

SIS18-Maschinenexperimente vom 18. Oktober 2010 mit U²⁸⁺

L. Bozyk, P. Puppel, P. Spiller

Version 0.4

9. November 2010

Am 18. Oktober 2010 wurden Maschinenexperimente mit U²⁸⁺ durchgeführt. Die Maschine für Hochstrom-Betrieb eingestellt. Mit der optimierten Maschine wurden verschiedene Lebensdauermessungen durchgeführt: Zunächst wurde bei verschiedenen Tunes gemessen, später bei verschiedenen Energien. Dabei wurden Lebensdauern zwischen 11 s und 18 s ermittelt.

1 Durchführung

Während der Maschinenexperimente am 18. Oktober 2010 wurde U²⁸⁺ im SIS18 beschleunigt. Es wurde mit 11.45 MeV/u in das SIS18 injiziert. Der Unilac stellte einen Strom von bis zu ca. 1.4 mA (gemessen in TK9) zur Verfügung. Die Kavitäten wurden mit einer Beschleunigungsspannung von 25 kV betrieben. Die Beschleunigung erfolgte mit einer Ramprate von 4.0 T/s. Die Endenergie der Uranionen betrug 200 MeV/u. Die verwendeten Basis-Maschineneinstellungen sind in Tabelle 1 aufgelistet. (Ein Screenshot der SISMOI-Einstellungen ist in Abbildung 1 zu sehen.)

Am Morgen vor den Maschinenexperimenten wurde im SIS18 Titan sublimiert. Leider stand während dieser Maschinenexperimente keine Druckmessung zur Verfügung. Einige Wochen zuvor war der UHV-Server ausgefallen. Die aktualisierte Version von LabView auf dem neuen Rechner sorgte dafür, dass das Programm zur Erfassung der Druckmessung nicht mehr läuft. Das Problem konnte offenbar erst im Laufe des nächsten Tages behoben werden.

Gegen 16.00 Uhr, eine Stunde später als geplant, wurde begonnen, den Strahl in die Maschine zu fädeln. Gleichzeitig wurde begonnen, die Messbereichs-Umschaltung der Kollimatoren zu testen. Bei den beiden beweglichen Kollimatoren musste H. Reeg das Modul vom „Command-Mode“ in den „Event-Mode“ umschalten, bevor die Messbereiche verstellt werden konnten. Hier wurde offenbar von der Controls-Gruppe etwas falsch hinterlassen. Die Messbereiche der Seriekollimatoren ließen sich erwartungsgemäß schalten.

Ab 17.30 Uhr wurde der Transferkanal von Y. El-Hayek optimiert, was die Injektion verbesserte.

Eine CO-Korrektur wurde dieses Mal nicht durchgeführt, da beide zur Verfügung stehenden Programme keine Reaktion zeigten. Auch eine Tune-Messung konnte nicht intuitiv durchgeführt werden.

Tabelle 1: Maschineneinstellungen

Injektion		Extraktion	
Energie	11.454 MeV/u	Energie	200.0 MeV/u
$B\rho$	4.15508 Tm	$B\rho$	18.21494 Tm
Frequenz	859.669 kHz	Frequenz	3141.352 kHz
Q-horizontal	4.16	Q-horizontal	4.16
Q-vertikal	3.3	Q-vertikal	3.3
HF-Amplitude	28.0 kV	HF-Amplitude	20.0 kV
Radialposition	6.0 mm	Radialposition	-2.0 mm
Chopperfenster	100.0 μ s		
Chopperverzögerung	100.0 μ s		
Bumperflanke	230.0 μ s		
Injektionsbump	110.0 mm		
		Kickstart	99.5°
Rampzeit		64.0 ms	
\dot{B}		4. T/s	
Harmonisenzahl		4	

Ab 19.30 Uhr wurde die Lebensdauer des Strahls auf Injektionsenergie für verschiedene Tune-Einstellungen vermessen. Dabei wurden die beiden Tunes in 0.25er Schritten verstellt.

Bei der nächsten Lebensdauer-Messung ab 20.50 Uhr wurde die Intensität vom Unilac variiert um eine Abhängigkeit der Lebensdauer von der Intensität zu ermitteln. Dies wurde nicht einfach durch Veränderung des Chopper-Fensters gemacht, um die relative Füllung der Akzeptanz nicht zu verändern. Im Anschluss wurde die Maschine ein wenig laufen gelassen, um Statistik für Kollimator-Ströme zu sammeln.

Es wurde versucht, den S03-Kollimator zu verfahren, um dort HF-Verluste zu fangen. Bei dem Maschinenexperiment zur Akzeptanzvermessung wurde der Kollimator so eingestellt, dass er die Akzeptanz definierte, woraufhin auch HF-Verluste auf ihm zu sehen waren. Leider konnte der Kollimator nur wenige Millimeter verfahren werden.

Zum Schluss wurde ab 22.10 Uhr die Lebensdauer für verschiedene Energien gemessen. Dabei wurde der Extraktions-Speicher-Mode verwendet, wo der Strahl auf Extraktionsenergie gespeichert werden kann. Die Energie wurde in 20 MeV-Schritten verändert. Für die niedrigen Energien musste die Ramprate reduziert werden.

Probleme

- Es stand keine Druckmessung zur Verfügung. Der Grund war eine Inkopatibilität zwischen dem Daten-Erfassungs-Programm und der neuen LabView-Version auf dem neuen UHV-Server. Bis zu den Maschinenexperimenten konnte das Problem nicht behoben werden.
- Eine CO-Korrektur konnte nicht durchgeführt werden, da beide zur Verfügung stehenden Programme keine Reaktion zeigten.
- Es wäre wünschenswert gewesen, eine Tune-Messung durchzuführen. Leider ist das Programm nicht selbsterklärend.

S10	U10	TS/HHD	238U 28+ 200.00	schnell_1H4	2 HF-Kavi	Normal
iEnergie [MeV]:	11.454	eEnergie [MeV]:	200.0	Profilgit.Trig Inj.		
iB-Rho [Tm]:	4.15508	eB-Rho [Tm]:	18.21494	Wartezeit [ns]: 0.0		
iFrequenz[kHz]:	859.669	eFrequenz[kHz]:	3141.352	Zyklus-Zeit [s]: 1.444		
iTeilchen [µA]:	0.104E+07	eQH :	4.16	U-Injektion[kV]: 0.0		
iQH :	4.16	eQU :	3.3	U-RampA [kV]: 28.0		
iQU :	3.3	eRad.Pos. [mm]:	-2.0	U-RampE [kV]: 20.0		
iRad.Pos. [mm]:	6.0			U-Flatop [kV]: 10.0		
IstFrequ. [kHz]:	859.669			t-Ramp [ms]: 64.0		
Bump.Flank[µs]:	230.0			Harmonische : 4.0		
Bump.Ampl [mm]:	110.0			B-Punkt [T/s]: 4.0		
BpTacho[mm/µs]:	0.47826			Bypass [mrad]: 4.0		
Chop.Verz. [µs]:	100.0			mSepBumpAnf [mm]: 6.0		
ChopFenst. [µs]:	100.0					
BpWeglänge[mm]:	47.82608					
dU-Ready :	9990					
dTK7BC1L [mrad]:	0.0					
dTK7MU5 [mrad]:	0.0	Kickw. [mrad]:	5.033			
dS12MU3I [mrad]:	1.0	Kickstart [°]:	99.5			
dS12ME1I [mrad]:	-1.6	HF-Trigger:1/2:	2			
AnzInjekt. :	1	ESR-Synch.:0/1:	0			
e-Kühler 0/1 :	0	Synch-Zeit[µs]:	0			
MMIKüh1Z. [ms]:	0.0	SteigZeit. [ms]:	2.0			
Kühler dp/p :	0.0	FallZeit. [ms]:	32.0			
Kühlerf.Inj. :	600.0					
Kühlerstron[A]:	0.3					
KüBumpX [mm]:	0.0					
KüBumpX' [mrad]:	0.0					
KüBumpY [mm]:	0.0					
KüBumpY' [mrad]:	0.0					
an Geräte	InitWerte	alter Zustand	BF aktualis	INIT		
				PROTOKOLL		
				TFS		
				UNDO		
				SAVE		
				RESTORE		
				SOLL_SOLL		
				COPY		
				EXIT		

Abbildung 1: Screenshot der SISMODI-Einstellungen

- Die Kollimatoren im TK konnten nicht verfahren werden, es musste die Rufebereitschaft gerufen werden.
- Der S03-Kollimator konnte nur um wenige Millimeter verfahren werden, der Grund ist bisher unbekannt.

2 Lebensdauerermessung

Nachdem die Maschine mit den zur Verfügung stehenden Mitteln optimiert wurde, konnten verschiedene Lebensdauerermessungen durchgeführt werden. Hierzu wurden Strahlen niedriger Intensität für 10s auf Injektionsenergie gespeichert. An die mit dem Trafo erhaltenen Daten wird die Exponentialfunktion

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

angepasst. Das Inverse der Zerfallskonstanten λ ist die Lebensdauer $\tau = 1/\lambda$.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der verschiedenen Messungen gezeigt.

2.1 Intensitätsabhängigkeit

Bei dieser Lebensdauer-Messung wurde die Intensität vom Unilac variiert um eine Abhängigkeit der Lebensdauer von der Intensität zu ermitteln. Dies wurde nicht durch Veränderung des Chopper-Fensters realisiert, um die relative Füllung der Akzeptanz nicht zu verändern.

Die aufgenommenen Zyklen wurden im Bereich von 1s und 9s mit der Lebensdauer-Funktion gefittet. Es zeigte sich in logarithmischer Darstellung, dass der Bereich vor 1s von einer Exponentialfunktion, in dieser Darstellung also von einer Geraden, abweicht, siehe Abbildung 2. Die beiden jeweils erhaltenen Fit-Parameter sind in Abbildung 3 gegeneinander aufgetragen. Es zeigt sich, dass die gemessene Lebensdauer offenbar von der Intensität des Teilchenstrahls abhängig ist.

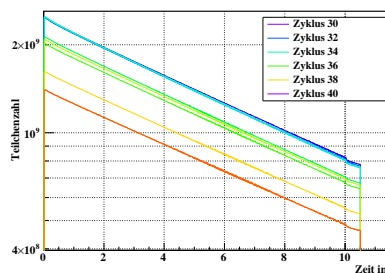


Abbildung 2: Einige gemessene Lebensdauerzyklen.

Anschließend Simulationen (siehe 5.1) zeigen, dass die Abhängigkeit offenbar linear ist. Die in der Abbildung gezeigten Gerade repräsentiert einen Fit durch die Daten, wobei mit Hilfe der „Robust-Option“ von ROOT nur die 90% der Datenpunkte ausgewählt wurden, für welche der Fit das kleinste χ^2 erhält. Auf diese Weise werden Ausreisser unterdrückt. Die Gerade lautet:

$$\tau(N) = -4.305 \cdot 10^{-10} \text{ s} \cdot N + 9.969 \text{ s}$$

Das bedeutet, dass die Lebensdauer für ein Teilchen 9.969s beträgt, aber gleichzeitig auch, dass die Lebensdauer bei einer Intensität von $2.32 \cdot 10^{10}$ Teilchen verschwindet (Schnittpunkt mit der X-Achse).

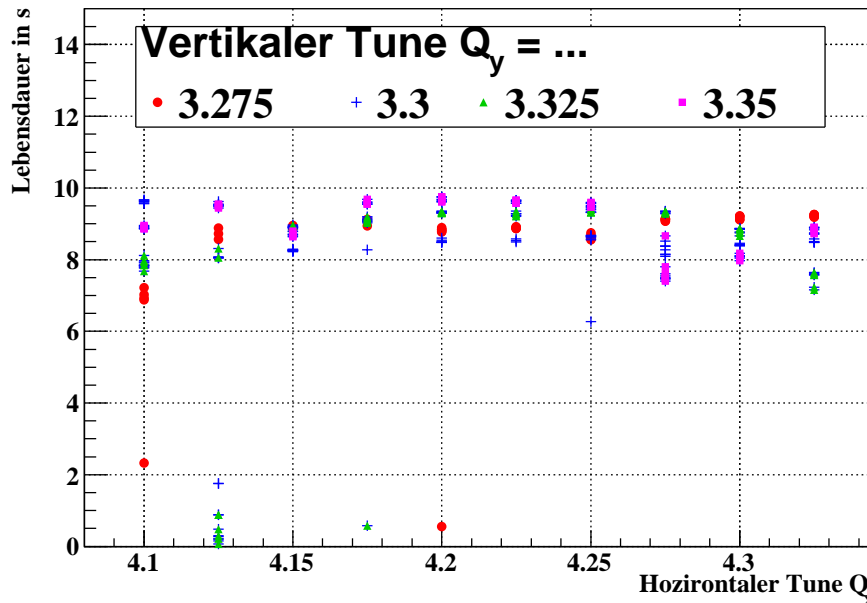


Abbildung 5: Ermittelte Lebensdauern für die verschiedenen eingestellten Tunes.

2.2 Energieabhängigkeit

Die Lebensdauer wurde zum Schluss der Maschinenexperimente für verschiedene Energien gemessen. Dabei wurde der Extraktions-Speicher-Mode verwendet, wo der Strahl auf Extraktionsenergie gespeichert werden kann. Die Energie wurde in 20 MeV-Schritten verändert. Für die niedrigen Energien musste die Ramprate reduziert werden.

Abbildung 4 zeigt die ermittelten Lebensdauern als Funktion der Teilchenenergie. Als Fit-Bereich wurden 7s nach Erreichen des Flattops gewählt.

Das sollte man mal noch machen!

In einer weiteren Analyse müsste aufgrund der Erkenntnisse aus Abschnitt 2.1 bei jeder Energie eine Intensitätsgerade bestimmt werden um eine intensitäts-bereinigte Lebensdauer für jede Energie zu ermitteln.

2.3 Tune-Abhängigkeit

Die Lebensdauer des Strahls wurde auf Injektionsenergie für verschiedene Tune-Einstellungen vermessen. Dabei wurden die beiden Tunes in 0.25er Schritten verstellt:

$$Q_x = 4.1 - 4.35 \quad (11 \text{ Werte})$$

$$Q_y = 3.275 - 3.35 \quad (4 \text{ Werte})$$

In Abbildung 5 sind die ermittelten Lebensdauern für die verschiedenen eingestellten Tunes zu sehen. Aus der mittleren Lebensdauer zu jedem eingestellten Tune ergibt sich Abbildung 6.

! Interpretation der Daten ??
! Anstelle des Mittelwertes Einteilchen-LD verwenden !?

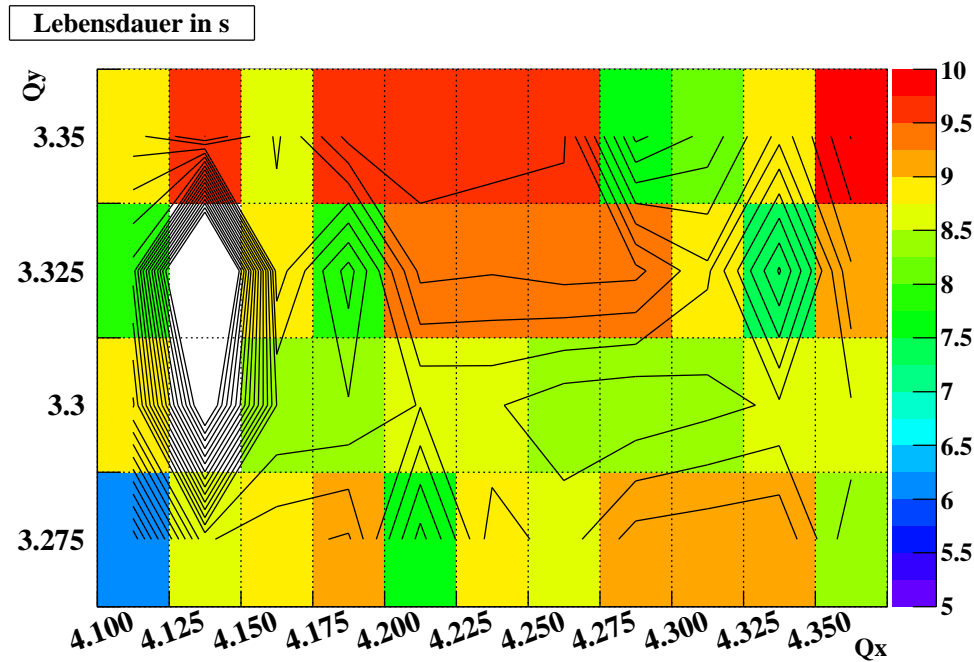


Abbildung 6: Mittlere Lebensdauer für die verschiedenen eingestellten Tunes, sowie Kontur-Linien (eine Kontur-Linie entspricht einem Sprung um 0.25 s).

3 Zeitabhängige Teilchenzahl, dynamisches Vakuum

Im Verlauf des Maschinenexperiments wurden die Maschinen optimiert. Die dabei erreichten extrahierten Teilchenzahlen sind in Abbildung 7 zu sehen. Es war möglich einen stabilen Betrieb mit ca. $1 \cdot 10^{10}$ extrahierten Teilchen einzustellen. Da jedoch vergleichsweise viele Lebensdauer-Messungen durchgeführt wurden, sind überwiegend niedrige Intensitäten und vergleichsweise schlechte Transmissionen zu sehen.

In Abbildung 8 sind die Anzahl extrahiert Teilchen als Funktion der injizierten Teilchenzahl aufgetragen. Der Verlauf ist in etwa linear. Für hohe Intensitäten liegt die Transmission bei etwa 70%, für die Lebensdauerermessungen bei niedrigen Intensitäten liegt die Transmission um die 40%. Der Verlauf lässt den Schluss zu, dass bei den hier verwendeten Intensitäten noch keine dynamischen Vakuum-Effekte aufgetreten sind. Wäre dies der Fall gewesen, würde die die Anzahl extrahierte Teilchen ein Maximum aufweisen bzw. auf ein Maximum zulaufen. Die hier ermittelten Zahlen der Transmission für Hochstrom sind etwas besser als bei vergangenen Maschinenexperimenten (ca. 60%).

3.1 Kollimatorströme

In Abbildung 9 sind die gemessenen Kollimatorströme eines beliebigen aber typischen Zyklusses in zwei Darstellungen gezeigt. Die Graphen sind nach Innen- und Außenseite sortiert, die Farbdarstellung nach Position. Die Teilchenintensität und Energie über den Plots dient der Orientierung im Zyklus. Folgende Beobachtungen können gemacht werden:

- Erwartungsgemäß tritt auf S01I der höchste Strom auf, gefolgt von S02I und S03I.

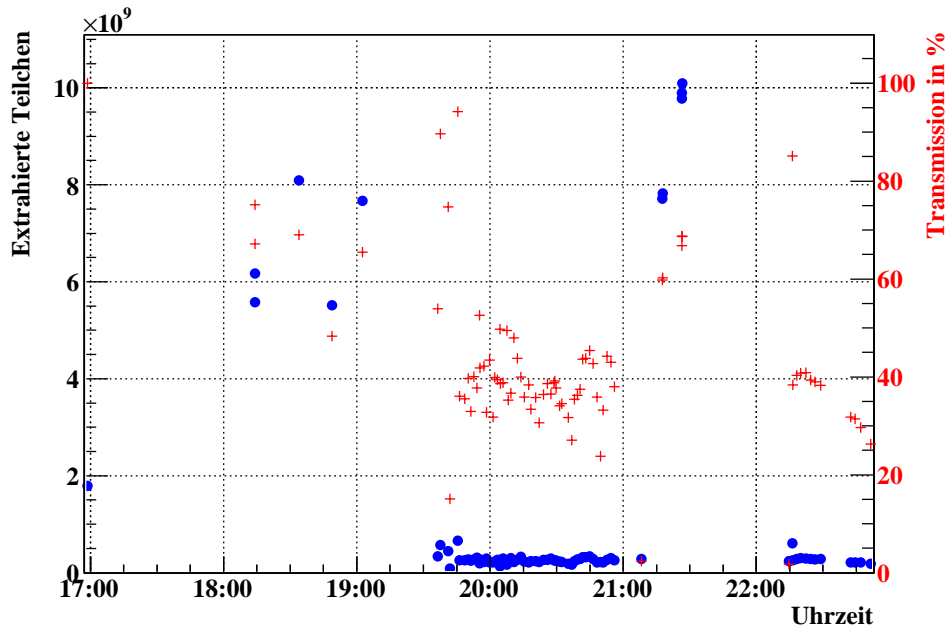


Abbildung 7: Anzahl extrahierter Teilchen (blaue Punkte) und Transmission (rote Kreuze) als Funktion der Uhrzeit.

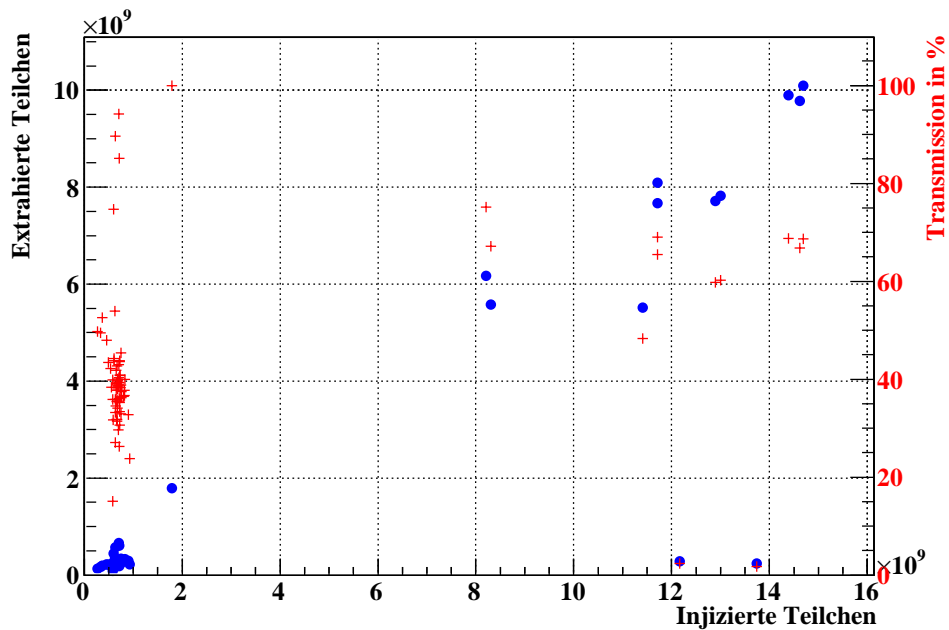


Abbildung 8: Anzahl extrahierter Teilchen über injizierter Teilchenzahl (blaue Punkte) und Transmission, Anzahl extrahierter Teilchen pro injizierter Teilchen (rote Kreuze).

- Beim Erreichen des Flattops bleibt der Strom auf S01I konstant (aufgrund konstant bleibender Umladungsrate in S12), während er auf S02I weiter sinkt. Offenbar reicht die in S01 installierte Saugleistung, um den Druck bei dieser Verlustrate noch zu senken.
- Auf S12I landet offenbar zumindest ein Teil der HF-Einfangs-Verluste. Damit dies möglich ist, muss der Strahl relativ schräg in der Maschine liegen. Aufgrund der nicht durchgeführten CO-Korrektur ist das durchaus möglich.
- Auf S04A ist zur gleichen Zeit ebenfalls ein großer Strom zu sehen.
- Alle anderen Ströme der Seriekollimatoren auf der Außenseite gehen, sofern überhaupt messbar, schnell auf Null.
- Der bewegliche S12-Kollimator zeigt einen ähnlichen Stromverlauf wie die Kollimatoren auf der Innenseite. Es ist zu vermuten, dass hier der Rahmen auf der Innenseite von umgeladenen Ionen getroffen wird. Rechnungen haben gezeigt, dass dieser für „Endlage außen“ sehr nah an den Strahl heran kommt und von umgeladenen Ionen getroffen werden kann. Unter der Annahme, dass der Strahl schräg in der Maschine lag (siehe Strom auf S12I) kann der Rahmen auch von umgeladenen Ionen getroffen werden, wenn der Kollimator ein wenig an den Strahl herangefahren wird, was hier der Fall war.
- Auf S01I ist auf der Rampe ein kleines Wackeln zu erkennen, auf S02I folgt kurz darauf ein deutlich niedrigeres Wackeln, gefolgt von S03I. Möglicherweise wurde hier eine Resonanz gekreuzt, was Strahlverluste zur Folge hatte. Auf S09I ist zur gleichen Zeit ein ähnliches Artefakt zu erkennen.

Die Messbereichsumschaltung der IFCs wurde an einigen Kollimatoren getestet und anhand eines gestiegenen Signals für höhere Empfindlichkeit verifiziert.

3.2 Strahlverlustmonitore

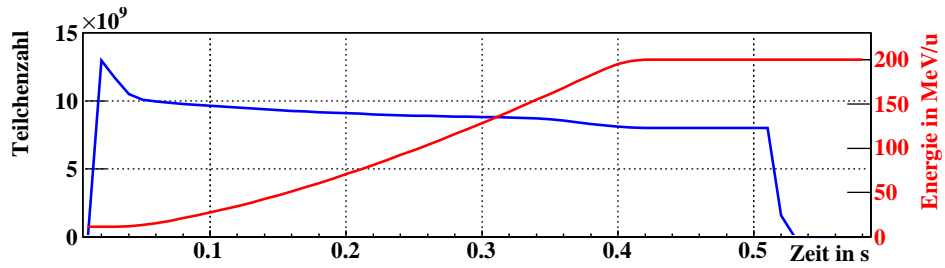
In Abbildung 10 sind die Signale aller Strahlverlustmonitore für einen beliebigen aber repräsentativen Zyklus um den Ring dargestellt. Zu dieser Zeit wurde die Maschine mit optimierten Einstellungen einige Zeit in Ruhe laufen gelassen. Es ist zu erkennen, dass im Bereich der Sektoren 1, 2 und 2 erhöhte Verluste zu verzeichnen sind. Da die Verluste jedoch mit zunehmendem Abstand zur Injektion geringer werden, ist zu vermuten, dass es sich hierbei um Umladungsverluste handelt.

Am Reinjektionsseptum (S11DL2) sind dieses Mal keine erhöhten Verluste zu erkennen.

Die Monitore um Sektion 6 herum messen zum Zeitpunkt der Extraktion erhöhten Strahlverlust. Hier befindet sich die Extraktion.

In S12DL3, an der Diagnosekammer vor dem Injektionsseptum (Innenseite) ist zur Zeit der Injektion ein erhöhtes Signal festzustellen.

Bei Zyklen mit schlechter Transmission erhöhen sich typischerweise die Signale der ersten Sektoren. Dies lässt die Vermutung zu, dass Transmission bei diesen Zyklen aufgrund von Umladungsverlusten bzw. schlechtem Druck an der Injektion vermindert ist. Ein Grund dafür könnte ein vorangegangener Überschlag am Septum sein.



Zyklusnummer: 10, 21:24:51 Uhr

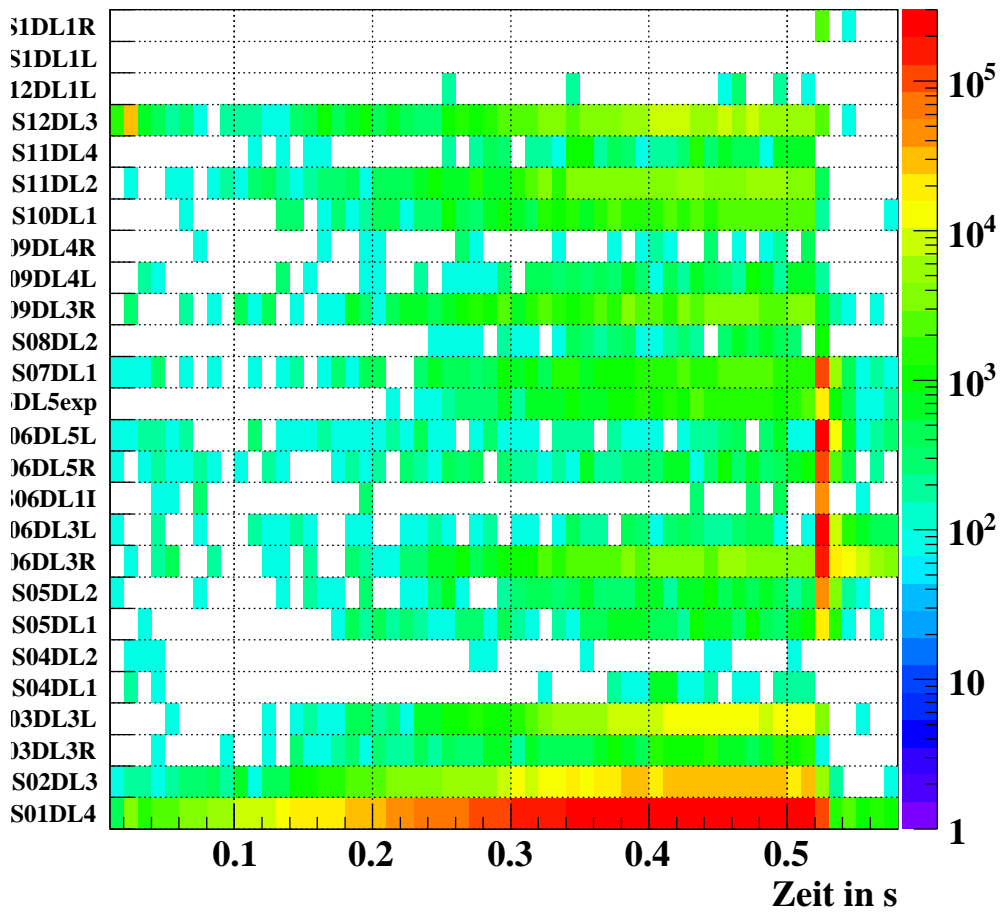


Abbildung 10: Signale der Strahlverlustmonitore für einen beliebigen, repräsentativen Zyklus.

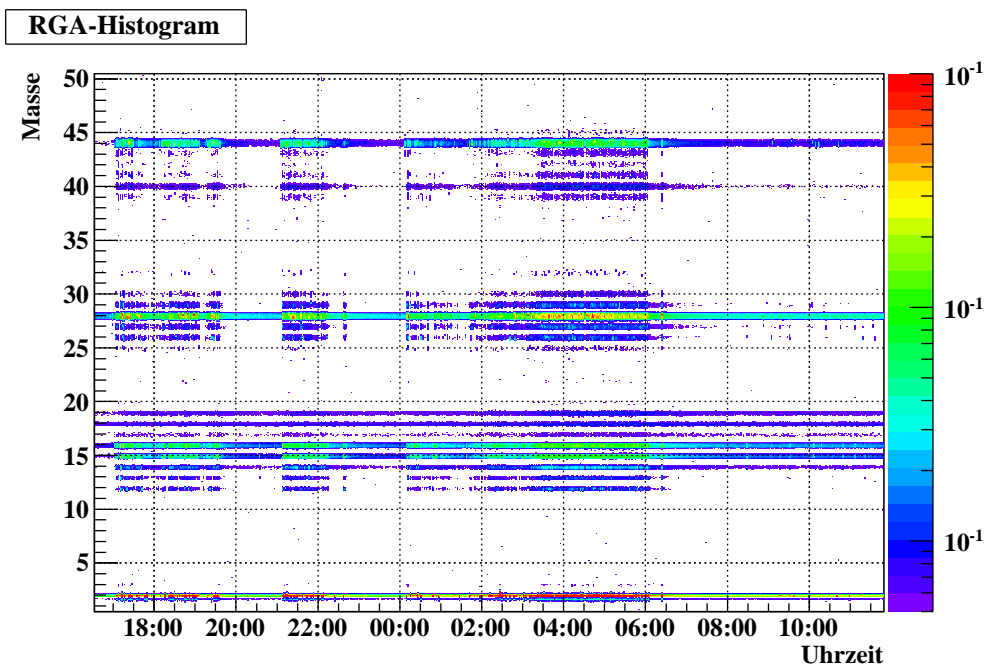


Abbildung 11: Verlauf der Restgaszusammensetzung in der Diagnosekammer S12DK3.

4 Vakuum

4.1 Restgasdruck

Kurz vor dem Maschinenexperiment wurden die Titan-Sublimationspumpen im SIS18 neu sublimiert um eine möglichst hohe Saugleistung zur Reduktion des dynamischen Vakuums zur Verfügung zu stellen.

Da, wie eingangs erwähnt, keine Druckdaten zur Verfügung standen, können die typischen Druck-Bilder in diesem Bericht nicht gezeigt werden. Auch ein mittlerer Druck kann nicht angegeben werden, um die UHV-Bedingungen mit vergangenen Experimenten zu vergleichen. Solch ein mittlerer Druck wäre für Simulationen wichtig gewesen.

4.2 Restgasspektrum

Das Restgasspektrum in der Diagnosekammer S12DK3 konnte dieses Mal wieder mitgeschrieben werden. In Abbildung 11 ist der zeitliche Verlauf der Restgaszusammensetzung während dieses und des folgenden Maschinenexperiments. Die Zeiten mit Hochstrom in der Maschine sind jeweils am Auftreten zusätzlicher Massen zu erkennen.

;)Hier kommt noch mehr, Hintergrund-Spektrum, mittleres Desorptions-Spektrum, Desorptionsspektrum des S12-Kollimators (suchen!) jeweils simulierte Spektren überlagert um die RG-Zusammensetzung herauszufinden?

5 Simulation

Zum Verständnis der beobachtbaren Effekte wurden verschiedene Simulationen mit StrahlSim durchgeführt.

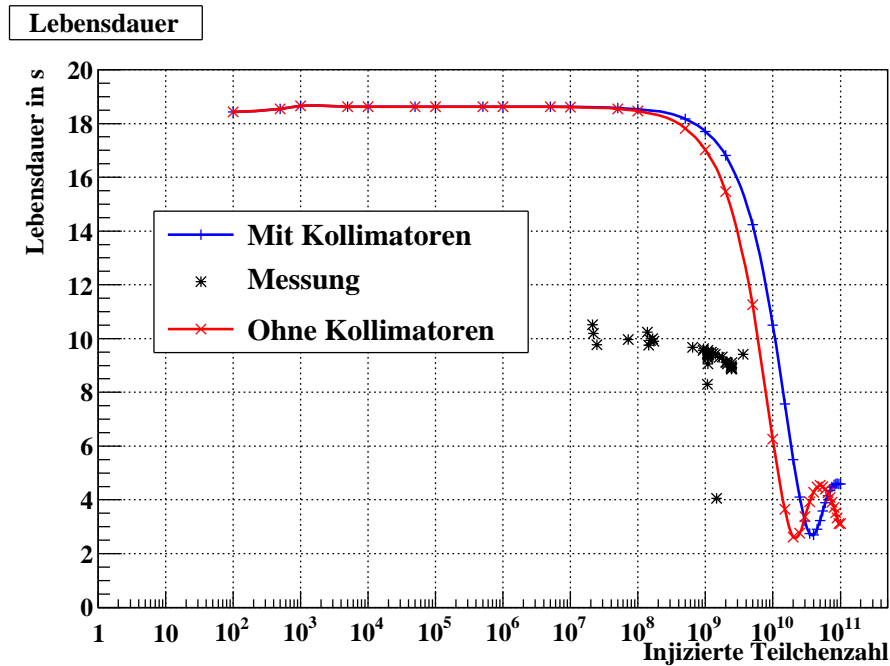


Abbildung 12: Simulation der Intensitätsabhängigen Lebensdauer. Bei großen Intensitäten lässt sich keine Lebensdauer mehr ermitteln, da der Strahl innerhalb kürzester Zeit verloren geht, dadurch schlägt der Lebensdauer-Fit fehl.

5.1 Intensitätsabhängigkeit der Lebensdauer

Die Messung zur Abhängigkeit der Lebensdauer von der Intensität des Strahls aus Abschnitt 2.1 wurde mit StrahlSim (Kesselmodell) nachsimuliert. Dazu wurden die verwendeten Maschineneinstellungen eingestellt und ein Restgasdruck angenommen. Es wurde die Anzahl injizierter Teilchen variiert und auf die simulierten Zyklen der gleiche Algorithmus zur Berechnung der Lebensdauer angewendet, wie für die gemessenen Daten. Das Ergebnis ist in Abbildung 12 zu sehen. Die Werte liegen mit hoher Genauigkeit auf einer Geraden.

Wie bei der Messung weicht die Bereich kurz nach der Injektion von einem Exponentiellen Verlauf ab. Zu dieser Zeit stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Desorption und Adsorption ein. Wenn dieses Gleichgewicht erreicht ist, entspricht der Intensitätsverlauf einer Exponentialfunktion.

Für hohe Teilchenintensitäten geht der Strahl sehr schnell zu Beginn des Zyklusses verloren. Aus diesem Grund schlägt der Lebensdauer-Fit fehl, was zu unsinnigen Werten in der Lebensdauer führt.

Der Einsatz von Kollimatoren führt zu einem niedrigeren Gleichgewichtsdruck und damit zu einer höheren Lebensdauer des Strahls, wie man aus dem Vergleich mit der Rechnung ohne Kollimatoren sehen kann.

Die gemessenen Lebensdauern liegen etwa einen Faktor 2 unterhalb der simulierten. Auch die Steigung der Geraden weicht etwa um den Faktor 2 ab. Dies lässt den Schluss zu, dass es einen weiteren Intensitätsabhängigen Strahlverlust-Prozess gibt, welcher bisher nicht berücksichtigt wurde.

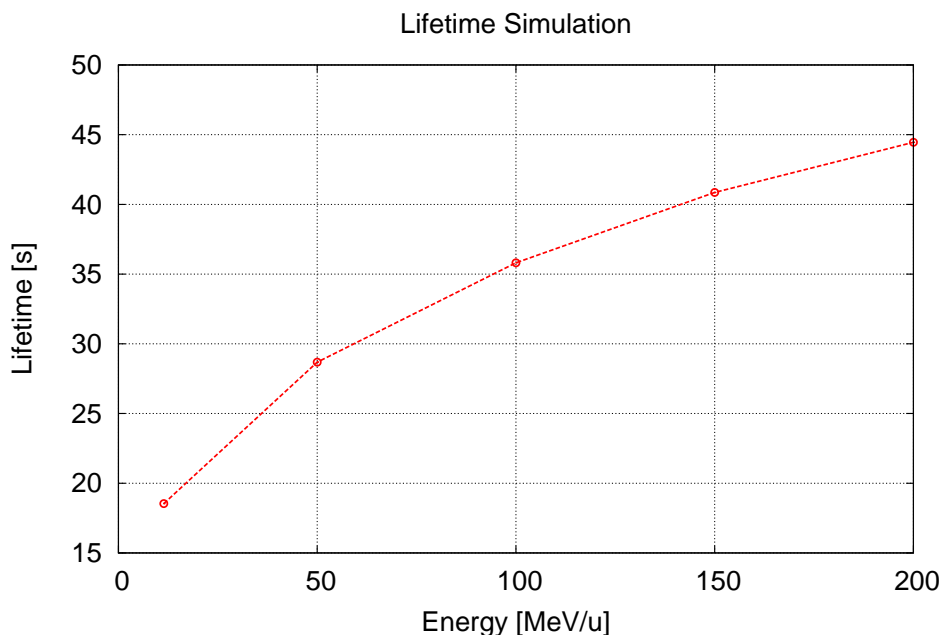


Abbildung 13: Simulierte Energieabhängigkeit der Lebensdauer.

5.2 Energieabhängigkeit der Lebensdauer

Die Messung zur Abhängigkeit der Lebensdauer von der Energie aus Abschnitt 2.2 wurde ebenfalls mit StrahlSim (Kesselmodell) nachsimuliert. Auch hier konnte nur ein Restgasdruck angenommen werden. Analog zur Messung wurde der Strahl zunächst beschleunigt und dann auf dem Flattop gespeichert, um die Lebensdauer zu bestimmen.

Das Ergebnis der Simulation ist in Abbildung 13 zu sehen. Es ist bisher keine systematische Abweichung zur Messung zu erkennen, die berechnete Lebensdauer ist deutlich höher als die gemessene.

6 Schlussfolgerungen

Es ist eine Abhängigkeit der Lebensdauer von der Strahlintensität vorhanden. Diese kommt über den intensitätsabhängigen Gleichgewichtsdruck zustande, welcher sich nach kurzer Zeit einstellt. Offenbar gibt es jedoch einen weiteren intensitätsabhängigen Strahlverlust-Prozess.

Bei zukünftigen Lebensdauermessungen sollte darauf geachtet werden, deutlich unterhalb von 10^9 Teilchen zu bleiben und die Intensität während der Messung vom Unilac zu variieren, sodass man in der Auswertung auf eine Einteilchen-Lebensdauer zurückrechnen kann.

Die Abhängigkeit der Lebensdauer von der Energie ist anders (schwächer) als von der Simulation erwartet.

Der Rahmen des beweglichen S12-Kollimators wird von ungeladenen Ionen getroffen. Dieser ist nicht mit einer niedrig desorbierenden Oberfläche versehen und vergangene Maschinenexperimente haben gezeigt, dass sogar eine Schweißnaht getroffen werden kann, wodurch Argon desorbiert wird. Es wird daher empfohlen diesen Rah-

men während des nächsten Shutdowns mit einer niedrig desorbierenden Oberfläche zu verkleiden.

7 Version History

- 0.1 Zusammenfassung, Probleme (L.Bozyk).
- 0.2 Lebensdauer-Messungen (L.Bozyk).
- 0.3 Kollimatorströme, Simulationen (L.Bozyk).
- 0.4 SISmodi-Screenshot + Einstellungen (L.Bozyk).