

URL: <http://vera2.rad.univie.ac.at/share/praktikum/Komponenten.html>

# Beschleunigerpraktikum

## Aufgabenstellung

Das Alter zweier unbekannter Kohlenstoffproben soll bestimmt werden. Dazu sollen die Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$  gemessen werden. Zur Normierung stehen zwei bekannte Referenzproben mit hohem bzw. niedrigem nominellen  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  zur Verfügung.

## Massenfilter von VERA:

### 90° Ablenkmagnet

Im idealisierten mathematische Modell des Magneten ändert sich die magnetische Induktion sprunghaft an den Eintritts- und Austrittskanten von 0 auf einen konstanten Wert  $B$  im Inneren. Teilchen auf der "Sollbahn" folgen im Inneren einem 90°-Kreisbogen mit  $r_0 = p/(qB)$ .

In vertikaler Richtung erfolgt die Fokussierung nur an den Feldkanten, die zu diesem Zweck einen Winkel zum Strahl bilden müssen ("Shim-Winkel", "starke Fokussierung"). Im 90°-Magneten wird für einen Shim-Winkel von  $\tan^{-1}(1/2) = 26.57^\circ$  ein Objekt  $2 r_0$  vor der Eintrittskante horizontal und vertikal an einer Stelle  $2 r_0$  nach der Austrittskante 1:1 abgebildet. Dabei werden Teilchen mit einem Energie-(Massen-)Unterschied  $dE$  ( $dM$ ) in einem Abstand  $dx = 2 r_0 dE/E$  ( $dx = 2 r_0 dM/M$ ) voneinander abgebildet. Die Energie-(Massen-)Auflösung ergibt sich aus der Öffnung der Schlitze an der Gegenstands- und Bildposition. Dieser Zusammenhang zwischen Energie und Strahlposition kann auch dafür verwendet werden, um einen Strahl nicht genau nach 90°, sondern in einen horizontal versetzten Offset-Faraday-Cup bei einem etwas anderen Winkel zu lenken.

Beim realen Ablenkmagneten ist folgendes zu beachten:

- Durch den endlichen Polschuhabstand nimmt das Feld an der Eintrittskante nicht plötzlich, sondern kontinuierlich zu. Das Feld reicht weiter nach außen, es ergibt sich eine effektive Feldkante, die ca. 0.6 Polschuhabstände vor der mechanischen liegt. Der Magnet erscheint größer, als er ist. Die Teilchen werden stärker abgelenkt. Der reale Magnet muß kürzer gebaut werden, als die ideale Formel ergibt.
- Die Einstellung eines Magneten erfolgt durch verändern des Spulen-Stromes, bis ein bestimmtes Magnetfeld erreicht ist. Der Magnetstahl besitzt eine Hysterese. Restmagnetisierungen hängen von der "Vorgeschichte" ab. Auch wenn das Feld an der Stelle des Sensors nach einer vorübergehenden Änderung wieder den gleichen Wert hat, ist die Bahn der Teilchen im allgemeinen anders, da die Remanenzfelder im übrigen Magneten verändert sind. Dies vermeiden wir am VERA Labor, indem wir den Magneten vor jeder Änderung für ca. je eine Minute auf vollen Strom und 0 Strom stellen. Anschließend wird der Strom schrittweise erhöht, bis das Sollfeld erreicht ist.
- Magneten können (besonders wegen der obigen Prozedur) nicht schnell geändert werden. Bei VERA gibt es zu jedem Magneten eine andere Komponente, die den gleichen Effekt auf die Bahn hat, indem statt des Magnetfeldes z.B. die Teilchenenergie geändert wird. Will man zwischen mehreren Strahlen schnell hin- und herschalten, so empfiehlt es sich, nicht den Magneten, sondern nur diese zu verändern.

### Der sphärische elektrostatische Analysator ( $\alpha = 45^\circ$ , bzw. $90^\circ$ )

Das idealisierte Modell besteht aus einem Sektor eines  $1/r$  Potentials. Dies wird in der Praxis durch zwei konzentrische sphärische Elektroden im Abstand  $d$  auf symmetrischem Potential  $U_{+/-}$  angenähert (Potentialdifferenz:  $U = 2 U_{+/-}$ ). Die Teilchen folgen im Inneren Kepler'schen Ellipsen, auf der Sollbahn einem Kreisbogen mit Radius  $r_0 = 2 Ed/(qU)$ . Ein Objekt bei  $r_0 \tan(\alpha/2)$  vor der Eintrittskante wird 1:1 bei  $r_0 \tan(\alpha/2)$  nach der

Austrittskante abgebildet. Teilchen mit einem Energieunterschied  $dE$  werden  $dx = 2 r_0 dE/E$  voneinander abgebildet. Die Ablenkung ist von der Masse unabhängig.

Beim realen elektrostatischen Analysator mit endlichem Elektrodenabstand tritt wieder eine effektive Feldkante auf. Das Feld an den Eintrittskanten wird durch zusätzliche Elektroden geformt. Sättigungs- und Remanenzeffekte sind prinzipiell ausgeschlossen. Elektrische Spannungen können praktisch ohne Zeitverlust ( $\mu\text{s}$  bis  $\text{s}$ ) umgeschaltet werden.

## Beamdiagnostische Elemente

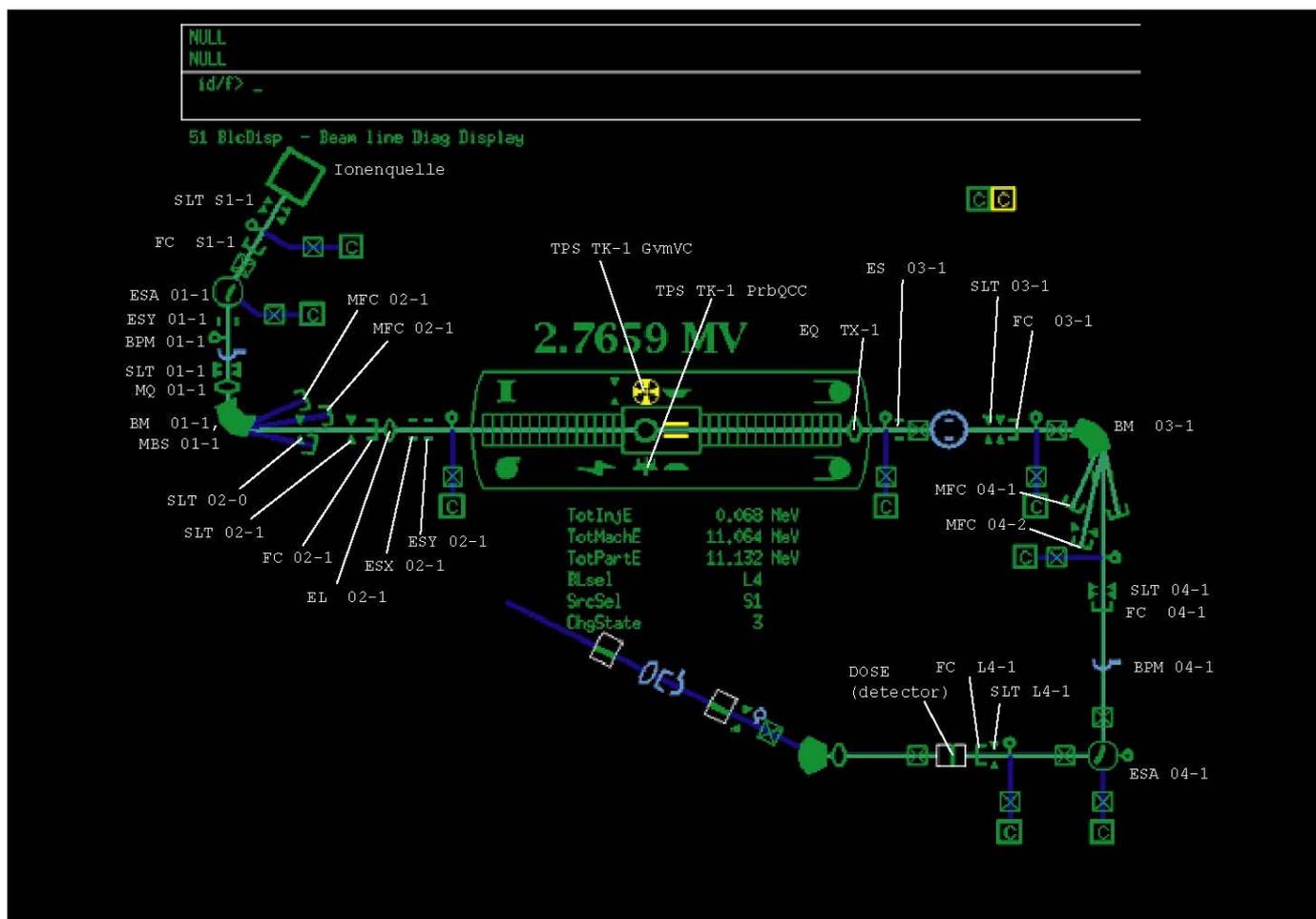
- Faraday-Cups: Können in den Strahl geschwenkt werden und messen den Strahlstrom.
- Beam-Profile-Monitors: Messen das "Strahlprofil" (= Querschnitt der Intensitätsverteilung) in horizontaler und vertikaler Richtung indem ein dünner Draht durch den Strahl bewegt und der Strom auf dem Draht (oder ein sekundärer Elektronenstrom) gemessen wird.
- Bewegliche Schlitzblenden: Befinden sich an den Objekt- und Bildpositionen und erlauben zusammen mit den anderen beamdiagnostischen Werkzeugen, Messungen am Strahl an diesen Positionen vorzunehmen. Es ist auch möglich, den Strahl an den Blenden zu messen (da hier aber keine Suppressorspannung anliegt, ist die Messung wegen der vielen Sekundärelektronen aber nur qualitativ - sogar das Vorzeichen ist falsch: Elektronen raus  $\rightarrow$  positiver Strom!).

Die Benützung dieser Elemente wird an den ersten beiden Tagen in der Praxis erklärt. Dabei wird nach [Unterlagen](#) vorgegangen, die für einen Beschleunigerkurs für VERA-Mitarbeiter erstellt wurden, jedoch wird nur der fürs Praktikum wichtige Stoff behandelt.

## Wie fädle ich einen Strahl durch den Beschleuniger?

Um die Isotopenverhältnisse  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$  richtig zu messen, muß die ionenoptische Transmission aller drei Strahlen gleich sein. Bei VERA kann man erreichen, daß die ionenoptische Transmission praktisch 100% ist.

Alle Elemente und Parameter von VERA haben (eher kryptische) Namen mit 16 Zeichen. Diese sind auf den Komponenten angeschrieben. Die Parameter können vom Computer aus verstellt werden. Dies wird am zweiten Tag in der Praxis erklärt.



Beim Einfädeln des Strahles beginnt man am besten mit der Ionenquelle und arbeitet sich Komponente für Komponente bis zum Detektor vor. Die ablenkenden Komponenten (Elektrostatischer Analysator, Magneten) werden zunächst auf die aus den nominellen Daten berechnete Werte eingestellt. Ablenkplatten werden zunächst auf 0 gesetzt. Anschließend werden die Schlitzeblenden nach der Komponente symmetrisch verengt und der Strahlstrom im nächsten Faradaycup nach den Schlitzen wird maximiert. Dadurch wird erreicht, daß sich der Strahl in der Mitte des Strahlrohres befindet. Anschließend werden die Schlitze wieder ganz geöffnet.

Die kritischste Engstelle ist das Stripper-Rohr im Beschleunigerterminal, das nur 8 mm Durchmesser hat. Um hier eine hohe Transmission zu erreichen, müssen auch die Linsen gut eingestellt sein. Beim Einstellen ist zu beachten, daß Linsen im Allgemeinen "steuern", das heißt nicht nur die Fokussierung, sondern auch den Strahlschwerpunkt beeinflussen. Dies muß mit einem Ablenkelement kompensiert werden, um wieder mittig durch die Schlitze zu treffen.

Im folgenden wird ein "Kochrezept" für eine solche Vorgangsweise detailliert beschrieben.

## Ionenquelle:

Wir stellen die Ionenquelle immer auf Werte ein, die sich in der Vergangenheit bewährt haben. Genauere Untersuchungen dazu sind für's Praktikum zu zeitaufwändig. Die Ionenquelle benötigt relativ lange (~1h), bevor man nach einer Änderung einen stabilen Strahl bekommt.

- Caesium-Kapillar Temperatur "OVN S1-1 DC": Ein Cs-Vorrat wird erhitzt. Durch die Temperatur des Verbindungsrohres (Kapillare) wird gesteuert, wieviel Cs in die Ionenquelle gelangt. Eine Kapillar-Heizleistung von "OVN S1-1 DC" = 40 % ist sinnvoll. Für die ersten Versuche sollte die Leistung jedoch auf 0 % gelassen werden, um das Versuchstarget nicht so schnell wegzusputtern.
- Ionizer Strom "ION S1-1 CC": Der (neutrale) Cs-Dampf wird an einer glühenden Tantaloberfläche positiv ionisiert. Die Temperatur dieser Fläche kann durch den Heizstrom eingestellt werden, Erfahrungswert: ~170 W Leistung, dieser ist schon voreingestellt.

- Kathodenspannung "CAT S1-1 VC": Negative Spannung am Sputtertarget. Diese dient dazu, sowohl die  $\text{Cs}^+$ -Ionen zum Target hin als auch die negativen Ionen aus der Probe vom Target weg zu beschleunigen. Erfahrungswert für Kohlenstoff: -5.0 kV.
- Caesiumfokus "CSF S1-1 VC": Negative Spannung an der ersten Appertur nach dem Sputtertarget (ca. 2...3 mm Abstand). Stellt eine Einzellinse dar, mit der der Cs-Strahl auf das Sputtertarget fokussiert werden kann. Die Einstellung kann nur beurteilt werden, indem der Sputterkrater in den Targets begutachtet wird. Dies ist aber nur nach dem Öffnen der Ionenquelle möglich. Erfahrungswert: -0.0 kV.
- Extraktionsspannung "EXT S1-1 VC": Erster Teil der Vorbeschleunigung. Die Extraktionsspannung hat einen starken Einfluß auf die Fokussierung des Strahles aus der Quelle. Erfahrungswert: -15 kV (Anmerkung: aus technischen Gründen zeigt das Powersupply +15 kV an).
- Quelleneinzellinse "FOC S1-1 VC": Erlaubt die Fokussierung des Strahles aus der Quelle zu ändern, ohne daß sich die Energie ändert. Erfahrungswert: 1.9 kV.
- Quellenhochspannung "HVS S1-1 VC": Hauptteil der Quellenhochspannung. Erfahrungswert: -50.0 kV.

Die Ionenenergie auf der Niederenergieseite des Beschleunigers ergibt sich als  $E_{inj} = q(\text{"CAT S1-1 VC"} + \text{"EXT S1-1 VC"} + \text{"HVS S1-1 VC"})$ .

**Einführungsvortrag E3:** Was ist die Einergie der Teilchen aus der Quelle?

Ändert man die Extraktionsspannung "EXT S1-1 VC" zusammen mit der Quellenhochspannung so daß die Summe der Spannungen gleich bleibt, so ändert sich die Strahlenergie nicht, die Fokussierung des Strahles aus der Ionenquelle kann damit aber über einen weiten Bereich verändert werden. Zusammen mit der Quelleneinzellinse "FOC S1-1 VC" läßt sich die Bildposition und die Größe des Bildes nach der Quelle über einen großen Bereich einstellen. Leider gibt es direkt nach der Quelle zuwenig beamdiagnostische Elemente, um dies im Praktikum sinnvoll durchführen zu können.

Beamdiagnostik: Schlitze "SLT S1-1" und Faraday Cup "FC S1-1".

### 45° elektrostatischer Analysator "ESA 01-1 VC"

Die genauen nominellen Daten sind am Informationsblatt am Gerät verfügbar. Daraus kann die nominelle Spannung für die jeweilige Energie  $E_{inj}$  ausgerechnet werden. Die vertikalen Ablenkplatten "ESY 01-1 VC" direkt nach dem ESA werden vorerst auf 0 kV gesetzt. Anschließend wird der Strahl mittels des elektrostatischen Analysators und dem Strom auf den Schlitzblenden Slit 01-1 auf die Strahlrohrmitte zentriert. Dieser Strom ist nicht in den Computer geführt, er muß mit einem Hand-Multimeter gemessen werden.

**Einführungsvortrag E3:** Auf welches Potential müssen die ESA-Elektroden gelegt werden?

### Der Multi-Beam-Sequencer "MBS 01-1 VCreg0,1,3"

AccelNET page 46: Die Kammer des Niederenergie-Ablenkmagneten "BM 01-1" kann auf positive Hochspannung (0...13 kV) gelegt werden. Dadurch werden die negativen Ionen vor dem Eintritt in den Magneten beschleunigt und nach dem Verlassen des Magneten wieder abgebremst. Dadurch ist es möglich, Teilchen mit niedrigerer Masse auf die Sollbahn zu bringen, indem die Energie der Teilchen statt des Magnetfeldes geändert wird. Wird für  $^{13}\text{C}^-$  eine Spannung von 6.0 kV gewählt, so reicht der verfügbare Spannungsbereich aus, um  $^{14}\text{C}^-$  und  $^{12}\text{C}^-$  ohne Änderung des Magnetfeldes in den Beschleuniger zu injizieren. Im Normalbetrieb während der  $^{14}\text{C}$  Messung schaltet der Beschleuniger ca. 5 mal pro Sekunden zwischen den drei Spannungen "MBS 01-1 VCreg0" ( $^{12}\text{C}^-$ ), "MBS 01-1 VCreg1" ( $^{13}\text{C}^-$ ) und "MBS 01-1 VCreg3" ( $^{14}\text{C}^-$ ) hin- und her. Vorerst stellt man ihn mit "script sequencer" auf "maint reg1", dann wird dauernd  $^{13}\text{C}^-$  eingeschossen.

Die Energie der Teilchen im Niederenergiemagneten "BM 01-1" ist dann  $E_{bm01} = E_{inj} + \text{"MBS 01-1 VCreg1"}$ .

**Einführungsvortrag E3:** Was ist die Energie der Teilchen ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) im Magneten? Auf welches Magnetfeld muß der Magnet gesetzt werden?

### Der Niederenergie-Analysiermagnet "BM 01-1"

Gemäß der nominellen Daten kann das nominelle Magnetfeld berechnet und eingestellt werden. Das magnetische Quadrupoldoublett direkt vor dem Magneten dient zur Korrektur von Abbildungsfehlern des Magneten. Er wirkt auf die bereits beschleunigten Teilchen und kann zunächst auf die Erfahrungswerte "MQ 01-1 XCC" = 16 A und "MQ 01-1 YCC" = 15 A gesetzt werden. Der Strahl sollte jetzt bereits im Faraday-Cup "FC 02-1" meßbar sein. Erst jetzt kann die Feineinstellung von ESA und Magnetkammerspannung MBS über die aus den nominellen Daten errechneten Werte hinaus erfolgen. Dazu werden zunächst die horizontalen Schlitze "SLT 01-1 X" zwischen ESA und Niederenergiemagnet symmetrisch um die Strahlrohrmitte bis auf ca. 0.5 mm verengt. Der Strom im Faraday-Cup "FC 02-1" wird jetzt mittels der ESA-Spannung maximiert. Die Schlitze "SLT 01-1 X" werden wieder geöffnet und die Schlitze "SLT 02-0 X" beim Bild des Magneten auf ca. 0.5 mm verengt. Der Strom im Faraday-Cup "FC 02-1" wird mit der MBS-Spannung "MBS 01-1 Vcreg1" maximiert. Anschließend werden die Schlitze wieder auf -10...10 mm geöffnet.

Die Einzellinse vor dem Beschleuniger "EL 02-1 VC" fokussiert das Bild nach dem Magneten auf den Akzeptanzpunkt am Eingang des Beschleunigers. Sie kann Anfangs auf den Erfahrungswert -45 kV gesetzt werden. Die Ablenkplatten "ESX 02-1 VC" und "ESY 02-1 VC" (pg 47!) erlauben, die Einschubrichtung in den Beschleuniger einzustellen. Sie können zunächst auf 0 V gesetzt werden.

## Das Wien-Filter "EXB L4-1 VC" und "BM L4-1"

Es wird für  $^{14}\text{C}$  Messungen derzeit nicht verwendet und muß ausgeschaltet sein (Spannung und Magnetfeld. Achtung! "off" auf pg 51 schaltet nur die Spannung aus. Man muß dann den Strom extra auf 0A setzen).

## Der Beschleuniger

Unser 3-MV Pelletron besitzt nur einen für den Strahl relevanten Parameter: Die gewünschte Terminalspannung "TPS TK-1 GvmVC". Alle Pelletronparameter (Ladespannung etc.) werden durch verschiedene Regelkreise automatisch nachgeregelt, um diesen Wert zu erreichen.

Der Corona-Proben-Strom "TPS TK-1 PrbCR" soll auf 30  $\mu\text{A}$  eingestellt werden. Er wird benutzt, um die Terminalspannung zu regeln und Schwankungen im der Strahlstrom auszugleichen. Der Corona-Proben-Strom sollte höher als die höchste zu erwartende Last durch den Strahl eingestellt werden (die Last durch den Strahl ergibt sich aus der Summe aller negativen und positiven Strahlströme in allen Ladungszuständen). Wird zuviel Strahl in den Beschleuniger eingeschossen, so wird plötzlich mehr Strom abgezogen als nachgeliefert wird und die Terminalspannung kann nicht mehr aufrechterhalten werden. Der Computer schließt dann den Faraday Cup "FC 02-1" vor dem Beschleuniger. Für  $^{14}\text{C}$  Messungen verwenden wir eine Terminalspannung von 2.7 MV.

## Einführungsvortrag E3: Was ist die Energie der Teilchen am Terminal?

Der Erfahrungswert für den Druck im Gasstripper "GS T-1 PR" ist  $\sim 10 \mu\text{mHg}$  (=mTorr). Der genaue Wert (hängt von Gasart ab, und leider driftet das Meßgerät mit der Zeit) ist auf dem Kasten recht neben dem Waschbecken beim Kontrollpult notiert. Der Druck am Beschleunigerein- und ausgang ("IGC 02-1 PR" und "IGC 03-1 PR") ist auch ein (ungenaueres) Maß für den Strippergasdruck. Er sollte ungefähr  $1 \times 10^{-7}$  mbar sein. Auf Änderungen an der Regulierventilstellung "GS T-1 DC" (pg 16) reagiert der Strippergasdruck sehr sensibel (0.5 mTorr / 0.01 Trn), aber langsam (Minuten). Wir belassen den voreingestellten Wert.

Der Strahl kann nun in den Beschleuniger eingeschossen werden, indem der Faradaycup "FC 02-1" vor dem Beschleuniger aus dem Strahl gedreht wird. Um den Strahl in den Faraday-Cup "FC 03-1" nach dem Beschleuniger zu fokussieren, wird das Quadrupoltriplett am Beschleunigerausgang vorläufig auf "EQ TX-1 XVC" = "EQ TX-1 YVC" = 28 kV und die Ablenkplatten auf "ES 03-1 YVC" = "ES 03-1 XVC" = 0 kV gesetzt.

Nun kann man durch "Herumprobieren" an den Niederenergiekomponenten "FOC S1-1 VC", "ESY 01-1 YVC", "ESA 01-1 VC", "MQ 01-1 XCC", "MQ 01-1 YCC", "BM 01-1 CC", "EL 02-1 VC", "ESX 02-1 VC", "ESY 02-1 VC" versuchen, den Strom im Faraday-Cup "FC 03-1" nach dem Beschleuniger weiter zu erhöhen. Dabei muß man beachten, daß der Strom aus der Quelle wahrscheinlich nicht konstant bleibt - eine scheinbare Transmissionserhöhung kann also eine Täuschung sein. Außerdem können die Linsen "steuern", d.h. den Strahl beim Fokussieren auch ablenken. Eine Verbesserung der Transmission ist dann nur möglich, wenn ein entsprechendes Ablenkelement gegengleich geändert wird. Manche Ablenkelemente arbeiten auch gegengleich (z.B. MBS und ESX). Das gemeinsame Optimum kann man finden, indem die gegenläufigen Komponenten

abwechselnd verstellt werden, immer ein bißchen über das Maximum hinaus (2-knob tuning) - viel Spaß! (hierfür sollten nicht mehr als 15 Minuten investiert werden, da man ja die Transmission mit  $^{13}\text{C}$  noch gar nicht messen kann - der Schritt wird mit  $^{12}\text{C}$  wiederholt!)

Für die Hochenergieseite nach dem Beschleuniger ergibt sich eine Ionenenergie von  $E_{\text{HE}} = (E_{\text{inj}} + q_{\text{LE}} \times \text{"TPS TK-1 GvmVC"}) \times m_{\text{HE}}/m_{\text{LE}} + \text{"TPS TK-1 GvmVC"} \times q_{\text{HE}}$ , wobei  $q_{\text{LE}} = -e$  die Ladung der Ionen auf der Niederenergieseite und  $q_{\text{HE}}$  die Ladung der Teilchen im auf der Hochenergieseite ausgewählten Ladungszustand ist. Die Ionenmasse auf der Hochenergieseite ( $m_{\text{HE}}$ ) kann anders sein als die auf der Niederenergieseite ( $m_{\text{LE}}$ ) wenn es sich beim eingeschossenen Ion um ein Molekülion handelt (z.B.  $^{13}\text{C}^{3+}$  aus  $^{13}\text{CH}$ ).

**Einführungsvortrag E3:** Was ist die Energie der Teilchen nach dem Beschleuniger?

## Der Hochenergieanalysiermagnet "BM 03-1"

Das benötigte Magnetfeld kann aus den nominellen Daten auf dem Informationsblatt direkt am Magneten ausgerechnet werden. Dieses wird eingestellt, indem der Magnetstrom geändert wird, bis das gewünschte Feld erreicht ist. Je nach Feld kann der Strahl entweder in einen der beweglichen Offset-Faraday-Cups oder geradeaus in die weitere Beamline geschossen werden. Wird die Geradeaus-Richtung gewählt, sollte der Strahl jetzt schon im Faraday Cup "FC 04-1" und am Beam Profile Monitor "BPM 04-1" sichtbar sein. Der Strahl kann nun mit der Beschleunigerterminalspannung "TPS TK-1 GvmVC" horizontal im BPM zentriert werden (damit erspart man sich das zeitaufwendige Ändern des Magnetfeldes). Der Strahl kann mit den Ablenkplatten "ES 03-1 YVC" vertikal zentriert werden.

## Das elektrostatische Quadrupoltriplett am Beschleunigerausgang "EQ TX-1 XVC" und "EQ TX-1 XVC"

Durch variieren der Spannungen am Quadrupoltriplett wird versucht, den Strahl sowohl horizontal als auch vertikal möglichst eng bei den nächsten Schlitzen "Slit 03-1" zu fokussieren. Dabei wird der Strom jedoch beim Faraday Cup FC 04-1 nach dem Analysatormagneten gemessen. Hinweis: der Quadrupol kann "steuern". Daher kann er zum optimieren der Fokussierung nicht allein, sondern nur in Kombination mit den beiden Ablenkplatten "ES 03-1" verändert werden.

**Einführungsvortrag E3:** Warum kann man erst nach dem Ablenkmagneten messen und nicht schon vorher (mit "FC 03-1" direkt nach den Schlitzen "Slit 03-1")?

Um den Strahl bei den Schlitzen "SLT 04-1" nach dem Magneten horizontal zu zentrieren werden die Beschleunigerterminalspannung "TPS TK-1 GvmVC" und der Faradaycup "FC 04-1" verwendet.

## Der Hochenergie-ESA "ESA 04-1"

Die Daten sind am Gerät angeschrieben.

**Einführungsvortrag E3:** Auf welches Feld muß der ESA gesetzt werden?

Anschließend wird der Strahl bei den Schlitzen "Slit 05-1" mittels des ESA "ESA 04-1" und den Ablenkplatten "ESY 04-1 VC" horizontal und vertikal zentriert. Kurz nach diesen Schlitzen befindet sich der Detektor.

Wichtig: mit dem Strahl nur in den Faraday Cup "FC L4-1" und nicht in den Detektor schießen.

**Einführungsvortrag E3:** Warum?

## Einstellungen Abspeichern / Laden

Da (fast) alle Komponenten computergesteuert sind, kann ein komplettes "Maschinensetup" am Computer abgespeichert und später wieder geladen werden. Das Wiederherstellen eines gespeicherten Setups geht schnell und ist sehr reproduzierbar, wenn die Ablenkmagneten nicht verstellt werden müssen.

## Der Strahl-Sequencer "SEQ 01-1" und "MBS 01-1"

Zuerst wird ein  $^{13}\text{C}^- \rightarrow ^{13}\text{C}^{3+}$  Strahl wie oben beschrieben eingestellt. Anschließend wird das Feld des Analysiermagneten "BM 03" für  $^{14}\text{C}$  umgerechnet ("umskaliert"):  $B(^{14}\text{C}) = B(^{13}\text{C}) * \text{sqrt}(14/13)$ . Der  $^{13}\text{C}^{3+}$  Strahl läuft jetzt weiter innen, der Offsetcup "MFC 04-2 DC" muß dort positioniert werden.

**Einführungsvortrag E3:** Um wieviel hat sich der  $^{13}\text{C}^{3+}$  Strahl in der Bildebene bewegt?

Bei der Einstellung der weiteren Strahlen darf jetzt keine Komponente mehr verändert werden, die auch den  $^{13}\text{C}$ -Strahl wesentlich beeinflusst. Es bleiben über die Komponenten, die sich nach den Offset Cups auf der Hochenergieseite befinden und alle, die vom Strahlsequencer "SEQ 01-1" schnell hin- und hergeschaltet werden können: Die Magnetkammerspannung "MBS 01-1 VCregX", und die beiden Steerer "ESX 02-1 VCregX" und "ESY 02-1 VCregX". Für diese kann man jeweils vier verschiedene Werte einstellen ("reg0" bis "reg3") zwischen denen dann automatisch ca. 5 mal pro Sekunde umgeschaltet wird. Wir verwenden gewöhnlich "reg0" für  $^{12}\text{C}$ , "reg1" für  $^{13}\text{C}$ , und "reg3" für  $^{14}\text{C}$ . "reg2" wird nicht benützt. Wir schalten den Sequencer ein, mit den "MBS 01-1 VCreg0" und "MBS 01-1 VCreg3" auf den berechneten Werten auf den Werten. Die Steerer "ESX/Y 02-1 VCregX" stehen alle auf 0.

Es wird nun ein gepulster  $^{12}\text{C}^-$ -Strahl injiziert, und auch  $^{13}\text{C}$  wird nur mehr gepulst in den Analysator-Offsetcup "MFC 04-2" geschossen. Diese Strompulse kann man sich mit einem Oszilloskop anschauen. Die Stromverstärker der Offsetcups sind geeignet, um solche gepulsten Ströme richtig zu messen, nicht jedoch die der übrigen Faraday-Cups. Auf dem Faraday-Cup "FC 03" direkt nach dem Beschleuniger kann man deshalb nichts sinnvolles messen. Anschließend wird der Offsetcup nach dem Analysiermagneten auf die erwartete Position des  $^{12}\text{C}^-$  Stromes gefahren.

**Einführungsvortrag E3:** Wieviel mm muß der Offsetcup "MFC 04-1" nach dem Analysiermagnet aus der  $90^\circ$ -Richtung bewegt werden, um  $^{12}\text{C}^{3+}$  aufzufangen?

Man fährt nun die Offset-Cup-Position durch, um den Strahl wirklich schön in die Mitte des Cups zu bekommen.

Anschließend kann man nochmal mit allen Injektorkomponenten den  $^{12}\text{C}$  Hochenergiestrom maximieren ("FOC S1-1 VC", "ESY 01-1 YVC", "ESA 01-1 VC", "MQ 01-1 XCC", "MQ 01-1 YCC", "BM 01-1 CC", "EL 02-1 VC", "ESX 02-1 VC", "ESY 02-1 VC"). Man kann fast 50% Transmission (pg 93) erreichen!

Da die verstellten Komponenten auch  $^{13}\text{C}$  beeinflussen, muß man nun "MBS 01-1 VCreg1", "ESX 21-1 VCreg1" und "ESY 02-1 VCreg1" ebenfalls nachoptimieren.

Nun stellt man die Magnetkammer fix auf den berechneten Wert für  $^{14}\text{C}$ , indem man den berechneten Wert in "MBS 01-1 VCreg3" eingibt, und den Sequencer auf "reg3" anhält.

**Einführungsvortrag E3:** Auf welches Potential muß die Magnetkammer gelegt werden, um  $^{14}\text{C}^-$  in den Beschleuniger zu injizieren?

Man kann natürlich keinen  $^{14}\text{C}$ -Strom messen, dafür aber  $^{13}\text{CH}^-$ . Die Fragmente davon sieht man im Faraday Cup "FC 03" nach dem Beschleuniger. Damit kann man an "MBS 01-1 VCreg3", "ESX 02-1 VCreg3" und "ESY 02-1 VCreg3" optimieren, um die Transmission von  $^{14}\text{C}$  zu maximieren.

## Der Detektor und nochmal der Hochenergie-ESA "ESA 04-1"

Nun können bereits  $^{14}\text{C}^{3+}$  Ionen im Detektor gezählt werden, da der ESA bereit mit  $^{13}\text{C}^{3+}$  eingestellt wurde. Die Position des Strahles am Detektor wird jedoch optimiert, indem mithilfe einer modernen Probe die Zählrate mittels "ESA 04-1 VC" maximiert wird. Die vertikale Position wird durch scannen von "ESY 04-1 VC" optimiert.

Die Proben werden nun reihum angefahren. Die  $^{14}\text{C}$ -counts in einem Vielkanal gesammelt, das Kontrollsystem erlaubt das Integrieren der  $^{12}\text{C}$  und  $^{13}\text{C}$  Ströme während der Messung. Ca. 10000  $^{14}\text{C}$  counts sind für 1% Präzision erforderlich. Jede Probe sollte zumindest zweimal gemessen werden (für die Fehlerabschätzung).

# Viel Erfolg!