

ES Septumschutz

**Schutz des elektrostatischen Extraktionsseptums
mit den Kollimatoren S03 und S11**

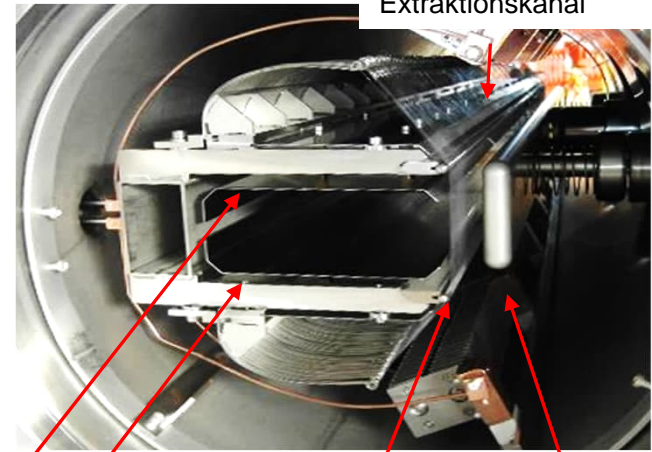
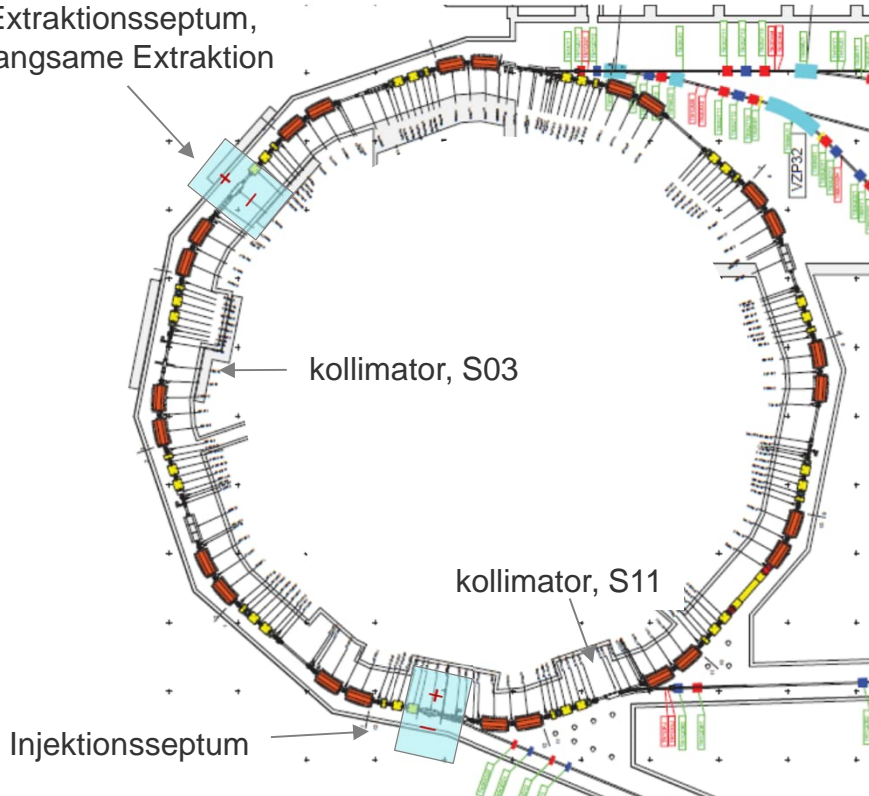
Björn Gålnander, System Design.
Operateur-Schulung, 2025-10-31



- Hintergrund, ES-Schäden am Anodedrähte durch Strahlverlust.
- Kollimatoren, S03, S11, für Schutz.
- Schutzfunktion – radiale Abweichung
- Temperatur in Anodedrähte.

Elektrostatische Extraktionsseptum (ES), SIS18

Extraktionsseptum,
langsame Extraktion

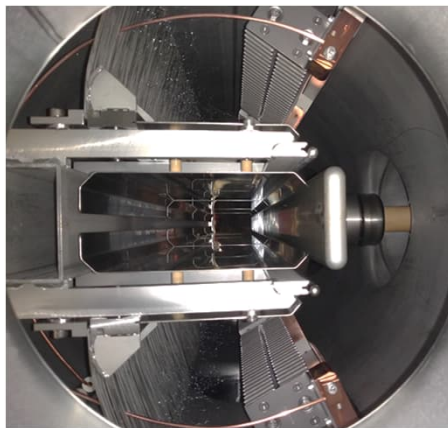


Clearing
electrodes

Anode 0 V

Kathode -160 kV

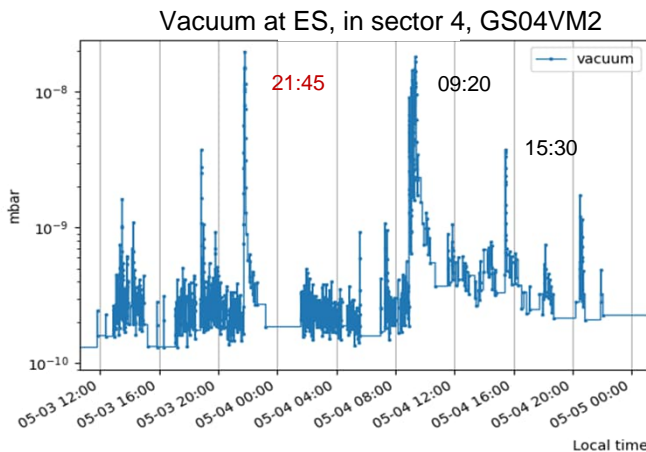
- Länge 1.5 m, Spalt 18 mm, 90 kV/cm bei 160 kV.
- Ablenkwinkel 2.5 mrad
- Anodendrähte $W_{0.75}Re_{0.25}$ 100 μ m
- Vorspannung 2 N, kompensiert die Kraft des transversalen E-Felds, zieht gerissene Drähte zurück.
- Cathode, Al, anodized, 50 μ m



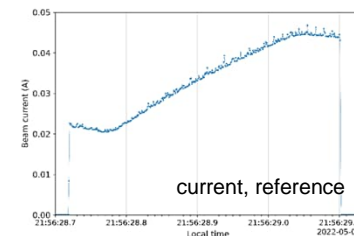
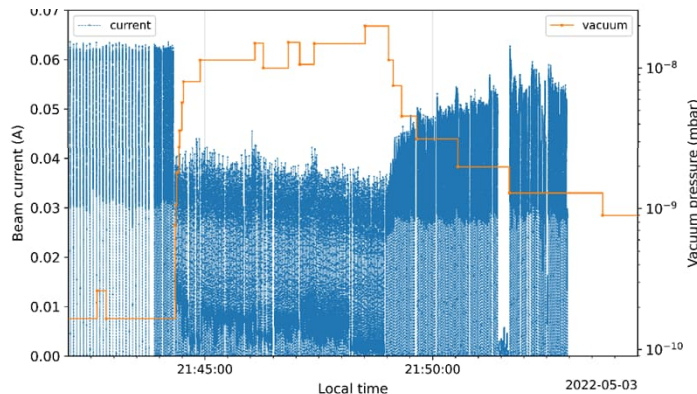
- Beschädigte Drähte:
- Federn zurückgezogen, Kurzschluss NEG-Panel.
- ES geöffnet. 47 % der Anodendrähte gerissen, 0,71 m / 1,5 m. Ein Draht pro 2 mm, insgesamt 356 Drähte.
- Detail: gerissene Anodendrähte und zurückgezogene Vorspannfedern.
- Anodendrähte am SIS18 ES wurden während des Strahlbetriebs im Mai 2022 zu **47 %** der Länge gerissen, bei hoher Intensität von U.
- Letzter Schadensfall davor, 2002.
- Reparatur sehr aufwändig. Repariert 2023 während des Beam Shut-downs.

Tatort - Spurensicherung

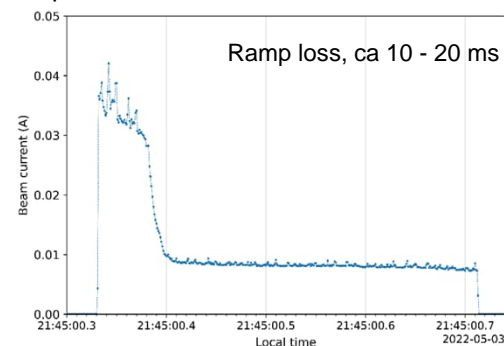
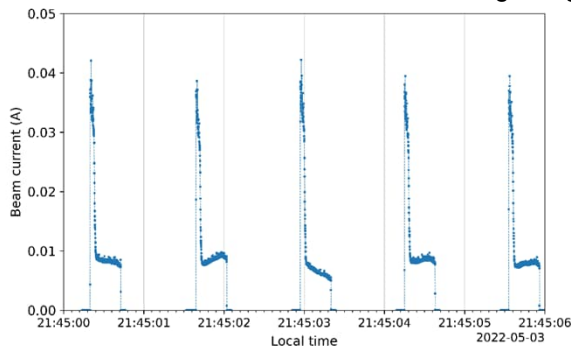
Vakuum am ES und Strahlstrom (DCCT)



Beam current, DCCT, and vacuum at ES, 21:45 peak

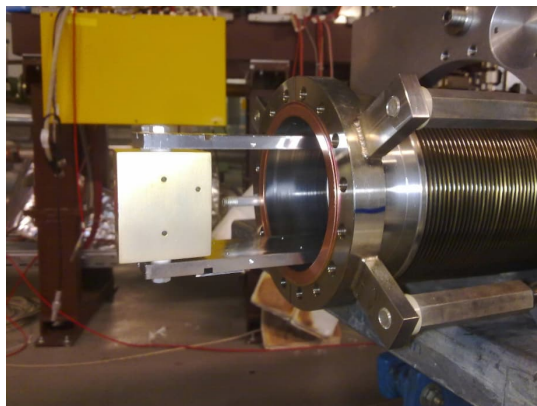


Beam current DCCT, beam loss at beginning of ramp

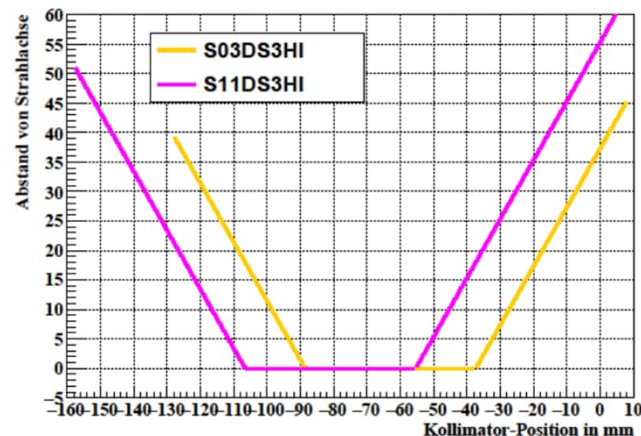


- $^{238}\text{U}^{28+}$, loss at beginning of magnet ramp, dispersive losses, ca $1\text{-}2 \cdot 10^{10}$ ions per cycle,
- Vacuum pressure increase due to heating up of wires, gas desorption (evaporation)
- Failure of RF-cavities, too low voltage (in two cases.)
- **Archiver data** and LSA trim log

see, B. Gálnander, et al., IPAC'23, TUPM098
jacow.org/IPAC2023/pdf/TUPM098.pdf

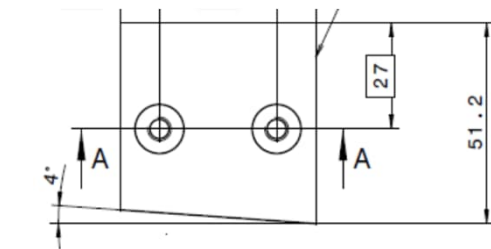


- Kollimatoren in S03 (GS03DS3H) und S11 (GS11DS3H).
- Schützt vor Verlusten durch radiale Bewegungen des Strahls.



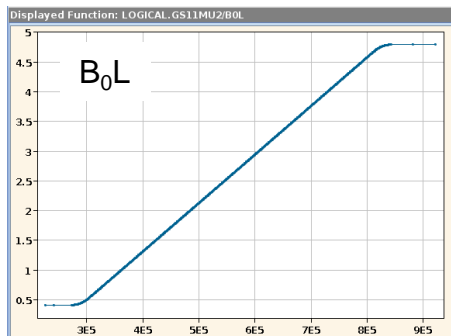
Collimator positions, set value and position from beam axis (fba)

GS03DS3H	set (mm)	fba (mm)
max out	8.0	-45.4
	0.0	-37.4
beam axis	-37.4	0.0
GS11DS3H	set (mm)	fba (mm)
max out	5.20	-60.6
	0.00	-55.4
beam axis	-55.40	0.0



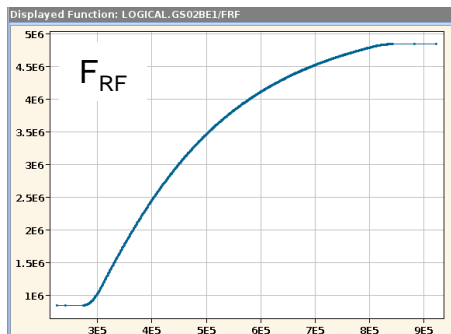
Info from L. Bozyk

Schutzfunktion Kollimatoren – Dispersive verluste



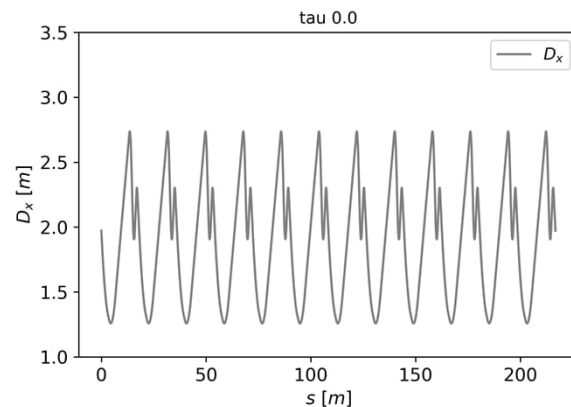
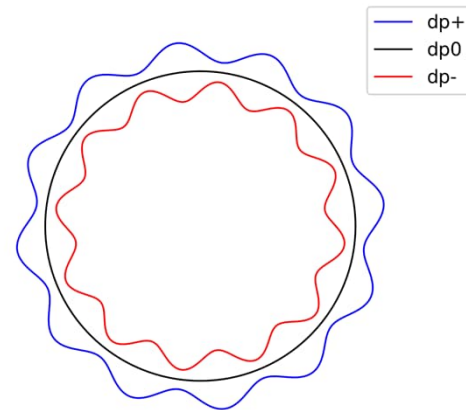
- Magnetfeld, B , und HF-Frequenz werden gleichzeitig geramped, sodass B und p zueinander passen.
- Wenn nicht, Impulsabweichungen.
z.B. HF-Failure, nicht-gebunchte Teilchen, B wird geramped, p bleibt constant.

$$\delta = \frac{p - p_{ref}}{p_{ref}} = \frac{B \rho_{inj} - B \rho(t)}{B \rho(t)}$$



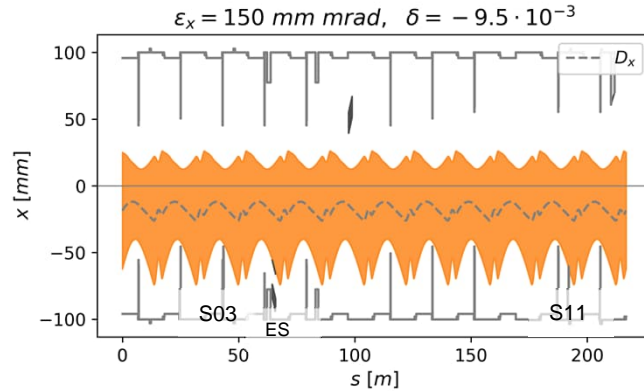
- Die Teilchen nehmen eine abweichende Bahn, bestimmt durch die Dispersion. Radiale abweichung.

$$x_d = D_x \delta$$

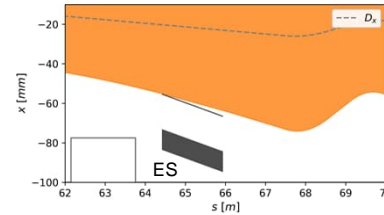


Schutzfunktion Kollimatoren – Dispersive verluste

Beam envelopes at different momentum deviation, injection optics.



Verluste am ES-Anode

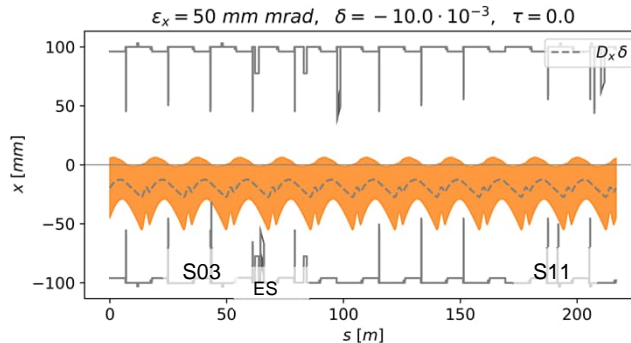


Momentum deviation at magnet ramp, at RF-failure or non-bunched particles, p constant,

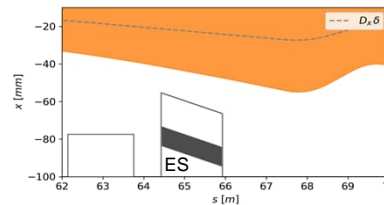
$$\delta = \frac{p - p_{ref}}{p_{ref}} = \frac{B\rho_{inj} - B\rho(t)}{B\rho(t)}$$

Beam envelope with momentum deviation,

$$x_{env} = \sqrt{\beta_x \varepsilon_x} + D_x \delta$$



Kollimatoren schützen ES



The envelope reaches an aperture limitation, a_x ,

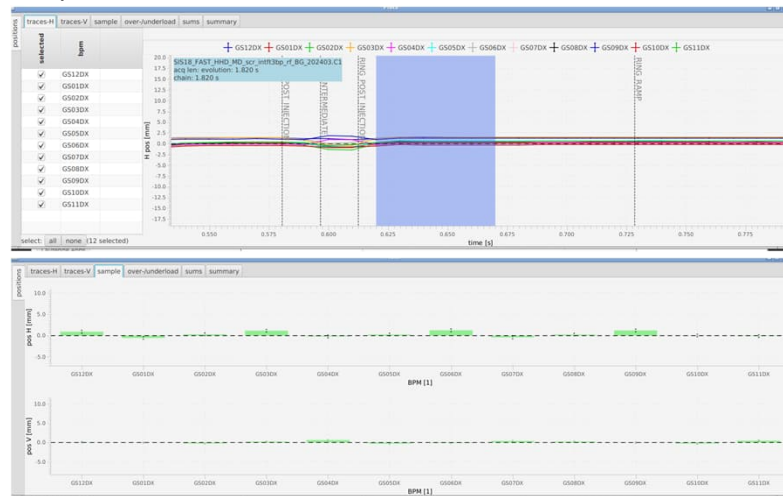
$$x_{env} = a_x$$

at a momentum deviation,

$$\delta = \frac{a_x - \sqrt{\beta_x \varepsilon_x}}{D_x}$$


Kollimator-Positionen

- Der Schutz des E-Septums wurde verifiziert in Maschinenexperimente, 2023-12, “Wiederinbetriebnahme“ des Schutzes von ES durch bewegliche Kollimatoren in S03 und S11.
- Folgende Positionen wurden festgelegt (Anzeige im DeviceControl):
 - **S03DS3HI: -6.0 mm** (32 mm von der Strahlachse, Innen)
 - **S11DS3HI: -5.0 mm** (50 mm von der Strahlachse, Innen)
- Wichtig!: **Aufgabe HKR-team**
- Orbitkorrektur am Injektionsniveau, BPMs $< \pm 2$ mm
 - ES-Schutz
 - Wenn der Orbit nicht korrigiert ist, ist ein Schutz nicht gewährleistet!
- Orbitkorrektur am Extraktionsniveau, BPMs $< \pm 2$ mm
 - Störungsfreie Extraktion



Die Maschinenruffbereitschaft für SIS (SIS-RB) stellt sicher, dass die Strahlage für alle SIS-Pattern korrekt eingestellt ist. In der Regel erfolgt dies durch Anweisungen an das HKR-Team.

- Dokument mit Details in Entwurf.

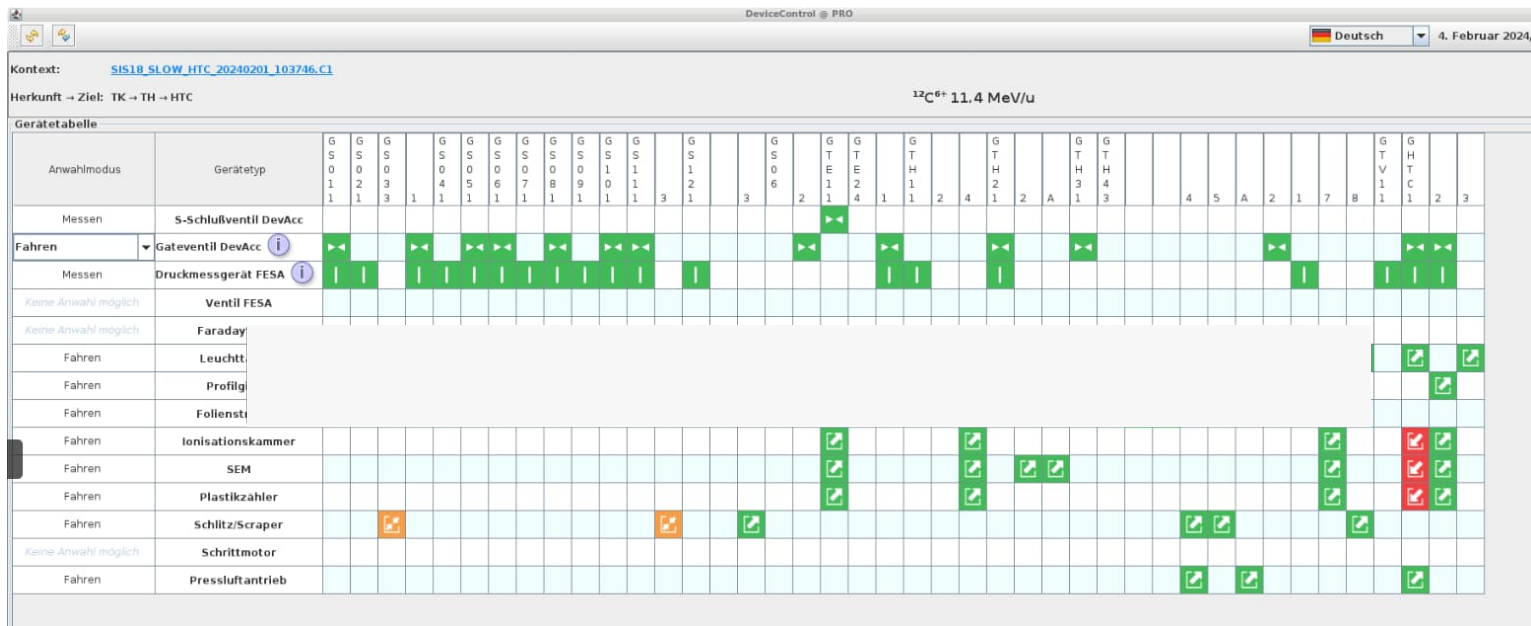
	Dokumenttyp: DRAFT Formular	Datum: 29.10.2025 Seite: 1 von 6
---	--	---

SIS18-Kollimatoren

L.Bozyk, B.Galnander, D.Ondreka
Genehmigt: NN

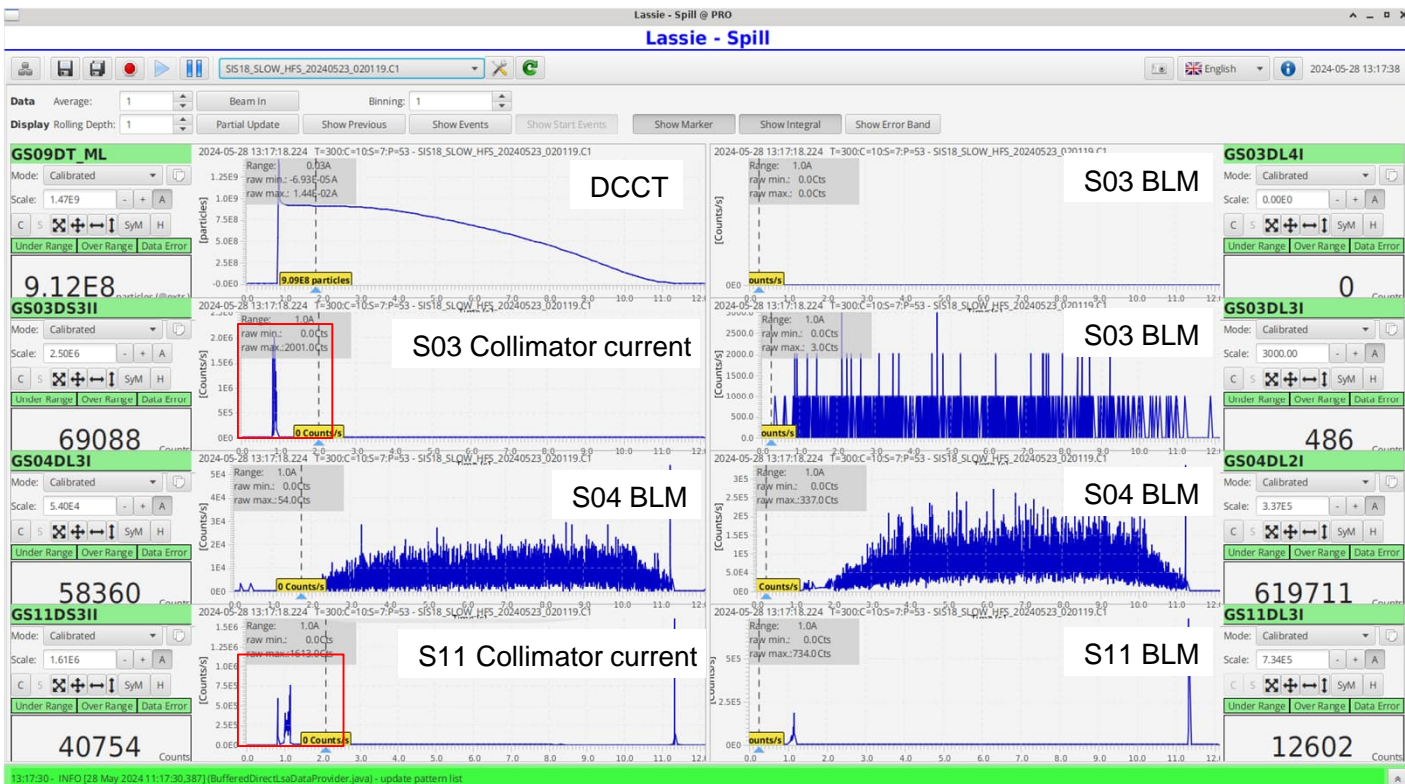
- 1. → **Motivation**
 Die Kollimatoren in S03 und S11 im SIS18 sollen das elektrostatische Extraktionsseptum (E-Septum) vor Verlusten durch radiale Bewegungen des Strahls schützen. Durch zu hohe Verluste können Drähte zerstört werden, wodurch sich der Ablenkwinkel des Septums verringert und bei hohen Steifigkeiten vermehrte Verluste am magnetischen Extraktionsseptum auftreten. Im Extremfall ist überhaupt keine langsame Extraktion mehr möglich. Die Reparatur zerstörter Drähte ist langwierig und aufwändig.
 In Simulationen und Maschinenexperimenten wurden Positionen für die Kollimatoren ermittelt, welche das Septum schützen ohne den Betrieb des SIS18 zu beeinträchtigen. Insbesondere werden weder Injektion noch langsame Extraktion gestört.
- 2. → **Kollimator-Positionen**

- Anzeige Gelb, Kollimatoren sind verriegelt. Kann nicht vom Device Control gesteuert werden. **Normalzustand** in Strahlbetrieb.



Verluste am Kollimatoren, Lassie Spill

In Lassie Spill, sind die Verlustströme am GS03DS3II und GS11DS3II zu sehen.
Beispiel mit langsamer Extraktion



Verluste am Kollimatoren
am Anfang der Rampe
(was zeigt, dass die
Kollimatoren schützen).

Die Strahlverlustmonitore,
BLMs, sind unempfindlich
am Injektionsenergie.

Wenn es Probleme gibt

- Die Kollimatoren sind in Normalfalle mit schlüssel Verriegelt.
- Bei Problemen **ruft SIS-RB an**.
- Dürfen **nur nach Rücksprache mit der SIS-RB bewegt werden!**

Wann reißt ein Anodendraht?

Ein Draht reißt bei 1700 K

- wenn die Kraft der Federn 2 N, Spannung 250 MPa. Übersteigt die Zugfestigkeit (nimmt ab mit Temperatur).

Ein schnelle Verlust von $2.5 \cdot 10^9$ U-onen reicht.

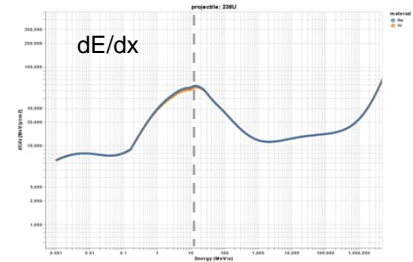
- 10^{10} Ionen kann also **3 Drähte** reißen.

Wiederholte Verluste führen zu einer Steigerung der Temperatur.

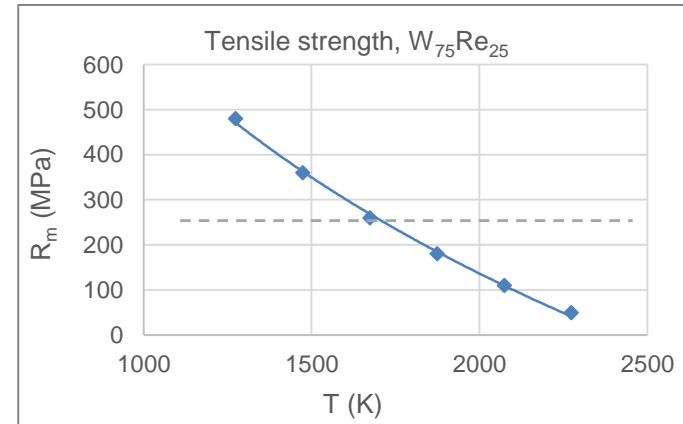
- $^{238}\text{U}^{28+}$, 11.5 MeV/u, hat einen hohen spezifischen Energieverlust, dE/dx , 104 MeV/ μm , Reichweite **35 μm** in $\text{W}_{75}\text{Re}_{25}$. (Atima)
- 100 μm Durchmesser, vollständig in einem Draht gestoppt und die gesamte kinetische Energie wird in Wärme umgewandelt.
- 2.7 GeV per Ion, $4.35 \cdot 10^{-10}$ J. For 10^{10} Teilchen, **4.35 J**.
- Energie benötigt Temperatur auf 1700 K zu erhöhen, **1,2 J**
- Schelle Verluste $\sim \text{ms}$, Strahlung und Leitung vernachlässigt. Wärmekapazität $C_p = 0.150 \text{ J/(g K)}$.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P_{\text{loss}}}{C_p(T) m}$$

$$\Delta T = \frac{\Delta E_{\text{loss}}}{C_{p, \text{ave}} m}$$



ATIMA, web-docs.gsi.de/~weick/atima,

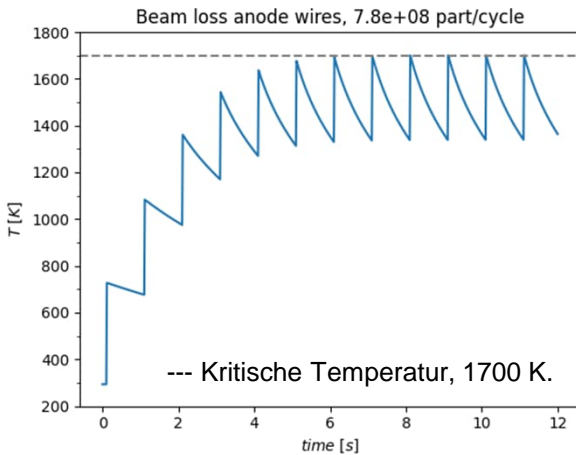


Data from Plansee GmbH.

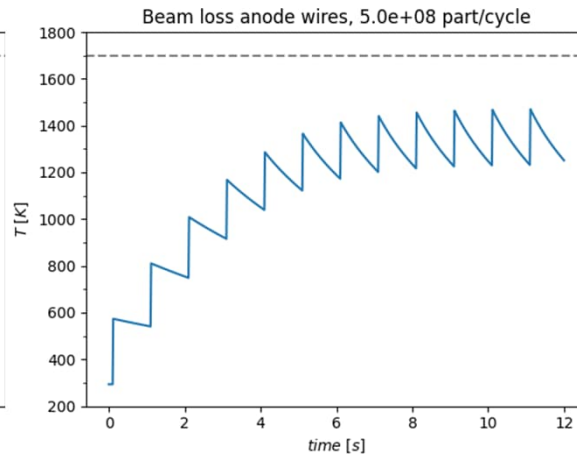
see, B. Gålnder, et al., "Analysis of losses and protection of the electrostatic septum anode wires in SIS18" IPAC'23, jacow.org/IPAC2023/pdf/TUPM098.pdf

Simulationen Temperatur Anodedrähte

- Erwärmung durch Strahlverluste, (kinetische Energie).
- Abkühlung durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung.
- Simulation der Temperatur im Anodendraht, 100 μm $\text{W}_{75}\text{Re}_{25}$, mit schnellem Strahlverlust, 15 ms, 1 Hz, von ^{238}U -Ionen bei 11,4 MeV/u.



7.8e8 Ionen/Zyklus



5.0e8 Ionen/Zyklus ($T_{\text{max}} = 1400 \text{ K}$)

Intensitäten für maximale Temperatur 1400 K, ausgewählte Ionen. Intensitätsgrenzen **ohne** schützende Kollimatoren. z.B. in MExp.

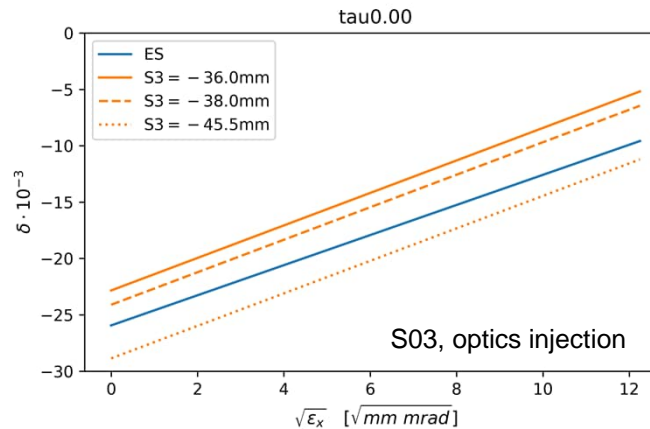
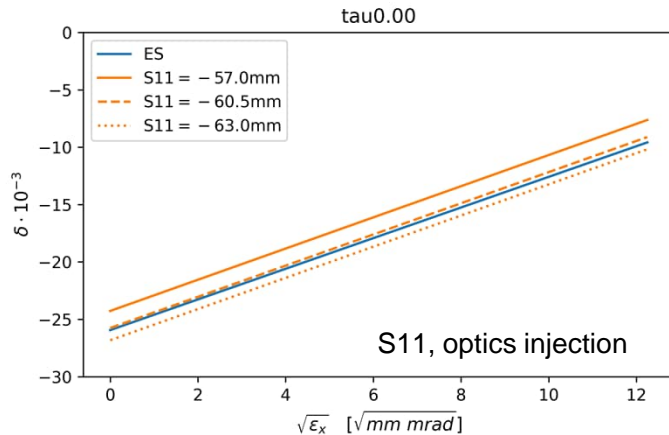
Ion	Mass number, A	Particle range in $\text{W}_{75}\text{Re}_{25}$ (μm)	Intensity limit (part./cycle)
U	238	35	5.0e8
Au	197	33	6.0e8
Xe	131	31	9.1e8
Fe	56	34	2.1e9
Ar	41	41	3.0e9
N	14	72	1.1e10
C	12	81	1.4e10
He	4	228	7.4e10
p	1	231	3.0e11

- Orbitkorrektur!
- Kollimatoren S03, S11 immer in Schutzposition und verriegelt während des normalen Strahlbetriebs.
- Bei Problemen, wendet Euch vertrauensvoll an die SIS-RB.
- Danke für Eure Aufmerksamkeit !
- Acknowledgements: L. Bozyk, D. Ondreka

When do the collimators protect for dispersive losses?

Momentum deviation, δ to reach aperture limitation, a_x vs. emittance:

$$\delta = \frac{a_x - \sqrt{\beta_x \epsilon_x}}{D_x}$$



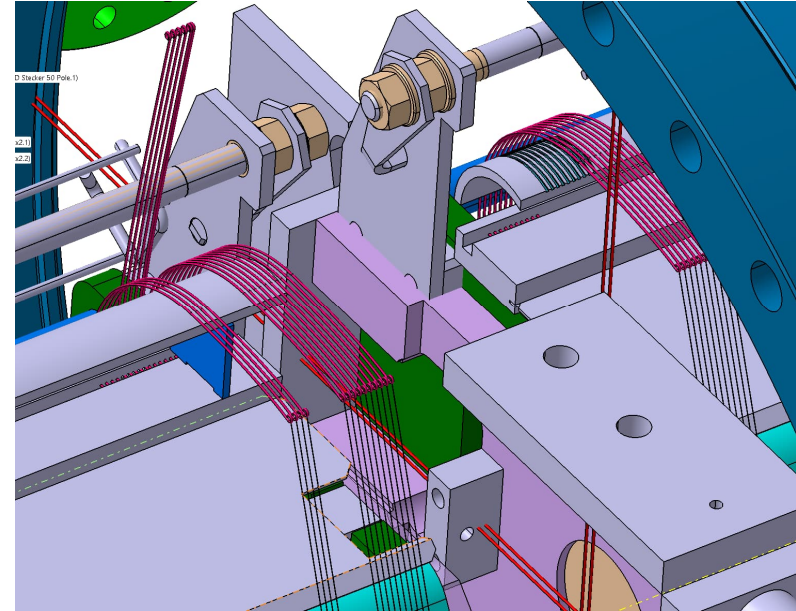
- Different twiss parameters at ES, S03 and S11. (slope)
- S11 preferable, since more similar to ES, optically
- S03 protects at 36 mm and S11 at 60.5 mm.
- *S11 should even protect in outer position, 60.5 mm, ideally*

twiss parameters and apertures

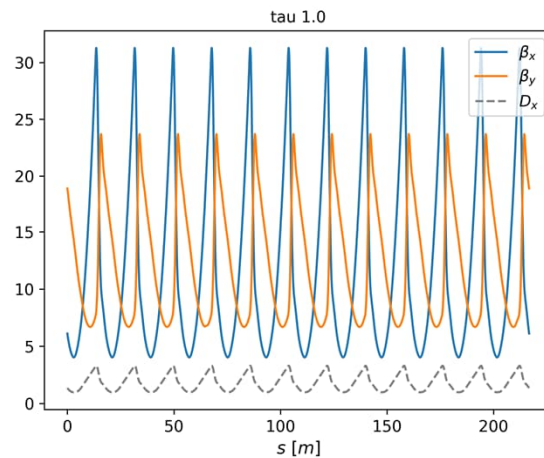
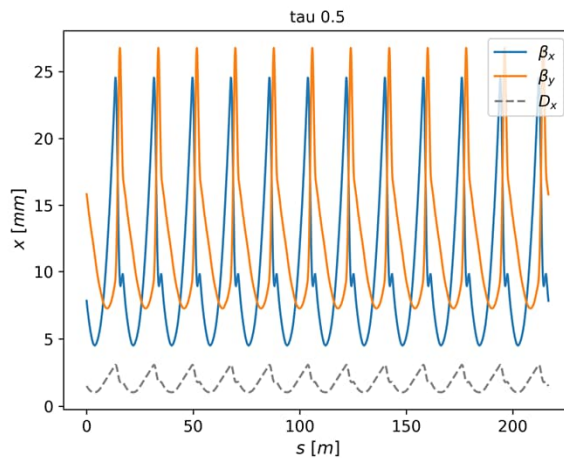
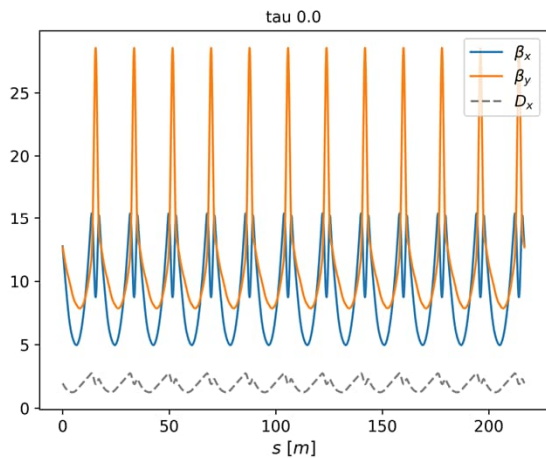
	beta_x (m)	Dx (m)	a_x (m)	A_x (um)
ES	8.14	2.14	55.4	377
S03	5.17	1.58	36.0	401
S11	10.19	1.58	57.0	359

SIS100 protection, wire damage detection system

- SIS100 ES has a system for detection of broken wires by electrical contact of the spring of the broken wire.
- The HV-supplies have detection systems for spark detection and interlock.



Different optics SIS18



- Scraper settings found, which protects ES for injection losses
 - Compatible with high intensity injection.
 - Compatible with fast and slow extraction.
- Provoked losses with dp offset, using DPFREV.
- Used orbit bump at ES to test margin.
- Position offset of ca 5 and 6 mm of S03 and S11 collimators in relation to beam center.
 - Offset of scraper coordinates in relation to beam optical axis? And/or BPMs? These components are not part of the alignment procedure. Would be good if this could be the case.