

Maschinenexperimente vom 24.10.2006: Schnelle Rampen, Umladungsverluste und dynamisches Vakuum V. 2

C. Omet, P. Schütt, P. Spiller

5. März 2007

1 Durchführung

Im Rahmen der Maschinenexperimente am SIS-18 stand aus der MEVVA-Quelle U^{28+} mit einer Injektionsenergie von 7,08 MeV/u zur Verfügung. Die erreichten Teilchenzahlen bei Injektion betragen ca. $5 \cdot 10^9$, wobei durch Optimierung der Injektion die Multiturn-Injektionszeit mit $25 \mu\text{s}$ (ca. 4 Umläufe) sehr kurz gewählt wurde. Es wurden beide HF-Kavitäten mit der maximalen Spannung von jeweils 14 kV betrieben.

Zur Überprüfung der Vorhersagen des Simulationscodes STRAHLSIM [1] wurde mit unterschiedlichen Rampraten im 12 Tm-Modus auf 90 MeV/u beschleunigt und danach schnell auf den HHD extrahiert. Die zeitabhängigen Teilchenzahlen wurden mit dem langsamen Strahltransformator S09DT_ML gemessen.

Zusätzlich wurde der Vakuumdruck während des Experiments mittels der im SIS-18 installierten Extraktor-Vakuummeter (Leybold IE514) aufgenommen.

2 Ergebnisse

2.1 Initialer Vakuumzustand

Durch einen Geräteausfall konnte die effektive Saugleistung des SIS18 bestimmt werden. Hierbei fand nur jeweils ein Zyklus vor dem Ausfall statt, der wiederum eine längere Pause nach sich zog. Dadurch konnte gemäß

$$p = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (1)$$

wobei $\tau = \frac{V}{S_{eff}}$ ist, mit dem Volumen $V \approx 5,107 \text{ m}^3$ die effektive Saugleistung S_{eff} bestimmt werden zu:

$$S_{eff} = 569 \pm 201/\text{s}. \quad (2)$$

Der früher geschätzte Wert betrug $S_{eff} \approx 2000 \text{ l/s}$ und ist damit deutlich zu hoch angesetzt.

Nach den Experimenten wurde ein Restgasspektrum in den Sektionen 01, 02, 06, 08, 09 und 11 aufgenommen und durch H. Bender ausgewertet, siehe Tab. 1. Gegenüber letztem Jahr konnte der Anteil an Argon um 1% und der von H_2O um 9,2% gesenkt werden.

Tabelle 1: Restgaszusammensetzung im SIS18, gemessen am 30.10.2006. Der korrigierte Totaldruck betrug $3,28 \cdot 10^{-11}$ mbar.

Molekül	Anteil / %
H_2	74,6
CH_4	9,4
H_2O	7,8
O_2	0,4
CO	4,2
Ar	3,0
CO_2	0,4

Quantitative Aussagen über die Wirkung der NEG-Beschichtung, welche im Shutdown 2006 in den Sektionen S05/S06 eingebaut wurde, sind nicht möglich. Es konnte keine Verbesserung des Druckes in den betreffenden Sektionen festgestellt werden. Dies wurde durch den stark ausgasenden Q-Kicker in S05 verursacht (dort betrug der Gleichgewichtsdruck $1,42 \cdot 10^{-10}$ mbar), welches in kurzer Zeit zur Sättigung der NEG-Oberfläche geführt haben kann. Der mittlere korrigierte Druck während der Experimente betrug $9,31 \cdot 10^{-11}$ mbar.

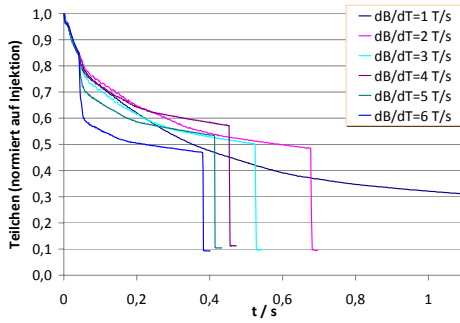
2.2 Zeitabhängige Teilchenzahl

In Abb. 1(a) ist die zeitabhängige Teilchenzahl im SIS-18, normiert auf die Teilchenzahl bei Injektion, bei verschiedenen Rampraten \dot{B} dargestellt. Man erkennt, dass die Injektionsverluste sowie die Verluste nach der Beschleunigung wie erwartet in etwa gleich bleiben, aber die HF-Einfangsverluste sowie die Verluste während der Rampe stark variieren. Dies ist in Tab. 2 und Abb. 1(b) zusammengefasst dargestellt, wobei die Normierung stets auf die Teilchenzahl vor dem entsprechenden Prozess erfolgte.

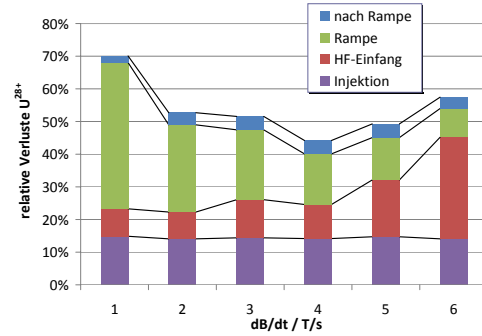
Die Verluste während der Rampe nehmen mit erhöhter Ramprate stark ab, da die Wirkungsquerschnitte für Umladung mit der Energie abfallen. Der HF-Einfang wird schlechter für $\dot{B} > 4 \text{ T/s}$, was auf eine zu kleine HF-Bucketfläche schließen lässt.

Tabelle 2: Relative Verluste während des Zyklus in %.

$\dot{B} / \text{T/s}$	Inj.	HF-Einfang	Rampe	Flattop	Total
1	14,9	8,4	44,8	2,0	68,8
2	14,1	8,2	26,7	3,7	51,5
3	14,4	11,7	21,4	4,1	49,9
4	14,2	10,4	15,5	4,1	42,7
5	14,7	17,4	13,0	4,2	46,7
6	14,1	31,1	8,8	3,5	53,1



(a) Zeitabhängige Teilchenzahl



(b) Relative Verlustverteilung

Abbildung 1: Zeitabhängige Teilchenzahl und relative Verlustverteilung im SIS18.

2.3 Dynamisches Vakuum

Der Druckverlauf während der Experimente ist in Abb. 2 dargestellt. Die Zeitpunkte, zu denen ein Strahltransformator-Protokoll existiert, sind gekennzeichnet. Der gemessene Druckanstieg ist recht gering, zwischen den Messungen ist der durch das Pumpen verursachte Druckabfall zu erkennen.

2.4 Simulationen

Es wurde geprüft, ob der gemessene Druckanstieg mit der Simulation der Teilchenverluste übereinstimmt. Hierbei wurde eine Diskrepanz bzgl. der Desorptionsrate η behoben. Die Simulationen mit der Annahme, dass eine quadratische Skalierung mit dem elektronischen Energieverlust des Ions $\eta \sim (dE/dx)^2$ [2, 3, 4] vorliegt, stimmen mit den experimentell bestimmten Druckverläufen besser überein als diejenigen ohne diese Annahme. Der beste Fit für den Druck liegt bei einer Desorptionsrate von $\eta \approx 2800$ (bei Injektionsenergie).

Die zeitabhängige Teilchenzahl (siehe Abb. 3(b)) wird bei dem experimentell gemessenen Druckverlauf (siehe Abb. 3(a)) nicht reproduziert, d.h. die angenommenen Wirkungsquerschnitte für Umladung sind wohl zu optimistisch abgeschätzt oder ein anderer, bisher nicht berücksichtigter Verlustprozess (der allerdings an das dynamische Vakuum gekoppelt ist) kommt ins Spiel. Der Abfall mit zunehmender Energie ist zu klein.

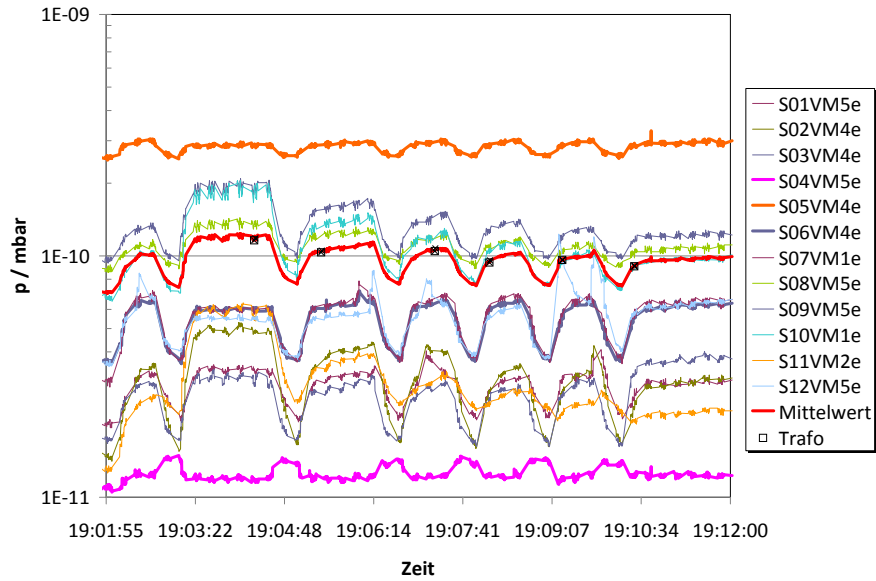
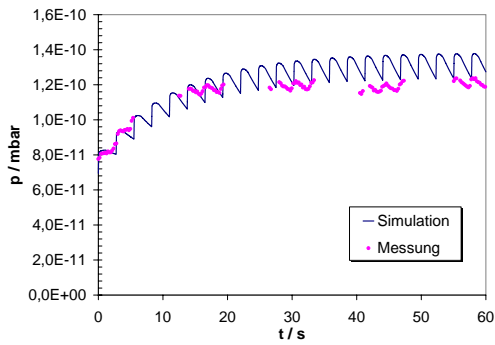
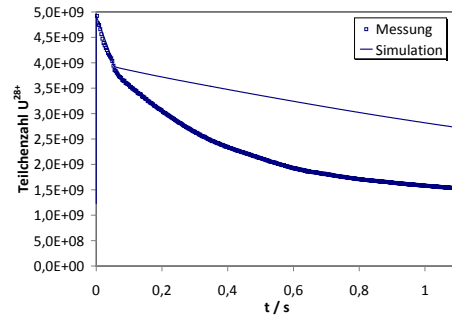


Abbildung 2: Druckverlauf im SIS18 während der Experimente. Der mittlere Druck wurde mit der Restgaszusammensetzung aus Tab. 1 korrigiert.

Lässt man einen höheren Druck als den gemessenen zu (siehe Abb. 4), lassen sich die gemessenen Verlustkurven recht gut bis zu einer Ramprate von 4 T/s und einer Energie von 30 MeV/u reproduzieren, siehe Abb. 5. Die angenommene effektive Saugleistung beträgt nach diesem Fit $S_{eff} = 2,1 \text{ m}^3/\text{s}$, die Desorptionsrate $\eta = 20\,500$, was im Bereich früherer Abschätzungen liegt. Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass die Druckmessgeräte im SIS-18 auf den durch Desorption lokal erhöhten Druck schlecht reagieren.



(a) Mittlerer Druck



(b) Teilchenzahl

Abbildung 3: Simulation und Messdaten SIS18 bei $\dot{B} = 1 \text{ T/s}$.

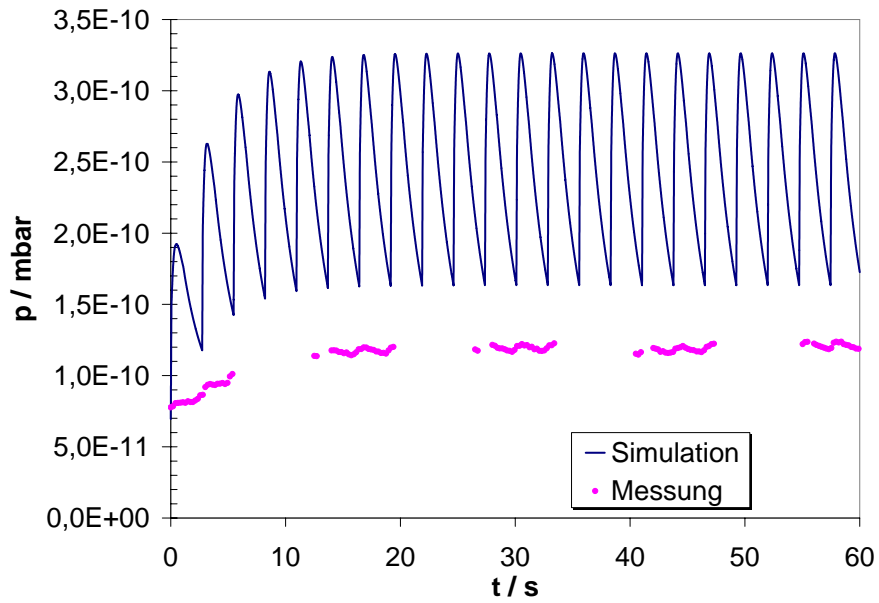
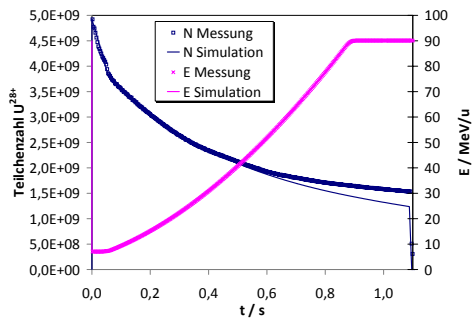
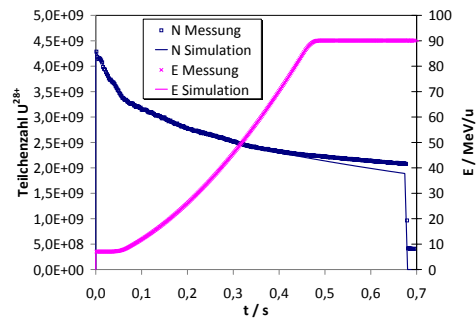


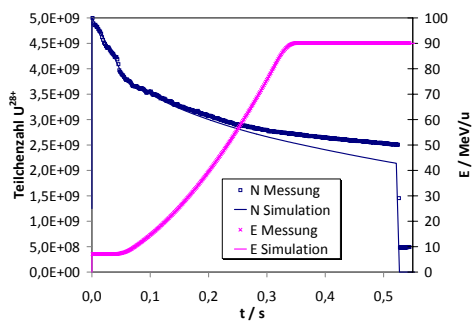
Abbildung 4: Simulierter Druckverlauf im SIS-18 für $\dot{B} = 1 \text{ T/s}$ für die Verlustkurve in Abb. 5(a).



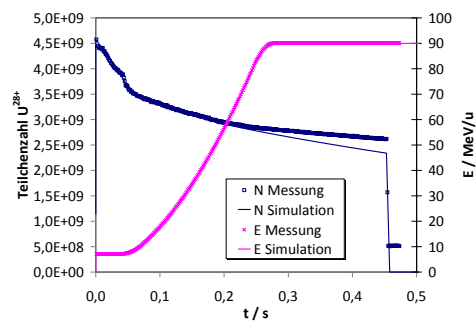
(a) $\dot{B} = 1 \text{ T/s}$



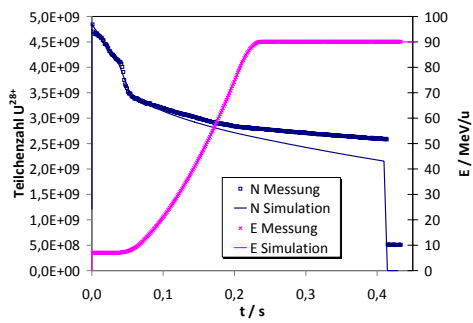
(b) $\dot{B} = 2 \text{ T/s}$



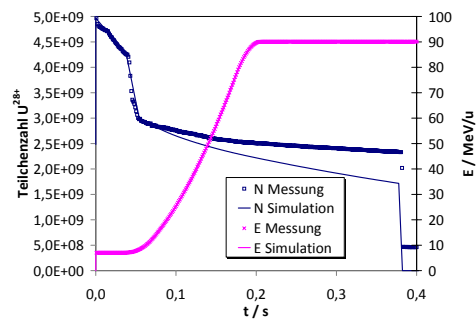
(c) $\dot{B} = 3 \text{ T/s}$



(d) $\dot{B} = 4 \text{ T/s}$



(e) $\dot{B} = 5 \text{ T/s}$



(f) $\dot{B} = 6 \text{ T/s}$

Abbildung 5: Zeitabhängige Teilchenzahl.

3 Zusammenfassung

Die schnellen Rampraten von bis zu $\dot{B} = 6 \text{ T/s}$ bringen die erwartete Reduktion der Umladungsverluste, wobei die beste Transmission von 57,3% bei $\dot{B} = 4 \text{ T/s}$ zu erreichen war. Die Verluste könnten weiter reduziert werden, wenn die maximale HF-Bucketfläche weiter erhöht werden könnte (siehe SIS-18 Upgrade, $h = 1$ -Kavität).

Die Restgaszusammensetzung im SIS18 wird kontinuierlich besser (weniger schwere Bestandteile), allerdings ist die effektive Saugleistung geringer als bisher angenommen. Der Restgasdruck zeigt ein viel weniger dynamisches (und verzögertes) Verhalten als durch die Simulationen berechnet. Hier ist eine Messung der Umladungsquerschnitte bei den SIS-Energien notwendig, um die theoretisch berechneten zu verifizieren.

Die Abschätzungen des dynamischen Drucks und der zeitabhängigen Teilchenzahl für das SIS-18 im Booster-Betrieb sowie für das SIS-100 sind gemäß den neuen Erkenntnissen zu überarbeiten.

4 Anmerkungen

Das Trafoprogramm im HKR kann ohne Betätigung des „Drucken“-Buttons nicht automatisch mehrere Schüsse hintereinander abspeichern. Eine Alternative besteht durch Verwendung von ABLASS, dabei müsste aber der S09DT_ML-Strom über die HF-Frequenz erst in eine Teilchenzahl umgerechnet werden. Zur Optimierung der Maschine wäre eine Ergänzung um die Anzeige der relativen Teilchenverluste während der einzelnen Phasen des Zyklus wünschenswert.

Die Aufzeichnung der Vakuum-Messdaten hat Aussetzer (siehe Abb. 3(a)), was einen kontinuierlichen Vergleich mit simulierten Daten schwierig macht. Es besteht keine Synchronisation zwischen den einzelnen Diagnose-Systemen, d.h. die einzige Möglichkeit, Messdaten zu korrelieren, ist über den Zeitstempel. Es wird angeregt, einen „Schuss-Zähler“ ähnlich anderen Beschleunigern zu implementieren.

Die Ramprateneinstellung über den Hauptbildschirm von SISMODI ist unpräzise, d.h. sie erzeugt einen anderen B -Verlauf als den theoretisch aus Verrundungszeit und Ramprate berechneten. Dies ist zusammengefasst in Tab. 3, wobei die gemessenen Rampraten aus den Trafodaten (siehe Abb. 5) abgeleitet wurden. Die Verrundungszeit betrug 32 ms.

Tabelle 3: Unterschied zwischen der gemessenen und im SISMODI eingestellten Ramprate.

$\dot{B} / \text{T/s}$ (SISMODI)	$\dot{B} / \text{T/s}$ (Messung)
1	$1,00 \pm 0,02$
2	$2,07 \pm 0,02$
3	$3,08 \pm 0,02$
4	$4,15 \pm 0,03$
5	$5,17 \pm 0,04$
6	$6,35 \pm 0,05$

Literatur

- [1] C Omet, P Spiller, J Stadlmann, and D H H Hoffmann. Charge change-induced beam losses under dynamic vacuum conditions in ring accelerators. *New Journal of Physics*, 8(11):284, 2006.
- [2] A. Molvik. Electrons and gas versus high brightness ion beams. In *25th International Workshop on Physics of High Energy Density in Matter*, 01 2005.
- [3] M. Bender, H. Kollmus, A. Krämer, E. Mahner, and E. Hedlund. Energy-Loss Dependence of the Ion-Induced Desorption Yield Measured with Ar¹⁰⁺ Ions at GSI-HHT. *GSI Scientific Report*, 2005(FAIR-ACC-19), 2005.
- [4] Holger Kollmus, M. Bender, A. Krämer, M.C. Bellachioma, E. Mahner, L. Westerberg, E. Hedlund, O.B. Malyshev, and H. Reich-Sprenger. Measurements on the Energy Dependence of the Ion-Induced Desorption Yield of Selected Materials. *GSI Scientific Report*, 2005(ACCS-OPD-09), 2004.