

Multiturn Injektion

Operator Workshop
31.10.2025
Y. El Hayek

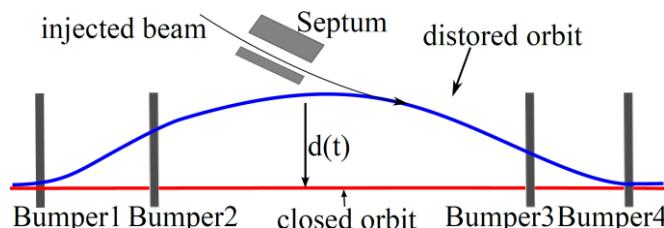
Multiturn Injektion (MTI) Prinzip

Grundregel der Injektion:

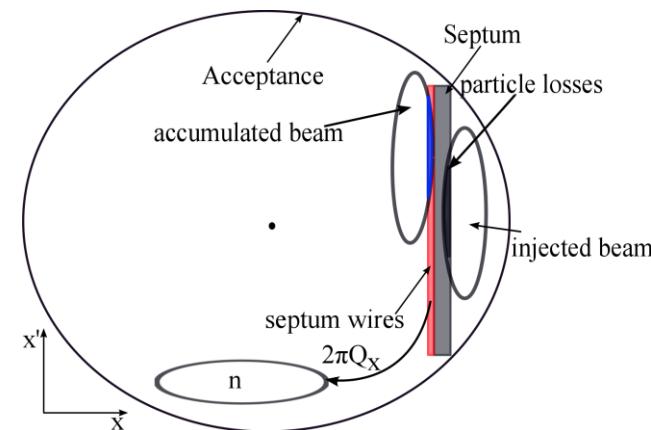
- In ein schon durch Teilchen besetztes Phasenvolumen kann kein zweites Mal injiziert werden, ohne die schon darin erhaltenen Teilchen quantitativ zu verlieren.
- Der injizierte Strahl sollte möglichst gut an die Phasenraumeigenschaften der SIS-Maschine angepasst sein.
- Akzeptanz der aufnehmenden Maschine größer ist als die Emittanz des injizierten Strahls.
- Die Phasenraumanpassung geschieht mit Hilfe des Strahlführungssystems vor der Injektion, dabei ist die Transmissionsoptimierung essenziell.
- Die Bumper-Amplitude sollte möglichst nah am Septum gewählt werden.

- Für MTI wird ein Orbit-Bump und ein Septum benötigt.
- Der Orbit-Bump wirkt in der horizontalen Ebene, da die horizontale Akzeptanz im Ring größer ist als die vertikale.
- Der Orbit-Bump wird mit der Zeit verringert, sodass der zuerst injizierte Strahl den zentralen Bereich der horizontalen Akzeptanz einnimmt und der später injizierte Strahl die Randbereiche der Akzeptanz ausfüllt.
- Diese Technik wird als (phase space painting) bezeichnet.
- Am Ende der Injektion wird der Orbit-Bump vollständig auf null reduziert.

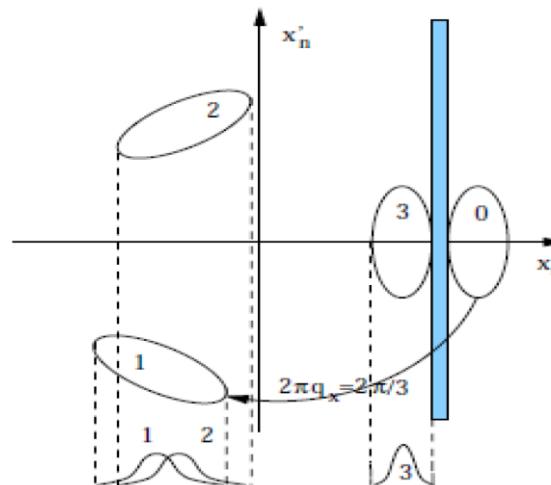
Zeitabhängige Sollbahnstörung (Orbit-Bump) durch vier Bumper-Magnete während der Injektion



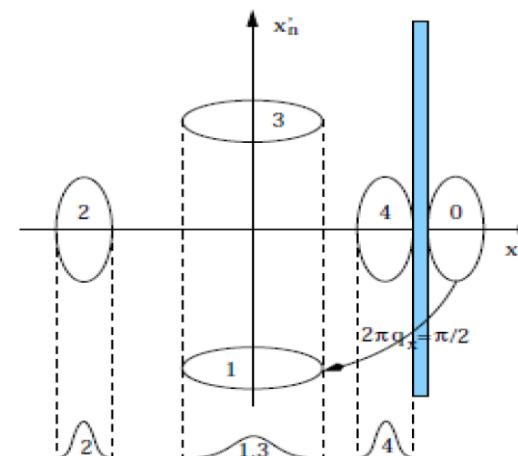
Multiturn Injektionsverluste



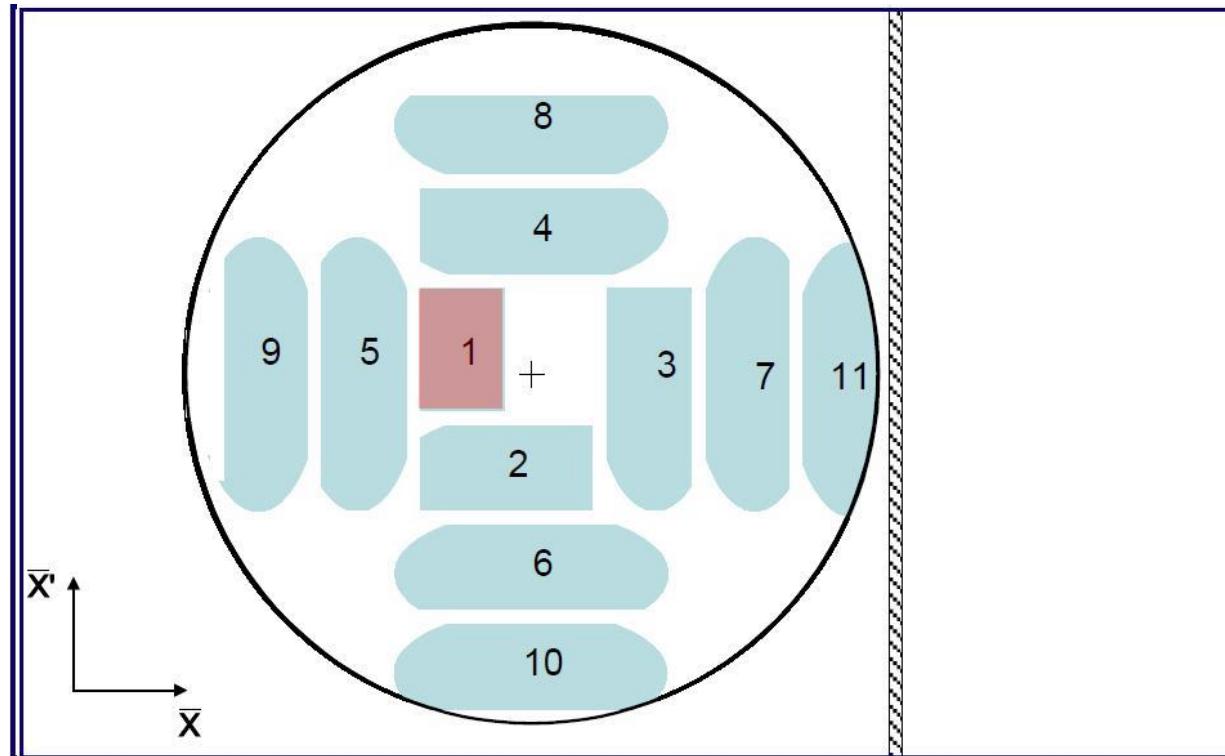
- Akkumulation mit $1/3$ Tune
- Tune $Q_h = 3\frac{1}{3}$

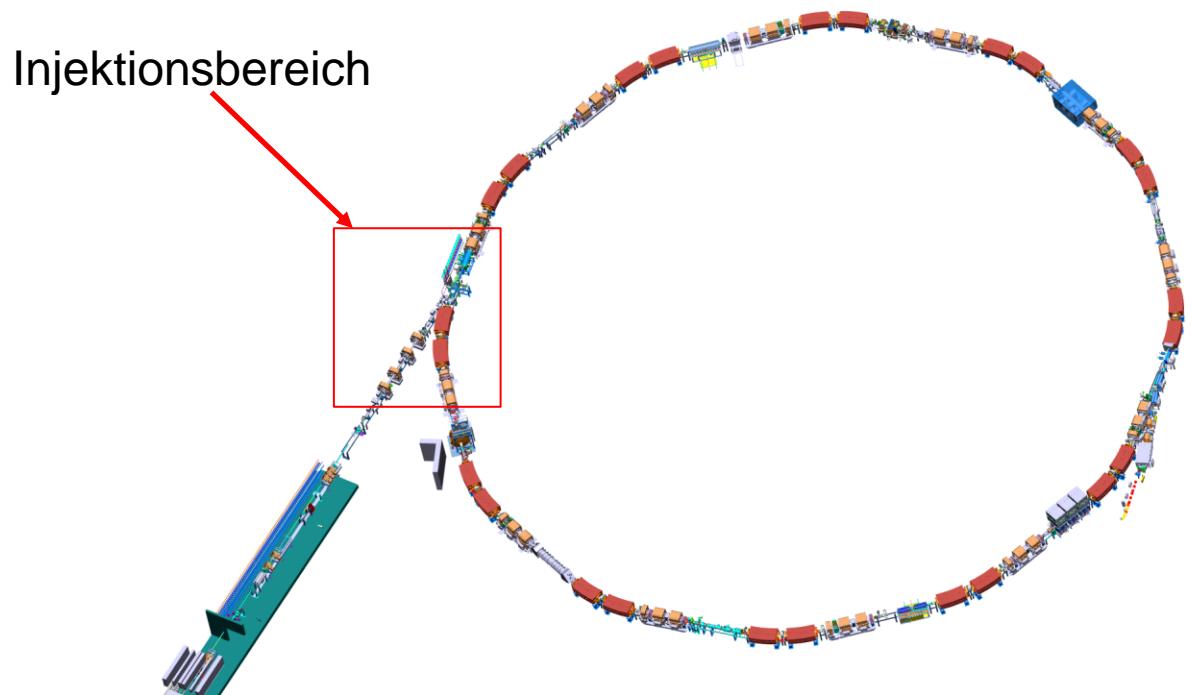


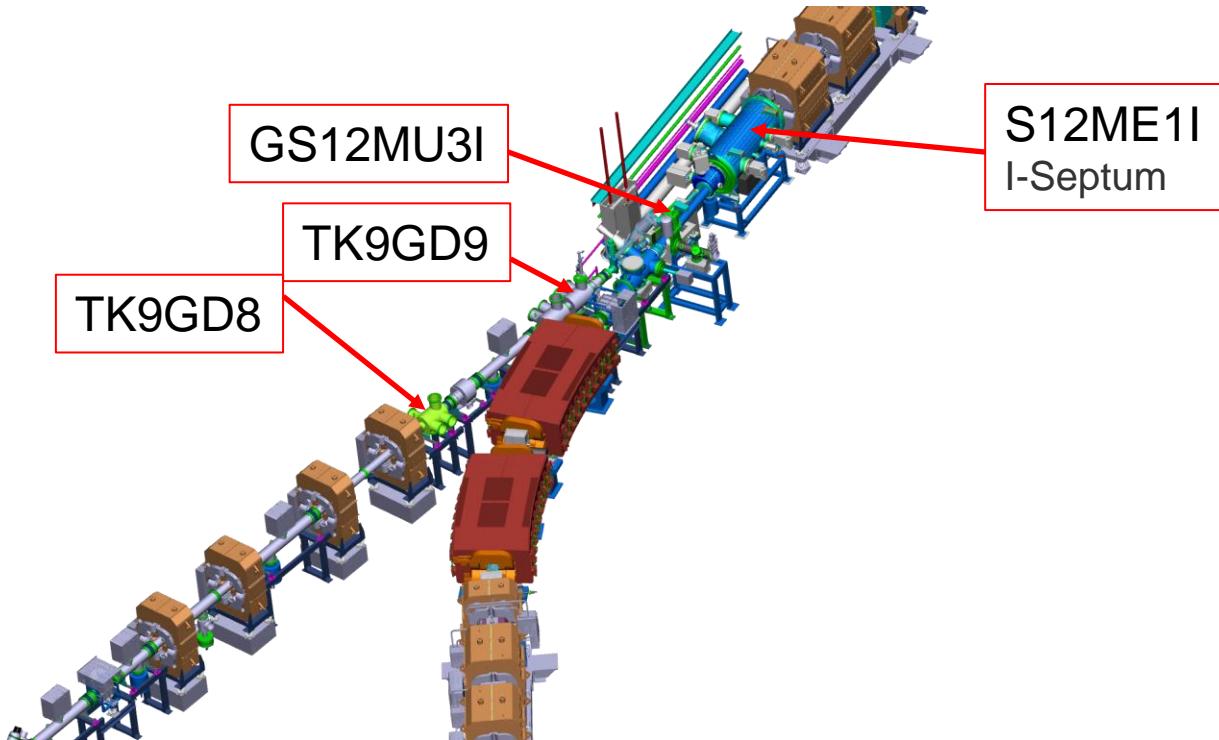
- Akkumulation mit $\frac{1}{4}$ Tune
- Tune $Q_h = 3\frac{1}{4}$



MTI: Beispiel mit fraktionalem Tune $Q_h=0.25$







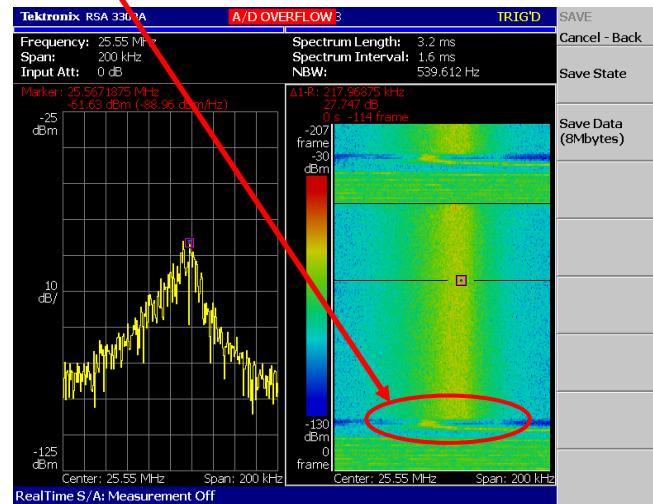
Injektionsenergie anpassen

Injektion	
Injektionsenergie	11.26 MeV/u
Injektionssteifigkeit	[1.57992225, 1. Tm]
Injektionsfrequenz	213.1602 kHz
Hor. Arbeitspunkt QH (Inj.)	4.298
Vert. Arbeitspunkt QV (Inj.)	3.28
Radiallage (Injektion)	0.0 mm

Arbeitspunkt einstellen

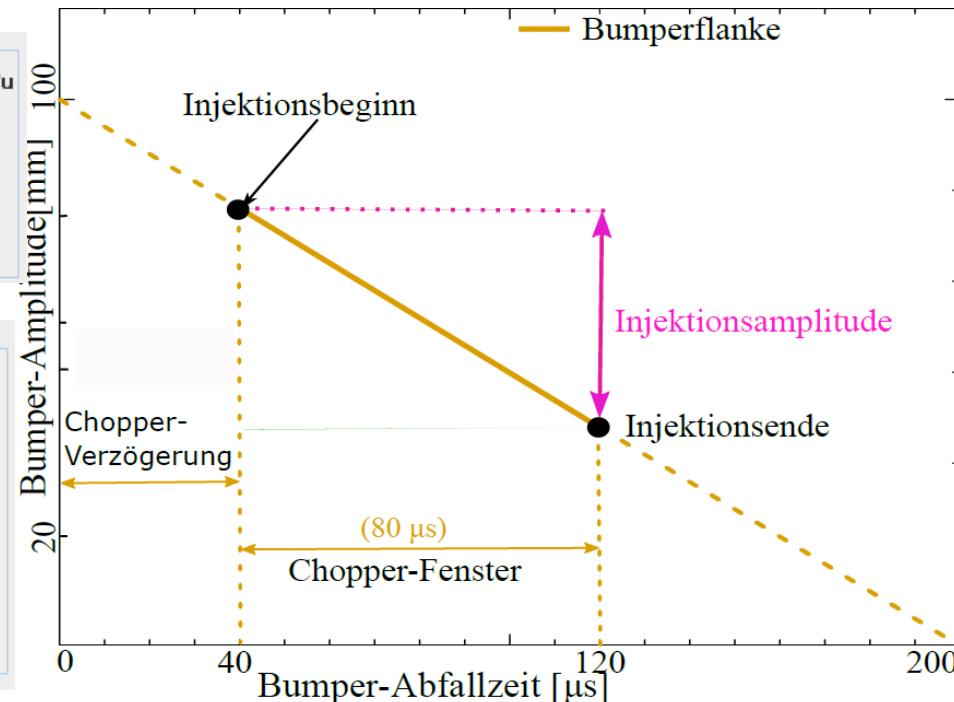
- Normal
- Hochstrom
- Kühler: speziell...

- Initiale Energie aus UNILAC-Energiemessung eintragen (ggf. schon in SchedulingApp)
- Sobald der Strahl umläuft, die Energie mit der Schottky-Messung überprüfen bzw. korrigieren
- Anschließend den Closed Orbit auf das Injektionsniveau anpassen. Zuvor die Radiallage auf „0“ setzen



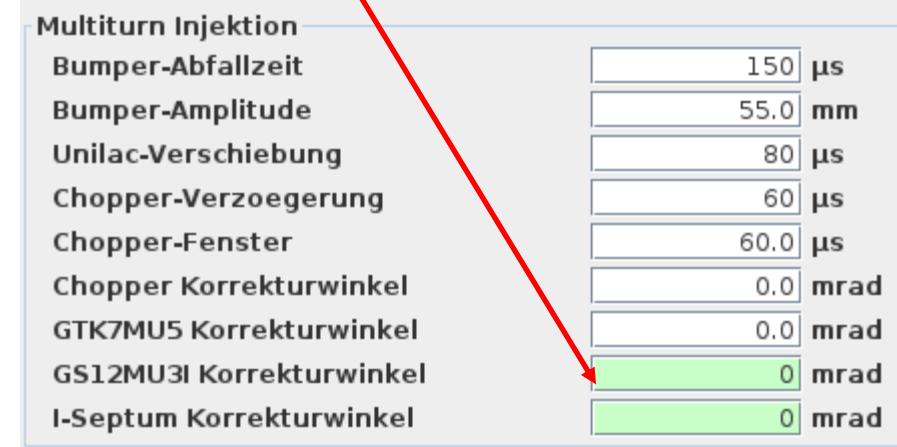
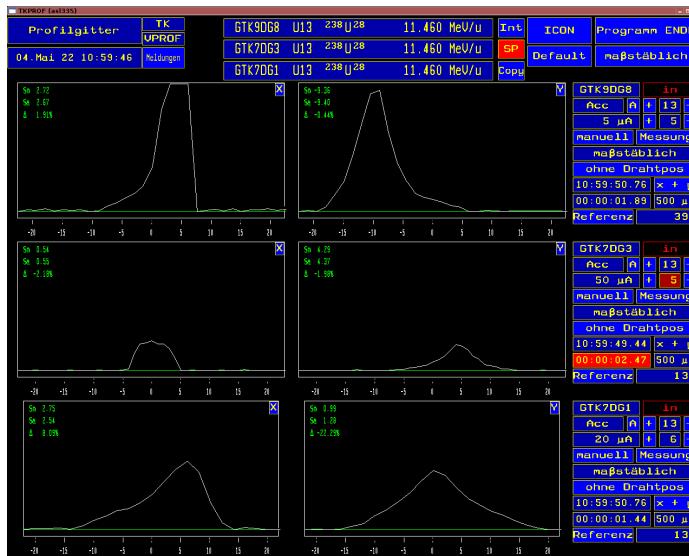
Injektion
Injektionsenergie
11.26 MeV/u
Injektionssteifigkeit
[1.57992225, 1. Tm]
Injektionsfrequenz
213.1602 kHz
Hor. Arbeitspunkt QH (Inj.)
4.298
Vert. Arbeitspunkt QV (Inj.)
3.28
Radiallage (Injektion)
0.0 mm

Multiturn Injektion
Bumper-Abfallzeit
200 μ s
Bumper-Amplitude
80.0 mm
Unilac-Verschiebung
80 μ s
Chopper-Verzögerung
60 μ s
Chopper-Fenster
60.0 μ s
Chopper Korrekturwinkel
0.0 mrad
GTK7MU5 Korrekturwinkel
0.0 mrad
GS12MU3I Korrekturwinkel
-1.2 mrad
I-Septum Korrekturwinkel
1.6 mrad

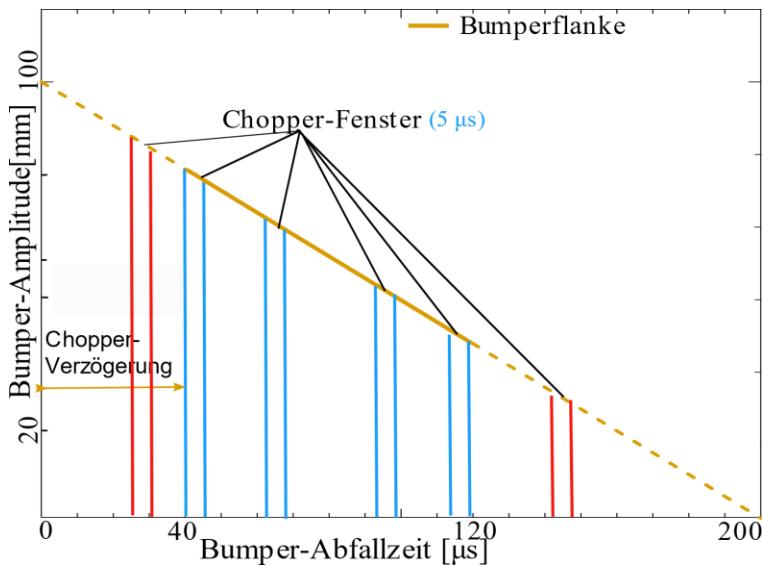


Strahlbreite und Position am Einschuss

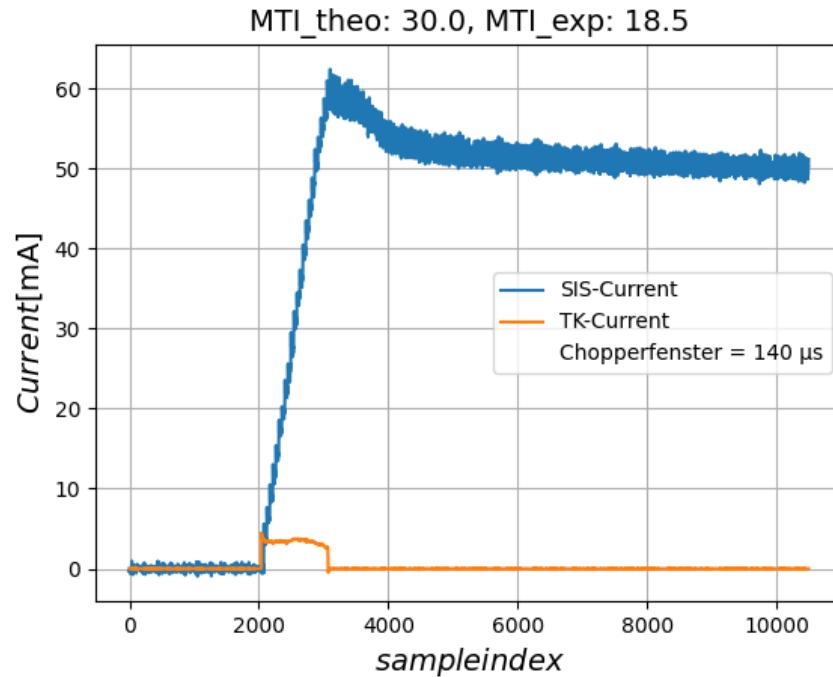
Man versucht, den Strahl am TK9DG9 horizontal etwas nach rechts und vertikal nach links zu justieren. Wenn der Einschuss mit TK-Steerern angepasst wird, die Korrekturwinkel vom GS12MU3I und I-Septum auf „0“ setzen. Danach kann man diese Werte nochmal anpassen. Gegebenfalls den Closed Orbit nochmal anpassen.



Anfang und Ende der Injektion bestimmen

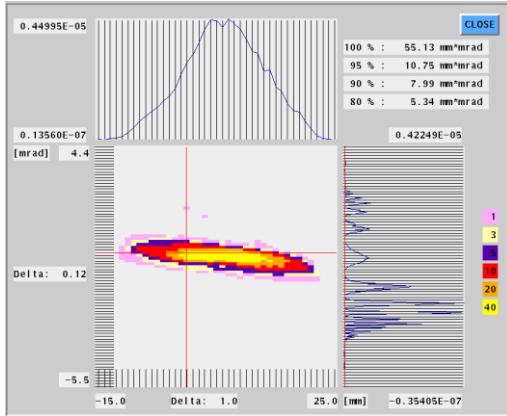


Nachdem der Strahl im SIS erfolgreich injiziert und auf dem schnellen Trafo sichtbar ist, wird der Beginn und das Ende der Injektion ermittelt. Das Chopperfenster wird zunächst auf 5 μ s eingestellt. Durch Variation der Chopperverzögerung lässt sich der Beginn und das Ende des Bumps ohne Strahlverluste bestimmen. Diese beiden Punkte definieren das optimale Chopperfenster, mit dem man ohne Verluste injiziert werden kann. Ein längeres Chopper-Fenster führt zu unnötigen Verlusten.

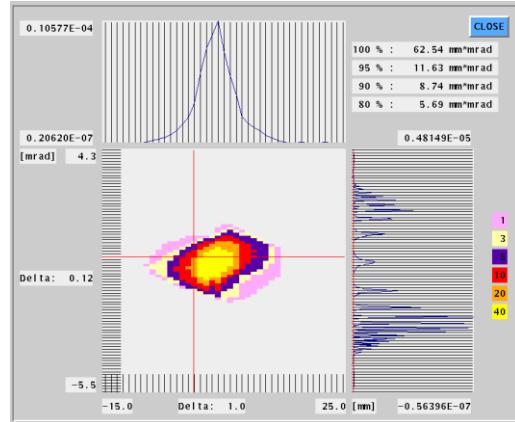


Emittanzmessung

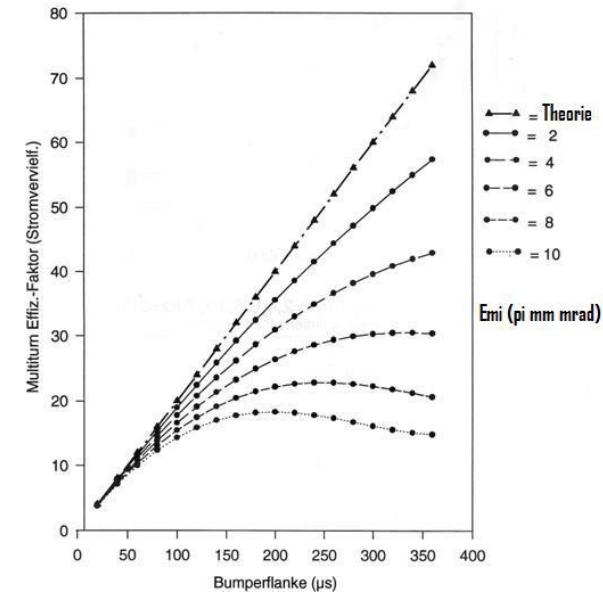
TK5DE4HS



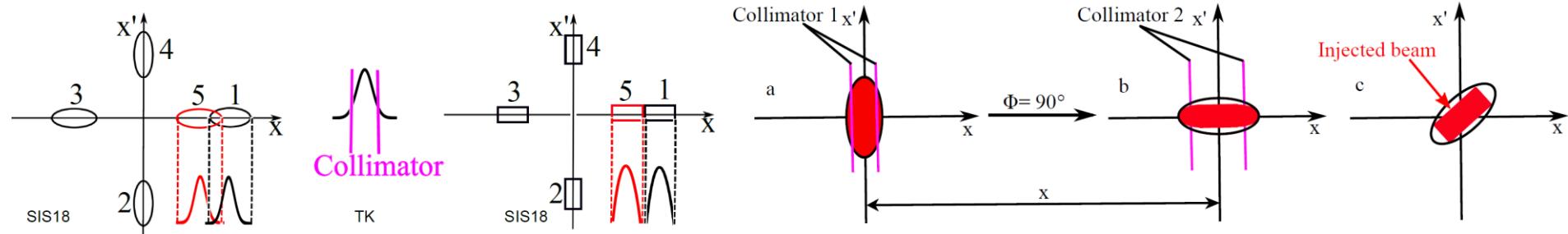
TK5DE4VS



Eine kleine Emittanz vom UNILAC ermöglicht eine längere Bumperflanke und ein größeres Chopper-Fenster.
Ist die Emittanz zu groß, enthält der Strahl zu viel Halo → eine Beschneidung hilft!

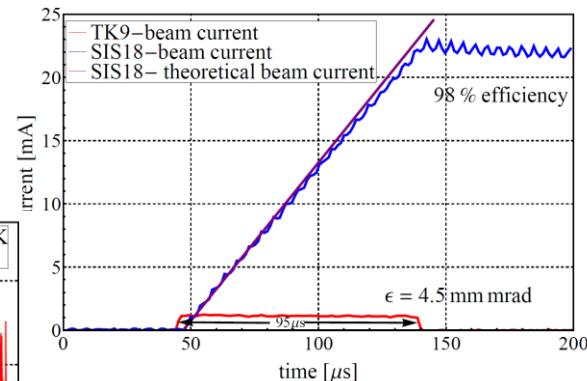
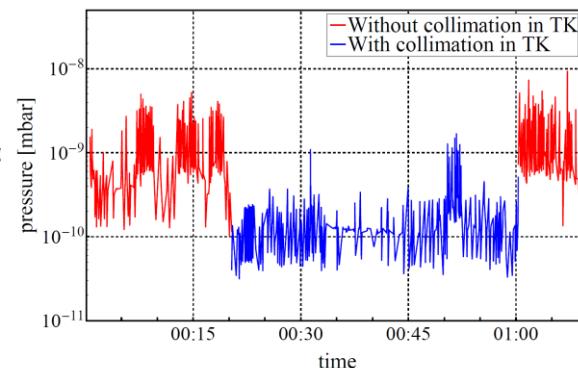
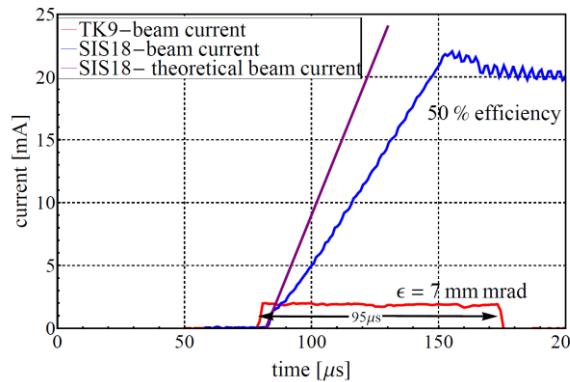


- Überlagerung von zwei Strahlen über vier Umläufe
- Verlagerung der Teilchenverluste vom SIS18 zum Transferkanal (TK)
- Schutz des Injektionsseptums
- Verbesserung des dynamischen Vakuums im SIS18
- Reduzierung der injizierten Emittanz und Erhöhung der Strahlbrillanz



Vergleich MTI (mit und ohne Beschneidung im TK)

- Durch eine Kollimation im TK lässt sich die MTI-Effizienz erhöhen und ein stabiler, höherer Strahlstrom erzielen. Insbesondere, weil dadurch das Vakuum stabiler bleibt.



Septumüberschläge vermeiden durch Beschneidung im TK



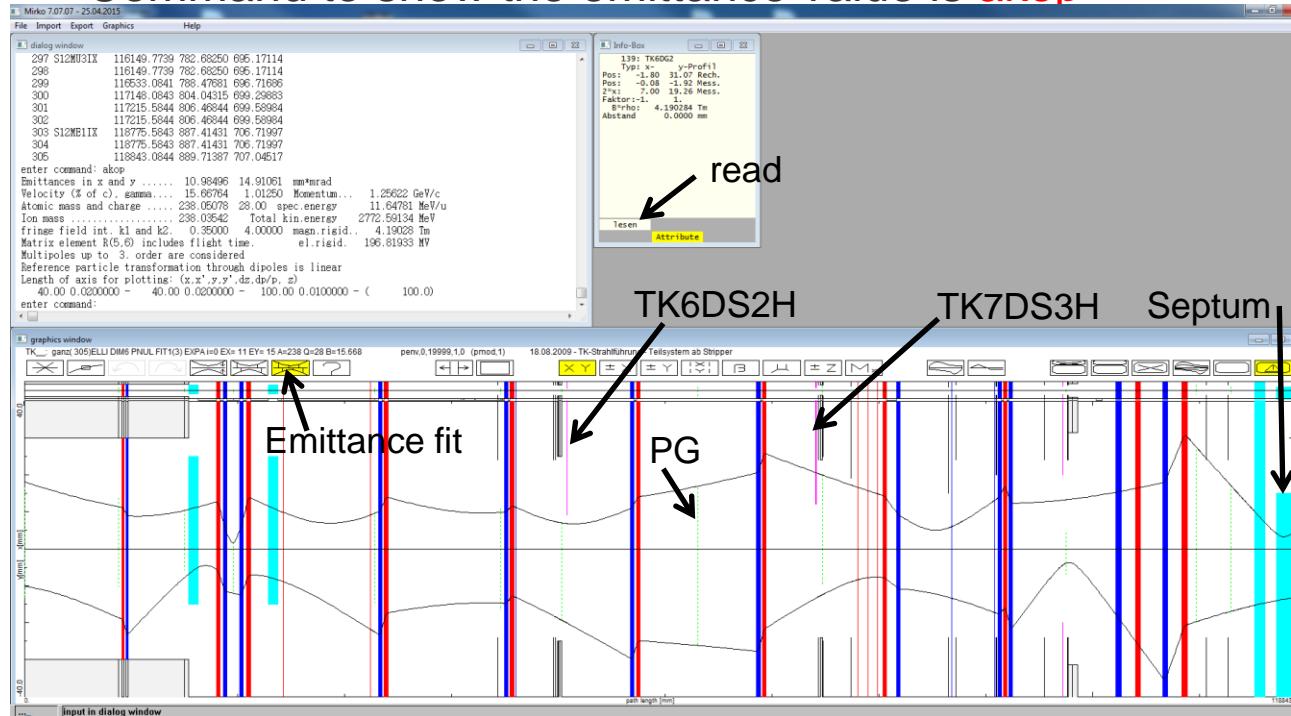
Danke für Eure Aufmerksamkeit!
Fragen?

Backup



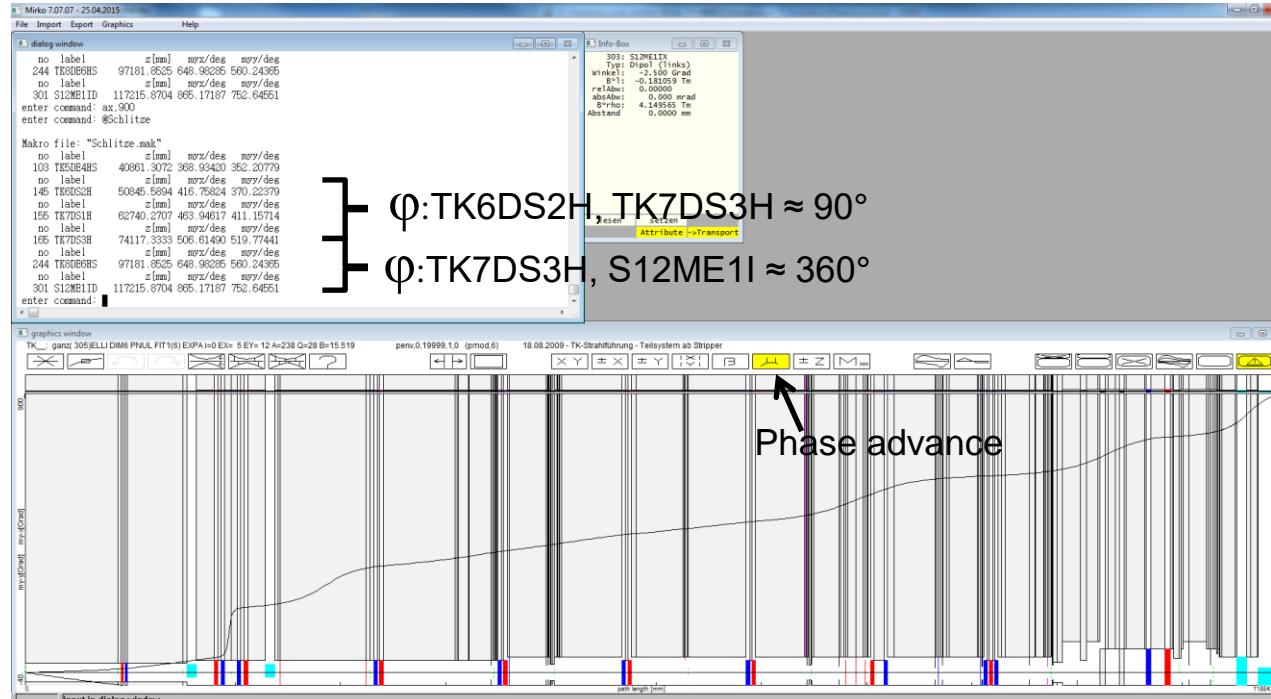
TK Collimation:Envelope and Emittance Fit

- Emittance fit through three PG
- Command to show the emittance value is **akop**

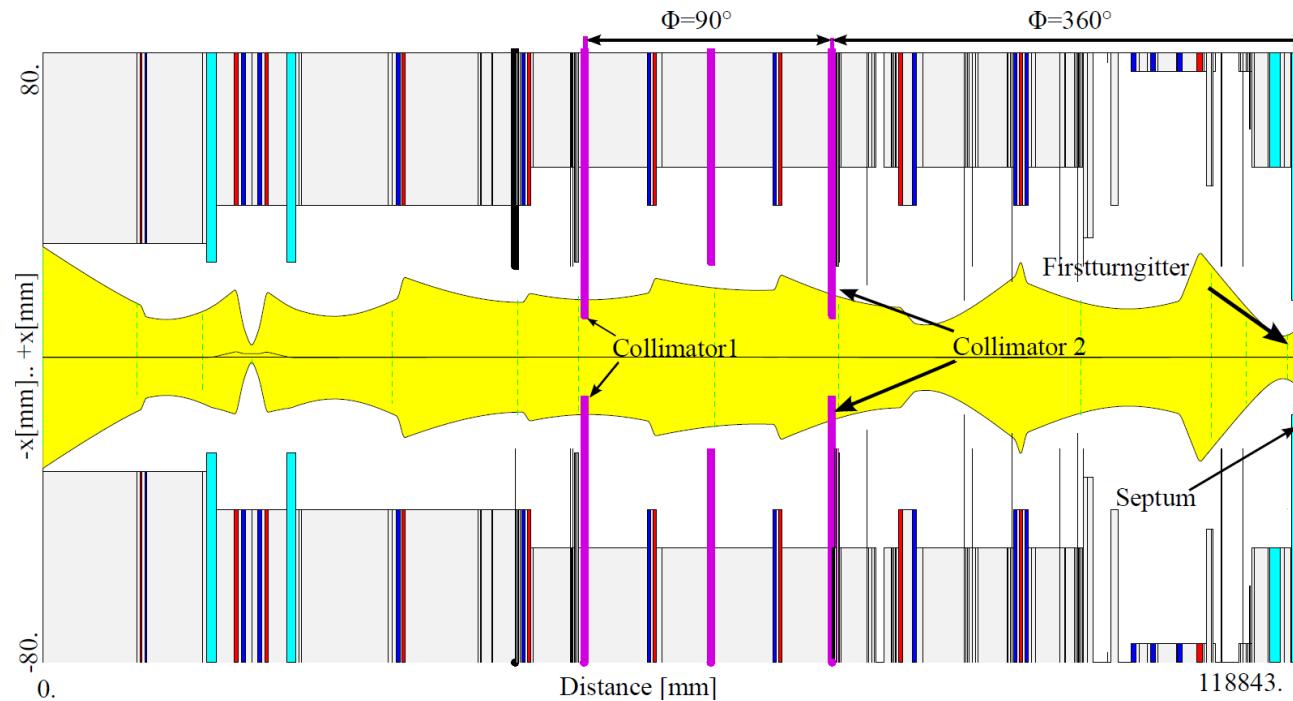


TK-Collimation: Phase Advance

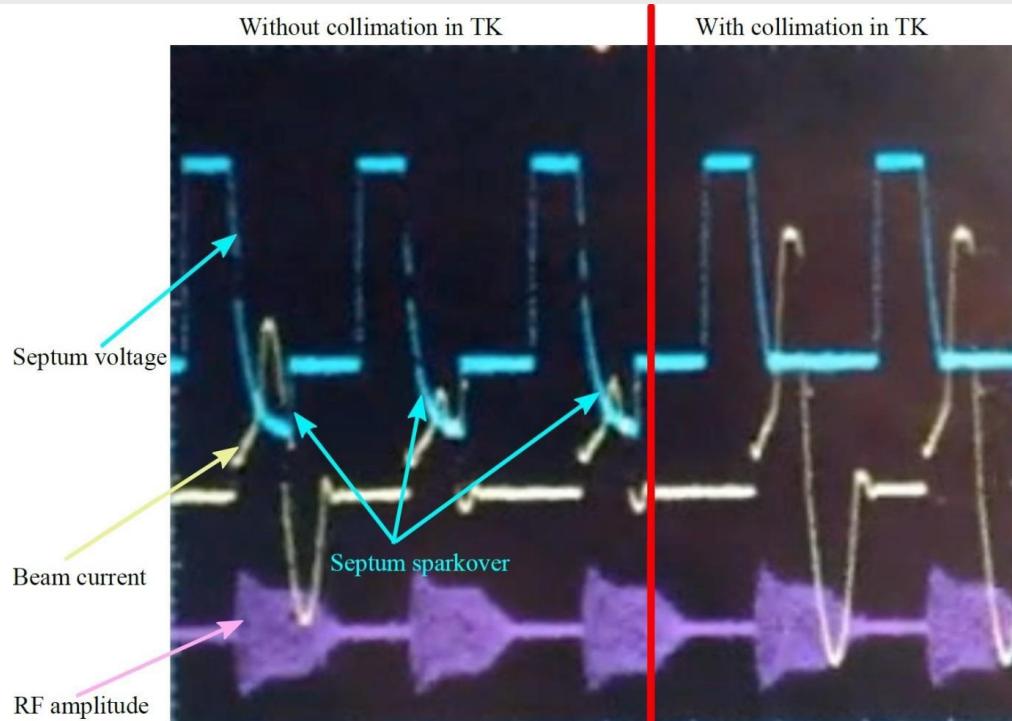
- Switch MIRKO to calculate the phase advance 
- Phase advance between Collimators and septum: MIRKO command **@SCHLITZE**
- Phase advance between PGs: MIRKO command **@PROFILGITTER**



TK Collimation: TK Envelope



Collimation Results: Septum Protection



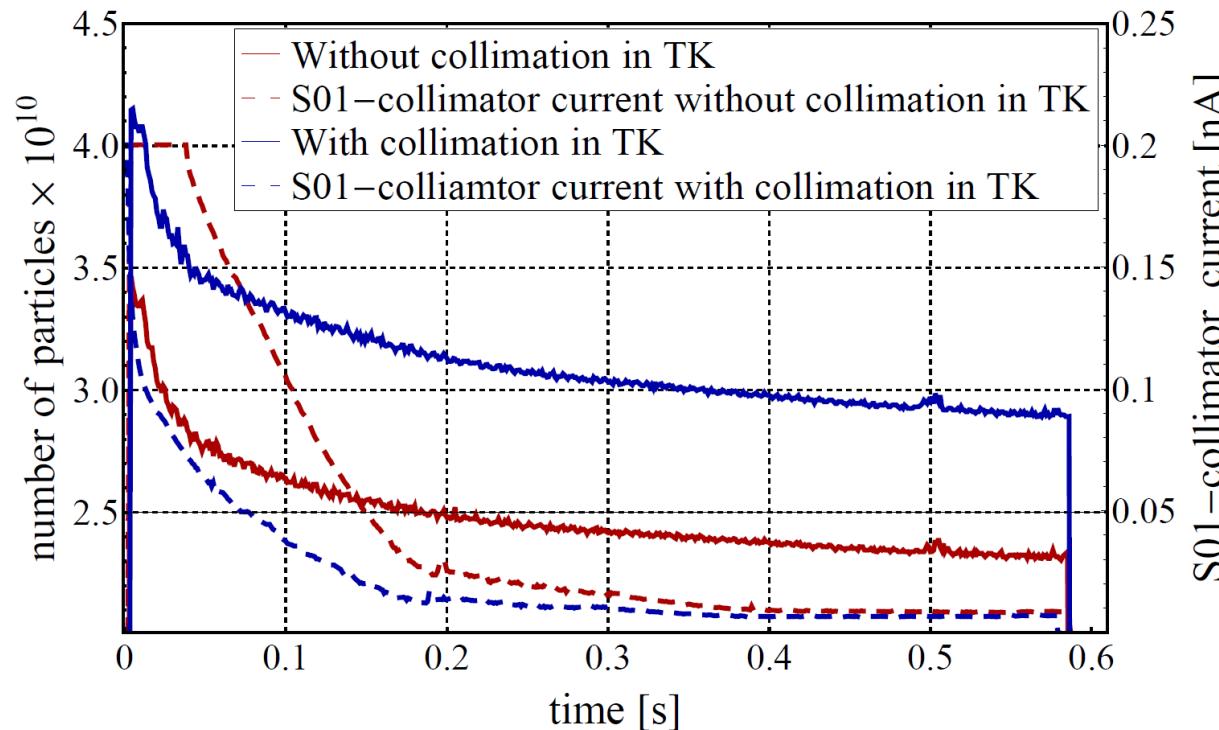
Without collimation:

- Sparkover and vacuum breakdown
- High losses during ramp

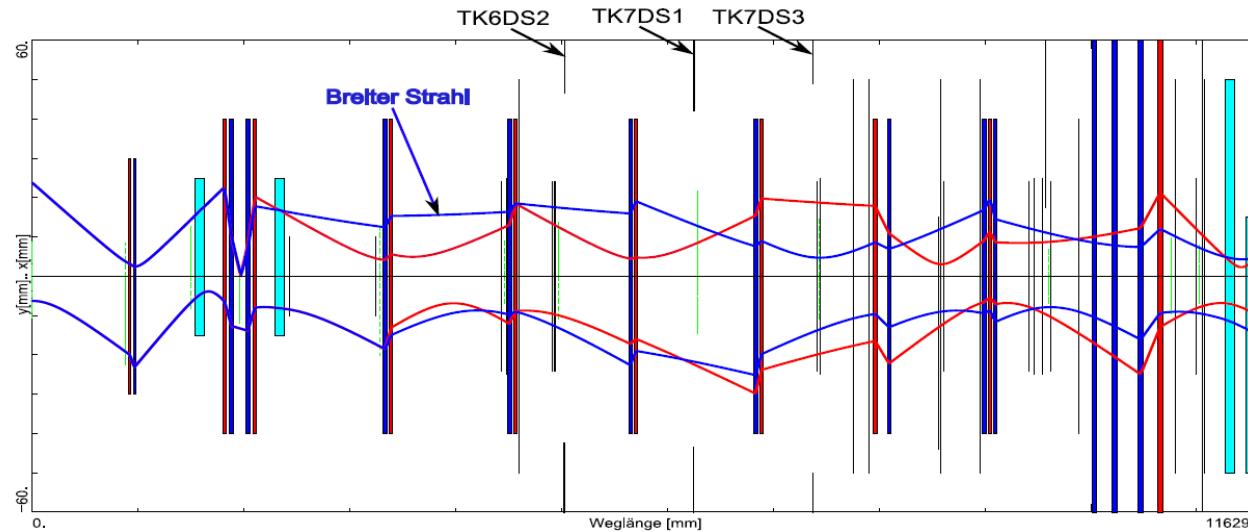
With collimation:

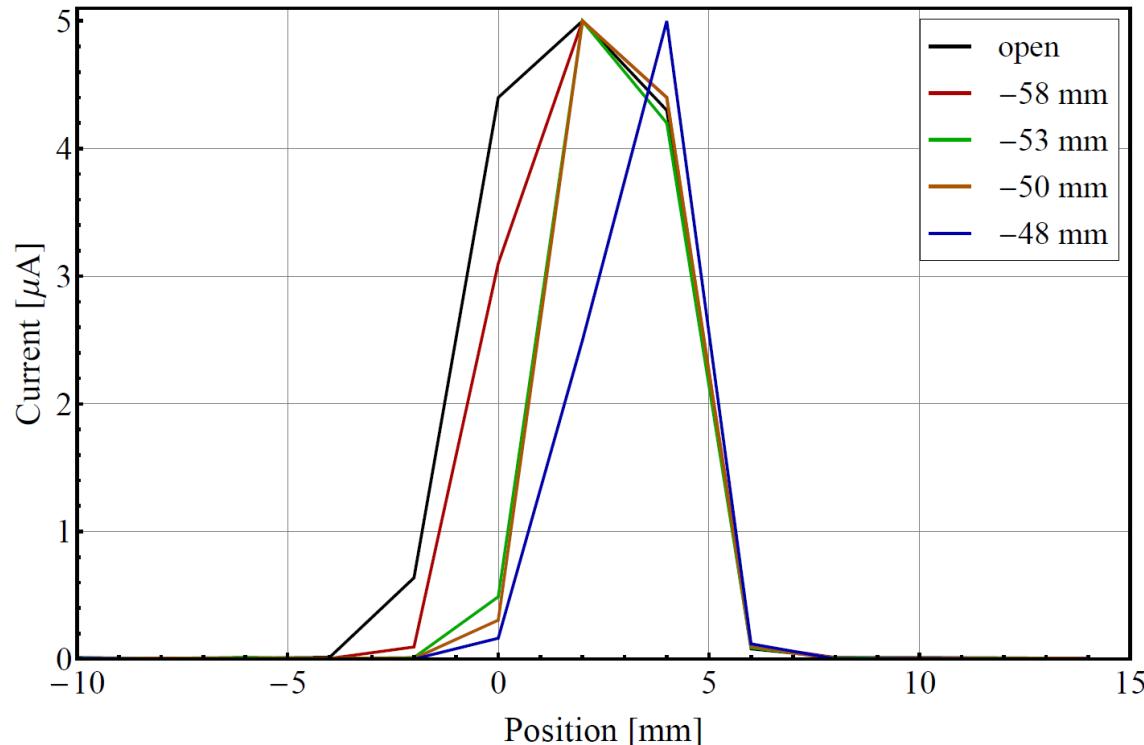
- Stable septum voltage (no sparkover)
- Stable beam current

Collimation Results: SIS18 Intensity



Backup: Breiter Strahl





Backup: Non Linear Bump

