

SIS18 Spillglättung

- Betriebsoptionen Q1/24
- Gapkeramiksicherheit im Dauerbetrieb

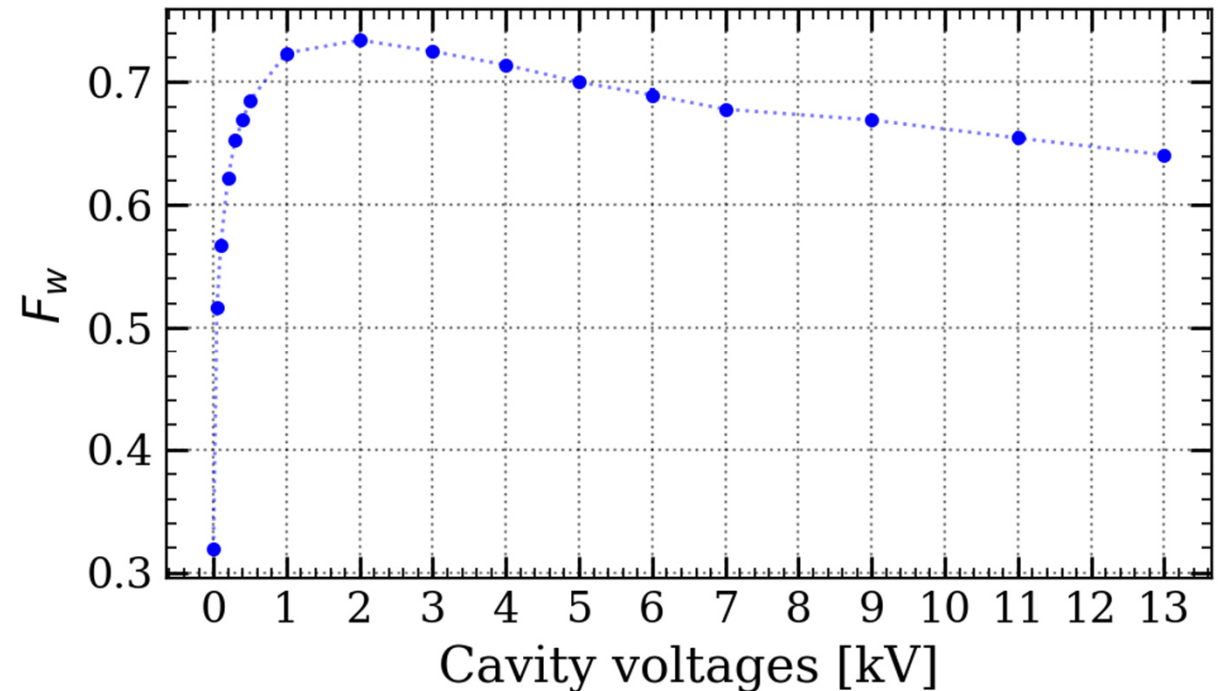
Maschine Meeting 13.02.2024

U. Laier

Die Inbetriebnahme der Spillglättungskavität in der Testumgebung und im SIS18 sowie die erfolgreiche Durchführung des Maschinenexperiments sind eine Gemeinschaftsarbeit von vielen Kolleginnen und Kollegen der Abteilung RRF, allen voran von K. Groß.

SIS18 Spillglättung MDE im November 2023

- MDE 29.11.2023
 - 14N7+, 300 MeV/u
- Messung der Mikrospillstruktur in GHDDI2P (P. Forck, R. Singh, J. Yang, P. Boutachkov)
- Deutliche Verbesserung der Mikrospillstruktur sichtbar
- Bester Effekt bei relativ niedrigen Spannungen 2kV



- Generell sehr geringe Testerfahrung mit dem System: sowohl in der Testumgebung als auch vor allem im SIS18
- Messung der Spillstruktur im Detektor (HADES) als Strahlexperiment. Erneuter Parameterscan, um festzulegen, welche Spannungen benötigt werden.
- Erfahrungen sammeln bzgl. des Auftretens der Lawinenionisation hinter der Keramik der Spillglättung
- Nach Festlegung der benötigten Spannung und basierend auf den Erfahrungen bzgl. der Lawinenionisation:
 - Entscheidung, ob/wann die jetzige Kavität in den Regelbetrieb überführt wird (volle Kontrollsystemanbindung, vollständige Maschinensicherheitsinterlocks, Automatisierung des Kurzschlusses, ...)
 - Entscheidung bzgl. der Notwendigkeit einer Hochstromlösung

SIS18 Spillglättung, aktuelle Einschränkungen in allen Betriebsmodi



- Manuelles Entfernen und Einlegen des Kurzschlussbügels; ohne Kurzschluss ist die Strahlimpedanz ($500\text{k}\Omega$) dauerhaft präsent.
- Konditionierung vor erstem Betrieb notwendig (Dauer wahrscheinlich mehrere Stunden)
- Frequenz wird von Spillglättung vorgegeben, Strahlenergie muss Harmonische treffen.
- Feste lokal vorzugebende Amplitudenrampe (auch Zeitverlauf), ausgelöst durch Beschleunigerevent

SIS18 Spillglättung Betriebsparameter in Q1/24, Teil 1: Strahlexperiment



- Ziel: Messung der Mikrospillstruktur (Fluktuation in den Datenraten) im HADES Detektor für verschiedene Gapspannungen, um eine Maximalspannung festzulegen. Beobachtung des Verhaltens der Kavität hinsichtlich Lawinenionisation.
- Ablauf/Einschränkungen:
 - Kontrolle der Spillglättung durch Fachabteilung
 - Komplette lokale Steuerung
 - Enge Absprache vor und während des Experiments zwischen HADES und Fachabteilung notwendig
 - Einstellung/Kontrolle der Funktion bei hohen Strömen durch Fachabteilung basierend auf FCT Signalen
 - Reduktion der Ströme für Messungen im HADES Detektor

SIS18 Spillglättung Betriebsparameter in Q1/24, Teil 2: Dauerbetrieb I



- Ziel: Erhöhung der Zählraten im Detektor. Beobachtung des Verhaltens der Kavität hinsichtlich Lawinenionisation. Betriebserfahrung sammeln.
- Ablauf/Einschränkungen:
 - Kontrolle der Spillglättung durch HKR/Experimentatoren
 - Komplette lokale Steuerung, Amplitudenrampe wird durch Event ausgelöst
 - Enge Absprache vor und während des Experiments zwischen HADES und Fachabteilung notwendig
 - Einstellung/Kontrolle der Funktion bei hohen Strömen durch Fachabteilung basierend auf FCT Signalen im SIS18. Reduktion der Ströme für Messungen im HADES Detektor. Keine Online Überwachung mittels FCT möglich.
 - Limitierung der Spannung auf 2kV
 - Eigenfrequenzregelung bei 2kV nicht getestet.

SIS18 Spillglättung, Gapkeramiksicherheit im Dauerbetrieb, Herstellervorgaben, Erfahrungswerte



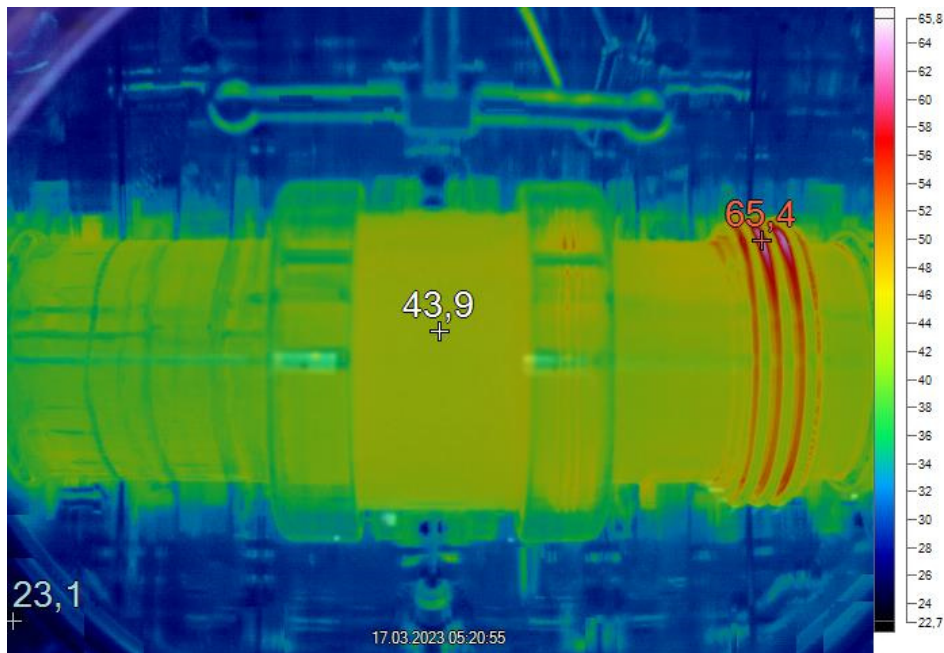
- Aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten können hohe Temperaturgradienten zu mechanischen Spannungen in den verschiedenen Materialien führen.
- Der Hersteller des Strahlrohrs (PINK) hat während des Ausheizens bei ihm die Temperaturgradienten auf 0.3K/min festgelegt und empfiehlt (keine strikte Vorgabe) diese einzuhalten.
- Ähnliche Keramik-Metall-Übergänge werden bei GSI üblicherweise mit Temperaturgradienten zwischen 0.3K/min und 0.5K/min ausgeheizt.
- Bisher wurde bei Konditionieren, Hochfahren, Betrieb und Abschalten der Kavität darauf geachtet, dass 0.2K/min eingehalten wurden.

SIS18 Spillglättung, Gapkermiksicherheit im Dauerbetrieb, Verlustmechanismen



- Es liegen zwei Mechanismen vor, die Leistung in der Keramik des Stahlrohrs deponieren
 - Dielektrische Verluste in der Keramik. Diese liegen immer vor, sobald eine HF-Spannung über das Gap anliegt. Diese Verluste sind materialabhängig und skalieren quadratisch mit der anliegenden Spannung. Sie sind relativ gleichmäßig über die Keramik verteilt.
 - Verluste basierend auf Ionisierungen von Restgas an der Innenseite der Keramik und vermutlichem Auftreffen der Ionen auf die Keramik. Diese Verluste sind aktuell nicht völlig verstanden. Lokale Verteilung der Verluste ist unbekannt. Die Verluste liegen nur dann vor, wenn es zu diesen Ionisierungslawinen kommt.
- Alle beiden Mechanismen führen zu einer Erwärmung des Gaps.

SIS18 Spillglättung, Gapkeramiksicherheit im Dauerbetrieb, dielektrische Verluste I



- Im Normalbetrieb (ohne Lawinenionisation) gehen etwa 40% der treibenden Leistung in die dielektrischen Verluste im Gap.
- Eine Limitation der Gapspannung auf 2kV, würde es erlauben, den Verstärker auf 4W zu limitieren (Shuntimpedanz 500k Ω).

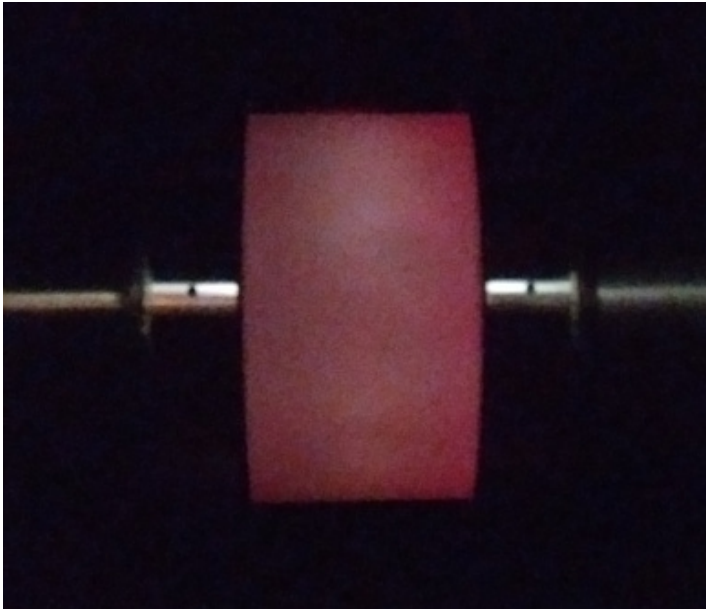
Thermokameraaufnahme des Gaps bei Betrieb in der Testumgebung. Reine dielektrische Verluste.

SIS18 Spillglättung, Gapkeramiksicherheit im Dauerbetrieb, dielektrische Verluste II

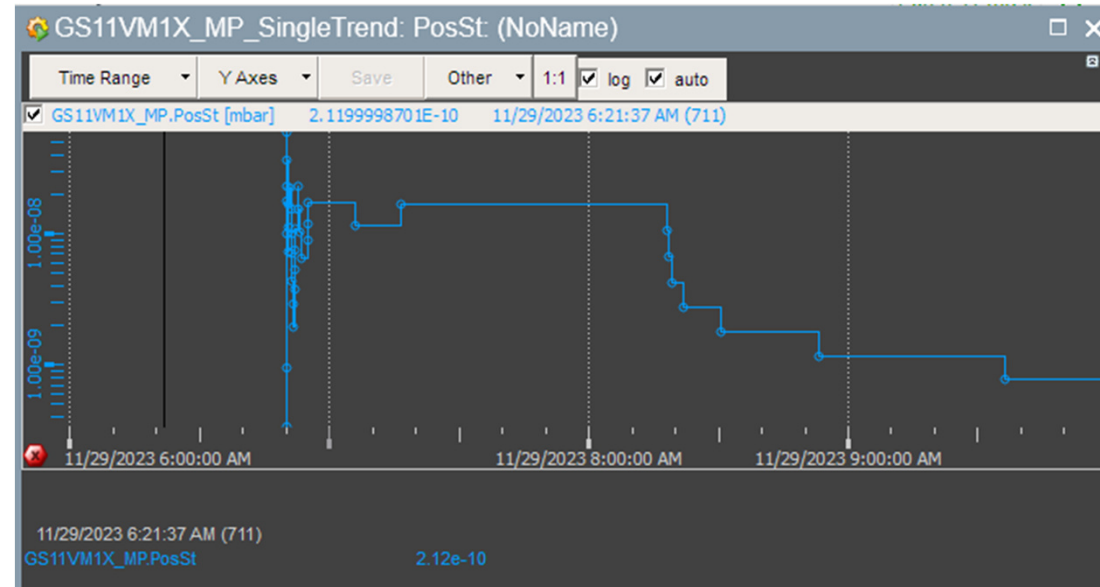


- Aufgrund der kurzen Strecke der Gapkeramik ist es gerechtfertigt anzunehmen, dass sich die dielektrischen Verluste homogen über die Keramik verteilen werden.
- Unter diesen Annahmen beträgt – wenn die gesamten 4W in die Keramik gehen (worst-case) - der maximal zu erwartende initiale Temperaturgradient bei 2kV 0.08K/min, was sicher unterhalb der Empfehlung von PINK (0.3K/min) liegt.
- Die dielektrischen Verluste stellen bei Limitation auf 2kV kein Problem für die Keramik dar.

SIS18 Spillglättung, Gapkeramiksicherheit im Dauerbetrieb, Verluste aufgrund von Lawinenionisation I



Leuchten hinter dem Gap während der Lawinenionisation



Verlauf des Drucks gemessen von Sensor GS11VMX1 (29.11.23). Anstieg bis auf etwa $5e-8$ mbar.

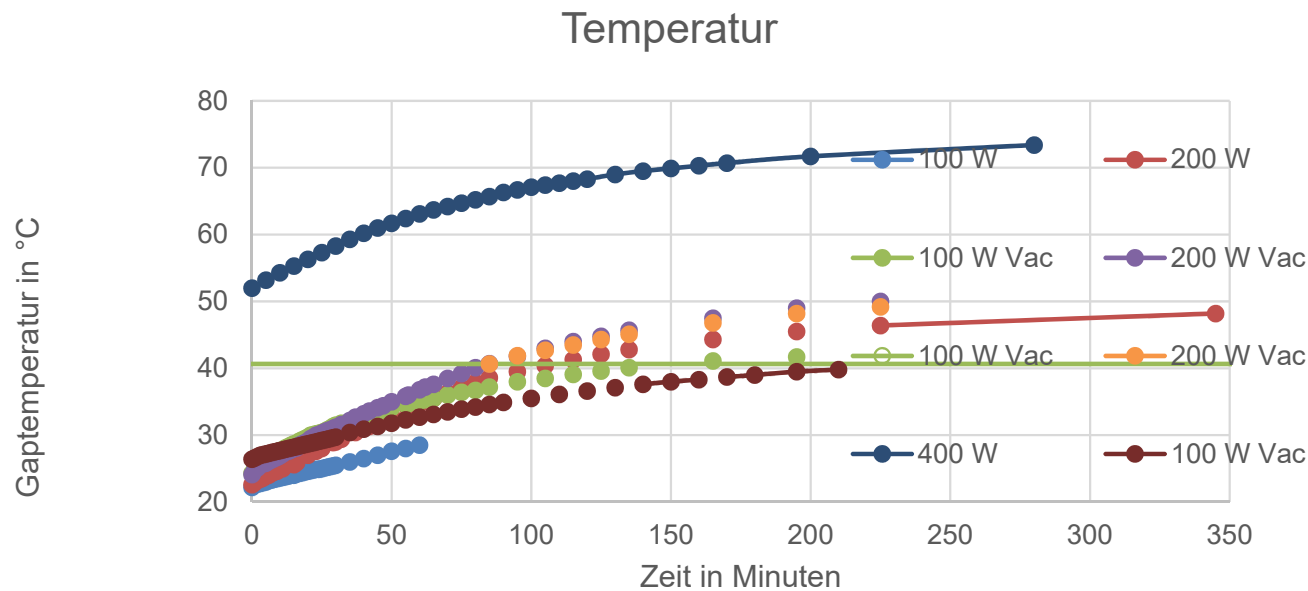
Zusätzliche Verluste, Leuchten und Druckanstieg treten immer gemeinsam auf.

SIS18 Spillglättung, Gapkeramiksicherheit im Dauerbetrieb, Verluste aufgrund von Lawinenionisation II



- Aktuell ist unverstanden, warum dieses Phänomen, trotz Feldformungselektroden und relativ niedrigen Spannungen, auftritt und warum sich die Kavität im SIS18 etwas anders verhält als in der Testumgebung.
- Bei den Verlusten durch die Lawinenionisation kann nicht sicher davon ausgegangen werden, dass sich diese gleichmäßig über die Keramik verteilen.
- Diese Lawinenionisationen sind bei Betrieb in der Testumgebung erst oberhalb von 6W aufgetreten.
- Aufgrund der nichtverstandenen Verhältnisse und der Unsicherheit bzgl. der räumlichen Verteilung der durch die Lawinenionisation eingebrachten Leistung sind diese Verluste prinzipiell als kritischer einzustufen als die dielektrischen Verluste.
- Beim bisherigen Konditionieren der Kavität wurde der Temperaturgradient der Keramik (am Messpunkt) immer unterhalb von 0.2K/min gehalten. Unter dieser Beschränkung des Temperaturgradienten gingen während der Lawinenionisation nie mehr als 80% der Vorlaufleistung in die Keramik.
- Die Beschränkung auf 4W Vorlaufleistung im Dauerbetrieb erhöht die Sicherheit deutlich.
- Mit engmaschiger Kontrolle (Kamera auf das Gap (Leuchten), Gaptemperatur, Vakuumdruck) kann sichergestellt werden, dass es nicht über längere Zeiträume zu diesen zusätzlichen Verlustmechanismen kommen wird.

SIS18 Spillglättung, Gapkeramiksicherheit im Dauerbetrieb, Bisher maximaler Leistungseintrag



In der Testumgebung fand unter direkter RRF-Überwachung ein Betrieb mit deutlich höheren Leistungen als die für den Dauerbetrieb angestrebten 4W statt (bis 400W im konditionierten Zustand und 200W während des Konditionierens).

SIS18 Spillglättung, Gapkeramiksicherheit im Dauerbetrieb, Verhalten bei Wegfall der treibenden Leistung



- Bei einem Wegfall der treibenden Leistung kühlt das Gap unkontrolliert ab. Im worst-case Szenario könnten sich hier, in Abhängigkeit von der Temperatur des Gaps höhere Gradienten als 0.3K/min einstellen.
- Durch Einhalten einer maximalen Gaptemperatur kann sichergestellt werden, dass der Temperaturgradient nicht zu groß wird. Die Gaptemperatur wird durch ein Maschineninterlock überwacht. Einstellbare Schwelle (Abschaltung).
- Während des Betriebs in der Testumgebung wurden die Gaptemperaturen bestimmt, die zu verschiedenen Temperaturgradienten führen.

Temperaturgradient (K/min)	Gaptemperatur (°C)
-0.1	26
-0.2	33
-0.3	38

Bei 2kV ist sichergestellt, dass die Gleichgewichtstemperatur bei rein dielektrischen Verlusten unter 33°C liegt.

SIS18 Spillglättung, Dauerbetrieb, Erhöhung der Gapsicherheit



- Folgende Maßnahmen sollen, falls Teil 2 (Dauerbetrieb) umgesetzt wird, eingehalten werden:
 - Inbetriebnahme des Systems durch die Fachabteilung. Dies gilt ebenfalls für jede Wiederinbetriebnahme während des Dauertests.
 - Beschränkung der Verstärkerleistung auf 4W.
 - Möglichkeit, die Spillglättung vom HKR aus anzuhalten (z.B. dadurch, dass das Event, was sie triggert nicht mehr gesendet wird, bzw. der zugeordnete virtuelle Beschleuniger abgeschaltet wird).
 - Kontinuierliche, engmaschige (<5min Intervalle) manuelle Überwachung durch HKR/Experiment von
 - Gapkamera (Leuchten?)
 - Druck in dem nächsten Vakuumsensor (GS11VMX1). Abschalten bei oberhalb von $5 \cdot 10^{-9}$ mbar
Wenn irgend möglich: Implementation eines automatischen Interlocks.
 - Beobachtung der Abstimmung der Kavität durch das Verhältnis zwischen vor- und rücklaufender Wellen (Remote Access auf ein Oszilloskop im BG1.16 vom HKR/Experiment aus).

- Es liegt eine Entscheidungsvorlage von P. Spiller vor, die einen 2-Schichtenbetrieb (erste Schicht: Konditionieren, zweite Schicht: Messung der Spillstruktur in HADES, Parameterscan) mit anschließender Bewertung, ob ein Dauerbetrieb möglich ist, vorschlägt.
- Dieser Vorschlag wird von RCT/RRF unterstützt.