

Maschinenexperimente vom 28.08.2007: Schnelle Rampen, Umladungsverluste und dynamisches Vakuum

C. Omet, P. Spiller

19. September 2007

1 Durchführung

Im Rahmen der Maschinenexperimente am SIS18 stand aus der MEVVA-Quelle U^{28+} mit einer Injektionsenergie von 7,08 MeV/u zur Verfügung. Die erreichten Teilchenzahlen bei Injektion betragen bis zu $1,35 \cdot 10^{10}$, wobei durch Optimierung der Injektion die Multiturn-Injektionszeit mit $50 \mu s$ (ca. 8,5 Umläufe) sehr kurz gewählt wurde. Es wurden beide HF-Kavitäten mit der maximalen Spannung von jeweils 14 kV betrieben. Der Arbeitspunkt war $Q = (4.18, 3.29)$ (siehe auch Tab. 2).

Zur Erreichung maximaler U^{28+} -Teilchenzahlen nach Beschleunigung wurde mit der z.Zt. optimalen Ramprate von 4 T/s im 18 Tm-Modus auf 150 MeV/u beschleunigt und danach schnell auf den HHD extrahiert. Des weiteren wurde der Closed Orbit mit dem (momentan nur unter NODAL verfügbaren) CO-Korrekturprogramm innerhalb SIST optimiert. Die zeitabhängigen Teilchenzahlen wurden mit dem langsamen Strahltransformator S09DT_ML gemessen.

Zur Verbesserung des initialen Vakuumdruckes wurden vor der Experiment-Schicht die Ti-Sublimationspumpen „gefeuert“ (sublimiert) und eine Pause von bis 2...4 s zwischen den einzelnen Zyklen eingefügt. Der Vakuumdruck (als N_2 -Äquivalentdruck) wurde während des Experiments mittels der im SIS18 installierten Extraktor-Vakuummeter (Leybold IE514) aufgenommen.

2 Ergebnisse

2.1 Initialer Vakuumzustand

Die im Shutdown 2006 in den Sektionen S05/S06 eingebaute NEG-Beschichtung scheint nun ihre Wirkung zu entfalten. Dies ist an der erhöhten Saugleistung gegenüber früheren

Experimenten zu sehen. Der mittlere korrigierte Druck während der Experimente betrug ca. $5 \cdot 10^{-11}$ mbar.

2.2 Zeitabhängige Teilchenzahl

Es konnte durch systematische Optimierung der Injektion, der Radial- und Vertikallage des Strahls insgesamt eine sehr gute Transmission von über 70%...80% erreicht werden, siehe Abb. 2. Die Teilchenzahlen (siehe Abb. 1) bei Flattop-Energie sind die höchsten, mit U^{28+} jemals erreichten. Oberhalb von etwa $7,5 \cdot 10^9$ injizierten Teilchen verringert sich die Transmission aufgrund der dynamischen Vakuumeffekte jedoch.

Man erkennt deutlich, dass eine Erhöhung der Wartezeit zwischen zwei Zyklen von 2 auf 5 s (Reihe „ABLASS, 5s“) die Transmission verbessert. Dies ist ein direkter Nachweis, dass die beobachteten Verluste dem Vakuumdruck zuzuschreiben sind, da für andere Hochstrom-Effekte wie z.B. Raumladung und IBS die Wartezeit vor dem Zyklus keine Rolle spielt.

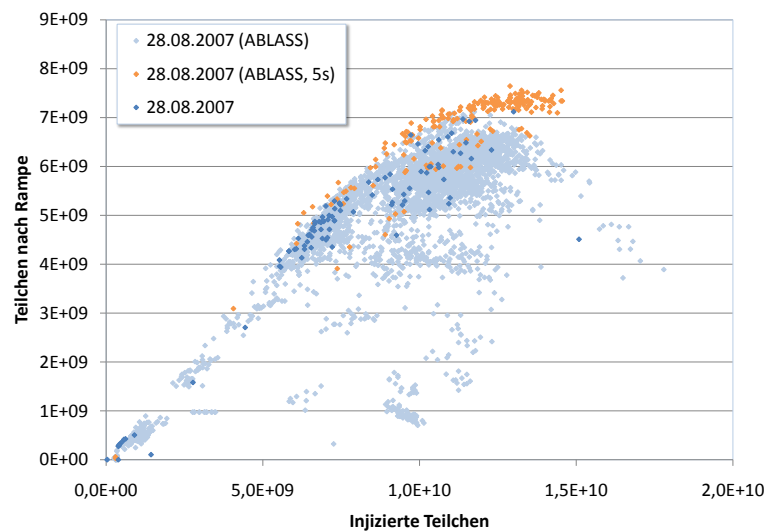


Abbildung 1: Teilchenzahl bei Flattop-Energie als Funktion der injizierten Teilchen.

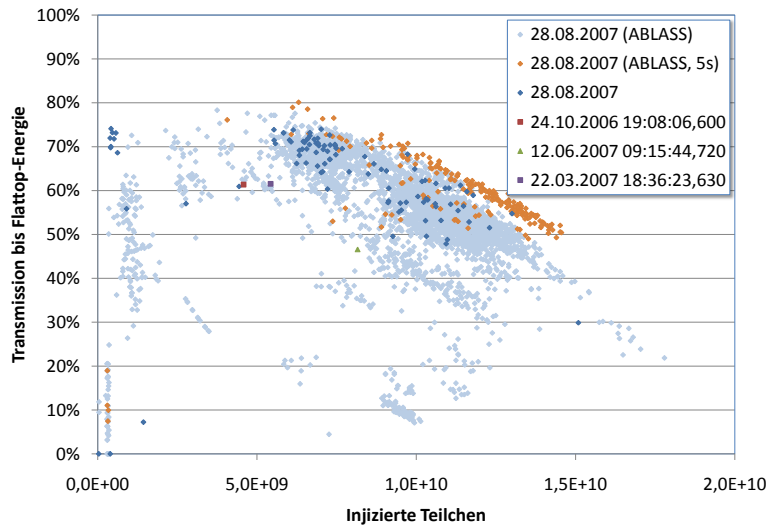


Abbildung 2: Transmission als Funktion der injizierten Teilchen.

In Abb. 3 und Tab. 1 ist die zeitabhängige Teilchenzahl im SIS18 mit den maximal erreichten Teilchenzahlen früherer Experimente dargestellt. Man erkennt, dass eine Verbesserung der extrahierten Teilchenzahl um mehr als einen Faktor 2 erreicht werden konnte. Die verlängerte Wartezeit von 5 s verbessert die erreichte Teilchenzahl um ca. 7%.

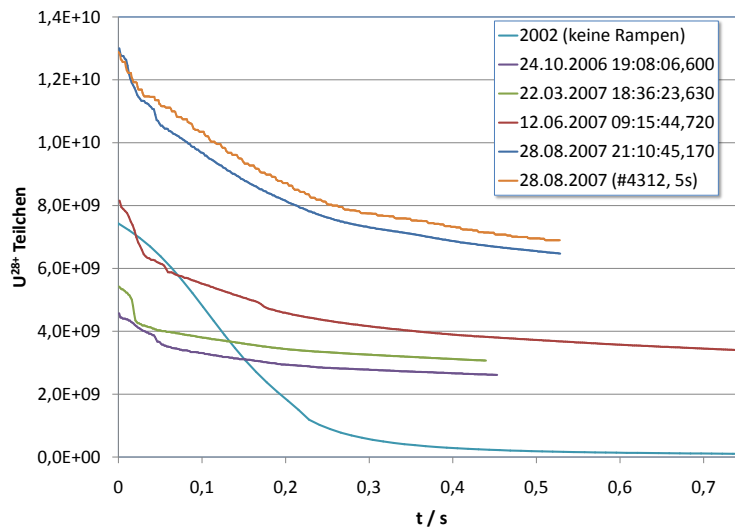


Abbildung 3: Teilchenzahl als Funktion der Zeit

Tabelle 1: Maximale Teilchenzahlen bei Flattop-Energie

Experiment	E / MeV/u	Inj. Teilchen	nach Rampe	Transmission %
24.10.2006, 19:08:06	90	$4,58 \cdot 10^9$	$2,81 \cdot 10^9$	61,37
22.03.2007, 18:36:23	90	$5,43 \cdot 10^9$	$3,13 \cdot 10^9$	57,60
12.06.2007, 09:15:44	196	$8,16 \cdot 10^9$	$3,78 \cdot 10^9$	46,36
28.08.2007, 21:10:45	150	$1,30 \cdot 10^{10}$	$7,12 \cdot 10^9$	54,75
28.08.2007, #4321 (5s)	150	$1,29 \cdot 10^{10}$	$7,65 \cdot 10^9$	59,32

Man erkennt in Abb. 4(a), dass die 1/e-Lebensdauer während des Zyklus deutlich zunimmt. Dies ist als Funktion der Teilchenenergie in Abb. 4(b) deutlicher dargestellt. Aus Abb. 4(c) erkennt man darüber hinaus, dass die seit Mitte 2006 eingebaute NEG-Beschichtung S05/S06 die Lebensdauer durch erhöhte Saugleistung stark verbessert. Man erreicht nun die gleiche Lebensdauer bei höheren Teilchenverlusten als früher.

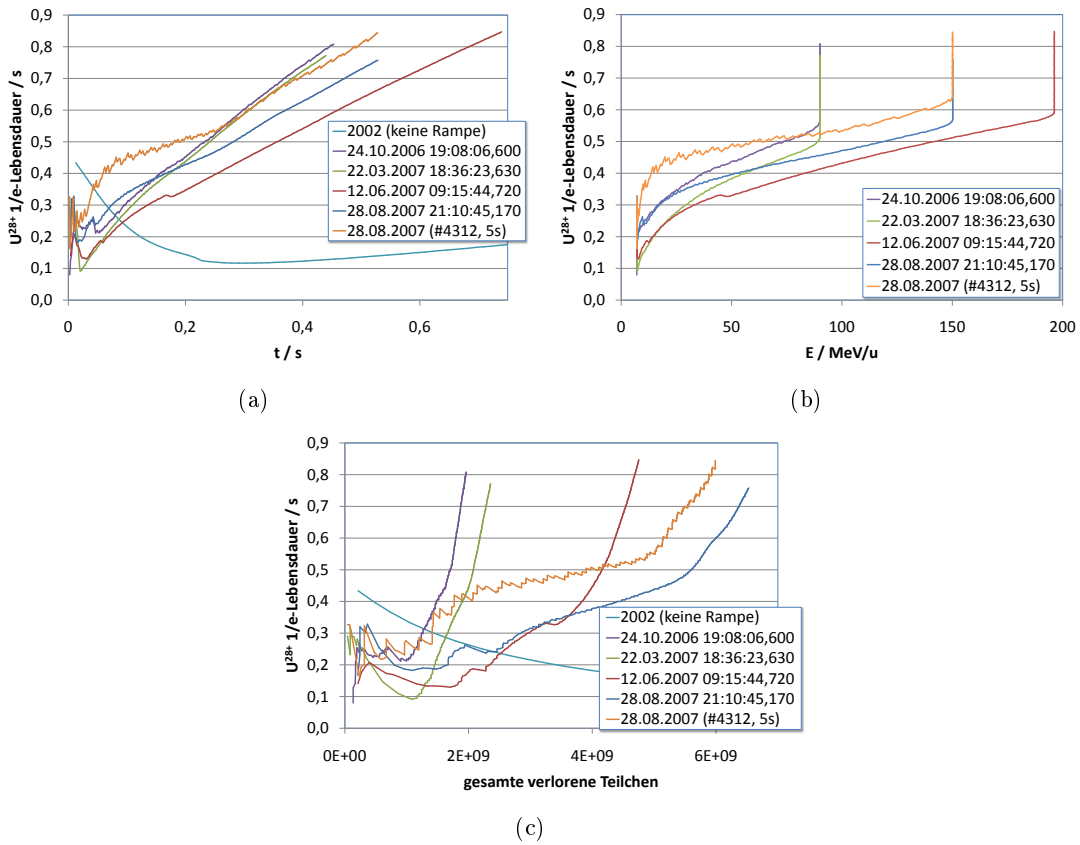
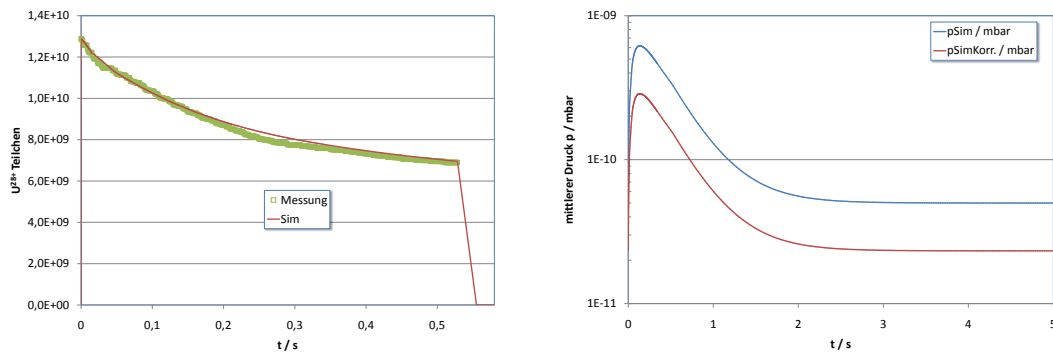


Abbildung 4: 1/e-Lebensdauern von U^{28+} .

2.3 Simulationen

Es wurde geprüft, ob der gemessene Druckanstieg mit der Simulation der Teilchenverluste in STRAHLSIM übereinstimmt. Die zeitabhängige Teilchenzahl ist in Abb. 5(a)) dargestellt. Experimentell gemessene Drücke sind noch nicht vorhanden, die simulierten sind in Abb. 5(b) dargestellt.



(a) Teilchenzahl

(b) Mittlerer Druck

Abbildung 5: Simulation und Messdaten (# 4321 (5s)).

2.4 Closed-Orbit-Korrektur

Zur genauen Analyse des Einflusses des Closed Orbits stand erstmals mit SIST (NODAL) eine (halbautomatische) Möglichkeit zur Verfügung, eine lokale Orbitbeule zu erzeugen. Dies wurde dazu benutzt, die verfügbare vertikale Akzeptanz des Beschleunigers zu vermessen. Hierbei wurde auf Injektionsniveau Periode für Periode eine lokale CO-Beule von ca. 10 mm erzeugt und die zugehörigen Verluste bewertet. Daraus ergibt sich der in Abb. 6 dargestellte vertikale Freiraum und die angegebene Soll-Lage für die geringsten gemessenen Verluste. Auffällig ist die starke Begrenzung in S12. Die finalen Steererwerte sind in Tab. 3 angegeben.

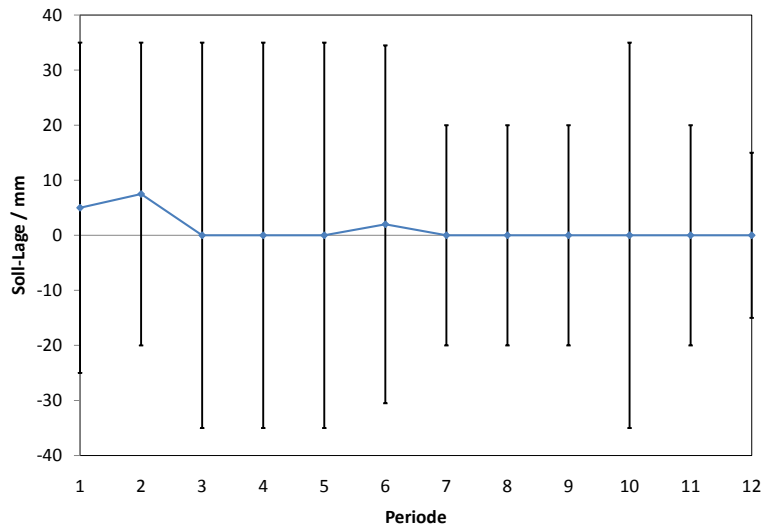


Abbildung 6: Verfügbarer vertikaler Freiraum und Soll-Lage des Strahls für maximale Akzeptanz.

3 Zusammenfassung

Die momentan optimale Ramprate von $\dot{B} = 4 \text{ T/s}$ bringt zusammen mit der CO-Korrektur sowie der erhöhten Saugleistung des SIS18 die erwartete Reduktion der Umladungsverluste. Die Verluste könnten weiter reduziert werden, wenn die maximale HF-Bucketfläche (und damit auch die Ramprate) weiter erhöht werden könnte (siehe SIS18 Upgrade, $h = 1$ -Kavität). Zusätzlich werden im kommenden Shutdown weitere Dipol- und Quadrupolkammern NEG-beschichtet, was die Saugleistung weiter erhöht. Es fehlt nun noch ein Faktor von 16 zum FAIR-Referenzbetrieb ($1,25 \cdot 10^{11}$ extrahierte Teilchen).

Die effektive Saugleistung des SIS18 ist geringer als bisher angenommen. Der Restgasdruck zeigt ein viel weniger dynamisches (und verzögertes) Verhalten als durch die Simulationen berechnet.

Die Abschätzungen des dynamischen Drucks und der zeitabhängigen Teilchenzahl für das SIS18 im Booster-Betrieb sind gemäß den neuen Erkenntnissen zu überarbeiten.

4 Anmerkungen

Die Dipol-Hauptstromversorgung zeigte anfangs jeden 2. bis 3. Zyklus Ausfälle (Abbrüche der Dipolrampe). Nur durch die Wahl einer Verrundungszeit von 64 ms konnte ein stabiler Betrieb erreicht werden.

Das Vakuum-Messsystem (Webinterface) zeigt Probleme, wenn die Empfindlichkeit (Trigger zum Wegschreiben der Messwerte) auf 10% Veränderung gesetzt wird. Dabei ist kein Zugriff auf die Daten auf dem SQL-Server mehr möglich (Anzeige des akt. Drucks funktioniert, grafische Darstellung und Download der Daten dagegen nicht).

Es gibt immer noch keine Möglichkeit, mit dem Trafo-Programm mehrere Schüsse hintereinander automatisch aufzeichnen zu lassen (darüber hinaus reagiert es teilweise so langsam, dass einzelne Schüsse erst gar nicht dargestellt werden). Der verwendete Experten-Modus von ABLASS dagegen zeichnet beliebig viele Schüsse hintereinander auf, hat aber eine überlagerte Schwingung/Ripple von ca. 2% des Trafo-Messwertes auf den Aufzeichnungen. Es fehlt hier leider der Zeitstempel jedes einzelnen Schusses, so dass Unterbrechungen des Betriebs durch SISMODI-Berechnungen, etc. nicht erfasst sind.

5 Anhang

Tabelle 2: SISMODI-Einstellungen.

Einstellung	Wert	Einheit
Q_h	4,18	
Q_v	3,29	
Chopperfenster	50	μs
Bumperflanke	170	μs
Bumperamplitude	90	mm
Sollbahn-Amplitude	5,0	mm
Kickwinkel	5,533	mrاد
Kickstart	76,5	deg
Bypasswinkel	4,5	mrاد
Radialposition bei Injektion	3,0	mm
Radialposition bei Extraktion	-2,5	mm
U-RampAnfang	28,0	kV
U-RampEnde	28,0	kV
U-Flattop	10,0	kV
h	6	
dS12MU3I	-1,4	mrاد
dS12ME1I	6,4	mrاد
\dot{B}	4,0	T/s

Tabelle 3: SISMODI-Expert-Einstellungen.

Einstellung	Wert	Einheit
S01KM2DV_1	0,763	mrاد
S01KM2DV_2	0,1	mrاد
S02KM2DV_1	-0,247	mrاد
S02KM2DV_2	0,0	mrاد
S03KM2DV_1	0,924	mrاد
S03KM2DV_2	0,0	mrاد
S04KM2DV_1	-0,223	mrاد
S04KM2DV_2	-0,241	mrاد
S05KM2DV_1	0,061	mrاد
S05KM2DV_2	0,0	mrاد
S06KM2DV_1	0,068	mrاد
S06KM2DV_2	0,261	mrاد
S07KM2DV_1	-0,1	mrاد
S07KM2DV_2	0,0	mrاد
S08KM2DV_1	-0,18	mrاد
S08KM2DV_2	0,0	mrاد
S09KM2DV_1	-0,208	mrاد
S09KM2DV_2	0,0	mrاد
S10KM2DV_1	-0,204	mrاد
S10KM2DV_2	0,032	mrاد
S11KM2DV_1	-0,649	mrاد
S11KM2DV_2	-0,82	mrاد
S12KM2DV_1	-0,066	mrاد
S12KM2DV_2	0,2	mrاد