand von Rechnungen und Messungen verifiziert. Der Feedback-Kicker basiert auf dem sog. DAΦNE-Design. Er besteht aus einer 1375-MHz Pill-Box Kavität, die stirnseitig über vier Steghohlleiter mit dem Feedback-Signal gespeist wird. Auf der gegenüberliegenden Stirnseite dienen vier identische Steghohlleiter der Bedämpfung des Grundmodes und der durch den Strahl angeregten höheren Moden. Zu Messzwecken wurde im Berichtsjahr ein 1:1-Messmodell nach Unterlagen vom PSI in Villingen, CH gebaut.

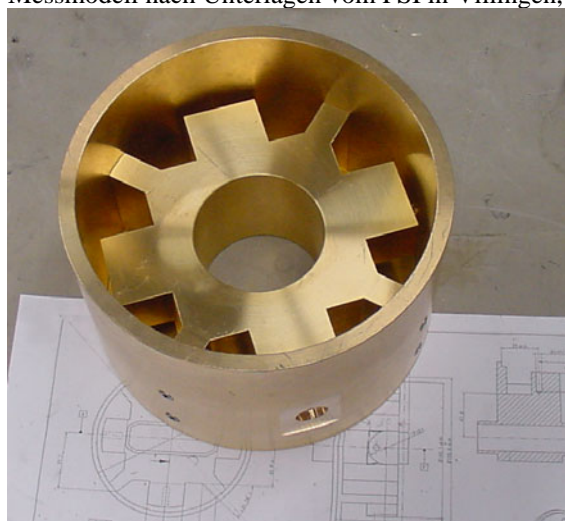


Abb.5: Hälfte einer Pill-Box Kavität mit vier Steghohlleitern in der Stirnfläche

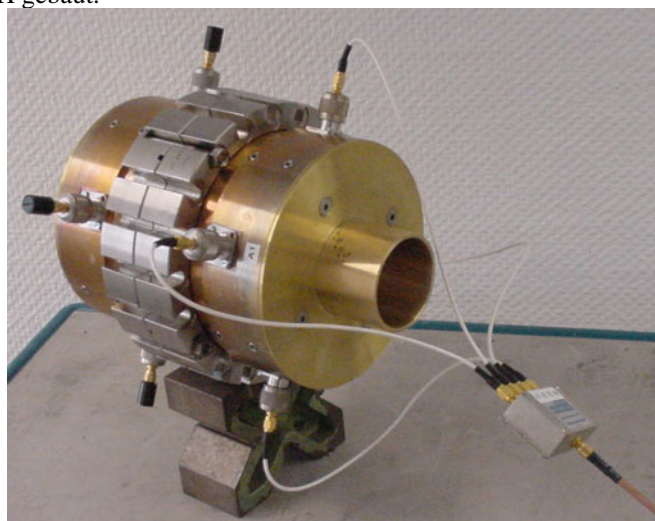


Abb.6: 1:1-Messmodell eines longitudinalen Feedback-Kickers

500-MHz Klystron-Reserven

Der Engpass der Klystron-Reserven der vergangenen zwei Jahre hat sich deutlich entspannt. Für 2005 war der Ausfall von drei Klystrons erwartet worden; tatsächlich ausgefallen ist jedoch keines. Von CPI wurden zwei neue 800-kW-Klystrons des Typs VKP-7958A geliefert und an der Senderanlage HERA-WR in Betrieb genommen. CPI lieferte außerdem ein repariertes Klystron des Typs PHILIPS YK-1304 zurück. Der Prototyp eines für DESY neu entwickelten 800-kW-Klystrons der Firma THALES wurde im Mai geliefert und läuft seitdem an der Senderanlage DORIS-SR. Zusätzlich wurde ein im Jahr 2004 ausgefallenes Klystron des Typs PHILIPS YK-1304 erfolgreich in Eigenleistung repariert (M. EBERT, *Erfolgreiche Reparatur eines 500-MHz Klystrons*, Beschleuniger-Betriebsseminar, Grömitz, 2005). Insgesamt stehen jetzt fünf Klystrons mehr zur Verfügung, als zum selben Zeitpunkt des Vorjahres.

Proc. of the Particle Accelerator Conference PAC05, Knoxville (2005)

M. EBERT, F.-R. ULLRICH

Glycol Substitute for High Power RF Waterloads

9th European Synchrotron Light Source RF Meeting, Aarhus/DK (September 2005)

S. WILKE

PETRA-III RF System Controls: A Radiation Resistant Approach

Beiträge zum Beschleuniger-Betriebsseminar, Grömitz (2005)

M. EBERT

Erfolgreiche Reparatur eines 500-MHz Klystrons

F. MASCHEWSKI

Neuer Klystronschutz für die 500-MHz HERA Sender

R. ONKEN

DORIS Betrieb 2005

S. WILKE

PETRA-II, Bericht über den Betrieb 2005

Beiträge zum Mini Workshop on Design for High Availability, Grömitz (2005)

M. EBERT

ELWIS - an Unconventional Concept for Automation and Control of RF Systems